

УДК 631.34

№ держреєстрації 0121U109981

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
Таврійський державний агротехнологічний університет  
імені Дмитра Моторного

Юридична адреса:

72310, м. Мелітополь, пр. Богдана Хмельницького, 18; тел. (0619) 42 06 18

Фактична адреса:

69600, м. Запоріжжя, вул. Університетська, 66; тел. +38 099 6148302

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи,  
докт. техн. наук, професор

Анатолій ПАНЧЕНКО

«25» грудня 2025 р.



ЗВІТ

про науково-дослідну роботу

**«Розробити засоби механізації для існуючих і нових технологій  
виробництва продукції садівництва та розсадництва плодкових культур»  
(остаточний)**

Лабораторія «Механізація та автоматизація технологічних процесів в садівництві»

Керівник лабораторії,  
канд. техн. наук

Іван ЧИЖИКОВ

2025

Результати роботи розглянуто Науково-технічною радою  
Науково-дослідного інституту механізації землеробства Півдня України  
протокол № 4 від 24 грудня 2025 року

## СПИСОК АВТОРІВ

Керівник теми і  
відповідальний виконавець  
кандидат технічних наук, доцент



Іван ЧИЖИКОВ  
(розділ 1)

Відповідальні виконавці:  
кандидат технічних наук



Сергій СУШКО  
(розділ 2)

## РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 61 с., 33 рис., 5 табл, 53 літературних джерела.

Об'єкт дослідження – процеси взаємодії робочого органу глибокорозпушувача з ґрунтом, фізіологічні процеси, які відбуваються у деревах абрикоса сорту Мелітопольський лучистий й черешні сорту Крупноплідна під впливом зовнішнього середовища та систем мікрозрошення.

Метою роботи є визначення впливу параметрів та засобів механізації на якість процесу вирощування саджанців плодкових культур та вивчення функціонального стану кісточкових культур для діагностики вологозабезпеченості абрикоса й черешні, встановлення закономірностей водного обміну, процесів випаровування рослинами води й формування їх продуктивності при мікрозрошенні.

Методи дослідження – теоретичні методи математичного моделювання процесів, методи спостереження та фенокліматичного прогнозування, методи математичного планування експерименту та статистичного аналізу, Перевірка гіпотез і обробка експериментальних даних виконані за стандартами та розробленими методиками.

В результаті проведених досліджень:

- визначено, що у технології вирощування саджанців плодкових культур на смугових грядках найкращі показники розвитку живців на стадіях формування кореневої системи та пагонів забезпечується при їх садінні на смугову гряду із показником агрегатного стану ґрунту  $K=0,8$ .

- доведено, що робочий орган глибокорозпушувача для створення контуру смугової гряди повинен бути робочим органом об'ємного розпушення із відкритим контуром шириною 1 м. Параметри такого робочого органу повинні забезпечувати не тільки розпушення ґрунту в зоні розміщення кореневої системи саджанця, а і створювати умови для локалізації кореневої системи саджанця за рахунок ущільнення нахиленої стійки контуру.

- встановлено, що робочий орган глибокорозпушувача при таких параметрах положення: кута атаки леміша  $\alpha=20^\circ$ ; кута нахилу стійки робочого органу у поперечно-вертикальній площині  $\beta=15^\circ$ , на глибині 0,2 м при швидкості руху 0,37 м/с забезпечує утворення контуру смугової гряди із щільністю бокової стінки контуру 1,26 г/см<sup>3</sup>, щільністю ґрунту у зоні розпушення 1,05 г/см<sup>3</sup> і значенням тягового опору 1566 Н.

- виявлено, що при підкрановому дрібнодисперсному дощуванні швидкість ксилемного потоку зменшується у 1,2-1,3 рази, а температура листків знижується на 4-5°C в порівнянні з краплинним зрошенням та

контролем (природне зволоження), що сприяло більш вищому загальному рівню транспіраційних потоків в рослинах та запобігало перегріванню листового апарату.

– розроблено спрощену методику розрахунку пристрою фертигації, що використовує характеристики інжектора Вентурі у відносній формі, коли площа входу в камеру зміщення інжектора перевищує у два рази площу робочого сопла. Встановлено, що в такій конфігурації максимальне значення ККД інжектора досягається при відносній витраті  $q=0,6$ , при цьому відносний напір складатиме  $h=0,37$ , а коефіцієнт витрат робочого сопла  $\mu_{p.c}=0,21$ .

Результати НДР сприятимуть інтенсифікації процесів вирощування саджанців плодкових культур в плодovому розсадництві.

КІСТОЧКОВІ КУЛЬТУРИ, САДЖАНЦІ, ГЛИБОКОРОЗПУШУВАЧ,  
ФІТОМОНІТОРИНГ , ДАТЧИК, ІНДЕКС ШВИДКОСТІ КСИЛЕМНОГО  
ПОТОКУ У СТОВБУРІ, СИСТЕМИ МІКРОЗРОШЕННЯ, ФЕРТИГАЦІЯ

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	7
<b>РОЗДІЛ 1. ОБҐРУНТУВАТИ ПАРАМЕТРИ РОБОЧИХ ОРґАНІВ МАШИН ДЛЯ ВИРОЩУВАННЯ ПЛОДОВИХ САДЖАНЦІВ КІСТОЧКОВИХ КУЛЬТУР НА СМУГОВИХ ГРЯДАХ.</b> .....	8
1.1 Актуальність теми дослідження .....	8
1.2 Програма досліджень .....	9
1.3 Методика досліджень .....	9
1.4 Результати досліджень.....	15
1.4.1 Вплив показника структурності ґрунту в поверхневому шарі смугової гряди на стан розвитку живцевих підщеп плодових культур ..	15
1.4.2 Геометричне моделювання напямної поверхні долота робочого органу чизельного знаряддя.....	20
1.4.3 Обґрунтування конструктивно-технологічної схеми глибокорозпушувача для створення контуру смугової гряди.....	26
1.4.4 Експериментальні дослідження процесу роботи макетного зразку робочого органу глибокорозпушувача .....	29
<b>ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 1</b> .....	40
<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ</b> .....	41
<b>РОЗДІЛ 2. РОЗРОБИТИ ПРОГРАМНО-АПАРАТНИЙ КОМПЛЕКС УПРАВЛІННЯ ТЕХНІЧНИМИ ПАРАМЕТРАМИ СИСТЕМИ ЗРОШУВАННЯ І ФІЗІОЛОГІЧНИМИ ПАРАМЕТРАМИ</b> .....	43
2.1 Актуальність теми дослідження .....	43
2.2 Програма досліджень .....	44
2.3 Методика досліджень .....	44
2.3.1. Методика фітомоніторингу для діагностики фізіологічного стану рослин при різних метеорологічних умовах. ....	44
2.4 Результати досліджень.....	49
2.4.1 Вивчення функціонального стану дерев кісточкових культур та визначення його закономірностей за різних умов навколишнього середовища.....	49

2.4.2 Вплив абіотичних факторів на показники фітомоніторингу абрикоса й черешні .....	50
2.4.3 Розрахунок параметрів пристрою на основі інжектора Вентурі для фертигації плодкових насаджень .....	52
ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 2 .....	58
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	59

## ВСТУП

Україна вирізняється значним природно-економічним потенціалом, що забезпечує сприятливі умови для розвитку промислового садівництва та надає їй переваги порівняно з багатьма європейськими державами. Це підтверджується можливістю успішного вирощування всіх плодових і ягідних культур помірного клімату за умови поглиблення зональної спеціалізації. Водночас нині ця перевага використовується недостатньо ефективно.

Інноваційні процеси, що визначають сучасний розвиток економіки, зумовлюють перехід національного господарства на новий тип функціонування, який потребує вдосконалення механізмів економічних взаємовідносин між учасниками ринку. Для результативного розвитку садівництва необхідно враховувати закономірності росту, розвитку, розмноження та плодоношення культур, а також їхню взаємодію з довкіллям, що формує основу інноваційної сфери галузі.

Ефективність садівництва значною мірою залежить від здатності плодово-ягідних насаджень забезпечувати достатні обсяги продукції високої якості. Кількісні та якісні характеристики плодоносних насаджень визначають рівень виробництва фруктів і ягід. Використання інноваційних технологій у відтворювальних процесах є ключовою умовою успішного розвитку галузі в умовах глобалізованої економіки.

Потреба у впровадженні інновацій зростає й у зв'язку з членством України в СОТ. Посилення конкуренції на світових ринках збуту вимагає одночасного підвищення якості продукції та зниження її собівартості, що можливе лише за умови ефективною інноваційною діяльністю.

Постачання плодової продукції на зовнішні ринки передбачає проходження процедури сертифікації всіх виробничих процесів відповідно до стандарту GLOBALG.A.P., який визначає, що методи отримання якісної садівницької продукції повинні гарантувати відсутність загроз для довкілля.

У зв'язку з цим актуальним завданням стає розробка засобів механізації та систем безпеки для існуючих і новітніх технологій у виробництві садівницької продукції та розсадництві плодових культур, що забезпечать дотримання встановлених нормативних вимог до якості виробничого процесу.

## **РОЗДІЛ 1. ОБҐРУНТУВАТИ ПАРАМЕТРИ РОБОЧИХ ОРГАНІВ МАШИН ДЛЯ ВИРОЩУВАННЯ ПЛОДОВИХ САДЖАНЦІВ КІСТОЧКОВИХ КУЛЬТУР НА СМУГОВИХ ГРЯДАХ.**

### **1.1 Актуальність теми дослідження**

Галузь розсадництва плодкових культур, як основа промислового садівництва повинна забезпечувати його сертифікованим садивним матеріалом в необхідній кількості для реконструкції існуючих та закладання нових насаджень плодкових культур. В Україні, відповідно до даних реєстру виробників садивного матеріалу, саджанці плодкових культур виробляються у 182 розсадницьких господарствах різних форм власності, потужність яких становить 8680 тис. шт. саджанців на рік, що забезпечує закладання 3,5 тис. га молодих садів на рік. За даними [1], на сьогодні в Україні для закладання молодих садів існує дефіцит садивного матеріалу в кількості 3820 тис. шт. на рік.

Одна з причин дефіциту садивного матеріалу – відсутність належної матеріально-технічної бази для його виробництва, зокрема низький рівень механізації в розсадництві, який за даними [2,3] не перевищує 8%.

Сучасні ринкові вимоги до якості плодової продукції обумовлюють потребу в закладанні плодкових насаджень саджанцями, з показниками якості, що відповідають вимогам ДСТУ 4938 [4]. Так, відповідно до технічних вимог стандарту визначено, що саджанці першого товарного сорту повинні бути без механічних і інших пошкоджень, які заважають нормальній їх приживлюваності після садіння, а коренева система саджанця повинна мати не менш 5 основних коренів із довжиною кожного не менш 25 см.

Основним механічним пошкодженням кореневої системи саджанця при викопуванні є пошкодження коренів скобою викопувального плуга через занадто розгалужену кореневу систему, ширина якої, для деяких кісточкових культур досягає 80-90 см, при ширині захвату скоби плуга в 60 см. Крім того, пошкоджений корінь через є осередком потрапляння патогенних організмів через розірвані провідні судини кори.

Інтенсифікація галузі розсадництва шляхом зміни схем садіння при закладанні першого поля розсадника (за рахунок збільшення густоти рослин на одиницю площі) також не завжди дає позитивні зміни [5], особливо у частині якості кінцевої продукції розсадника – виходу бажаного відсотка стандартних саджанців без зниження їх сортності.

Зважаючи на означені проблеми є необхідність у пошуку та апробації нових схем закладання розсадника, удосконаленні існуючих та розробленні нових засобів механізації для вирощування садивного матеріалу.

**Метою досліджень** є поліпшення загального агротехнічного стану ґрунту смугової гряди та створення умов для локалізації кореневої системи саджанця у межах контуру гряди шляхом обґрунтування параметрів робочого органу глибокорозпушувача.

## 1.2 Програма досліджень

Програмою досліджень передбачалося вирішення таких завдань:

1. Дослідити вплив показника структурності ґрунту в поверхневому шарі смугової гряди на стан розвитку живцевих підщеп плодових культур.
2. Провести теоретичні дослідження щодо моделювання напямної поверхні долота робочого органу чизельного знаряддя.
3. Обґрунтувати конструктивно-технологічну схему глибокорозпушувача для створення контуру смугової гряди.
4. Провести експериментальні дослідження макетного зразку робочого органу глибокорозпушувача для створення контуру смугової гряди.

## 1.3 Методика досліджень

Якщо розглядати технологію вирощування саджанців при формуванні щепи (штучного симбіонта підщепи і прищепи, що на стадіях дорощування та формування набуває ознак щепленого саджанця) з пересаджуванням підщеп, відома схема закладання першого поля розсадника з міжряддям від 70 до 90 см (залежно від терміну вирощування) і відстанню між підщепами в ряду від 15 до 20 см [6].

Така схема розміщення рослин є найбільш розповсюдженою і перевіреною для різних сорто-підщепних комбінацій, як з точки зору забезпечення необхідної площі живлення щепи так і інших операцій у технологічному процесі вирощування – садінням підщеп, доглядом за рослинами у міжряддях, викопуванням саджанців та ін.

Важливим фактором формування та розвитку щепи є середовище знаходження її кореневої частини – ґрунт. На сьогодні відомі та широко розповсюджені способи вирощування овочевих та ягідних культур на грядках. Основна перевага висадження рослини на грядку порівняно з висадженням у ґрунт, навіть підготовлений, але який знаходиться у природньому складеному стані – створення більш сприятливих умов для розвитку

кореневої системи. Зокрема, за певних умов можна змінювати найважливішу агрономічну характеристику ґрунту – його структурний склад, шляхом утворення шару ґрунту (гряди) з показником структурності ґрунту в межах від 0,7 до 0,8, при якому формується оптимальний фракційний склад мезоагрегатів [7].

Дослідженнями [7,8] встановлено, що на якість товарного саджанця впливає багато факторів. З точки зору забезпечення його біоструктурних показників на певних стадіях вирощування (рис.1.1) тут можна виділити декілька проблем.

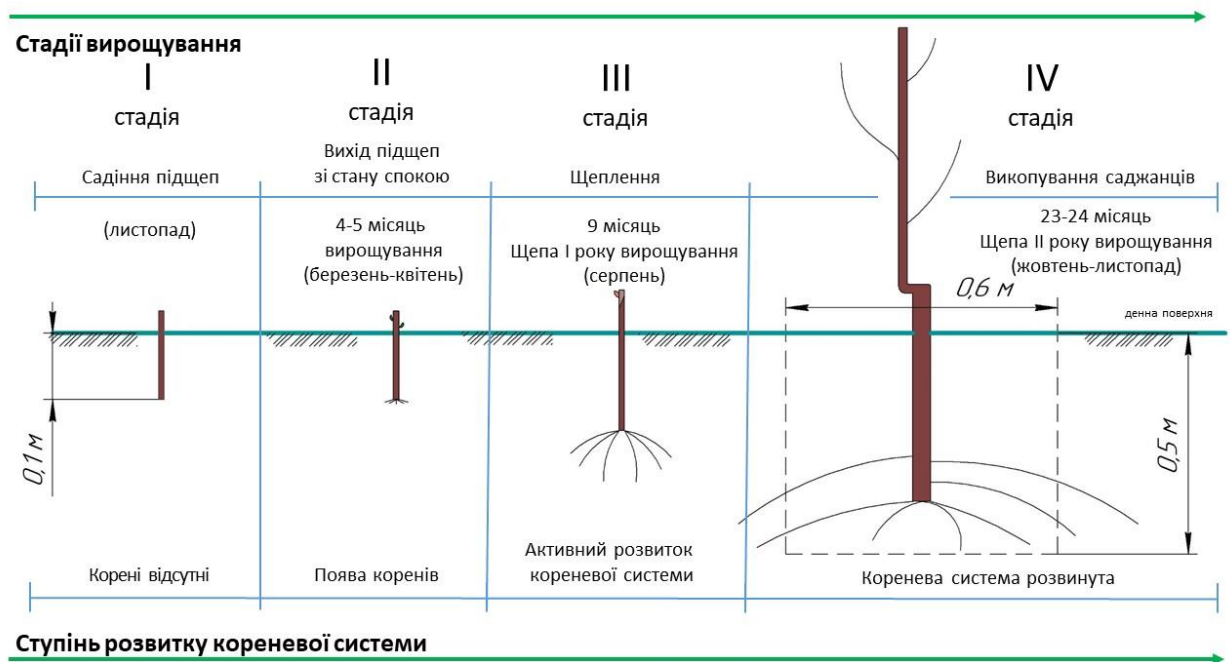


Рис.1.1. Ступені розвитку кореневої системи щепи на певних стадіях вирощування.

**Проблема перша (П1).** Затримка розвитку кореневої системи. Особливо критично на стадії I та стадії II у період від висадження підщепи до фази виходу її зі стану спокою де, з точки зору біфуркації спостерігається велика кількість випадів («мертвих» рослин).

**Проблема друга (П2).** Відсутність локалізації просторового розміщення кореневої системи саджанця у ґрунтовому шарі. Тут, на IV стадії при викопуванні саджанця спостерігається неконтрольована надразгалуженість його коренів, що призводить до їх пошкодження робочими органами викопувального плуга. Також, це призводить до надлишкових витрати енергії і так у найенергонасиченій технологічній операції.

**Вирішення П1.** Для вирішення проблеми П1 запропоновано висаджувати підщепи у шар ґрунту з оптимальним показником агрегатного стану 0,8 та вище. Цього можна досягти у разі обробітку поверхневого шару ґрунту активними робочими органами, які забезпечать наявність мезоагрегатів у межах заданих вимог.

**Вирішення П2.** Для вирішення проблеми П2 необхідно створити штучне обмеження для унеможливлення проникнення коренів саджанця в зону, що виходить за ширину захвату скоби викопувального плуга (0,6 м) шляхом проходу робочого органу глибокорозпушувача з ущільнення смуги ґрунту в повздовжньо-вертикальній площині.

Гряди, як шар ґрунту зі штучно створеною структурою можна розділити на дві частини відносно денної поверхні – підземну та надземну, для формування яких можна застосувати різні типи робочих органів.

На ринку України відомі комбіновані машини з декількома одноопераційними робочими органами – грядоутворювачі (два фрезерних барабани з горизонтальною віссю обертання, на яких встановлені ножі різної форми та розмірів, що обертаються у протилежну сторону один одному), які утворюють гряди за один прохід (активні грядоутворювачі). Недоліком таких агрегатів є неузгодженість ширини захвату для формування гряд під саджанці плодових культур (машини тільки під овочеві культури та полуницю) та відсутність в конструкції пристроїв для укладання краплинної стрічки для формування завершеної гряди «під ключ» за один прохід.

Гряди також можна створити застосовуючи декілька проходів одноопераційних машин, здійснюючи спочатку суцільне фрезерування всієї поверхні ґрунту (ґрунтообробна фреза з горизонтальною або вертикальною віссю обертання) з наступним утворенням гряди шляхом проходу грядоутворювача з пасивними робочими органами (лапи–полиці + ущільнюючий каток). Такі пасивні грядоутворювачі зазвичай одночасно з операцією формування гряди додатково укладають краплинну стрічку. Основний недолік при утворенні гряди пасивним способом порівняно з активним – менший коефіцієнт структурності, який можна створити грядоутворювачем, особливо на суглинкових ґрунтах.

Інший позитивний ефект від вирощування саджанців на гряді очікується у зниженні енергоємності процесу викопування саджанців і забезпеченні достатнього розпушення ґрунтової скиби та відділенні ґрунтових агрегатів від коренів без їх руйнування шляхом локалізації кореневої системи саджанця,

Для забезпечення цих умов застосування тільки операції фрезерування при формуванні підземної частини гряди не є достатнім. Потрібен обробіток

грунту знаряддям з безполицевими робочими органами, які формуватимуть поперечний контур смугової гряди або глибокорозпушувач.

При цьому вимоги до робочих органів знаряддя повинні бути такими:

– крайні робочі органи знаряддя мають параметри, що забезпечують деформацію в поперечно-вертикальній площині з ущільненням стінки контуру гряди, яка знаходиться з зовнішньої сторони відносно робочого органу по ходу його руху (рис.1.2).

