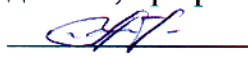


УДК 631.317 + УДК 631.312 + УДК 631.34+ УДК 631.1
№ держреєстрації 0121U109981
Інв. №:

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного
(ТДАТУ)
пр.-т Б.Хмельницького, 18, м. Мелітополь, Запорізька обл., 72312.;
тел. (0619) 42-21-32

ЗАТВЕРДЖУЮ
Проректор з наукової роботи
д.с-г.н., професор
 Оксана ЄРЕМЕНКО
„22” „12” 2021 р.

ЗВІТ
ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ
(проміжний)

**Сталий розвиток виробництва продукції садівництва та розсадництва у
Південному степу України в умовах змін клімату**

**РОЗРОБКА ІНТЕНСИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОБНИЦТВА ЕКОЛОГІЧНО
БЕЗПЕЧНОЇ ПЛОДООВОЧЕВОЇ ПРОДУКЦІЇ У ВІДКРИТОМУ ТА ЗАКРИТОМУ
ГРУНТІ ПІВДЕННОГО СТЕПУ УКРАЇНИ**

Керівник НДР
д.т.н., ст. наук. співр.



Олександр КАРАЄВ

2021

Результати цієї роботи розглянуто науково-технічною радою НДІ СПУ
Протокол № 6 від 22 грудня 2021 р.

СПИСОК АВТОРІВ

Керівник програми
д.т.н., ст.наук. співр.
директор НДІ СПУ



Караєв О.Г.

Відповідальні виконавці:

к.т.н., доцент кафедри СГМ



Чижиков І.О.

к.т.н.,ст..викл. кафедри СГМ



Матковський О.І.

д.т.н., проф.. каф. СГМ



Тарасенко В.В.

к.т.н., доцент кафедри СГМ



Саньков С.М.

к.т.н., доцент кафедри СГМ



Дядя В.М.

асистент кафедри СГМ



Головльов В.А.

к.т.н., ст. викл. кафедри СГМ



Сушко С.Л.

к.б.н., ст. викл. кафедри СГМ



Одинцова В.А.

аспірант



Філіпов Д.О.

інженер



Латоша В.В.

к.т.н., доцент кафедри ТМКП



Бондаренко Л.Ю.

к.т.н., доцент кафедри ОПХВ



Стручаєв Н.І.

к.т.н., доцент кафедри ТМКП



Вершков О.О.

магістрант

Тетервак І.Р.

РЕФЕРАТ

Звіт про науково-дослідну роботу містить: **78** сторінок основного тексту, **8** таблиць, **28** рисунків, список використаних джерел з **64** найменувань.

Об'єкт дослідження – процеси взаємодії робочого органу глибокорозпушувача з ґрунтом, процес захисту плодкових дерев дрібнодисперсним дощуванням та фізіологічні процеси, які відбуваються у деревах під впливом систем мікрозрошення, процес перетворення зрізаних гілок в енергопродукт та процес очищення і контролю якості стічної води.

Мета роботи – визначити вплив параметрів та засобів механізації на якість процесів вирощування саджанців, обґрунтувати параметри технічних засобів для зрошення плодкових насаджень, перероблення зрізаних гілок у біодобрива та біопаливо, поліпшення загального агротехнічного стану ґрунту смугової гряди та створення умов для локалізації кореневої системи саджанця у межах контуру гряди, а також розроблення конструктивного обладнання, яке дозволяє забезпечити ефективність роботи системи водоочищення оборотного водопостачання.

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

В результаті проведених досліджень:

– Розроблено математичну модель проектування поверхні безполицевого робочого органу, який взаємодіє з ґрунтом і може бути застосований для утворення контуру смугової гряди. Критерієм оптимізації є мінімізація енерговитрат при досягненні нормативної якості, що може бути здійснено вирішенням не прямої, а обертової задачі: визначенням сили тиску ґрунту певного стану на поверхню робочого органу, який проектується;

– доведено, що сівба самохідною сівалкою дозволяє усунути ущільнення ґрунту і нерівномірність глибини посіву насіння від переміщення робітника за сівалкою. Коефіцієнт варіації часу K_v одного робочого ходу

складає 15,8%, що є достатнім для розрахунку експлуатаційно-технологічних показників. Визначено експлуатаційні показники продуктивності сівалки: за 1 годину змінного часу – 0,033 га/год.; за 1 годину експлуатаційного часу – 0,029 га/год. При цьому максимальне зусилля на рукоятці при здійсненні повороту сівалки складає 86 Н;

– отримано метеорологічні та фізіологічні дані стану дерев персика і абрикосу щодо визначення оптимальних та граничних значень їх функціональних параметрів з водного обміну під впливом навколишнього середовища та зрошення;

– виявлено закономірності зміни індексу швидкості у стовбурах дерев та температури листків абрикоса й черешні, а саме при підкроновому дрібнодисперсному дощуванні швидкість ксилемного потоку зменшується у 1,2-1,3 рази, а температура листків знижується на 4-5 °С в порівнянні з краплинним зрошенням та контролем, що сприяло вищому загальному рівню транспіраційних потоків в рослинах та запобігало перегріванню листкового апарату;

– отримано залежності втрат теплоти з димовими газами в топці для спалювання тріски від температури згоряння робочого палива при заданій вологості тріски, за якими, шляхом підбору значення коефіцієнту надлишку повітря в топці, можна довести ККД топки до 84%;

– доведено, що підвищення ефективності процесу компостування біомаси плодівих дерев може бути досягнуто шляхом визначення оптимальної кількості води і застосування зворотної системи зволоження. Для забезпечення оптимальних режимів приготування компостної суміші у кількості 14т необхідно додати додатково 2700 л рідини.

Ключові слова: СМУГОВА ГРЯДА, ГРУНТОВИЙ КАНАЛ, САМОХІДНА СІВАЛКА, КСИЛЕМНИЙ ПОТІК, ДРІБНОДИСПЕРСНЕ ДОЩУВАННЯ, ТОПКА ДЛЯ СПАЛЮВАННЯ ТРІСКИ, КОМПОСТУВАННЯ ПЛОДОВОЇ ДЕРЕВИНИ.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
Розділ 1.1 Обґрунтувати параметри робочих органів машин для вирощування плодкових саджанців кісточкових культур на смугових грядках.....	8
1.1 Актуальність теми дослідження.....	8
1.2 Програма та методика досліджень	10
1.3 Результати досліджень	16
Висновки.	26
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	27
Розділ 1.2. Розробити засоби механізації для технології вирощування плодово-овочевих культур інтенсивного типу в умовах півдня України.....	29
2.1 Актуальність теми дослідження.....	29
2.2 Методика проведення досліджень	30
2.2.1 Програма експериментальних досліджень.....	30
2.2.2 Характеристика об'єкту досліджень та умови проведення дослідів.....	30
2.3. Результати досліджень.....	32
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	37
Розділ 1.3. Розробити програмно-апаратний комплекс управління технічними параметрами системи зрошування і фізіологічними параметрами дерев кісточкових культур.....	39
3.1 Актуальність теми дослідження.....	39
3.2 Характеристика об'єктів досліджень, методика проведення дослідів та опис технічного забезпечення засобів автоматизації.....	40
3.2.1 Характеристика об'єктів досліджень.....	40
3.2.2 Методика проведення дослідів, схеми дослідів та елементи обліку.....	41
3.2.3 Опис технічного забезпечення засобів автоматизації.....	44
3.3. Результати досліджень.	49
3.3.1 Вплив абіотичних факторів на показники фітотимоніторингу абрикоса й черешні.....	49
3.3.2 Вплив дрібнодисперсного підкранового дощування на індекс швидкості ксилемного потоку та температуру листків черешні.....	50