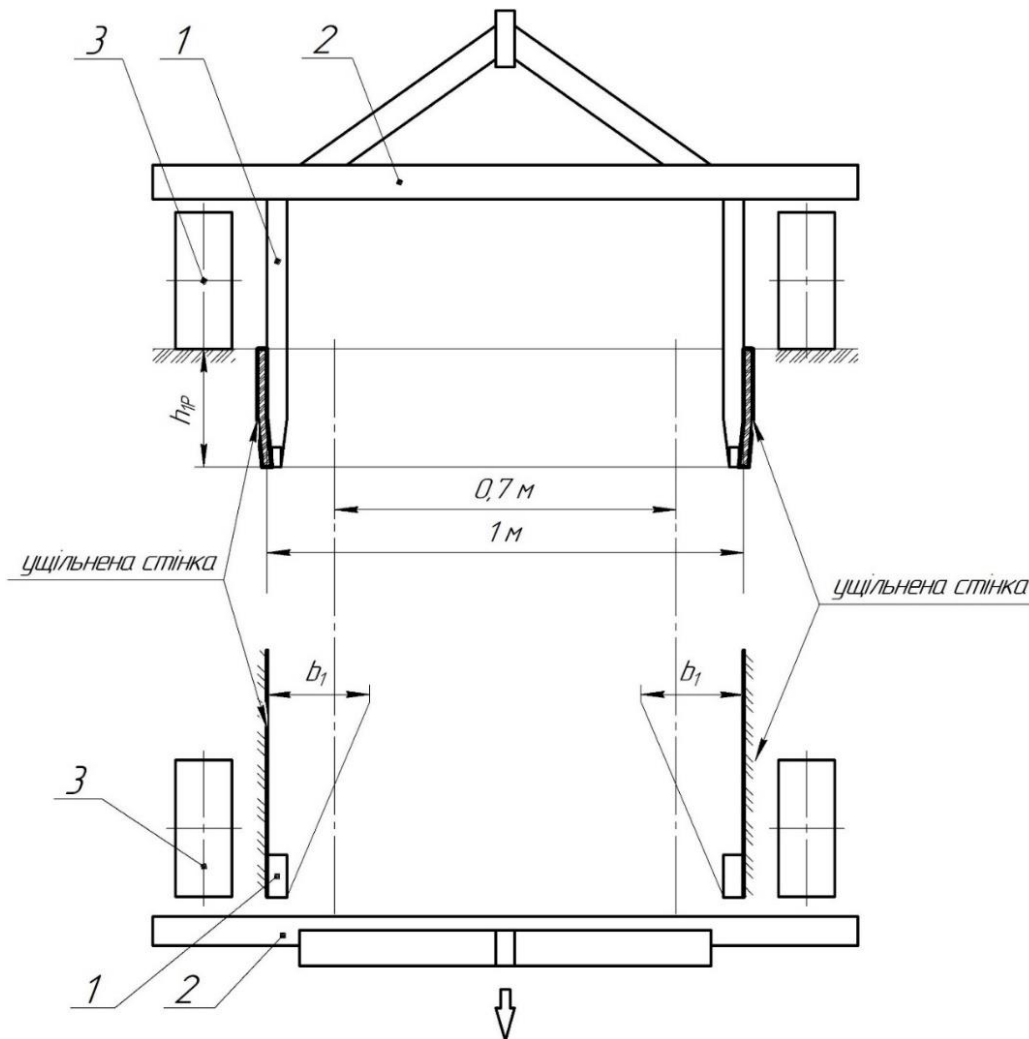


Рис.1.2. Схема утворення контуру смугової гряди глибокорозпушувачем у технології вирощування саджанців на смугових грядках: 1 – робочий орган; 2 – рама; 3 – колесо опорне.

Таке ущільнення стінок у поперечно-вертикальній площині унеможливить проникнення кореневої частини саджанця у простір, що перебуває поза межами траєкторії руху скоби викопувального плуга за шириною його захвату (рис.1.4).

Відповідно ширина захвату такого глибокорозпушувача повинна бути кратна ширині захвату скоби викопувального плуга, яка зазвичай, дорівнює 0,6 м. Глибина ходу – не менш ніж глибина ходу викопувальної скоби – 0,3 м.

Наступна технологічна операція – садіння підщеп (рис.1.3).

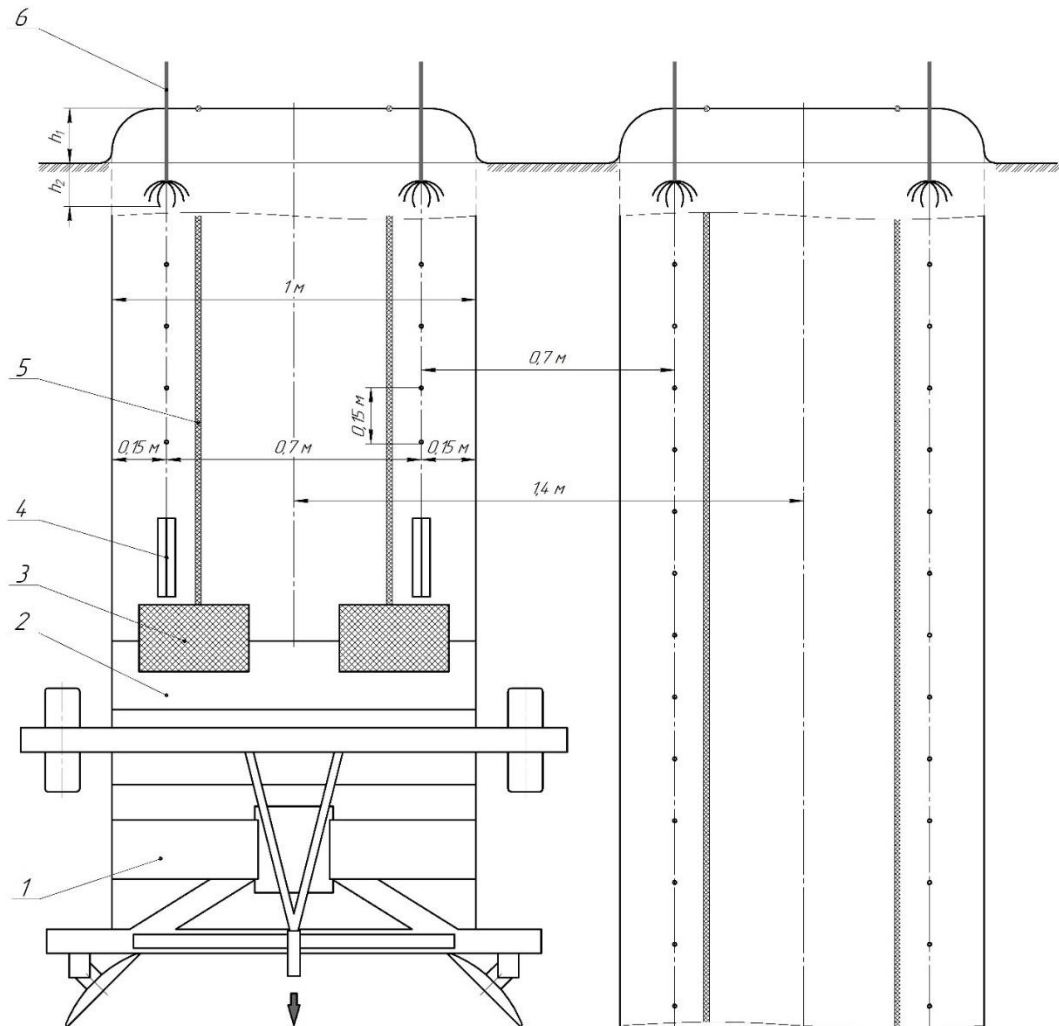


Рис.1.3. Схема комбінованого агрегату, який за один прохід здійснює такі технологічні операції: утворення гряди; укладання краплинної стрічки; садіння підщеп (живців): 1 – грядоутворювач; 2,3 – укладач краплинної стрічки; 4 – садильний апарат; 5 – краплинна стрічка; 6 – підщепа.

Враховуючи, що технологія вирощування саджанців на гряді передбачає застосування агроволокна, що закладається одночасно з утворенням гряди, механізоване садіння підщеп машинами традиційних конструкцій (коробчасний сошник + дисковий садильний апарат) неможливе. Слід зазначити, що через переущільнення ґрунтового шару від бокових стінок коробчасного сошника, застосування таких конструкцій неможливе,

так як переваги гряди у цьому разі зводяться нанівець [9,10]. Тому розробка засобів механізації для садіння підщеп (зерняткових та кісточкових культур) на гряді залишається відкритим питанням.

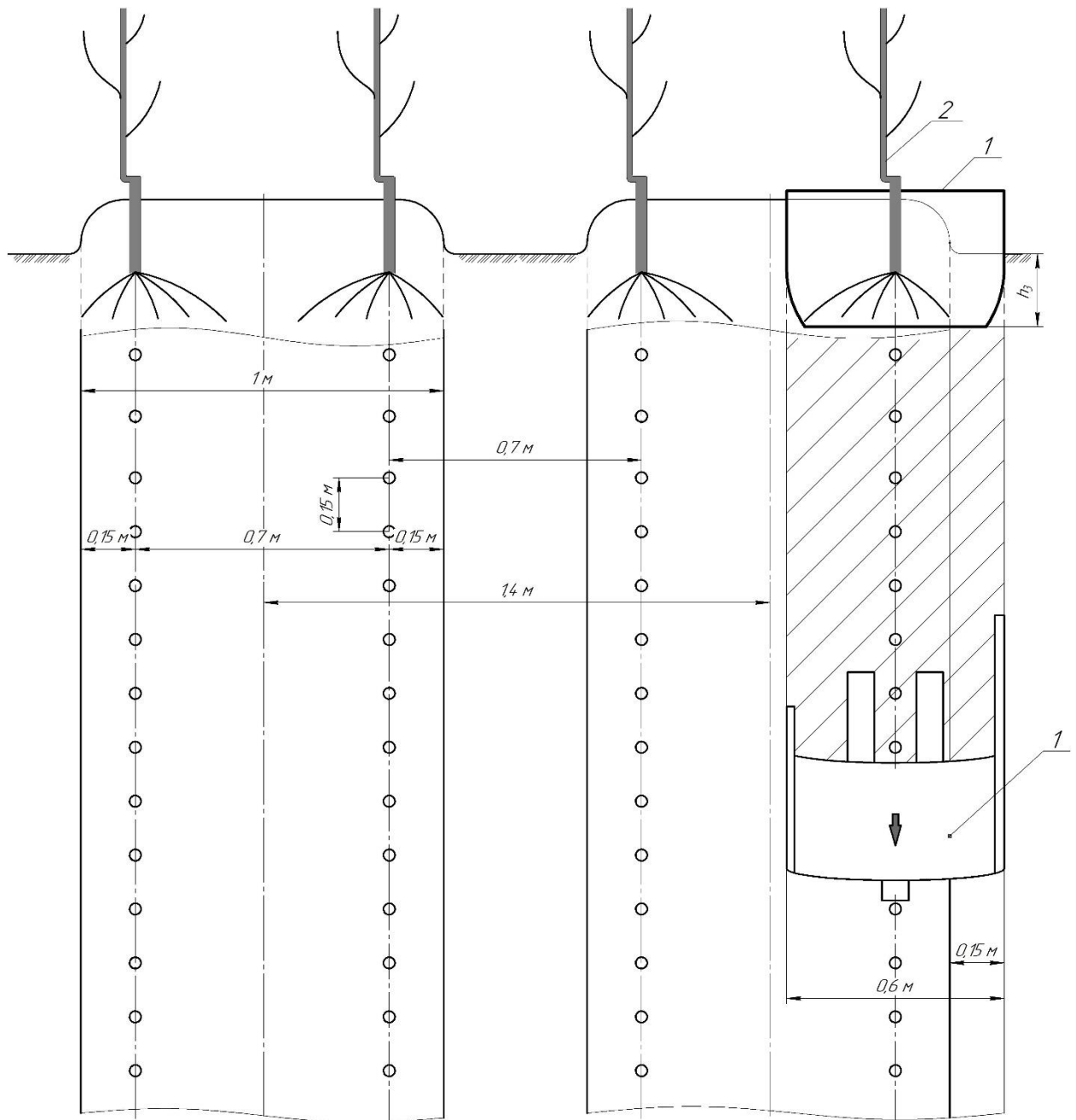


Рис.1.4. Схема роботи викопувального плуга у технології вирощування саджанців плодкових культур на смугових грядках: 1 – скоба викопувального плуга.

Варіантом вирішення цієї проблеми є розробка садильного апарату дискретного принципу дії, який здійснюватиме висадження підщеп за один цикл руху плунжера (утворення посадкової комірки та безпосередньо висадження рослини).

З огляду на вищезначене, пропонується вирощувати саджанці плодкових культур по технології з пересаджуванням підщеп на грядках з укриттям агроволокном та краплинним зрошенням за схемою 140x70x15 см [7].

Для забезпечення механізації робіт за такою технологією необхідно наявність таких машини:

- а) глибокорозпушувача – для формування контуру смугової гряди;
- б) комбінованого агрегату з робочими органами, які здійснюватимуть за один прохід такі операції:
  - 1) утворення поверхневого шару гряди (активними робочими органами);
  - 2) укладання краплинної стрічки;
  - 3) садіння підщеп;
- в) засобу захисту рослин-обприскувача тунельного типу;
- г) викопувального плуга.

За такою схемою садіння формується гряда з висотою надземної частини не менш 10 см та шириною 1 м. На цій гряді на відстані 15 см від кожного краю висаджуються два ряди підщеп, відстань між якими становить 70 см. Наступна гряда повинна розташовуватися таким чином, щоб відстань між всіма двох суміжних гряд (технологічна гряда) дорівнювала 1,4 м. Таке розташування забезпечить відстань 0,4 м між краями гряд, якої достатньо для проходження рушіїв більшості універсально-просапних тракторів тягового класу від 0,6 до 1,4. При цьому відстань між кожним рядком підщеп становитиме 70 см.

Рух агрегату при викопуванні саджанців здійснюватиметься гоновим способом з повертанням назад після кожного проходу. При цьому скоба викопувального плуга, при ширині захвату 0,6 м повинна заглиблюватися у ґрунт таким чином, щоб відстань між віссю рядка саджанців та лівою частиною скоби по ходу руху дорівнювала 0,3 м. Плуг повинен бути обладнаний вирівнювачем поверхні ґрунту для наступних проходів.

На запропоновану технологію вирощування саджанців плодкових культур на смугових грядках отримано патент на корисну модель України [11].

## **1.4 Результати досліджень**

### **1.4.1 Вплив показника структурності ґрунту в поверхневому шарі смугової гряди на стан розвитку живцевих підщеп плодкових культур**

Однією із означених проблем традиційних технологій вирощування є затримка розвитку живця (ступінь калюсоутворення, появи бруньок, пагонів

та корінців) між стадією «висадження живця» до стадії «вихід живця зі стану спокою», де з точки зору біфуркації спостерігається велика кількість випадів (мертвих рослин).

Для вирішення означеної проблеми запропоновано висаджувати підщепи у шар ґрунту з показником агрегатного стану  $K > 0,7$  (коефіцієнт структурності ґрунту  $K > 0,7$ ), що може бути забезпечений активними робочими органами фрези з вертикальною віссю обертання. Тому висунута гіпотези потребує перевірки, а отриманні дані стануть однією з передумов до обґрунтування параметрів робочих органів ґрунтообробної машини.

Мета досліджу – визначення впливу агрегатного стану ґрунту за показником структурності в поверхневому шарі смугової гряди на приживлюваність підщеп шляхом здійснення контролю за рослинами на певних стадіях їх розвитку.

Методика досліджу. Агрегатний склад ґрунту, згідно ДСТУ 4362 [12] є одним з агрофізичних показників, за яким може визначатися родючість ґрунту.

Значення показника агрегатного стану визначалося за шкалою оцінювання структурно-агрегатному стану ґрунту, за якою наявність агрегатів з розмірами від 0,25 мм до 10 мм більш 80% характеризує стан ґрунту як «відмінний». Такі агрегати називаються мезоагрегатами і відносяться до середньої фракції  $m_{II}$ . Агрегати більш 10 мм є макроагрегатами і відносяться до крупної фракції  $m_{III}$ . Агрегати, розмір яких менше за 0,25 мм відносяться до мікроагрегатів – фракція  $m_I$ .

У нормованому вигляді коефіцієнт структурності визначається за шкалою від 0 до 1 за формулою:

$$K_C = \frac{m_{II}}{m_I + m_{II} + m_{III}}, \quad (1.1)$$

де  $m_I$  – маса ґрунту фракції менш 0,25 мм;

$m_{II}$  – маса ґрунту фракції у діапазоні від 0,25 мм до 10 мм;

$m_{III}$  – маса ґрунту фракції більше 10 мм.

Для дослідження були створені три варіанти гряд у трьох повторностях (відповідно до рис.1.5) із структурно-агрегатним станом ґрунту, створеним ситовим методом згідно ГОСТ 12536 [13]:

1 варіант – показник агрегатного стану  $K=0,4$ ;

2 варіант – показник агрегатного стану  $K=0,6$ ;

3 варіант – показник агрегатного стану  $K=0,8$ .

Глибина поверхневого шару ґрунту у гряді, який забирався для сепарування складала 20 см. Довжина гряди – 4 м.

Висаджували підщепи – живці ВСЛ-2, отримані методом задеревенілого живцювання. Схема садіння 140x70x8 см (рис.1.5). Висаджували живці у третій декаді жовтня вручну, під шаблон із відстанню між рослинами 8 см на глибину до 10-12 см. В кожному варіанті розміщувалося 100 рослин (по 50 рослин в кожному рядку).

Вологість ґрунту у шарі 0-20 становила 18,5%, твердість – 0,67 МПа.

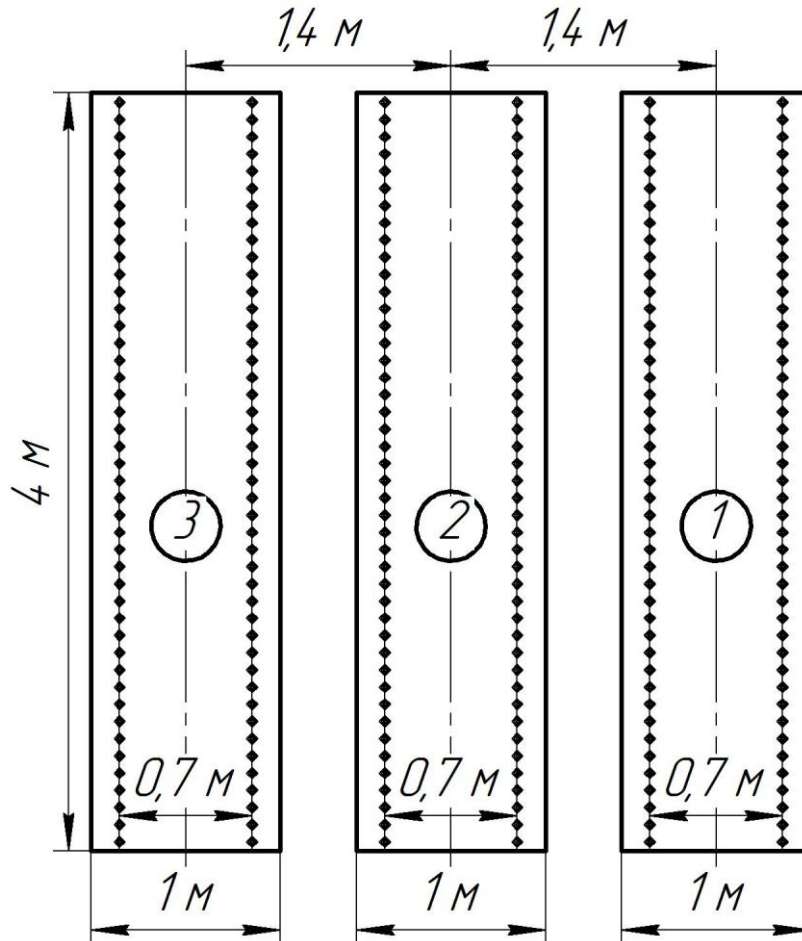


Рис.1.5. Схема закладання дослідів.

Спостереження здійснювалося для визначення стану розвитку живця, зокрема наявності калюсу на п'яточній частині, наявності бруньок, ступеню розвитку пагонів та їх розміру, діаметру живця.

Спостереження здійснювалися у двох контрольних точках:

точка № 1 – стадія утворення калюсу та бруньок;

точка № 2 – стадія утворення калюсу, бруньок, розвиток пагонів.

У кожній повторності окремого варіанта, виймалося з ґрунту кожна п'ята рослина з рядку. Таким чином, у кожному варіанті виймалося 60 рослин,

Дані заносилися в журнал спостережень.