3.3.3 Вплив дрібнодисперсного підкоронового дощування на індекс швидкості ксилемного потоку та температуру листків абрикоса.....	51
ВИСНОВКИ.....	53
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	54
розділ 1.4. Обґрунтувати параметри систем перетворення зрізаних гілок плодкових насаджень в енергопродукт.	56
4.1 Актуальність теми дослідження.....	56
4.2 Методика проведення та програма досліджень.....	57
4.2.1 Програма експериментальних досліджень.....	57
4.2.2 Технологія виробництва деревних паливних брикетів.....	58
4.2.3 Методика визначення коефіцієнта корисної дії топки для спалювання тріски зрізаних гілок плодкових дерев.....	61
4.2.4 Методика визначення оптимальної кількості води для зволоження компостної суміші із тріски зрізаних гілок плодкових дерев.....	63
4.3. Результати досліджень.....	65
4.3.1 Визначення коефіцієнта корисної дії топки для спалювання тріски зрізаних гілок плодкових дерев.....	65
4.3.2 Визначення оптимальної кількості води для зволоження компостної суміші із тріски зрізаних гілок плодкових дерев.....	70
Висновки.....	74
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	76

ВСТУП

Україна має значні переваги перед європейськими державами за природно-економічним потенціалом для влаштування промислового садівництва. Інноваційний характер відтворювальних процесів сучасної економічної системи зумовлює перехід усіх складових національного господарського комплексу на новий тип розвитку, що, у свою чергу, потребує вдосконалення механізму економічних взаємовідносин між суб'єктами господарювання. При цьому для ефективного розвитку галузі садівництва повсякчас необхідно враховувати закономірності росту, розвитку, розмноження, плодоношення плодових і ягідних культур, їх взаємозв'язок із зовнішнім середовищем, що є основою формування інноваційної сфери галузі.

Важливою передумовою ефективного функціонування галузі садівництва є здатність плодово-ягідних насаджень продукувати необхідну кількість садівницької продукції високої якості, адже обсяги виробництва плодів і ягід визначаються, передусім, динамікою кількісного та якісного складу плодоносних насаджень.

Здійснення відтворювальних процесів на основі застосування інноваційних технологій є беззаперечною умовою успішного розвитку садівництва в умовах глобалізованого середовища функціонування.

Шляхом постачання плодової продукції на зовнішній ринок є процедура сертифікації всіх процесів виробництва за стандартом GLOBALG.A.P., яким визначено, що методи отримання високоякісної продукції садівництва мають гарантувати відсутність ризиків для навколишнього середовища. Тому розробка засобів механізації і системи безпеки для існуючих і нових технологій виробництва продукції садівництва та розсадництва плодових культур, що забезпечать дотримання нормативних вимог до якості процесу, стає актуальною задачею.

РОЗДІЛ 1.1 ОБҐРУНТУВАТИ ПАРАМЕТРИ РОБОЧИХ ОРГАНІВ МАШИН ДЛЯ ВИРОЩУВАННЯ ПЛОДОВИХ САДЖАНЦІВ КІСТОЧКОВИХ КУЛЬТУР НА СМУГОВИХ ГРЯДАХ.

Керівник – к.т.н., доцент, каф. СГМ **Чижиков І.О.**,

Виконавці – к.т.н., доцент, каф. СГМ **Матковський О.І.**

1.1 Актуальність теми дослідження

Розвиток сучасного промислового садівництва в Україні вимагає прискореного нарощування виробництва високоякісного садивного матеріалу. Для закладання інтенсивних садів через необхідність ущільненої посадки дерев і швидшої заміни насаджень потреба у саджанцях на одиницю площі збільшується в 3 – 4 рази. Так, 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%. Через відсутність спеціальних машин для вирощування садивного матеріалу більшість технологічних операцій виконується з порушенням агротехнічних строків, закладених у технологічних картах, внаслідок чого спостерігається спад цього процесу, збільшення витрат на нього та погіршення якості саджанців.

Інтенсифікація галузі розсадництва шляхом зміни схем садіння при закладанні першого поля розсадника (за рахунок збільшення густоти рослин на одиницю площі) не завжди дає позитивні зміни [4], особливо у частині якості кінцевої продукції розсадника – виходу бажаного відсотка стандартних саджанців без зниження їх сортності.

Зважаючи на означену проблему є необхідність у пошуку та апробації нових схем закладання розсадника, удосконаленні існуючих та розробленні нових засобів механізації для вирощування садивного матеріалу [5].

Існує класифікація типів робочих органів за ознакою кількості утворених стінок робочим органом в ґрунті за різних видів різання [6]:

- 1) вільне різання – утворюється одна стінка, яка розташована горизонтально (лапи культиваторів, плоскорізів);
- 2) напіввільне різання – утворюється одна вертикальна і одна горизонтальна стінки (корпуси плугів, лопати грейдерів, бульдозерів)
- 3) блоковане різання – утворюється три стінки: одна горизонтальна і дві вертикальні (скоби, ковші екскаваторів).

В даній класифікації вважається що вертикальні і горизонтальні стінки, які утворюються робочим органом в ґрунті, є площинами. Такі стінки утворюються робочими органами з відповідними параметрами форми і положення їх структурних елементів. При вирішенні різних задач проектування поверхні структурних елементів робочих органів можуть мати площинні та криволінійні форми.

При цьому, виникає необхідність визначення значень дотичних і нормальних напружень, які виникають в будь-якій точці поверхні і, тим самим, прогнозувати, за якими параметрами поверхонь досягається нормативна якість при мінімальних витратах енергії на переміщення робочого органу в ґрунті. Тобто, виникає можливість прогнозувати рівень співвідношення між ефектами і витратами.

Метою досліджень є розробити математичну модель щодо визначення оптимального співвідношення між ефектами і витратами на процес різання ґрунту робочими органами машин шляхом прогнозування сили тиску ґрунту на поверхню робочого органу за рахунок врахування значень дотичних і нормальних напружень, які виникають у будь якій точці поверхні [7]..

Завдання досліджень.

Завданнями проміжного етапу виконання досліджень передбачалося:

Завдання 1. Розробити математичну модель проектування поверхні безполицевого робочого органу, який взаємодіє з ґрунтом і може бути застосований для утворення контуру смугової гряди з мінімізацією енерговитрат при досягненні нормативної якості.

Завдання 2. Розробити методику та дослідити процес роботи макетного зразка робочого органу для формування контуру смугової гряди в умовах ґрунтового каналу.

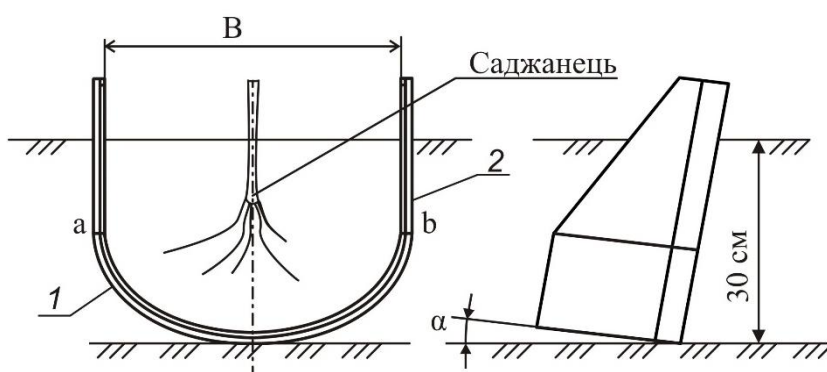
1.2 Програма та методика досліджень

Програмою та завданням експериментальних досліджень передбачалося дослідження процесу роботи макетного зразка робочого органу для формування контуру смугової гряди в умовах ґрунтового каналу.

Розроблення математичної моделі здійснено для блокованого різання. Одним з робочих органів, яким здійснюється таке різання, є скоба плуга для викопування плодкових саджанців, яка є безполицевим робочим органом із замкненим контуром. Конструктивна схема скоби наведена на рис. 1.1.

Горизонтальна частина скоби 1 має криволінійну форму поверхню, а вертикальні 2 – є профільними площинами.

Обґрунтування параметрів форми поверхні криволінійної частини скоби здійснено відповідно до схеми (рис.1.2).



1 – горизонтальна частина скоби (ab);

2 – вертикальна частина скоби; α – кут різання.

Рисунок 1.1 – Конструктивно-технологічна схема скоби плуга для викопування саджанців.