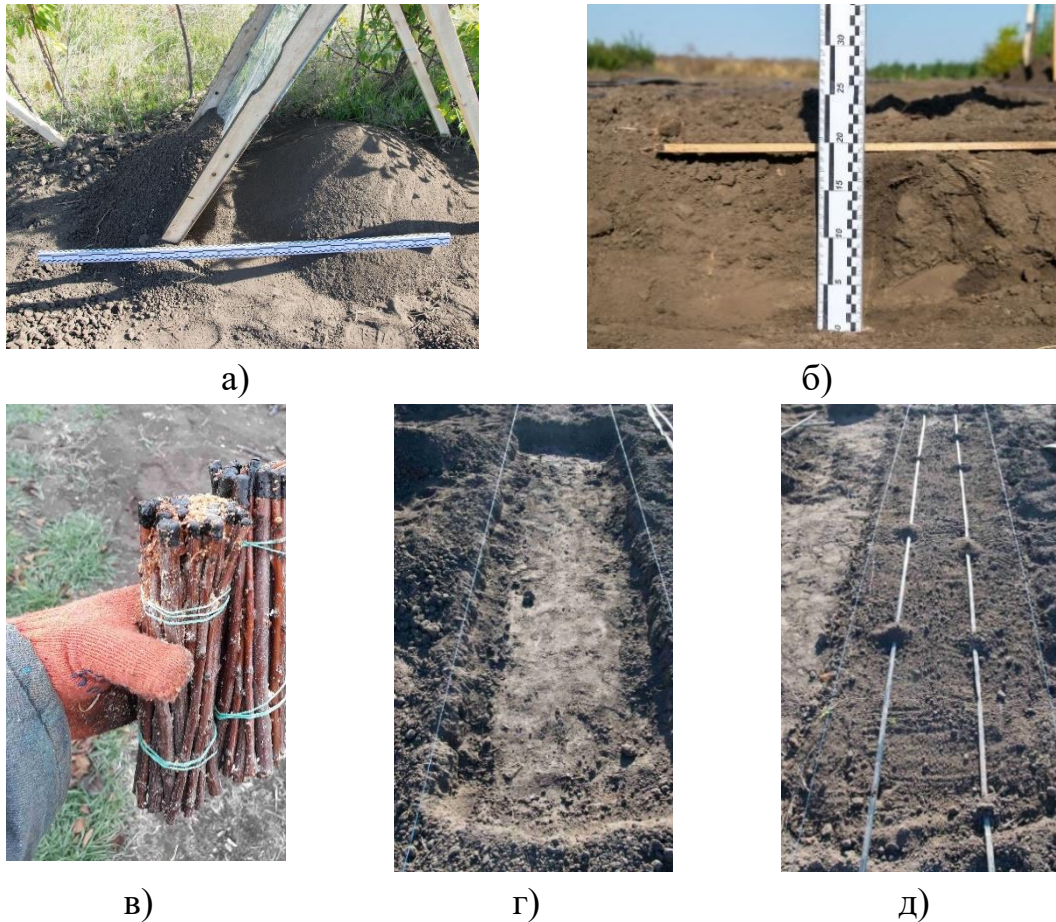


Рис.1.6. Ілюстрації до процесу закладання досліду: а) процес сепарування ґрунту; б) визначення глибина поверхневого шару; в) загальний вигляд живців; г,д) загальний вигляд гряди.

Результати дослід. За результатами обстеження живців, висаджених на смугових грядках із штучно створеним показником агрегатного стану ґрунту в варіантах  $K=0,4$ ;  $K=0,6$ ;  $K=0,8$  у двох «контрольних» точках отримано дані, які узагальнено і наведено у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Стан розвитку живців залежно від структурності ґрунту у варіантах дослід.

Стан розвитку рослини	Варіант 1, $K=0,4$	Варіант 2, $K=0,6$	Варіант 3, $K=0,8$
Не прижилися	28	12	5
Наявність калюсу	42	43	50
Наявність бруньок	90	93	100
Наявність пагонів	35	72	75
Наявність корінців	28	46	53

За результатами даних таблиці 1 побудовано діаграму стану розвитку живців залежно від показника агрегатного стану ґрунту, яку наведено на рисунку 1.7.

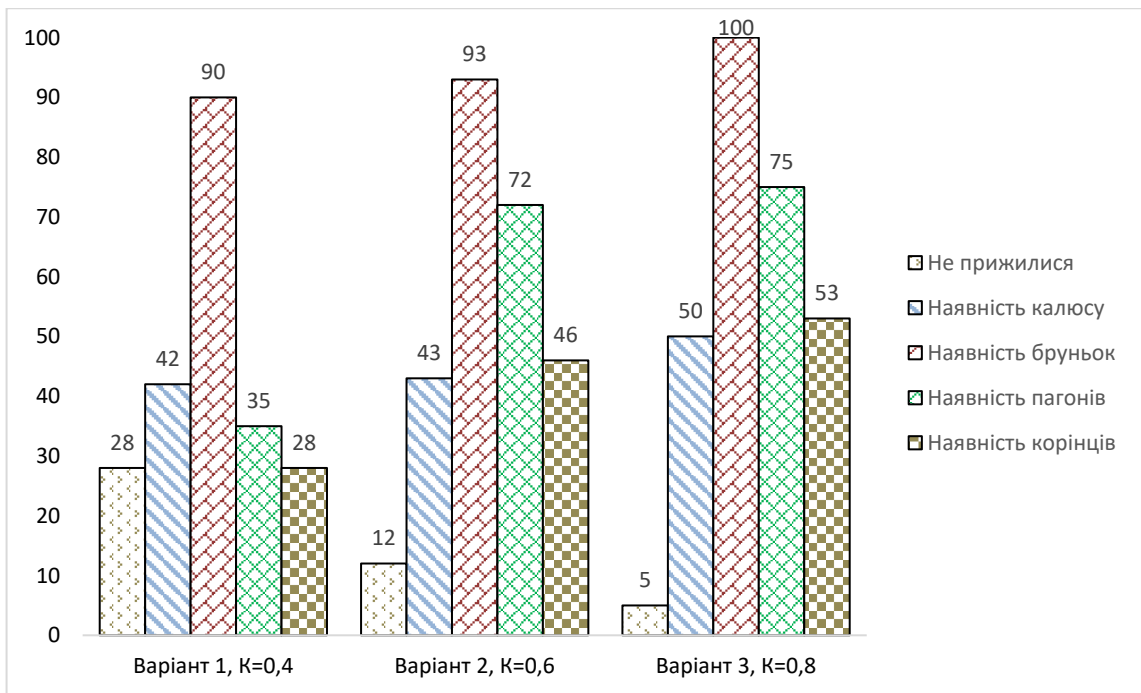


Рис.1.7. Діаграма стану розвитку живців залежно від показника агрегатного стану ґрунту.

Проаналізував дані таблиці та діаграми розвитку, наведеної на рисунку 4 можна зробити висновок про позитивну динаміку за всіма показниками розвитку рослин із поліпшенням структурно-агрегатного стану верхнього шару смугової гряди.



Рис.1.8. Загальний вигляд живців у контрольній точці №2.

Так, на гряді із показником агрегатного стану  $K=0,4$  зафіксовано надвелику кількість «випадів» (28%) пов'язаних із загибеллю рослин. В той же час, у варіантах із коефіцієнтом  $K=0,6$  та  $K=0,8$  цей показник становить 12% та 5% відповідно.

Щодо наявності калюсу на п'яточній частини живця – тут теж позитивні результати у сторону поліпшення структурності ґрунту. При цьому, живці, які мали достатньо широке кільце калюсу водночас мали і бруньки, а також, щонайменше по одному пагону.

Також, у варіантах з показником агрегатного стану  $K=0,6$  та  $K=0,8$  зафіксовано підвищений відсоток живців, які мали корінці. Таких було 46% та 56% відповідно, порівняно із 28% живців з корінцями, що вирощувалися на гряді із показником агрегатного стану  $K=0,4$ .

Таким чином, можна зробити висновок про те, що найкращі показники розвитку живців на стадіях формування кореневої системи та пагонів забезпечується при садінні живців на смугову грядку із показником агрегатного стану  $K=0,8$ .

#### **1.4.2 Геометричне моделювання напрямної поверхні долота робочого органу чизельного знаряддя**

Застосування чизельних знарядь для обробітку ґрунту отримує все більш широке поширення. При цьому, з метою зниження тягового опору знарядь значну увагу приділяють проведенню досліджень з визначення оптимальних геометричних параметрів форми долота [14]. Значну увагу дослідники приділяють вивченню впливу різних форм доліт на зниження тягового опору чизельних знарядь [15,16]. Дослідження щодо визначення раціональних форм доліт, а також робочих органів, у яких відбувається рух ґрунту по поверхням з криволінійними напрямними наведені в роботах [17,18]. Однак, досліджень взаємодії долота з ґрунтом із застосуванням геометричного моделювання проведено недостатньо, що, стримує розвиток конструкцій знарядь даного типу і, як наслідок, ефективність їх застосування.

**Мета дослідження.** Визначити функціонал форми напрямної поверхні долота робочого органу чизельного знаряддя за критерієм мінімізації відносної швидкості частки ґрунту наприкінці його переміщення по поверхні долота.

Серед геометричних параметрів долота робочого органу чизельного знаряддя, які впливають на його тяговий опір, вагоме значення припадає на напрямну поверхні долота. Чизельні знаряддя призначені для обробітку ґрунту з метою зменшення його щільності ґрунту без забезпечення відповідної структури. Тобто, основну деформацію пласта ґрунту здійснює

носок долота, а для зниження тягового опору знаряддя бажано щоб деформація пласта знижувалась до мінімуму на рівні «денної» поверхні поля (рис. 1.9).

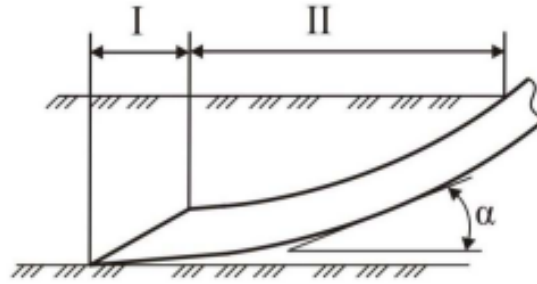


Рис. 1.9. Долото робочого органу чизельного знаряддя: I - різання ґрунту, II - рух ґрунту по поверхні долота,  $\alpha$  - кут встановлення долота

Взаємодія долота з ґрунтом має такі фази: I - різання ґрунту, II - рух ґрунту по поверхні

З наведеного виходить, що задача оптимізації параметрів форми долота полягає у визначенні такої форми напрямної його поверхні, яка забезпечувала б зменшення початкового значення відносної швидкості частки ґрунту до мінімального, наприкінці її переміщення по поверхні. Тому за критерій оптимізації напрямної поверхні прийнято кінцеву швидкість руху частки ґрунту по долоту.

Припущення: знехтуємо силами внутрішньої взаємодії ґрунтових агрегатів та будемо вважати, що рух ґрунту гальмується внаслідок сил тертя тільки по поверхні долота, а сила тертя прямо пропорційна силі її реакції. Нехай параметри напрямної  $L$  поверхні долота, коефіцієнт тертя частки ґрунту по поверхні  $\mu$  і початкова швидкість її руху  $v_0$ , описується у декартових координатах рівнянням  $y = y(x)$  при  $0 \leq x \leq h_x$  (рис.1.10).

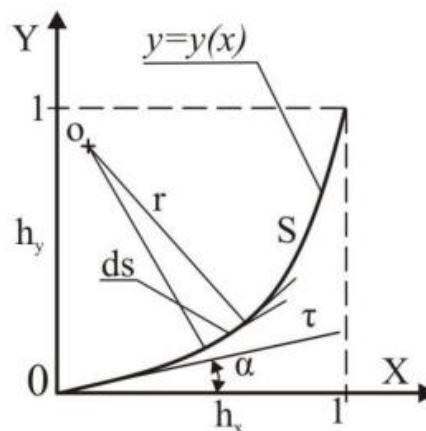


Рис.1.10. Схема параметрів положення напрямної  $S$  в системі декартових координат  $Y0X$ :  $r$  - миттєвий радіус кривизни;  $ds$  - елементарна довжина дуги;  $\tau$  - дотична;  $\alpha$  - кут нахилу дотичної

Швидкість частки ґрунту у кінцевій точці  $(h_x, y(h_x))$  фактично є функціоналом від аргументу  $y(x)$ . Знайдемо аналітичний вираз цього функціоналу.

При відомій функції  $y(x)$  кінцева швидкість частки ґрунту є функцією довжини дуги  $s$ , пройденої вздовж напрямної  $S$  поверхні долота. Введемо рухому систему координат, направивши вісь  $0x'$  вздовж миттєвого напрямку швидкості руху  $v_0$  частки ґрунту, а вісь  $0y'$  - вздовж напрямку сили нормальної реакції поверхні  $N$  (рис. 1.11).

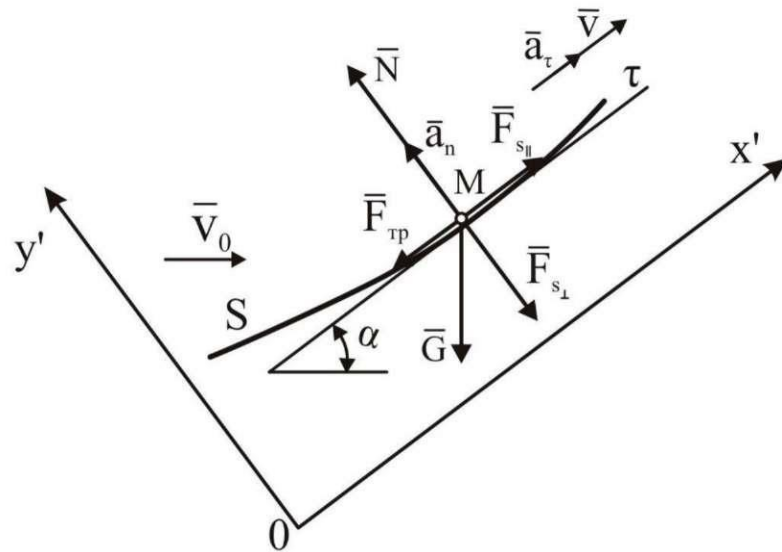


Рис. 1.11. Схема сил діючих на частку ґрунту в рухомій системі координат  $y'Ox'$ .

Прискорення  $a$  частки ґрунту  $M$  викликане дією сили  $F$  (в подальшому сила опору  $F_s$ ), яка прямо пропорційна силі тертя  $F_{mp}$  і силі нормальної реакції поверхні  $N$ , сприяє виникненню відцентрового прискорення частки ґрунту  $a_n$  (рис. 1.11). Тоді маємо рівняння:

$$\frac{dv}{ds} = \frac{dv}{dt} \left[ \frac{ds}{dt} \right]^{-1} = \frac{a}{v} = \frac{1}{v} \frac{F}{m} = \frac{1}{v} \left( -\mu \frac{mv^2}{r} \right) = -\mu \frac{v}{r}, \quad (1.2)$$

де  $v$  – миттєва швидкість руху частки ґрунту;  $F_{mp}$  – сила тертя, яка дорівнює  $F_{mp} = N \cdot \mu$  (де  $N$  – нормальна реакція поверхні,  $\mu$  – коефіцієнт зовнішнього тертя ґрунту);  $m$  – маса частки ґрунту, яку будемо вважати еквівалентною сили тяжіння  $G = m \cdot g$ ;  $r$  – миттєвий радіус кривини.

Розділивши у рівнянні (1.2) змінні та врахувавши початкові умови, матимемо задачу Коші:

$$\frac{dv}{v} = -\mu \frac{ds}{r} v(0) = v. \quad (1.3)$$

Після інтегрування рівняння (1.3) маємо

$$\ln|v| = -\mu \int_0^x \frac{ds}{r} + C, \quad (1.4)$$

тобто, загальний розв'язок можна записати у вигляді:

$$v = C_1 e^{-\mu \int_0^x \frac{ds}{r}}. \quad (1.5)$$

Після накладення на розв'язок умови Коші отримаємо наступний частинний розв'язок:

$$v = v_0 e^{-\mu \int_0^x \frac{ds}{r}}. \quad (1.6)$$

Значення миттєвої швидкості наприкінці переміщення частки ґрунту по поверхні напрямній:

$$v_k = v_0 e^{-\mu \int_0^x \frac{ds}{r}}. \quad (1.7)$$

тобто, задача мінімізації кінцевої миттєвої швидкості  $v_k$  еквівалента задачі максимізації інтегралу  $\int_0^x \frac{ds}{r}$

Розглянемо геометричний зміст цього інтегралу (рис. 1.10).

Підінтегральний вираз являє собою кут, який з центру кривизни вказує елементарну дугу на напрямній. Так як цей кут дорівнює куту, на який повернулася дотична, то інтеграл взагалі дорівнює різниці кутів нахилу дотичної до осі  $OX$  на початку та наприкінці переміщення частки ґрунту. Тому кінцева швидкість буде дорівнювати:

$$v_k = v_0 e^{-\mu \int_0^x \frac{ds}{r}} = v_0 e^{\arctg y'(0) - \arctg y'(h_x)}. \quad (1.8)$$

Чим більша ця різниця, тим більше інтеграл. Найбільша різниця серед кривих, що задовольняють умовам (1.3), виконується для тих кривих, у яких початкове положення дотичної горизонтальне, а кінцеве - вертикальне (чверть кола або еліпсу).

Вважатимемо, що окрім сили тертя об поверхню долота, незалежної від швидкості руху, на частку ґрунту діє сила опору, яка пропорційна швидкості руху частки ґрунту відносно шару ґрунту:

$$F_s = kv. \quad (1.9)$$

де  $v$  – відносна швидкість;  $k$  – коефіцієнт пропорційності.

Виведемо рівняння руху частки ґрунту, розклавши силу опору  $F_s$  на дві складові:  $F_{s\parallel}$  та  $F_{s\perp}$  (рис.1.11).

Запишемо рівняння другого закону Ньютона в проекції на обидві вісі:

$$\begin{aligned} 0x' : -F_{mp} + F_{s\parallel} &= ma_r; \\ 0y' : N - F_{s\perp} &= ma_n. \end{aligned} \quad (1.10)$$

Складові  $F_{s\parallel}$  та  $F_{s\perp}$  можна визначити, якщо розкласти відносну швидкість на два відповідні складові вздовж вісі  $0x'$  та  $0y'$  –  $v_{\parallel}$  та  $v_{\perp}$ . Це можна зробити, так як сила опору колінеарна вектору швидкості та модуль цієї сили пропорційний модулю швидкості.

Врахуємо, що відносні швидкості  $v_{\parallel}$  та  $v_{\perp}$  (рис. 1.11) дорівнюють:

$$v_{\parallel} = v_0 \cos \alpha - v, \quad v_{\perp} = v_0 \sin \alpha. .$$

Тоді маємо систему рівнянь:

$$\begin{cases} -F_{mp} + F_{s\parallel} = ma_r \\ N - F_{s\perp} = ma_n \\ F_{mp} = \mu N \\ F_{s\perp} = kv_0 \sin \alpha \\ F_{s\parallel} = k(v_0 \cos \alpha - v) \end{cases} \quad (1.11)$$

Сили, що входять до цієї системи, є залежними від миттєвої швидкості руху  $v$ . Виразимо цю систему рівнянь через  $v$ .

Як відомо,  $a_0 = \frac{v^2}{r}$ , де  $r$  – радіус кривизни напрямної у даній точці,

$v$  – модуль вектора швидкості.

Перетворимо систему (1.11).

Друге рівняння:  $N - F_{s\perp} = ma_n$ , а третє та четверте рівнянь

$$F_{mp} = \mu(F_{s\perp} + ma_n) = \mu \left( kv_0 \sin \alpha + \frac{mv^2}{r} \right).$$

Взявши до уваги, що  $a_r = \frac{k}{m}$  маємо

$$mv' = k\tilde{v}_0 \cos \alpha - kv - \mu \left( kv_0 \sin \alpha + \frac{mv^2}{r} \right). \quad (1.12)$$

Прийнявши  $k\tilde{v} = \frac{k}{m}$  маємо:

$$v' = k\tilde{v}_0 (\cos \alpha - \mu \sin \alpha) - k\tilde{v} - \frac{\mu}{r} v^2. \quad (1.13)$$

Від змінної  $t$  (час) перейдемо до змінної  $s$ :

$$\frac{dv}{ds} = \frac{dv}{dt} \left[ \frac{ds}{dt} \right]^{-1} = \frac{k\tilde{v}_0 (\cos \alpha - \mu \sin \alpha)}{v} - k\tilde{\mu} \frac{v}{r}. \quad (1.14)$$

Це рівняння перетворимо вважаючи, що рівняння кривої, яка визначає форму напрямної  $S$ , можна подати у явному вигляді  $y=y(x)$ , прийнявши у якості незалежної змінної  $x$ .

Тоді з рівності  $y' = tg \alpha$  маємо:

$$\begin{aligned} \cos \alpha &= \frac{1}{\sqrt{1 + tg^2 \alpha}} = \frac{1}{\sqrt{1 + y'^2}}; \\ \sin \alpha &= tg \alpha \cdot \cos \alpha = \frac{y'}{\sqrt{1 + y'^2}}. \end{aligned} \quad (1.15)$$

Перетворимо похідну:

$$\frac{dv}{dx} = \frac{dv}{ds} \cdot \frac{ds}{dx} = \frac{dv}{ds} \sqrt{1 + y'^2}. \quad (1.16)$$

Рівняння (1.15) після підстановки у нього (1.16), та радіусу кривини (1.17):

$$r = \frac{\left( \sqrt{1 + y'^2} \right)^{\frac{3}{2}}}{\sqrt{1 + y''}}. \quad (1.17)$$

приймає вигляд:

$$\begin{aligned} \frac{dv}{dx} &= \frac{k\tilde{v}_0}{v} \left( \frac{1}{\sqrt{1 + y'^2}} - \mu \frac{y'}{\sqrt{1 + y'^2}} \right) \sqrt{1 + y'^2} - \\ &- k\tilde{\mu} \sqrt{1 + y'^2} - \frac{\mu y''}{\sqrt{1 + y'^2}^{\frac{3}{2}}} v \sqrt{1 + y'^2}. \end{aligned} \quad (1.18)$$

Після спрощення маємо:

$$\frac{dv}{dx} = \frac{k^{\sim} v_0}{v} - (1 - \mu y') - k^{\sim} \sqrt{1 + y'^2} - \frac{\mu y''}{1 + y'^2} v. \quad (1.19)$$

Якщо замість функції та аргументу підставити змінні, більші за вихідні у  $n$  разів, то рівняння (1.19) не зміниться. Це дає підставу вважати криву, визначеною на проміжку  $(0;1)$  зі значенням  $h_y / h_x$  (рис. 1.10).

Таким чином задачу пошуку оптимальної форми напрямної  $S$  сформулюємо так: знайти функцію  $y(x)$ , визначену та принаймні двічі диференційовану на проміжку  $(0;1)$  з невід'ємними похідними та обмеженням  $y(x) \leq h_y / h_x$ , яка давала би мінімальне значення функціоналу

$$J(y(x)) = \left\{ \begin{array}{l} v(\min(1, x^*)) : \frac{dv}{dx} = \frac{k^{\sim} v_0}{v} (1 - \mu y') - \\ - k^{\sim} \sqrt{1 + y'^2} - \frac{\mu y''}{\sqrt{1 + y'^2}} v, v(0) \end{array} \right\}, \quad (1.20)$$

де  $x^*$  - абсциса точки де швидкість руху частки ґрунту дорівнює нулю, тобто  $v(x^*) = 0$ .

### 1.4.3 Обґрунтування конструктивно-технологічної схеми глибокорозпушувача для створення контуру смугової гряди.

Проведеним порівняльним аналізом конструкцій робочих органів для смугового обробітку ґрунту дослідженнями [19] визначено, що найбільш придатними для забезпечення якісного смугового обробітку є розпушувачі із відкритим контуром із нахиленими стійками.

Критерієм якості є ступінь розпушування  $\varepsilon$  з урахуванням рівняння щільності оброблюваного ґрунту:

$$\varepsilon = \frac{V_{<5}}{V}. \quad (1.21)$$

де  $V_{<5}$  – об'єм часток, розміром менше 5 см;

$V$  – загальний об'єм проби.

Таким чином об'ємний розпушувач із відкритим контуром (РОВК) є найбільш придатним для смугового обробітку ( $\varepsilon = 0,77$ ). Це означає, що саме такий тип робочого органу можна застосувати для створення контуру смугової гряди (рис.1.12).

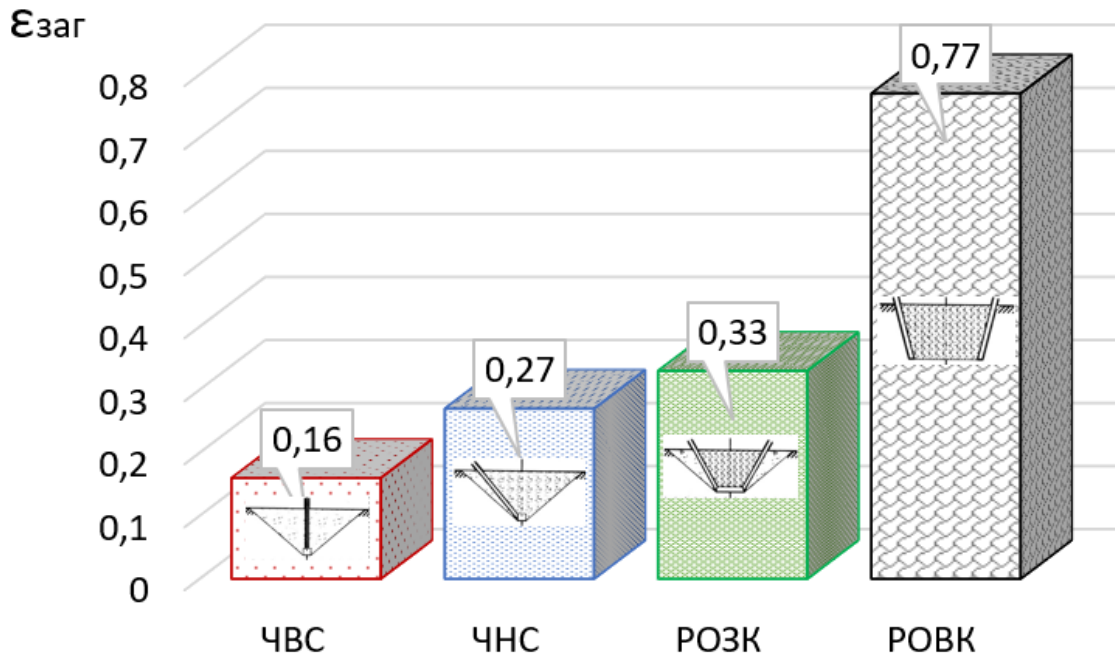


Рис.1.12. Придатність безполицевих робочих органів для смугового обробітку ґрунту: ЧВС – чизельна вертикальна стійка; ЧНС – чизельна нахилена стійка; РОЗК – робочий орган об'ємного типу із замкненим контуром; РОВК – робочий орган об'ємного типу з відкритим контуром.

При утворенні контуру смугової гряди у технології вирощування саджанців плодкових культур, окрім розпушення ґрунту у внутрішньому просторі необхідно забезпечити ущільнення нахиленої стінки контуру з метою створення умов для локалізації кореневої системи саджанця.

На основі проведеного аналізу літературних джерел [20-23] можна виділити основні параметри безполицевого робочого органу, адаптував їх до процесу заданої технології.

Так, до основних параметрів робочого органу, що впливатимуть на процес слід віднести:

- кут нахилу стійки у поперечно-вертикальній площині;
- кут нахилу стійки у повздовжньо-вертикальній площині,
- кут відхилення лемішу стійки відносно напрямку руху (кут атаки),
- глибину ходу робочого органу,
- швидкість руху.

На основі викладено, запропоновано конструктивно-технологічну схему глибокорозпушувача для створення контуру смугової гряди у технології вирощування саджанців плодкових культур на смугових грядках яку наведено на рисунку 1.13.

Глибокорозпушувач є начіпним знаряддям, що складається з рами 2, на якій встановлені два безполицевих робочих органу 3 із нахиленими стійками, які сумісно утворюють робочий орган об'ємного розпушення із відкритим контуром шириною 1 м. При цьому параметри робочого органу повинні забезпечувати не тільки розпушення ґрунту в зоні розміщення кореневої системи саджанця, а і створювати умови для локалізації кореневої системи саджанця за рахунок ущільнення нахиленої стійки контуру. Ущільнена стінка перешкоджатиме розгалуженні кореневої системи за межі контуру, обмеженого нахиленою стінкою з тим, щоб зменшити травмування кореневої системи під час викопування саджанців. Глибина ходу робочих органів регулюється шляхом зміни положення рами відносно опорних коліс 2.

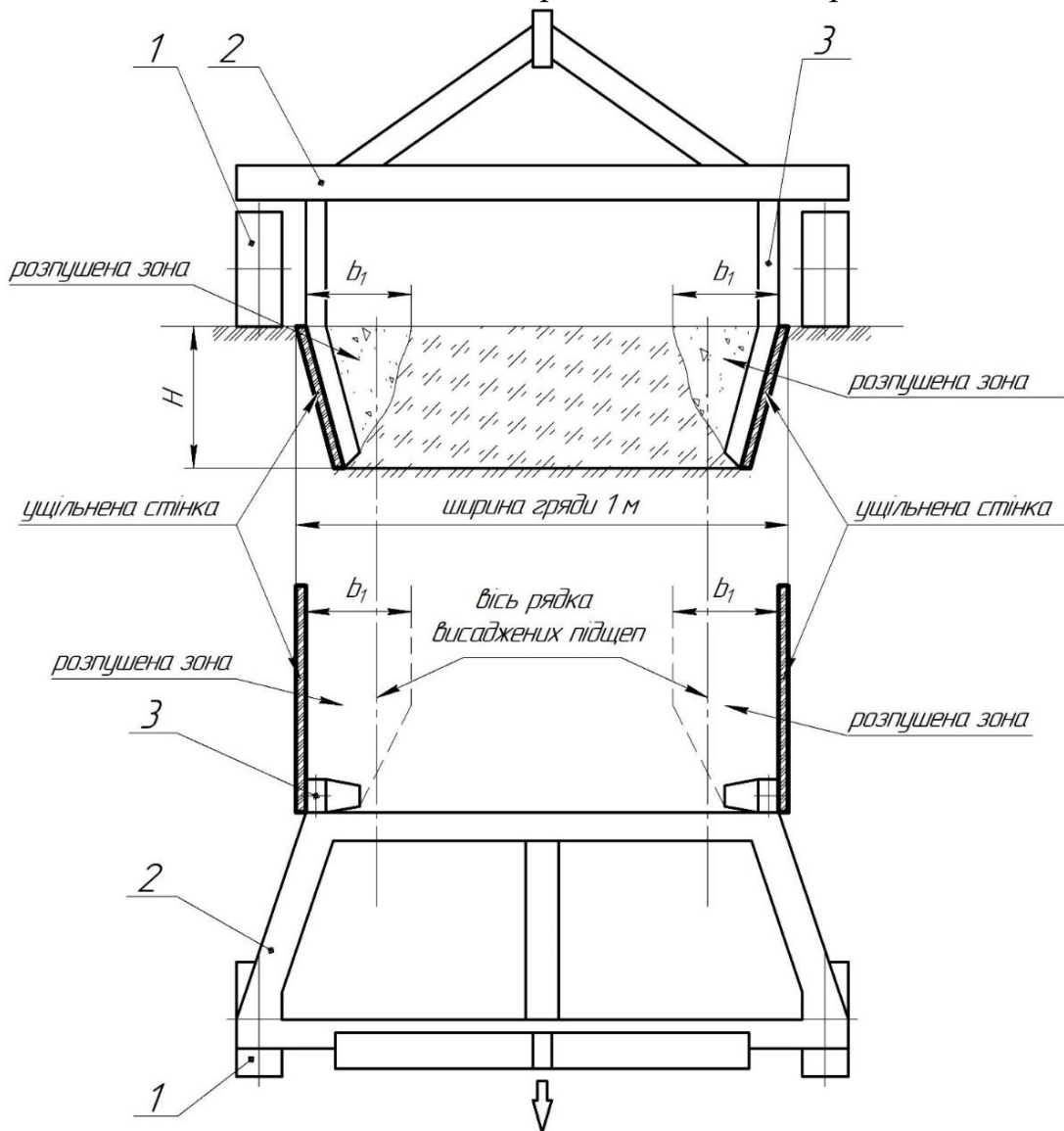


Рис.1.13. Конструктивно-технологічна схема глибокорозпушувача для створення контуру смугової гряди: 1 – колесо опорне; 2 – рама; 3 – робочий орган;  $H$  – глибина смугової гряди;  $b_1$  – ширина зони розпушення.

#### 1.4.4 Експериментальні дослідження процесу роботи макетного зразку робочого органу глибокорозпушувача

Мета дослідження – визначення впливу конструктивних параметрів робочого органу на загальну енергоємність процесу та ступінь розпушення та ущільнення ґрунту в межах контуру смугової гряди.

Дослід проводився у ґрунтовому каналі кафедри МСТСМ ТДАТУ. Загальна довжина каналу становить 25 м, ширина – 2,6 м.

З метою реалізації поставленого завдання було виготовлено робочий орган глибокорозпушувача (рис. 1.14), що складається з леміша 1 та стійки 2, закріплених на поворотному механізмі 3, який забезпечує зміну просторового положення леміша. Поверхня леміша є плоскою. Кут загострення леза 4 дорівнює  $30^\circ$ , а його товщина становить 8 мм.

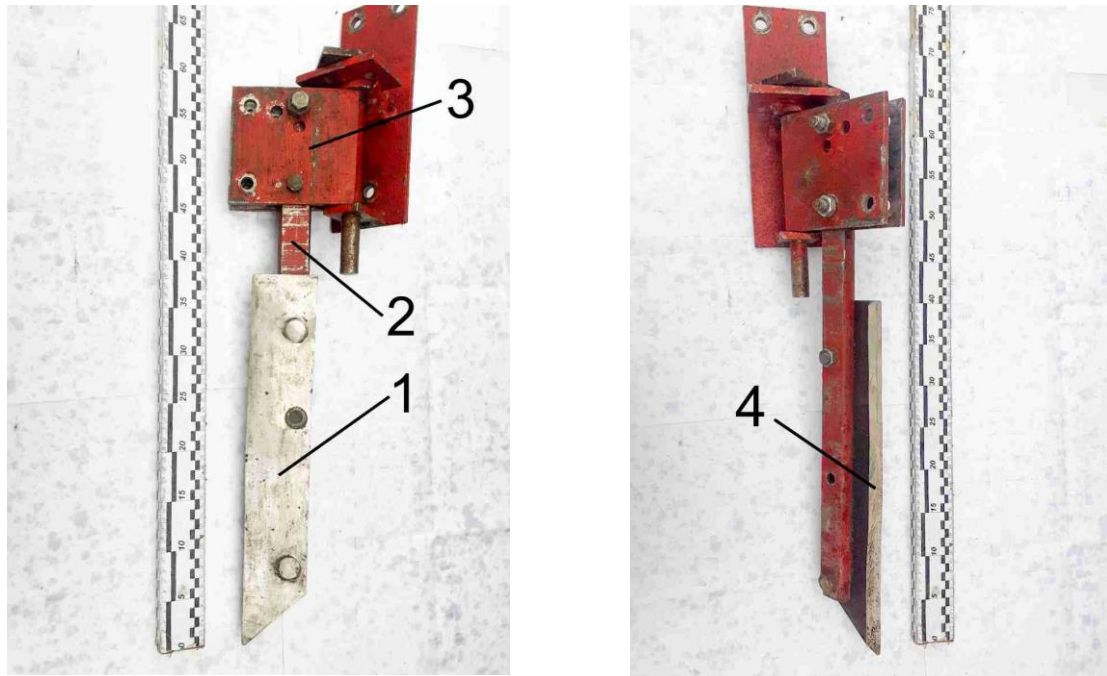


Рис. 1.14. Загальний вид макетного зразка робочого органу глибокорозпушувача: 1 – леміш; 2 - стійка; 3 – пристрій регулювальний; 4 – лезо.

Схему установки для проведення досліджень у ґрунтовому каналі наведено на рисунку 1.15.

За допомогою регулювального пристрою (рис. 1.16) у процесі проведення дослідів змінювались такі параметри розташування робочого органу в просторі:

кут  $\alpha$  між робочою площиною леміша та напрямком руху робочого органу (кут атаки) (рис.1.16, б);

кут  $\beta$  відхилення стійки із робочим органом у поперечно-вертикальній площині (рис.1,16, в).

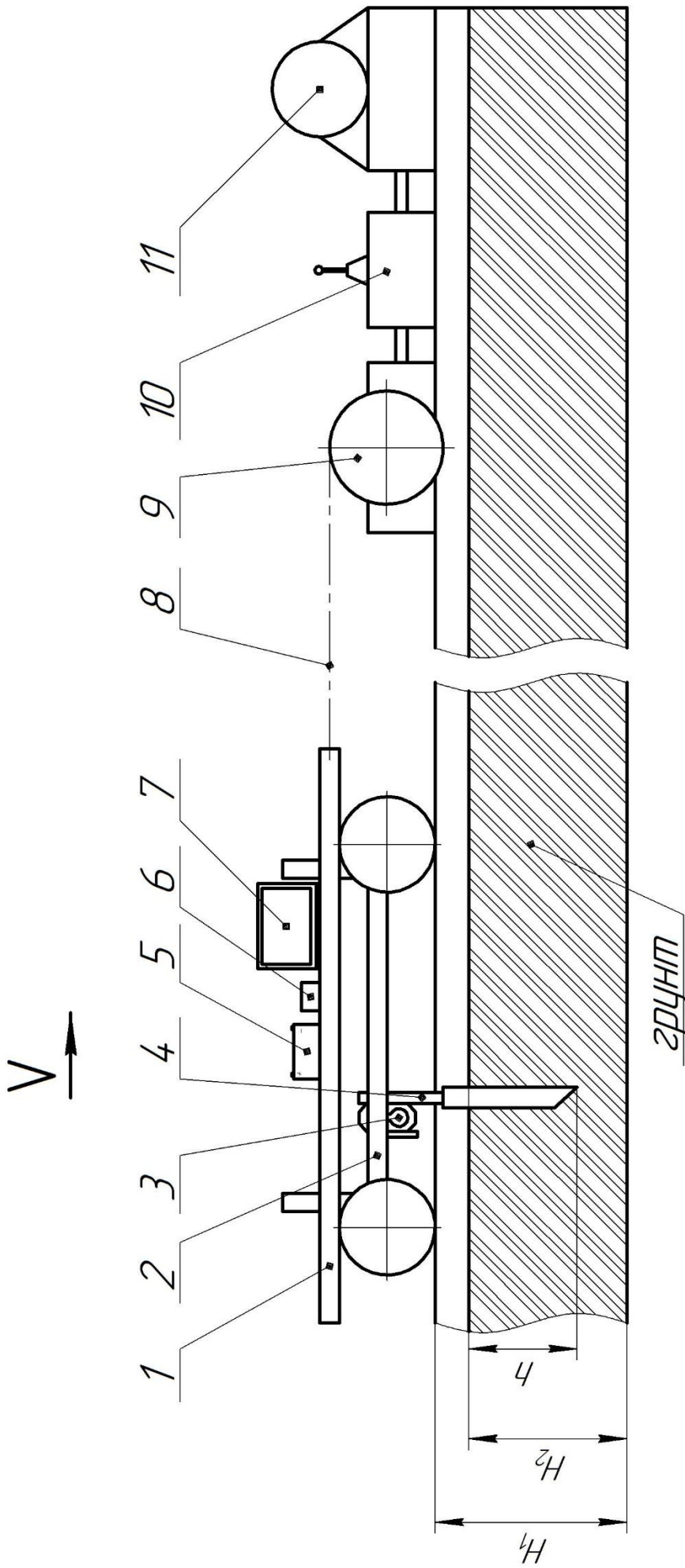


Рис. 1.15. Схема установки для проведения досліджень у ґрунтовому каналі.

1 – візок; 2 – рамка; 3 – тензоланка; 4 – робочий орган; 5 – джерело живлення 12V; 6 – АЦШ; 7 – ноутбук; 8 – гнучкий трос; 9 – барабан; 10 – коробка швидкостей; 11 – електродвигун.

$H_1$  – висота бічної стінки каналу;  $H_2$  – рівень заповнення каналу ґрунтом;  $h$  – глибина ходу робочого органу.

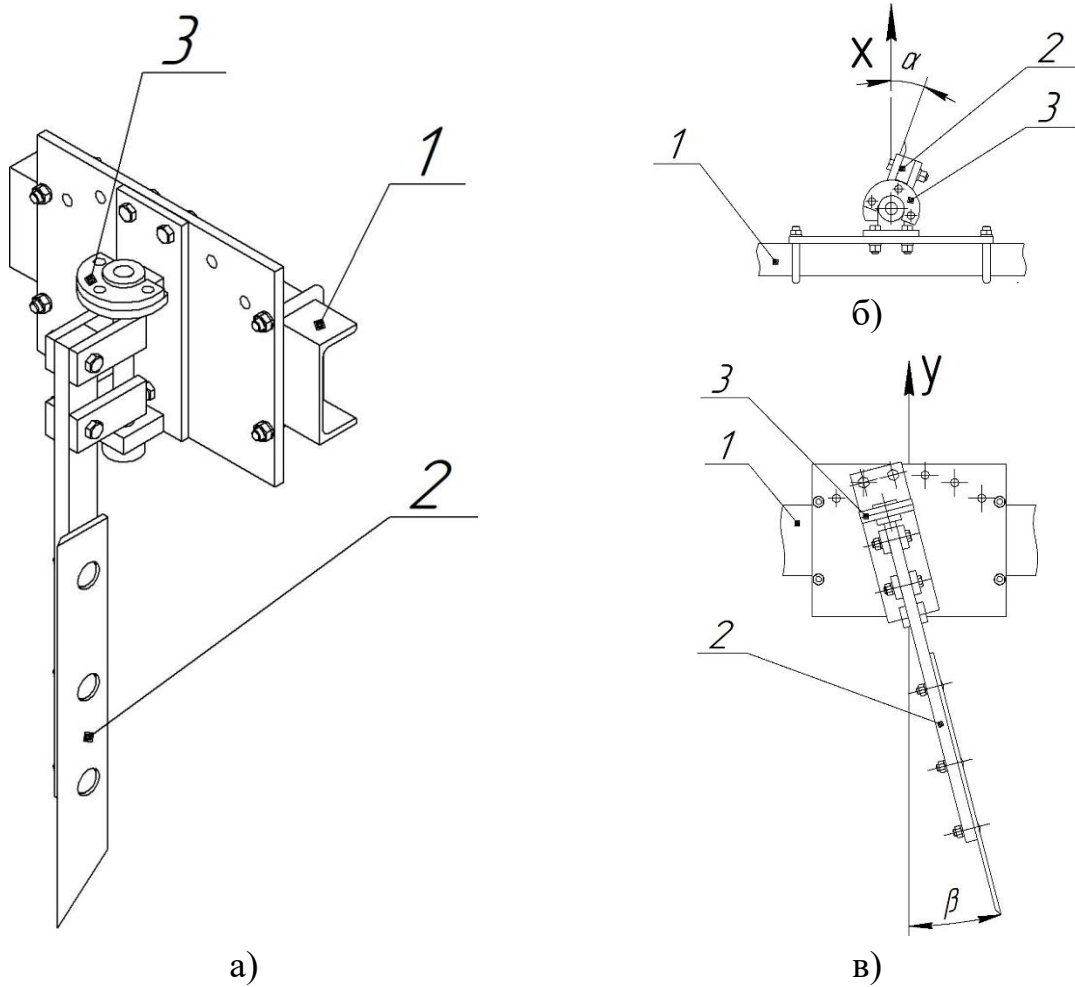


Рисунок 1.16. Параметри положення робочого органу, що змінювалися під час проведення досліджень у ґрунтовому каналі. а) модель робочого органу (тензоланка не показана); б) зміна кута  $\alpha$ ; в) зміна кута  $\beta$ : 1 – швелер рамки візка; 2 – робочий орган; 3 – пристрій регулювальний.

У таблиці 12 наведені межі варіювання параметрів робочого органу, що змінювалися під час проведення дослідів у ґрунтовому каналі.

Таблиця 1.2 – Межі варіювання змін параметрів робочого органу.

Позначення параметру	Одиниця вимірювання	Нижнє граничне значення	Верхнє граничне значення	Крок
Кут $\alpha$	град.	10	30	10
Кут $\beta$	град.	15	30	15

Дослідження проводилися при глибині ходу робочого органу  $h = 0,2$  м. Швидкість руху візка складала  $0,37$  м/с ( $1,3$  км/год).



Рисунок 1.17. Візок з робочим органом та обладнанням для досліджень.

В якості критеріїв оцінки (факторів) процесу прийнято:

- середнє значення тягового опору,  $H$ ;
- щільність ґрунту в межах контуру смугової гряди,  $g/cm^3$ ;
- ширина зони розпушення ґрунту, що піднімався на денну поверхню.

Щодо щільності ґрунту в межах контуру смугової гряди, слід пояснити наступне. Розглянемо поперечний переріз ґрунту (смугової гряди) після проходження досліджуваного робочого органу (рис.1.18), який є розпушувачем із поставленим під кутом атаки  $\alpha$  лемішем та стійкою, нахиленою під кутом  $\beta$  у поперечно-вертикальній площині, яка фактично окреслюватиме форму граничного контуру смугової гряди.

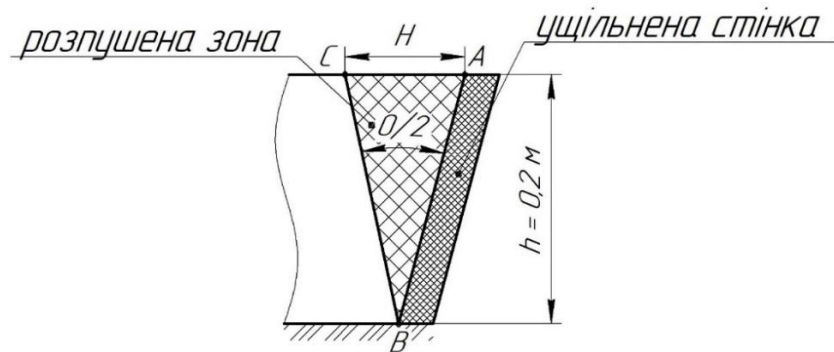


Рисунок 1.18. До визначення щільності ґрунту у контурі смугової гряди.

Стінка контуру на відрізку  $AB$ , що знаходиться справа по ходу руху буде ущільнюватися. Назвемо її «ущільнена стінка», а щільність цього шару позначимо  $\rho_y$ . В той же час, із лівої сторони по ходу руху розпушувача утворюватиметься розпушений шар ґрунту певного об'єму, гранична межа якого обмежуватиметься відрізком  $BC$ , розташованим під кутом  $\theta/2$

зовнішнього тертя ґрунту. Об'єм ґрунту, що знаходиться у межах трикутника  $ABC$  вважатимемо «розпушеною зоною», а щільність ґрунту у цій зоні позначимо  $\rho_p$ .

Так як метою дослідження, окрім забезпечення ущільнення стінки контуру смугової гряди глибокорозпушувачем є поліпшення загального агротехнічного стану в межах внутрішньої частини гряди, визначатимемо як ступінь ущільнення  $\rho_y$ , так і ступінь розпушення ґрунту  $\rho_p$  після проходу робочого органу глибокорозпушувача.

Для визначення граничної зони розпушення ґрунту, що піднімався на поверхню ґрунту на відріжку  $AC$  шириною  $H$  проводилася відеозйомка процесу з наступним покадровим аналізом процесу.

Щільність ґрунту вимірювалася згідно ГОСТ 20915-75 [35].



Рисунок 1.19. Взяття проби ґрунту для вимірювання щільності.

При проведенні досліджень визнався стан ґрунту за показниками вологості та твердості. Вологість ґрунту визначалася термостатно-ваговим способом [36,37], твердість ґрунту за методиками [35] твердоміром Ревякіна №224. Результати заносилися до журналу.

Для визначення тягового опору використовувалась подовжена кільцева октагональна тензоланка. Вона має високі властивості, і в той же час низький взаємовплив тензодатчиків, наклеєних на неї і з'єднаних за мостовою схемою. Тензоланка має визначені пропорційні розміри, дозволяє здійснювати необхідні заміри силових параметрів робочого органу

площинним способом, визначивши окремо складові вертикальної ( $F_y$ ) і горизонтальної ( $F_x$ ) діючих сил, а також моменту цих сил в горизонтальній площині щодо точки кріплення ( $M_x$ ). Для цього на тензоланці наклеєно 12 тензорезисторів (опір провідника 200 Ом), які утворюють 3 тензодатчики (тензомости).

З метою забезпечення можливості здійснити градування у двох площинах розроблено і виготовлено стенд для тарування кільцевих октагональних тензоланок (рис.1,20). Стенд забезпечує можливість тарування кільцевої октагональної тензоланки разом із досліджувальним робочим органом у двох площинах (повздожньо-вертикальній та повздожньо-горизонтальній) на одному стенді без застосування додаткових монтажних пристосувань. На конструкцію та принцип роботи тарувального стенду отримано патент України на корисну модель. [24].

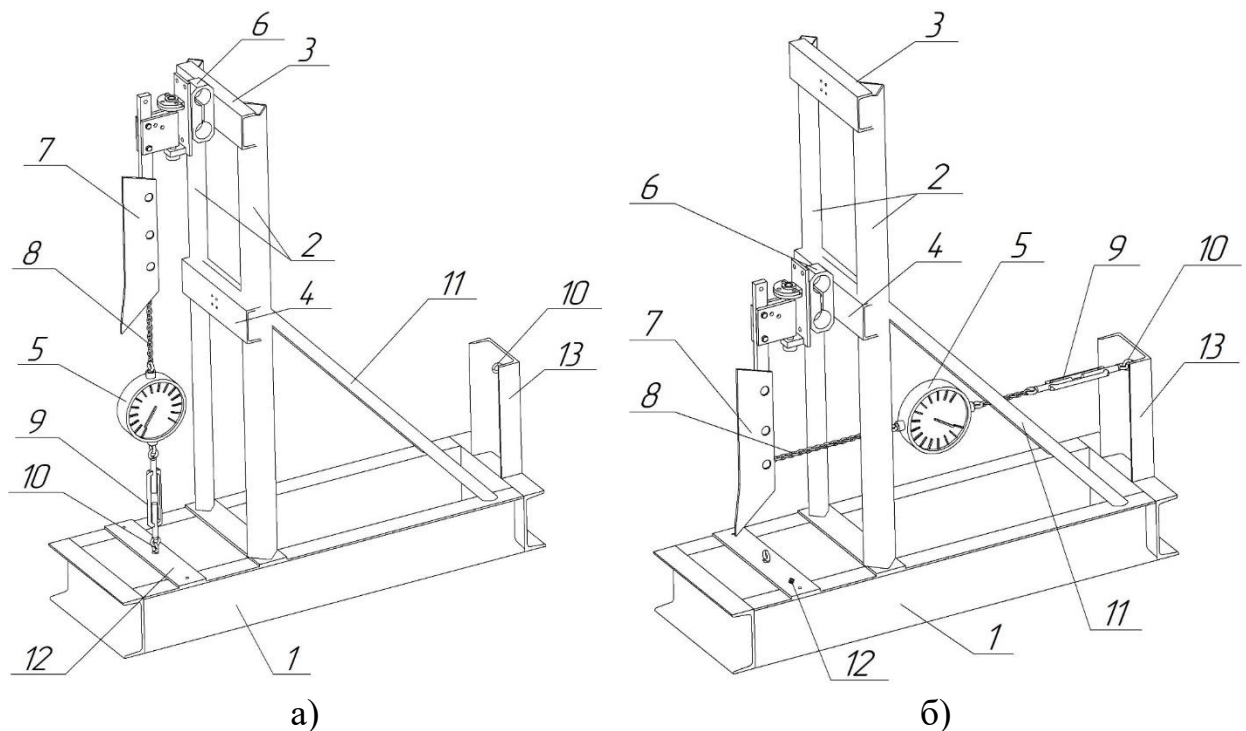


Рис.1.20. Стенд для тарування тензоланок: а) схема тарування тензоланки у вертикальній площині, б) схема тарування тензоланки у горизонтальній площині.

При проведенні тензометрування реєструючими приладами були аналого-цифровий перетворювач АЦП.ТЕНЗО-002.001.00 (рис.1.21), який передавав сигнали на спеціальне програмне забезпечення «adctensopcsuite.exe.» для обробки та запису даних на комп'ютері. Обробка результатів проводилась за допомогою програмного забезпечення GNU Octave.



Рис.1.21. Аналого-цифровий перетворювач.

Результати тарування тензоланки наведено на рисунках 1.22-1.23.

Коефіцієнт детермінації для результатів тарування, як при навантаженні, так і розвантаженні ланки становить більше ніж 0,99, що свідчить про наявність залежності та її коректності. Гістерезис складає не більше 0,5%. За отриманими коефіцієнтами можна з достатньою точністю здійснювати переведення кодів АЦП у дійсне значення тягового опору при проведенні досліджень.

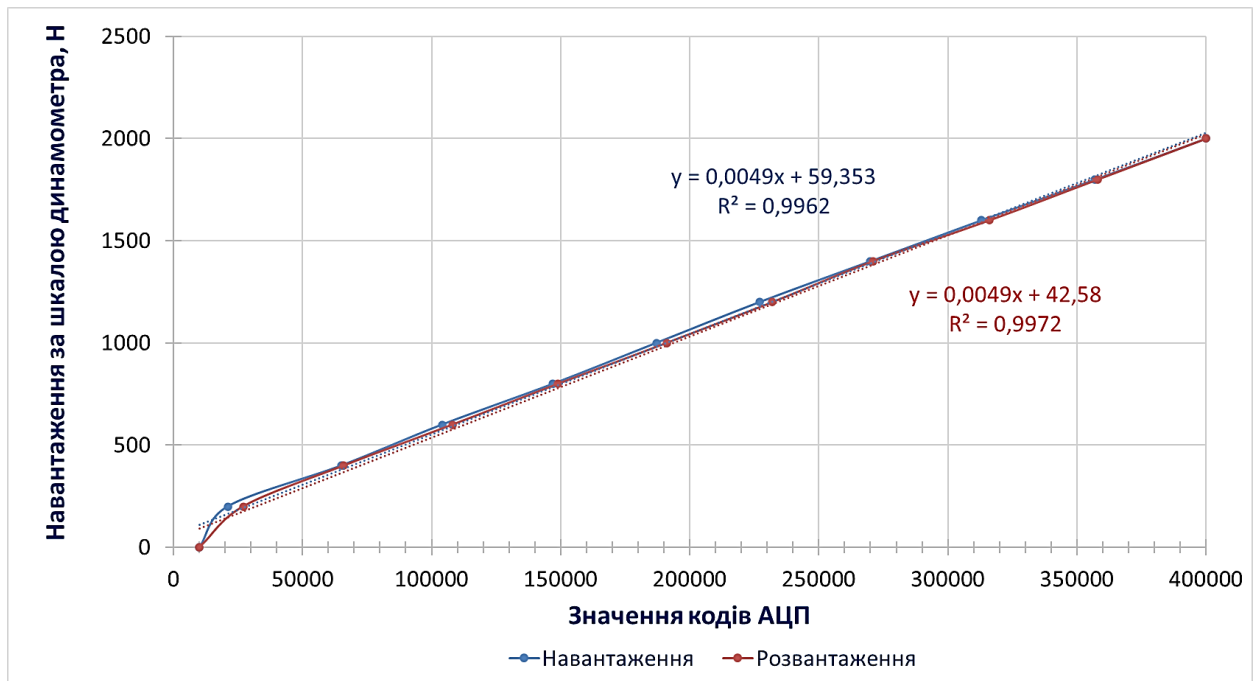


Рис.1.22. Результати тарування тензоланки у площині  $F_x$ .

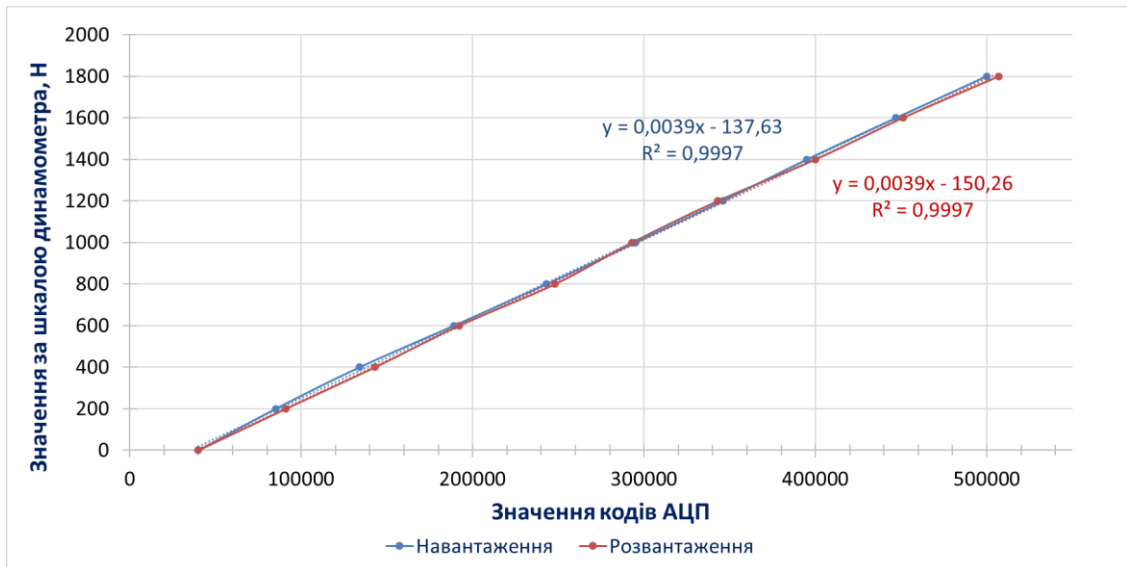


Рис. 1.23. Результати тарування тензоланки у площині  $F_y$ .

Інформація про фізичний стан ґрунту наведено у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Фізичний стан ґрунту в ґрунтовому каналі в горизонтах приведений у таблиці 1.3.

Показники	Шари ґрунту, см	
	0-10	10-20
Вологість ґрунту – W, %	18,4	18,9
Твердість ґрунту, МПа	0,63	0,75

На основі проведених дослідів побудовані залежності оціночних критеріїв, графіки яких представлено на рисунках 1.24-1.26.



Рис.1.24. Графік зміни тягового опору залежно від кута атаки  $\alpha$  леміша робочого органу.

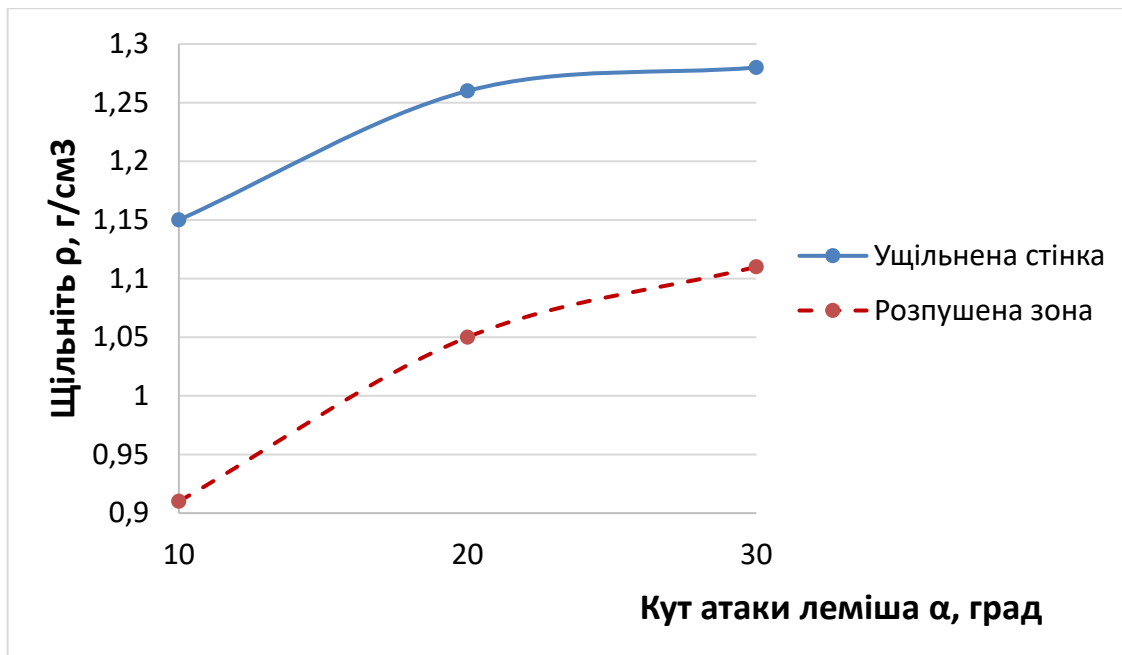


Рис.1.25. Графік зміни щільності ґрунту в межах контуру смугової гряди залежно від кута атаки  $\alpha$  лемеша при куті відхилення стійки  $\beta=15^\circ$ .

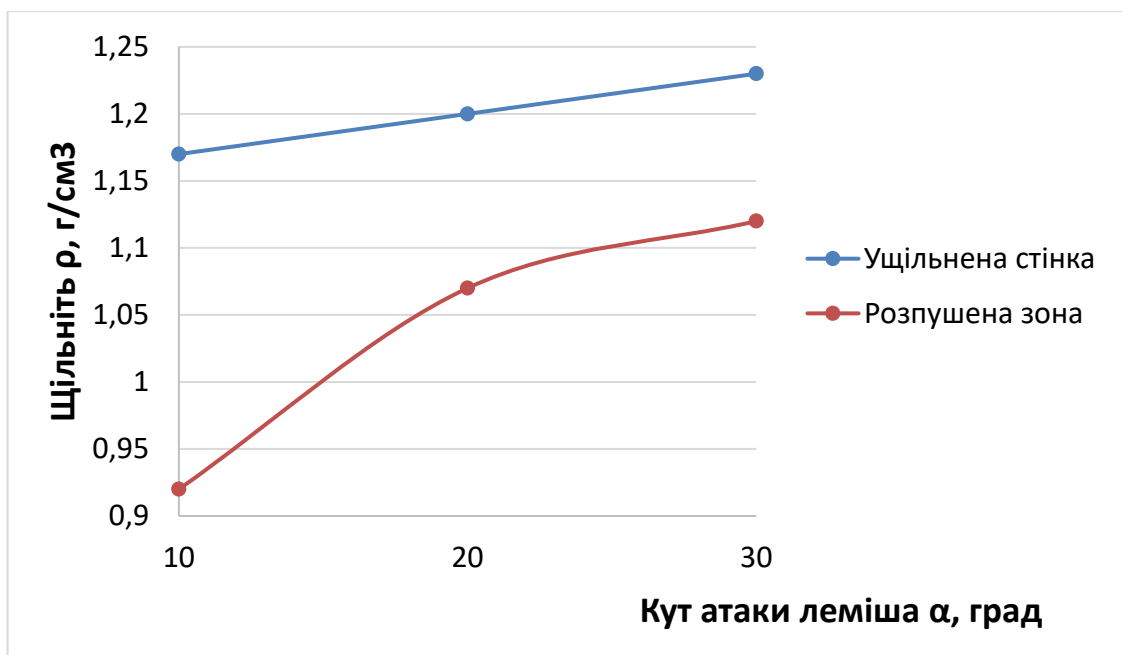


Рис.1.26. Графік зміни щільності ґрунту в межах контуру смугової гряди залежно від кута атаки  $\alpha$  лемеша при куті відхилення стійки  $\beta=30^\circ$ .

Ширина зони розпушення ґрунту  $H$  визначалася шляхом покадрового перегляду відеозйомки процесу переміщення робочого органу із застосуванням масштабних коефіцієнтів у програмі Image J. Результати представлено у таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Ширина зони розпушення ґрунту  $H$ , мм.

Значення кута $\alpha$ , град	Значення кута $\beta$ , град	
	15	30
10	190	215
20	220	260
30	250	290

Проаналізувавши залежності можна зробити такі висновки.

1) Тяговий опір ґрунту зростає зі збільшенням кута атаки  $\alpha$  леміша. При цьому із збільшенням кута  $\beta$  нахилу стійки опір зростає суттєво. Так, у стійки, нахилений у поперечно-вертикальній площині на кут  $\beta = 15^\circ$  при збільшенні кута атаки  $\alpha$  на  $20^\circ$  (з  $10^\circ$  до  $30^\circ$ ) тяговий опір зростає на 330 Н або 52% (з 625 Н до 955 Н). При цьому самому діапазоні зміни кута атаки  $\alpha$ , у стійки нахиленої під кутом  $\beta = 30^\circ$  тяговий опір зростає майже на 600 Н або 86% (з 621 Н до 1289 Н).

2) Ступінь ущільнення бокової «ущільненої» стінки контуру смугової гряди зростає із збільшенням кута атаки  $\alpha$  леміша. При цьому, нахил стійки у поперечно-вертикальній площині у варіантах  $\beta = 15^\circ$  та  $\beta = 30^\circ$  має несуттєвий вплив на ущільнення і коливається у межах від 2 до 5%. При цьому більші значення ущільнення виникають при меншому ( $\beta = 15^\circ$ ) значенні кута нахилу стійки. Найбільше значення ущільнення стінки  $\rho_y = 1,28$  г/см<sup>3</sup> зафіксовано при  $\alpha = 30^\circ$  та  $\beta = 15^\circ$ . Але при цих параметрах суттєво (до 955 Н) зростає тяговий опір. В той же час при куті атаки  $\alpha = 20^\circ$  і  $\beta = 15^\circ$  щільність стінки зменшується до  $\rho_y = 1,26$  або на 1,6% при значенні  $R = 783$  Н, що на 25% більше мінімально зафіксованого значення тягового опору, яке становить 625 Н.

3) Значення щільності ґрунту в зоні розпушення менші за значення щільності бокової «ущільненої стінки», що є природним і збігається із завданнями досліджень. При цьому тенденція до зменшення щільності ґрунту в зоні розпушення проявляється при менших значеннях кутах атаки леміша  $\alpha$  та нахилу стійки  $\beta$ . Зміна кута нахилу стійки у варіантах  $\beta = 15^\circ$  та  $\beta = 30^\circ$  також має несуттєвий вплив на ступінь ущільнення розпушеної зони і коливається до 2%. Пріоритетом у шуканих значеннях параметрів робочого органу є ущільнення бокової стінки, тому компромісні значення параметрів з пункту 2, а саме:  $\alpha = 20^\circ$  і  $\beta = 15^\circ$  вважатимемо раціональними значеннями, при яких щільність розпушеної зони становить  $\rho_p = 1,05$  г/см<sup>3</sup>

4) Покадрове дослідження відеозйомки процесу переміщення робочого органу в ґрунті при визначенні ширини зони розпушення  $H$  показало, що збільшення кута атаки леміша  $\alpha$  на нахилу стійки  $\beta$  призводить до збільшення ширини зони розпушення. Так при  $\alpha = 10^\circ$  та  $\beta = 15^\circ$  значина зони розпушення  $H = 190$  мм, а при граничних значеннях  $\alpha = 30^\circ$  та  $\beta = 30^\circ$ , величина  $H$  збільшується на 52% і становить 290 мм. Спираючись на положення пунктів 2 та 3, при  $\alpha = 20^\circ$  і  $\beta = 15^\circ$  значення ширини зони розпушення  $H$  становило 220 мм. Якщо на гряді, шириною 1 м (рис.1.27) висаджуватимуться підщепи на глибину 0,1 м у два рядки, відстань між якими 0,7 м, а відстань між краєм гряди і рядком становить  $l = 0,15$  м, то ширини зони розпушення  $H = 0,22$  м буде достатньо для забезпечення розташування кореневої системи щепи у розпушеному шарі ґрунту, у поперечному перерізі.

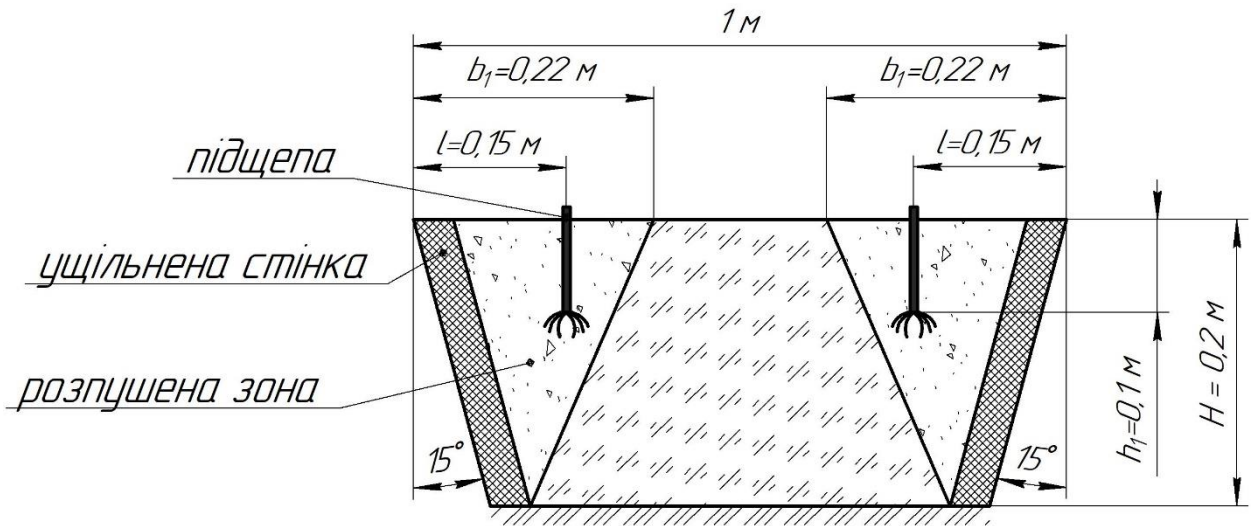


Рис.1.27. Модель контуру смугової гряди, утворений робочим органом глибокорозпушувача, в яку висаджуватимуться підщепи

Результати досліджень макетного зразку робочого органу глибокорозпушувача опубліковано у [25].

## ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 1

Проведеними дослідженнями вирішена задача поліпшення загального агротехнічного стану ґрунту смугової гряди та створення умов для локалізації кореневої системи саджанця у межах контуру гряди шляхом обґрунтування параметрів глибокорозпушувача.

На підставі проведених досліджень зроблені такі висновки:

1. На основі проведеного спостережного дослідження визначено, що у технології вирощування саджанців плодкових культур на смугових грядках найкращі показники розвитку живців ВСЛ-2 на стадіях формування кореневої системи та пагонів забезпечується при їх садінні на смугову грядку із показником агрегатного стану ґрунту  $K=0,8$ , що згідно ДСТУ 4362 характеризує стан ґрунту, як «відмінний».

2. Визначено функціонал форми напрямної поверхні долота робочого органу чизельного знаряддя, на якій відносна швидкість руху частки ґрунту наприкінці другої фази взаємодії з поверхнею долота буде досягати мінімального значення. Оскільки функціонал є нелінійним, а використання стандартних методів варіаційного числення пошуку оптимального розв'язку є дуже складним, тому пошук оптимальної функції має бути здійснений серед поліномів.

3. Доведено, що робочий орган глибокорозпушувача для створення контуру смугової гряди повинен бути робочим органом об'ємного розпушення із відкритим контуром шириною 1 м. Параметри такого робочого органу повинні забезпечувати не тільки розпушення ґрунту в зоні розміщення кореневої системи саджанця, а і створювати умови для локалізації кореневої системи саджанця за рахунок ущільнення нахиленої стійки контуру.

4. На основі проведених досліджень процесу роботи макетного зразку робочого органу глибокорозпушувача в умовах ґрунтового каналу визначено, що робочий орган глибокорозпушувача на глибині 0,2 м при швидкості руху 0,37 м/с забезпечує утворення контуру смугової гряди із щільністю бокової стінки контуру  $1,26 \text{ г/см}^3$ , щільністю ґрунту у зоні розпушення  $1,05 \text{ г/см}^3$  і значенням тягового опору 1566 Н (два робочі органи) при таких раціональних параметрах положення робочого органу:

- кута атаки леміша  $\alpha = 20^\circ$ ;
- кута нахилу стійки робочого органу у поперечно-вертикальній площині  $\beta = 15^\circ$ .

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Галузева програма розвитку садівництва України на період до 2025 року. Київ: СПД "Жителів С.І.", 2008. 76 с.
2. Комплекс машин для механізації робіт у плодкових розсадниках і маточниках / І. С. Привалов та ін. Садівництво. 2009. № 61. С. 334-340.
3. Соколов В. О., Привалов І. С., Савченко А. І. Стан і перспективи механізації виробництва садивного матеріалу плодкових культур. Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти. 2015. Вип 3. С.161-171.
4. ДСТУ 4938:2008. Саджанці плодкових культур. Технічні умови. [Чинний від 2019-01-01]. Вид. офіц. Київ, 2009. 12 с.
5. Барабаш Л. О. Напрями інтенсифікації садівництва на інноваційній основі. Збірник наукових праць Вінницького національного університету. Економічні науки. Вінниця, 2010. Вип 4. С. 67-73.
6. Караєв О. Г., Толстолік Л. М. Якість продукції розсадництва плодкових культу. Мелітополь: ВПЦ «Люкс», 2014. 150 с.
7. Чижиков І. О. Обґрунтування схеми та засобів механізації вирощування саджанців плодкових культур на грядках. Імпортозамінні технології вирощування, зберігання і переробки продукції садівництва рослинництва : мат. IV Міжнар. наук.-практ. конф. (17-18 травня 2018р., Умань). Умань, 2018. С. 26-31
8. Караєв О. Г., Толстолік Л. М. Якість продукції розсадництва плодкових культу. Мелітополь: ВПЦ «Люкс», 2014. 150 с.
9. Овчаренко О.А. Обґрунтування параметрів робочого органу глибокорозпушувача для об'ємного смугового обробітку ґрунту: автореф. дис....канд.техн.наук: 05.05.11 / О.А. Овчаренко; ЛНАУ. – Луганськ, 2005. – 20 с.
10. Костюченко М. М. Механіка ґрунтів: навчальний посібник. Київ: Інтернет-ресурс Київського університету, 2013. 116 с. Режим доступу: [http://www.geol.univ.kiev.ua/lib/mehanika\\_gruntiv.pdf](http://www.geol.univ.kiev.ua/lib/mehanika_gruntiv.pdf) (дата звернення 01.11.2020).
11. Патент на корисну модель № 157125 Україна, МПК А01С7/00, А01С14/00, А01G2/10. Спосіб садіння підщеп плодкових культур на смугові гряди [текст]: / Чижиков І.О., Караєв О.Г. Малюта С.І., Матковський О.І. – Заявка № u202107637; заявл. 28.12.2021, опубл. 11.09.2024, Бюл. № 37/2024.
12. ДСТУ 4362:2004. Якість ґрунтів. Показники родючості ґрунтів. [Чинний від 2006-01-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2006. 19 с.
13. ДСТУ Б В.2.1-19:2009. Ґрунти. Методи лабораторного визначення зернового (гранулометричного) складу. Вид. офіц. Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. 33 с.

14. Ghereş M.I. Matematikal model for studying the influence of tillage tool geometry on energy consumption (Model matematic pentru studiul influenţei geometriei sculelor de lucrat solul asupra consumului de energie) INMATEH -Agricultural Engineering. Vol.42, No.1 /2014. pp. 5-12.

15. Oduma O., S.I. Oluka, J.C. Edeh. Development of empirical regression equations for predicting the performances of disc plough and harrow in clay- loam soil. Agricultural Engineering International: CIGR Journal. Vol 21, No 3 (2019). pp. 18-25.

16. Hill P.R., Stott D.E. Corn Residue Retention by a Combination Chisel Plow. Soil Science Society of America Journal. Volume 64 Issue 1, January 2000. pp. 293- 299.

17. Голуб Г.А., Дворник А.В. Вплив конструкційно-технологічних параметрів агрегата для смугового обробітку ґрунту на грудкуватість. Техніко- технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. 2020. Вип. 27 (41). С. 89-98.

18. Ветохін В.І. Системи та фізико-механічні основи проектування розпушувачів ґрунту: автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.05.11 Глеваха, 2010. 40 с.

19. Овчаренко О.А. Обґрунтування параметрів робочого органу глибокородзпушувача для об'ємного смугового обробітку ґрунту: автореф. дис...канд.техн.наук: 05.05.11 / О.А. Овчаренко; ЛНАУ. – Луганськ, 2005. – 20 с.

20.Слесарев В. Н., Мальцев В. В., Горохов П. В., Шитов А. Г. Объемное рыхление почвы. Земледелие. 1987. № 10. С.32-34.

21. Пальцев В. Г. Совершенствование технологии глубокого мелиоративного рыхления уплотненных Южных черноземов в условиях орошения дождеванием: дис. ... канд. техн. н.: 05.20.01. Мелитополь, 1993. 182 с.

22. Нетрадиційна смугова ґрунтозахисна енергозберігаюча технологія вирощування кукурудзи і соняшника: звіт про НДР (проміжний). №ДР 0199V003720. Луганськ, 2001. 20с.

23. Шелудченко Б. А. Обоснование рабочего процесса и параметров глубокорыхлящих органов объемного типа: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. Глеваха, 1990. 207 с.

24. Патент на корисну модель № 150637 Україна, МПК G01L1/22. Стенд для тарування кільцевих октагональних тензоланок [текст]: / Чижиков І.О., Караєв О.Г. Лохматов Т.Г. – Заявка № u202105206; заявл. 15.09.2021, опубл. 09.03.2022, Бюл. № 10/2022.

25. Чижиков І. О. Дослідження процесу створення смугової гряди робочим органом глибокородзпушувача в умовах ґрунтового каналу. Науковий вісник ТДАТУ : електронне наукове фахове видання. 2022. Вип. 12. том 2. С. 124-134. DOI: 10.31388/2220-8674-2022-2-13

## **РОЗДІЛ 2. РОЗРОБИТИ ПРОГРАМНО-АПАРАТНИЙ КОМПЛЕКС УПРАВЛІННЯ ТЕХНІЧНИМИ ПАРАМЕТРАМИ СИСТЕМИ ЗРОШУВАННЯ І ФІЗІОЛОГІЧНИМИ ПАРАМЕТРАМИ ДЕРЕВ КІСТОЧКОВИХ КУЛЬТУР.**

### **2.1 Актуальність теми дослідження**

Вирощування таких високовітамінних плодових кісточкових культур, як абрикос й черешня в ґрунтово-кліматичних умовах Південного Степу України, де через недостатню природну зволоженість можливе тільки в умовах зрошення. В середньому за рік кількість опадів становить від 350 до 500 мм, які нерівномірно розподіляються протягом вегетаційного періоду. За багаторічними даними встановлено, що за літньої вегетації дерев (переважно у липні-серпні) спостерігаються ґрунтові й повітряні посухи та сухотії. Такі метеорологічні умови призводять до стресів рослин у різні періоди їх росту і розвитку, а особливо під час формування та закладання майбутнього урожаю. Це призводить до зменшення врожаю плодів та їх низької якості. Тому істотне місце в технології вирощування кісточкових культур у ґрунтово-кліматичній зоні Південного Степу слід відводити зрошенню плодових насаджень системами мікрозрошення, які забезпечать не тільки виконання вегетаційних поливів, а й сприятимуть поліпшенню мікроклімату в саду, а також економії енергоресурсів. Тільки шляхом впровадження новітніх технологій можливо вирішити проблему недоотримання врожаю від дії вищезгаданих природних чинників. На сучасному етапі створення новітніх технологій у плодівництві необхідним є отримання інформації про водний обмін та оцінки функціонального стану плодових культур від дії кліматичних стресорів. Для цього необхідно використовувати такі фізіологічні показники, які при відповідних екологічних умовах спроможні діагностувати стан плодових дерев за допомогою сенсорів, не порушуючи цілісність рослин та здатні автоматизувати процес діагностики функціонального стану рослин та виконання поливу. У світовій практиці за інструментальний підхід у цьому аспекті доведено переваги застосування фітомоніторингових досліджень рослин з використанням інформаційно-вимірювальних систем, які забезпечують безперервний моніторинг, як показників самих рослин, так і параметрів навколишнього середовища, надаючи можливість виконання системного аналізу даних. Головним питанням фітомоніторингу є діагностика функціонального стану рослин відповідного генотипу при різних ґрунтово-кліматичних умовах.

Проведення фітомоніторингових досліджень дозволить виявити закономірності водного обміну кісточкових культур за екстремальних погодних умов, що надасть можливість розробити метод управління параметрами фізіологічного стану дерев плодкових кісточкових культур і системою мікрозрошення. Застосування методу управління передбачає автоматичний збір інформації з рослинних об'єктів та змін метеорологічних параметрів, встановлення закономірностей змін функціонального стану дерев, передачу управляючого сигналу на виконавчі механізми управління системою мікрозрошення та реєстрацію інформації

## **2.2 Програма досліджень**

Програмою досліджень передбачалося вирішення таких завдань:

1. Визначити вплив основних абіотичних факторів на функціональний стан кісточкових культур для діагностики вологозабезпеченості абрикоса й черешні, а саме :

- відносної швидкості ксилемного потоку;
- температури та вологості повітря;
- швидкості та напрямку вітру;
- інтенсивності сонячної радіації.

2. Розробити методіку розрахунку параметрів пристрою для фертигації плодкових насаджень.

## **2.3 Методика досліджень**

### **2.3.1. Методика фітомоніторингу для діагностики фізіологічного стану рослин при різних метеорологічних умовах.**

Метою досліджень є визначення впливу основних абіотичних факторів та вивчення функціонального стану кісточкових культур для діагностики вологозабезпеченості абрикоса й черешні, встановлення закономірностей водного обміну, процесів випаровування рослинами води й формування їх продуктивності при мікрозрошенні.

Культура абрикоса й черешні формувалася в умовах посушливого клімату [1]. Тому ці кісточкові культури можуть нетривалий час переносити нестачу вологи у ґрунті й повітрі. Однак, взагалі, більш тривалий період з нестачею вологи у ґрунті й повітрі несприятливо впливає на ріст вегетативних органів, величину урожаю, знижує смакові якості плодів [2,3].

В посушливих умовах вирощування підвищену потребу у волозі абрикос й черешня відчують під час інтенсивного росту плодів, приблизно через півтора місяці після цвітіння, а поливи за 2 - 3 тижні до досягання можуть суттєво збільшити розміри плодів. При нестачі достатньої вологи у ґрунту в ранній період весняної вегетації абрикоса [4] й черешні [5] поливи призводять до збільшення плодів на 20-50%. Проте, при вивченні впливу нестачі вологи у ґрунті на плодоношення дерев у різних фенофазах розвитку плодів вказують, що дефіцит води інколи діє позитивно. Так, нетривалий водний стрес у фазі інтенсивного росту плодів та затвердіння кісточки може стримувати силу росту дерев кісточкових культур без зниження розміру плодів і урожаю, тобто загальну величину водоспоживання рослин можна скоротити [6].

Оптимальний водний режим зумовлює нормальне проходження ростових процесів та накопичення в бруньках та пагонах рослин запасних речовин і внаслідок цього вони набувають більшу стійкість до морозів. Однак, надмірні поливи затягують ріст дерев, а в генеративних бруньках накопичується багато цукрів [2]. Під час зав'язування плодів дерева відчують нестачу води, через це листя відкачує її з інших частин рослин, головним чином з плодів і тому вони можуть передчасно осипатися. Вологість ґрунту під деревами з плодами є нижчою, ніж під деревами без плодів, а присутність останніх підвищувало обводнення листків. Ранні сорти кісточкових культур мають меншу водну потребу, ніж пізні. Для ранніх сортів поливи особливо важливі після збирання урожаю тому, що вони добре впливають на закладання генеративних бруньок. Зниження вмісту вологи у ґрунті до 60% НВ несприятливо впливає як на ріст вегетативних органів, диференціацію бруньок, так і на величину урожаю. Поливи також необхідні до кінця жовтня, якщо восени випадає мало опадів. За дощового літа й восени вегетація уповільнюється, незадовільно дерев'яніють пагони, внаслідок чого дерева взимку підмерзають. Тобто при поливі кісточкових культур слід урахувувати той факт, що абрикос більш пристосований до зниженої вологості ґрунту, ніж черешня.

З приведенного вище матеріалу можна зробити висновок, що критичний період у абрикоса й черешні по відношенню до ґрунтової та повітряної посухи пов'язаний, очевидно, з періодом формування репродуктивних органів рослин. Дослідженнями, проведеними у різних ґрунтово-кліматичних зонах, встановлено, що проведення зрошення цих культур сприяє кращому вегетативному росту, формуванню і підвищенню урожаю, покращенню товарних і смакових якостей плодів.

Ефективність зрошення кісточкових культур досягається вибором оптимальних строків, норм та способів поливу, які засновано насамперед на урахуванні вологості ґрунту, періоді розвитку рослин та їх фізіологічного стану. Норми поливу визначаються кліматичними умовами, механічним складом та фільтруючою здатністю ґрунту [6]. Методи призначення режимів зрошення за вологістю ґрунту або на основі рівнянь водного балансу ґрунту не дозволяють урахувати залежність водного стресу рослин одночасно як від вологості ґрунту, так і від кліматичних факторів. Тому необхідно використовувати різні фізіологічні показники, які допоможуть визначити водний обмін рослин та здатні автоматизувати процес поливу.

При визначенні поливного режиму можна використовувати фізіологічні індикатори (водний потенціал листя [8]; амплітуду добового скорочення стовбура [9]; температура пологу та продихову провідність листя за допомогою дистанційного інфрачервоного випромінювання [10]; швидкості потоку та продуктивність транспірації [11]. та інше), які вказують на виникнення в рослині водного дисбалансу і навіть стресу від нестачі води. Вони є надійними засобами оцінки водного статусу рослин, придатними для призначення поливів. Але складність устаткування або дискретні вимірювання фізіологічних показників, а також неможливість автоматизованої діагностики функціонального стану плодових рослин та проведення автоматизованого управління зрошенням обмежує їх застосування.

Із групи показників, які дозволяють застосовувати фітомоніторингові методи з використанням інформаційно-вимірювальних систем для діагностики фізіологічного стану рослин при відповідних екологічних умовах, таким вимогам відповідають швидкість ксилемного потоку та температура листків плодових дерев. Швидкість ксилемного потоку у стовбурі є характеристикою рослин, яка описує її реакцію на зміни водного статусу. До ендогенних характеристик рослин відноситься температура листків (або різниця між температурою листка і повітря) [17].

Відомо, що водний та температурний режими рослин взаємопов'язані. При високій продиховій провідності листки рослин мають на п'ять і більше градусів нижчу температуру, ніж навколишнє середовище, а при низькій, навпаки, – на п'ять і більше градусів вищу за температуру повітря. Сонячна радіація, яка поглинається рослинним пологом, найбільше впливає на температуру рослин і потребу їх у воді. Рослини можуть відчувати водний стрес при достатній кількості води у ґрунті у тому випадку, коли для розсіювання поглинутої сонячної радіації потрібні досить великі швидкості

випаровування, а у випадках, за відсутністю водного стресу рослин температура листків може бути прохолоднішою за навколишнє повітря [14].

В ІЗС імені М.Ф. Сидоренка НААН розроблено і досліджено конструкцію системи підкранового дощування з дрібнодисперсним розпиленням води та технологію зволожувальних вегетаційних поливів за водно-фізичними показниками ґрунту та фазами розвитку абрикоса й черешні [14,17]. Тому визначення особливостей функціонального стану, закономірностей водного обміну абрикоса й черешні та розробка на основі отриманих знань методу управління параметрами фізіологічного стану дерев плодкових кісточкових культур і системою мікрозрошення дозволить зменшити вплив несприятливих факторів зовнішнього середовища на продуктивність кісточкових культур в кліматичній зоні Південного Степу України, що є досить актуальним.

Схема дослідів та елементи обліку

**Дослід 1** (лабораторно-польовий). Визначити особливості водного обміну та продуктивності абрикоса за функціональним станом дерев при зрошенні.

Мета дослідів: одержання вихідних даних параметрів водного обміну абрикоса для управління мікрозрошенням.

Об'єктом досліджень є процес формування функціонального стану дерев абрикоса під впливом метеорологічних елементів та систем мікрозрошення.

Предмет досліджень – параметри фізіологічних показників абрикоса при застосуванні фітомоніторингових та еколого-фізіологічних досліджень.

Схема дослідів.

Варіант 1 (контроль). Природне зволоження.

Варіант 2. Управління вегетаційними поливами абрикоса від програмного пристрою з призначенням режимів зрошення за рекомендованою технологією поливу системою краплинного зрошення.

Варіант 3. Управління вегетаційними поливами абрикоса за параметрами його фізіологічного стану та метеорологічними факторами із застосуванням системи підкранового дощування.

Елементи обліку:

1) фізіологічні показники: температура листків; водний режим листків: дефіцит вологи у листках та їх відносна тургесцентність; інтенсивність транспірації; індекс швидкості ксилемного потоку у стовбурі;

2) метеорологічні елементи: температура й вологість повітря, дефіцит водяної пари, інтенсивність сонячної радіації, випаровування з водної поверхні;

3) водно-фізичні показники ґрунту: температура та вологість ґрунту;

4) час поливу, витрати води системою підкоронового дощування, площа насаджень абрикоса під системою підкоронового дощування; зрошувальна норма;

5) фенологічні спостереження етапів розвитку дерев: початок вегетації, фази цвітіння, фази досягання плодів, кінець вегетації;

6) біометричні показники росту і розвитку дерев та облік урожаю.

**Дослід 2** (лабораторно-польовий). Визначити особливості водного обміну та продуктивності черешні за функціональним станом дерев при зрошенні.

Мета дослідження: одержання вихідних даних параметрів водного обміну черешні для управління мікрозрошенням.

Об'єктом досліджень є процес формування функціонального стану дерев черешні під впливом метеорологічних елементів та систем мікрозрошення.

Предмет досліджень – параметри фізіологічних показників черешні при застосуванні фітотомоніторингових та еколого-фізіологічних досліджень.

Схема дослідження.

Варіант 1 (контроль). Природне зволоження.

Варіант 2. Управління вегетаційними поливами черешні від програмного пристрою з призначенням режимів зрошення за рекомендованою технологією поливу системою краплинного зрошення.

Варіант 3. Управління вегетаційними поливами черешні за параметрами її фізіологічного стану та метеорологічними факторами із застосуванням системи підкоронового дощування.

Елементи обліку:

1) фізіологічні показники: температура листків; водний режим листків: дефіцит вологи у листках та їх відносна тургесцентність; інтенсивність транспірації; індекс швидкості ксилемного потоку у стовбурі;

2) метеорологічні елементи: температура й вологість повітря, дефіцит водяної пари, інтенсивність сонячної радіації, випаровування з водної поверхні;

3) водно-фізичні показники ґрунту: температура та вологість ґрунту;

4) час поливу, витрати води системою підкоронового дощування, площі насаджень черешні під системами підкоронового дощування; зрошувальна норма;

5) фенологічні спостереження етапів розвитку дерев: початок вегетації, фази цвітіння, фази досягання плодів, кінець вегетації;

6) біометричні показники росту і розвитку дерев та облік урожаю.

## 2.4 Результати досліджень

### 2.4.1 Вивчення функціонального стану дерев кісточкових культур та визначення його закономірностей за різних умов навколишнього середовища

Вивчення функціонального стану абрикоса й черешні за різних умов навколишнього середовища дозволить простежити водообмін рослин, точно виявити виникнення в рослинах водного дефіциту, що надасть можливість для своєчасного проведення поливів кісточкових культур та забезпечить раціональне використання зрошувальної води в зоні їх вирощування у кліматичних умовах Південного Степу України.

За вегетаційних періодів терміну досліджень, дотримуючись методології фітомоніторингу, в автоматизованому режимі проводили щоденну безперервну реєстрацію градієнту температур від термопар датчиків ксилемного потоку у стовбурах дерев абрикоса й черешні. За добовими ритмами індексу швидкості ксилемного потоку у стовбурах дерев виявлено закономірності його динаміки та встановлено основні інформативні точки. Характерний добовий ритм індексу швидкості ксилемного потоку у штабмі дерев на фоні сонячної радіації наведено на рис.2.1.

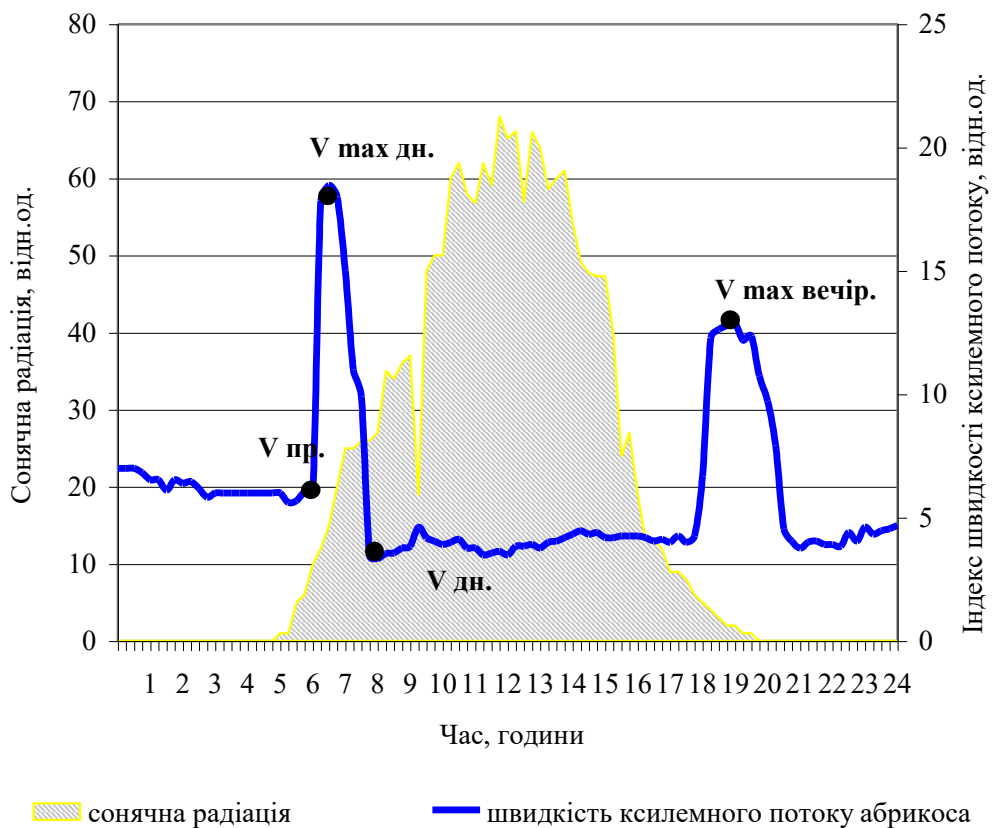


Рис. 2.1 . Добовий ритм індексу швидкості ксилемного потоку у стовбурі дерева.

За основним показником фітомоніторингу (величиною значень індексу швидкості ксилемного потоку) встановлено час виникнення в рослині водного дефіциту, а саме тоді, коли відношення величини передсвітанкового індексу ксилемного потоку (точка  $V_{пр.}$ ) до денного (точка  $V_{дн.}$ ) дорівнює або більше за одиницю. Зауважимо, що навіть при оптимальному рівні зволоження ґрунту дерева можуть відчувати водний дефіцит. Індекс швидкості висхідного водного току у стовбурі максимального значення (точка  $V_{max дн.}$ ) набував вранці близько сьомої години. Саме у цей час інтенсивність сонячної радіації зростає, що обумовлює відповідний рівень інтенсивності транспірації листків дерев. До цього моменту витрати вологи рослиною поповнювалися, як з ґрунту, так і з резервуара стовбура. Потім, за дослідженнями [11-13], починається зменшення діаметра штамбу, за якої опірність водному току з резервуара стовбура стає меншою, ніж опірність потоку вологи з ґрунту. Близько восьмої години рівень індексу швидкості ксилемного потоку різко знижується (точка  $V_{дн.}$ ). З подальшим збільшенням інтенсивності транспірації витрати води рослиною перевищують її надходження з ґрунту, а процес водопостачання підтримується із запасів вологи стовбура аж до моменту досягнення максимального значення індексу ксилемного потоку у вечірній час доби (точка  $V_{max.вечір.}$ ). Проміжок часу між ранковими та вечірніми максимальними значеннями індексу ксилемного потоку вказує на дисбаланс водного обміну рослин, коли витрати ними вологи перевищують її надходження з ґрунту, тобто за денного часу доби при напружених метеорологічних умовах плодів дерева відчують водний дефіцит.

Отже, тривалість водного дисбалансу у стовбурі дерев визначається як час між денним та вечірнім максимумами індексу ксилемного потоку. Після вечірнього максимуму зменшується транспірація, тим самим скорочуються витрати вологи зі стовбура, а вже менш інтенсивні витрати вологи рослиною доповнюють її надходженням з ґрунту за умови оптимальної вологості ґрунту. Далі після заходу сонця індекс ксилемного потоку знижується до відповідного рівня, щодо умов навколишнього середовища.

#### **2.4.2 Вплив абіотичних факторів на показники фітомоніторингу абрикоса й черешні**

Вплив абіотичних факторів (температури повітря, сонячної радіації) на фізіологічні показники функціонального стану абрикоса та черешні за змінами їх добового ритму в окремо взятий день наявно демонструє графік, зображений на рис.2.2. Добова динаміка фізіологічних показників, які

вивчалися на тлі метеопараметрів свідчать, що під час повітряної посухи за умов вологості ґрунту на оптимальному рівні спостерігалася чітка реакція рослин абрикоса й черешні на нестачу водопостачання.

У рослинах виникав водний дефіцит, тобто за встановленою закономірністю відношення величини передсвітанкового індексу ксилемного потоку до денного було більше за одиницю.

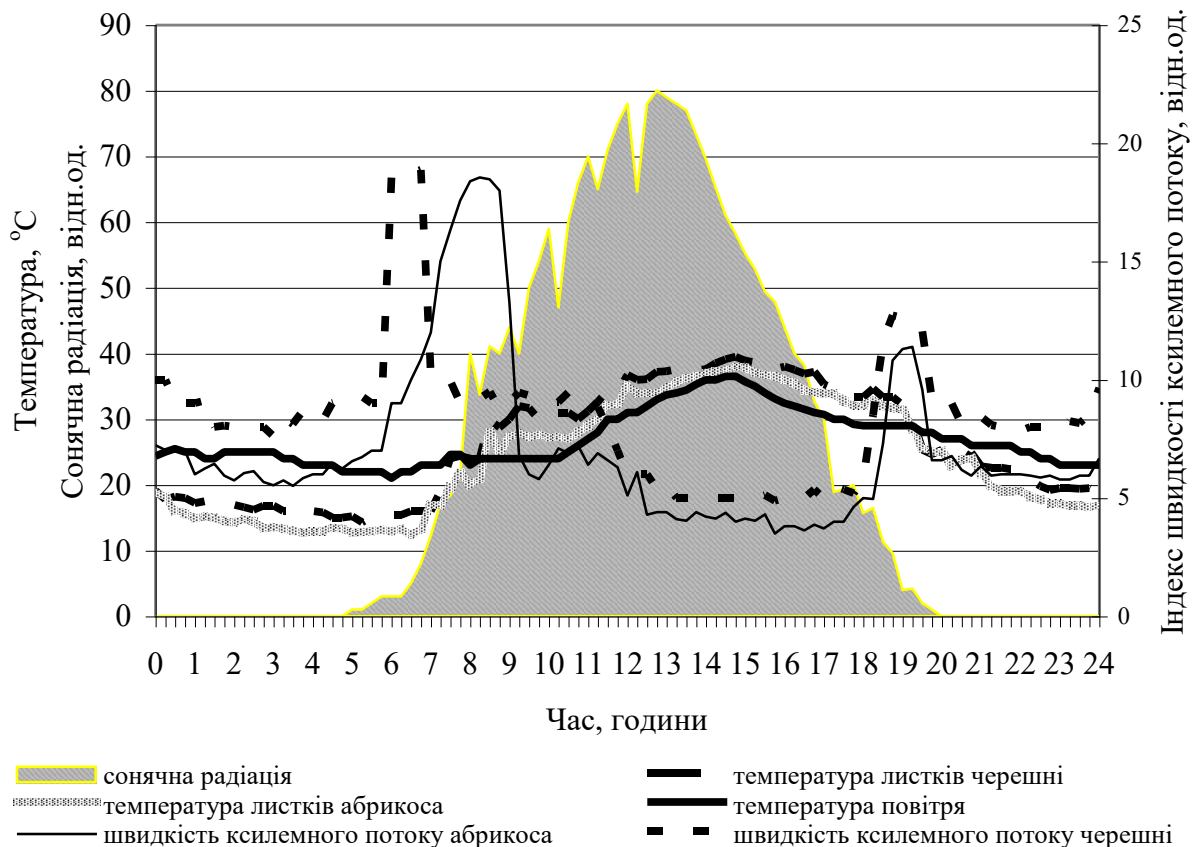


Рис. 2.2. Вплив абіотичних факторів на індекс швидкості ксилемного потоку у стовбурі та температуру листків абрикоса й черешні.

Аналізуючи добовий ритм індексу швидкості ксилемного потоку у стовбурі абрикоса, відмічено, що максимального ранкового значення він набував близько сьомої години ранку. У молодих насадженнях черешні максимум наставав на півтори години раніше. Древа черешні дворічного віку відчували менший водний дефіцит, ніж дерева абрикоса у шістнадцятирічному віці, про що свідчить менша величина індексу ксилемного потоку. Проте у черешні підключення витрати вологи зі стовбура настає раніше, тобто транспірація розпочинається також раніше, ніж у абрикоса. За ранковим максимумом наставало різке зниження індексу

ксилемного потоку аж до вечірнього часу доби (вечірній максимум), який у обох культур спостерігався близько дев'ятнадцятої години. Потім величина індексу ксилемного потоку зменшувалася до рівня попередньої ночі або була нижчою.

За динамікою температурних змін у листках дерев абрикоса й черешні виявлено, що у нічний період їх температура нижча за температуру повітря. Протягом інтенсивної сонячної інсоляції у літній період (з 7 до 17 години) температура листків перевищувала температуру повітря на 3-6°C, а за вечірнього часу та після заходу сонця температура листових пластинок знову була нижчою за температуру повітря.

Таким чином, добова динаміка індексу ксилемного потоку та температури листків надає інформацію про функціональний стан дерев абрикоса й черешні залежно від змін навколишнього середовища. Встановлена закономірність добових змін індексу швидкості ксилемного потоку у стовбурі дерев свідчить про процес водного обміну цих культур, а величина його використовувалася за діагностичний показник рівня водного дефіциту та його тривалості, як одного з основних параметрів при призначенні поливів дрібнодисперсним підкроновим дощуванням.

### **2.4.3 Розрахунок параметрів пристрою на основі інжектора Вентурі для фертигації плодкових насаджень**

Численними дослідженнями наукових установ і практикою передових господарств [18-20] доведено високу ефективність оптимальної системи (тобто розподілення в кількості, часі та сумісності) внесення добрив у садах: добрива збагачують ґрунт елементами живлення, підвищують урожайність і якість плодів, підвищують зимостійкість і довговічність дерев.

Крім макроелементів (азот, фосфор, калій) плодівій рослині потрібні і мікроелементи, недолік яких викликає страждання дерев. Наприклад, у садах півдня України нерідко зустрічається дефіцит таких мікроелементів, як залізо та цинк, що веде до ослаблення дерев та зниження урожайності [21-23].

Значні площі сучасних плодкових насаджень обладнані системами крапельного зрошення, при якому здійснюється локальне внесення мінеральних добрив з поливною водою (фертигація). Фертигація дозволяє постійно підтримувати оптимальну вологість ґрунту та подавати рослинам невеликими дозами збалансовану кількість елементів живлення впродовж вегетаційного періоду. Для успішного проведення фертигації необхідно враховувати особливості поливного обладнання, види та форми добрив, що застосовуються, допустиму концентрацію поживних речовин у поливній воді, міграцію елементів живлення по ґрунтовому профілю, зміну реакції

грунтового середовища в зоні зволоження, а також якість поливної води, що використовується для зрошення [21-22,24].

Одним з найбільш розповсюдженим пристроєм для фертигації є інжектор Вентурі. Система працює на основі інжекторного насоса типу Вентурі (рис. 2.3).

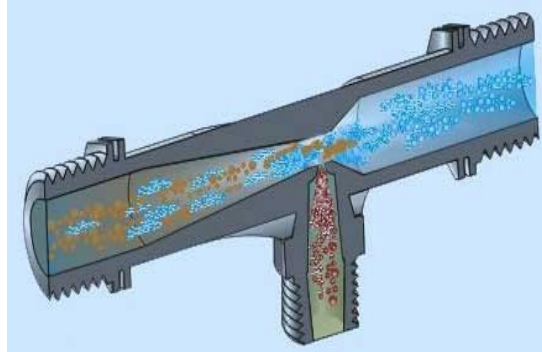


Рис. 2.3. Інжектор Вентурі.

Конічне звуження у трубі призводить до збільшення швидкості потоку поливної води та утворення перепаду тиску, який засмоктує розчин добрив з бака (через фільтр) у поливну систему (рис. 2.4). Для цієї системи використовують лише рідкі добрива у вигляді маточних розчинів підвищеної концентрації. Швидкість всмоктування розчину дуже чутлива до змін тиску, тому для стабільної роботи інжектора необхідне точне регулювання тиску [18,26]. Ця система проста в обслуговуванні та відносно недорога, забезпечує подачу розчинених концентрованих добрив з великою точністю в поливний трубопровід. Тому інжектор Вентурі добре підходить для фертигації плодових насаджень на відносно невеликих ділянках.

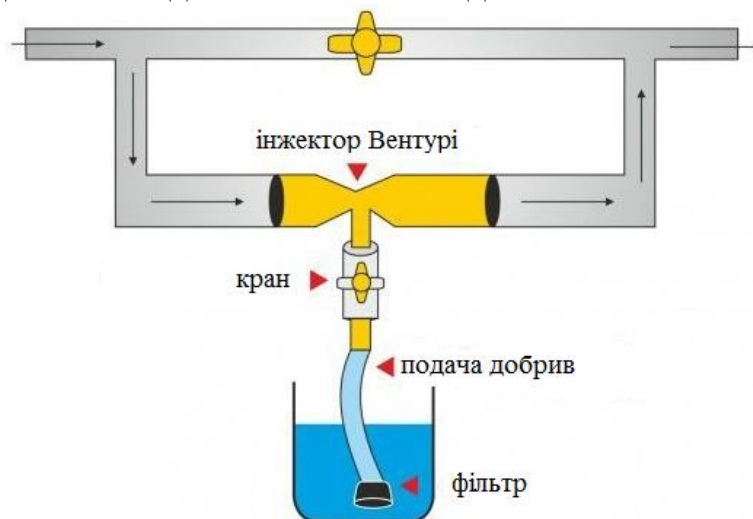


Рис. 2.4. Пристрій фертигації з інжектором Вентурі.

Наразі відсутня загальна аналітична теорія, що дозволяє розраховувати струменеві апарати (насоси, гідроелеватори, ежекторів, інжектори) без використання емпіричних формул і величин. Для розрахунку струменевих

апаратів запропоновано методи, що ґрунтуються на таких теоріях: теорія змішування двох потоків; теорії поширення струменя в масі рідини, що знаходиться в стані спокою або рухається; механіка тіл змінної маси [20,26].

Розрахункові залежності для гідравлічних характеристик струменевих насосів виконані для апаратів із центральним соплом, іноді для апаратів із кільцевим соплом. Але в усіх роботах розглядаються змішування прямоточних потоків (робочого і пасивного) з одностороннім залученням рідини, що транспортується [20,27-28]. Для розрахунку струминного апарату (насоса, ежектора, інжектора) необхідно визначити такі гідравлічні та геометричні параметри:

- 1) витрати робочої та всмоктуваної рідин ( $Q_p$ ,  $Q_{вс}$ );
- 2) питомі енергії (повні тиски) робочої ( $H_p$ ), всмоктуваної ( $H_{вс}$ ) та змішаної ( $H_c$ ) рідин;
- 3) площі зрізу робочого сопла ( $S_o$ ) або його діаметр ( $d_o$ ) поперечного перерізу камери змішування ( $S_{к.с.}$ ) або його діаметр ( $d_{к.с.}$ ).

Решта геометричних параметрів проточної частини струминного апарату є функціями відношення  $d_{к.с.}/d_o$ .

Таким чином для розрахунку струминного насоса необхідно визначити сім невідомих величин рідин ( $Q_p$ ,  $Q_{вс}$ ,  $H_p$ ,  $H_{вс}$ ,  $H_c$ ,  $S_o$ ,  $d_o$ ,  $S_{к.с.}$ ,  $d_{к.с.}$ ) та скласти сім рівнянь [3,9]. Але розрахунки за цими методиками достатньо складні. Для вирішення поставленої задачі бажано мати спрощену методику розрахунку, що дає результати з достатньою для практичного використання точністю даних.

Метою є розробка спрощеної методики розрахунку пристрою фертигації, що використовує інжектор Вентурі в якості насоса для подачі маточного розчину добрив у поливну воду при зрошенні плодових насаджень.

Для створення вузла фертигації на базі інжектора Вентурі необхідно визначити його витратні характеристики. Розрахункова схема інжектора наведена на рис.2.5.

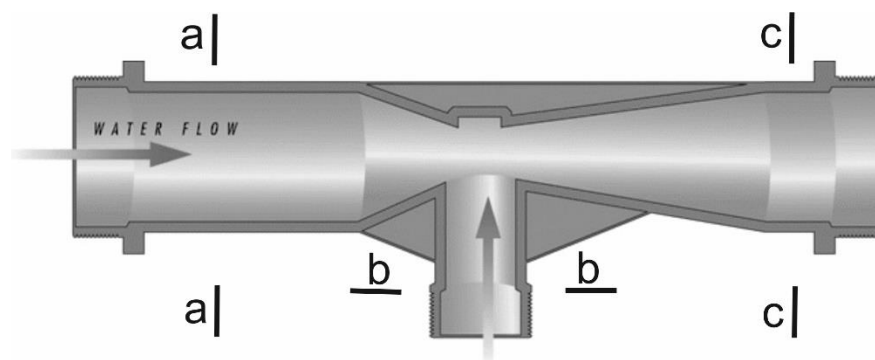


Рис.2.5. Розрахункова схема інжектора.

Режим інжектора характеризують такі параметри.

- 1) Втрати напору ( $H_p$ , м), що дорівнюють різниці напорів на вході в інжектор (переріз a-a) та на виході з нього (переріз c-c) на рис.2.5.

$$H_p = \frac{P_a}{\rho g} + \frac{V_a^2}{2g} - \frac{P_c}{\rho g} - \frac{V_c^2}{2g}, \quad (2.1)$$

де  $P$  – тиск рідини у відповідному перерізі, Па;  
 $v$  – швидкість рідини у відповідному перерізі, м/с;  
 $\rho$  – щільність рідини, кг/м<sup>3</sup>;  
 $g$  – прискорення вільного падіння,  $g=9.8$  м/с<sup>2</sup>.

2) Корисний напір ( $H_n$ , м), який створено інжектором, що дорівнює різниці напорів поданої рідини за інжектором (переріз с-с) та на вході в нього (переріз b-b)

$$H_n = \frac{P_c}{\rho g} + \frac{V_c^2}{2g} - \frac{P_a}{\rho g} - \frac{V_a^2}{2g}, \quad (2.2)$$

3) Витрати води на вході в інжектор  $Q_1$ , м<sup>3</sup>/с

$$Q_1 = v_a S_a = v_a \frac{\pi d_a^2}{4}, \quad (2.3)$$

де  $v_a$  – швидкість води, м/с;

$d_a$  – діаметр входу інжектора, м.

4) Корисна подача  $Q_0$ , м<sup>3</sup>/с

$$Q_0 = v_b S_b = v_b \frac{\pi d_b^2}{4}, \quad (2.4)$$

де  $v_b$  – швидкість маточного розчину добрив, м/с;

$d_b$  – діаметр всмоктувальної трубки, м.

5) Витрати розчину добрив на виході з інжектора  $Q_2$ , м<sup>3</sup>/с

$$Q_2 = Q_1 + Q_0 \quad (2.5)$$

Тоді коефіцієнт корисної дії інжектора  $\eta$  буде дорівнювати відношенню корисної потужності до використаної

$$\eta = \frac{H_n Q_0}{H_p Q_1} \quad (2.6)$$

Характеристика інжектора описує його роботу на змінних режимах в умовах  $H_p + H_n = \text{const}$ . Найбільш зручно приводити ці характеристики у відносній формі, як сукупність залежностей  $h=f(q)$ ,  $\eta=f(q)$ ,  $\mu_{p.c.}=f(q)$ . У даному випадку  $q$  - відносна витрата інжектора. Тоді

Відносний напір інжектора

$$h = H_n / (H_n - H_p) \quad (2.7)$$

Відносна витрата інжектора

$$q = Q_0 / Q_1 \quad (2.8)$$

Коефіцієнт витрат робочого сопла інжектора

$$\mu_{p.c.} = Q_1 / S_a \sqrt{(2g(H_{п} - H_p))} \quad (2.9)$$

Параметр К – відносна площа, що дорівнює відношенню площі входу у камеру зміщення до площі робочого сопла

$$K = S_b / S_c \quad (2.10)$$

де  $S_b$  – площа входу в камеру зміщення інжектора,  $m^2$ ;

$S_a$  – площа робочого сопла,  $m^2$ .

Точне дозування маточного розчину добрив в систему з врахуванням води в трубопроводі можна розрахувати за формулою

$$q_M = (F \cdot S) / (3,6 \cdot C_M \cdot K \cdot t), \quad (2.11)$$

де  $q_M$  - витрата маточного розчину, л/с;

$t$  - тривалість поливу, годин;

$K$  - коефіцієнт, що виражає залежність між часом закінчення подачі маточного розчину і закінченням вегетаційного поливу, як правило,  $K = 0,8$ , щоб дати час для промивки мережі.

Характеристики інжектора у відносній формі для  $K=2$  наведено на рис.2.6.

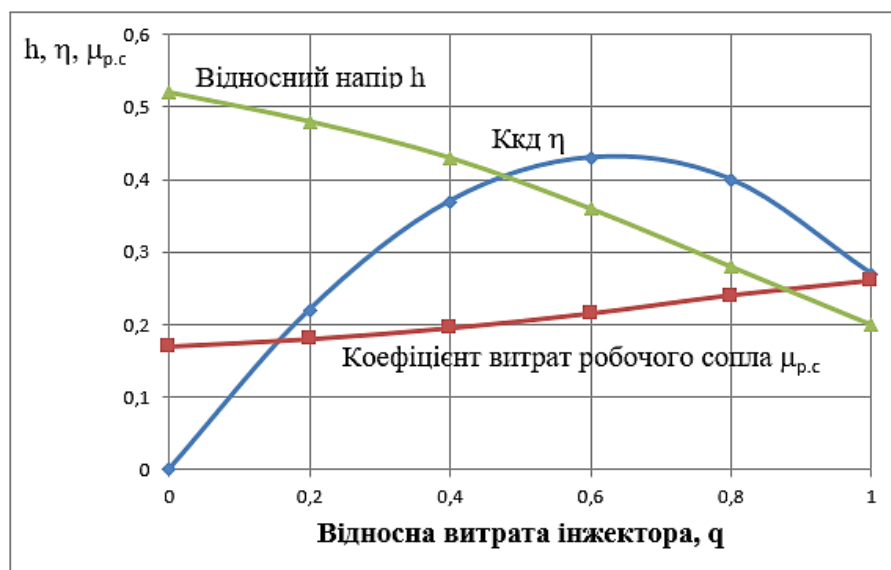


Рис. 2.6. Характеристики інжектора у відносній формі при  $K=2$ .

Максимального значення ККД ( $\eta = 0,43$ ) інжектора досягає при відносній витраті  $q=0,6$ . Відносний напір при цьому складе  $h=0,37$ , а коефіцієнт витрат робочого сопла  $\mu_{p.c.} = 0,21$ .

Для вказаних параметрів були визначені витратні характеристики інжекторів для різних значень тиску на вході та виході інжектора, а також для трьох значень приєднувальних розмірів інжектора –  $3/4''$ ,  $1''$ ,  $1\ 1/2''$ . Ці характеристики наведені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Витратні характеристики інжекторів.

Тиск на вході, атм	Тиск на виході, атм	Приєднувальний розмір ежектора					
		3/4"		1"		1 1/2"	
		Витрата через інжектор, л/год	Об'єм інжекції л/год	Витрата через інжектор, л/год	Об'єм інжекції л/год	Витрата через інжектор, л/год	Об'єм інжекції л/год
0,35	0,00	480	94	1560	360	3240	590
	0,10	480	92	1380	198	2700	294
	0,20	480	82	1260	84	2580	200
	0,28	420	32	-	na	-	na
	0,30	-	na	-	na	-	na
0,7	0,00	660	91	2160	372	4440	720
	0,40	660	88	1860	144	3840	450
	0,50	660	43	1860	90	3480	108
	0,60	600	30	-	na	-	na
1	0,00	840	90	2400	354	4980	720
	0,40	840	88	2340	270	4440	483
	0,50	780	44	2220	108	4200	180
	0,60	780	35	-	na	-	na
1,4	0,00	960	80	2820	336	5580	720
	0,35	960	80	2820	336	5400	642
	0,70	900	77	2760	264	5160	440
	1,00	900	47	2700	126	4980	204
2,1	0,00	1140	82	3360	312	6600	700
	0,35	1140	82	3360	312	6600	700
	0,70	1140	80	3360	312	6600	678
	1,00	1140	79	3360	312	6480	600
	1,40	1080	59	3240	204	6240	390
	1,70	1080	34	3180	36	5940	70
3,1	0,00	1440	83	3960	300	7860	700
	0,35	1440	83	3960	300	7860	700
	0,70	1440	83	3960	300	7860	700
	1,00	1440	83	3960	300	7860	700
	1,70	1440	75	3960	300	7800	630
	2,00	1380	61	3960	282	7620	504
	2,40	1380	43	3900	123	7440	213
4,1	0,00	1620	85	4620	300	8040	700
	2,00	1620	81	4620	300	8040	700
	2,40	1620	77	4620	300	8040	612
	3,00	1560	47	4560	230	7920	324
	3,24	1560	26	-	na	7920	168
5,5	0,00	1920	84	5400	300	9540	720
	2,06	1920	84	5400	300	9540	720
	3,10	1920	81	5400	300	9480	708
	4,10	1860	60	5400	255	9360	378
	4,48	1860	26	5340	84	9240	132
6,9	0,00	2100	93	5700	300	10680	720
	2,75	2100	93	5700	300	10680	720
	4,50	2100	81	5700	300	10620	660
	5,20	2040	68	5640	234	10500	384
	5,44	2040	55	5640	147	10440	240

Результати досліджень опубліковано в [16].

## ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 2

1. Використання фітомоніторингових досліджень дозволило виявити закономірності змін індексу швидкості ксилемного потоку у стовбурах дерев та температури листків абрикоса й черешні, а саме при підкрановому дрібнодисперсному дощуванні швидкість ксилемного потоку зменшується у 1,2-1,3 рази, а температура листків знижується на 4-5°C в порівнянні з краплинним зрошенням та контролем, що сприяло більш вищому загальному рівню транспіраційних потоків в рослинах та запобігало перегріванню листкового апарату.

2. Застосування методології фітомоніторингу з вивчення динаміки індексу швидкості ксилемного потоку абрикоса й черешні, яка не порушує цілісність стовбурів дерев, при встановленні їх водного обміну та призначення поливів системами мікрозрошення є доцільним.

3. Розроблено спрощену методику розрахунку пристрою фертигації, що використовує характеристики інжектора Вентурі у відносній формі.

4. Побудовано характеристики інжектора у відносній формі для випадку, коли площа входу в камеру зміщення інжектора перевищує у два рази площу робочого сопла. Встановлено, що в такій конфігурації максимальне значення ККД інжектора досягається при відносній витраті  $q=0,6$ . При цьому відносний напір складатиме  $h=0,37$ , а коефіцієнт витрат робочого сопла  $\mu_{p,c}=0,21$ .

**ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ**

1. Иванов В.Ф. и др. Экология плодовых культур. Киев: Аграрна наука, 1998. 406 с.
2. Zweifel R., Item H., Häslер R.. Link between diurnal stem radius changes and tree water relations. *Tree Physiology*. 2001. Vol.21. P.869-877
3. Третяк К.Д., Завгородня В.Г., Туровцев М.І. Вишня і черешня. Київ: Урожай, 1990. С.8-9.
4. Смыков В.К., Иванов В.Ф., Иванова Г.С. Персик и абрикос. Киев: Урожай, 1993. 224 с.
5. Садівництво півдня України / за ред В.А. Рудьєва. Запоріжжя: Дике поле, 2003. С.145-148.
6. Ильницький О.А., Лищук А.И., Ушкаренко В.А. Фитомониторинг в растениеводстве. Херсон, 1997. 235 с.
7. Одинцова В.А. Застосування фітомоніторингу в дослідженнях водного обміну персика. *Садівництво*. 2008. Вип.61. С. 306-313.
8. Нилов Н. Фитомониторинг в виноградарстве: Современные возможности и перспективы. *Виноделие и виноградарство*. 2004. №3. С.26-28.
9. Нилов Н. Совершенствование информационных технологий в виноградарстве. *Виноделие и виноградарство*. 2004. №5. С.8-10.
10. Рамазанов Т.М., Фадеев В.А. Фитомониторинг в виноградарстве (от теории к практике). *Виноделие и виноградарство*. 2003. №5. С.11.
11. Cohen M., Goldthorpe D.A, Fereres E., Girona J., Mataeac M. Assessment of peach tree responses to irrigation water deficits by continuous monitoring of trunk diameter changes. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 2001. Vol.76, №1. P.55-60.
12. Johnes H.G. Irrigation scheduling advantages and pitfalls of plant-based method. *J. Exp. Bot.* 2004. Vol.55, № 407.P.2427-2436.
13. Fernandez J.E., Green S.R., Caspari H. W., Diaz-Espejo A., Cuevas M.V. The use sap flow measurements for scheduling irrigation in olive, apple and Asian pear trees and in grapevines. *Aust. J. Agr .Res.* 2008. Vol.59. P.589-598.
14. Сушко С.Л., Чижиков І.О. Використання методології фітомоніторингу як засобу управління вегетаційними поливами кісточкових плодкових культур / Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету : електронне наукове фахове видання. Запоріжжя : ТДАТУ. 2023. Вип. 13, том 2. С. 30-39. <http://elar.tsatu.edu.ua/handle/123456789/16807>

15. Бондаренко Л.Ю. , Сушко С.Л. , Філіпов Д.О., Дмитрієв Ю.О.Визначення змін геометричних параметрів крони дерев яблуні при використанні системи мікрозрошення Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь, ТДАТУ, 2021. Вип. 11, том1 <http://www.tsatu.edu.ua/tstt/wp-content/uploads/sites/6/naukovyj-visnyk-tdatu-2021-vypusk-11-tom-1.pdf>

16. Сушко С.Л., Чижиков І.О..Методика розрахунку параметрів пристрою на основі інжектора вентурі для фертигації плодкових насаджень / Праці Таврійського державного агротехнологічного університету : наукове фахове видання. Запоріжжя : ТДАТУ, 2023. Вип. 23, т. 1. С. 126-135. <http://elar.tsatu.edu.ua/handle/123456789/17140>

17.Valentyna Odyntsova, Serhii Sushko, Larysa Bondarenko, Nina Scherbakova. Application of Phenoclimatographic Models in Stone Fruits Protecting from Spring Frosts. Modern Development Paths of Agricultural Production, 2019 - P.267-280. [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-14918-5\\_28](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-14918-5_28)

18. Zhu, C., Yang, X., Ge, J., Zhou, Q., & Mou, J. (2024). Study on internal flow mechanism and performance of double-suction annular jet pumps. *International Journal of Fluid Machinery and Systems*, 17(1), 69–79. <https://doi.org/10.5293/IJFMS.2024.17.1.069>

19. Aronson, K. E., Ryabchikov, A. Yu., Zhelonkin, N. V., Brezgin, D. V., Demidov, A. L., & Balakin, D. Yu. (2023). Features of the development and operation of multistage steam jet ejectors. *Thermal Engineering*, 70(4), 245–253. Springer Nature. <https://doi.org/10.1134/S0040601523040012>

20. Лямаев Б.Ф. Гидроструйные насосы и установки. – Л.: Машиностроение, 1988. – 256 с.

21. Hari Prasad, C., Satvika, B., Chaitanya, G., & Koustubha, G. (2023). Agricultural field monitoring and controlling of drip irrigation using IoT. *International Journal of Information Systems and Computer Sciences*, 12(4), 45–52. <https://doi.org/10.30534/ijiscs/2023/011242023>

22. Kandelous, M. M., & Šimůnek, J. (2010). Numerical simulations of water movement in a subsurface drip irrigation system under different soil and emitter discharge conditions. *Agricultural Water Management*, 97(7), 1070–1080. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.02.007>

23. Shatkovskiy A.P., Romashchenko M.I., Zhuravlov O.V., Vasyuta V.V., Melnychuk F.S., Ovchatov I.M., Yarosh A.V., Semenko L.O. Evaluation of the «Penman-Monteith» model for determination of soybeans' evapotranspiration in irrigated conditions of the Steppe of Ukraine. *Modern Phytomorphology*. 2020.

Vol. 14. P. 115-118. DOI: 10.5281/zenodo.4449887 (Web of Science Core Collection)

24. Шатковський А.П., Журавльов О.В. Наукові основи технологій краплинного зрошення сільськогосподарських культур. Херсон : ВД «Гельветика». 2021. 405 с.

25. Лямаев Б.Ф. Гидроструйные насосы и установки. – Л.: 1988. – 278 с.

26. Varga, S., Oliveira, A. C., & Soares, J. (2019). Experimental and numerical analysis of steam ejectors for refrigeration applications. *Applied Thermal Engineering*, 150, 50–60. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.01.024>

27. Hassan M. Badr, Wael H. Ahmed. Common Problems in Centrifugal Pumps // *Pumping Machinery Theory and Practice*, 2014, chap.5. DOI 10.1002/9781118932094

28. Olumayowa T. Kajero, Rex B. Thorpe, Yuan Yao, David Shan Hill Wong, Tao Chen. MetaModel-Based Calibration and Sensitivity Studies of Computational Fluid Dynamics Simulation of Jet Pumps // *Chemical engineering and technology*, 2017, Vol. 40, Issue 9, pp. 1674—1684. <https://doi.org/10.1002/ceat.201600477>