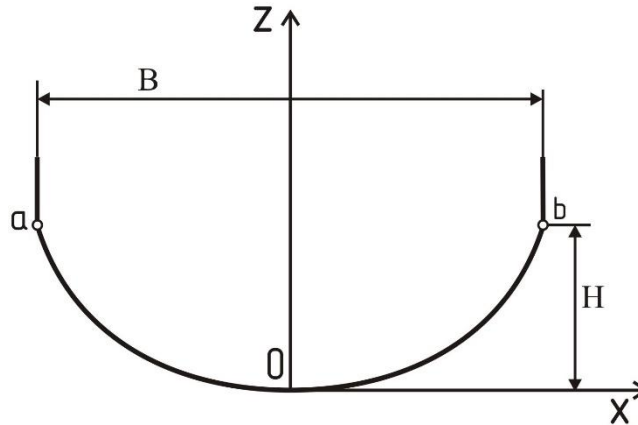


Рисунок 1.2 – Схема для визначення параметрів форми поверхні криволінійної частини скоби.

Горизонтальна частина скоби ab встановлена під кутом α до осі Oy і має розміри: шириною захвату B і висоту H .

Задача досліджень полягала у визначенні таких параметрів поверхні криволінійної частини скоби, за яких енерговитрати на відділення скиби ґрунту від масиву були б мінімальними [7-8].

Припущення: вважається, що опір будь якої частини криволінійної поверхні скоби Q (рис.1.3) залежить тільки від глибини копання і є незалежним від вертикальних частин скоби. Тому, в подальшому будемо розглядати тільки криволінійну частину скоби.

Визначення цільової функції здійснено за схемою, яку наведено на рисунку 1.3.

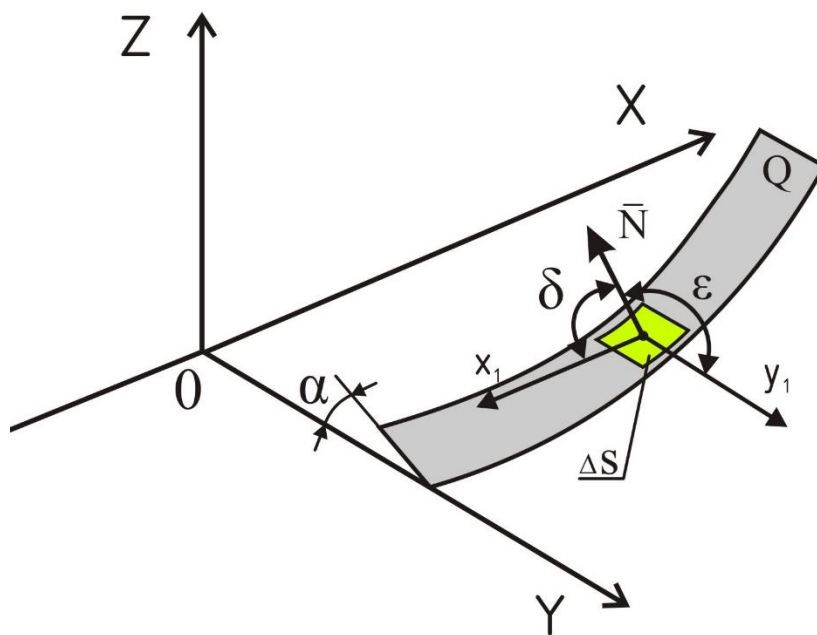


Рисунок 1.3 – Розрахункова схема для визначення цільової функції.

Для визначення тиску ґрунту на поверхню скоби Q її представлено елементарною площиною ΔS з вектором нормалі \bar{N} , визначеним двома поворотами навколо осі Oy , і Ox .

Значення відхилення від осі Oy пов'язано з відхиленням поверхні Q на кут α , а значення відхилення від осі Ox пов'язано з поворотом навколо елементарній площини поверхні скоби Q на кут δ .

Тоді

$$(0;0;1) \Rightarrow (-\sin \delta; 0; \cos \delta) \Rightarrow N = (-\sin \delta; \sin \alpha \cos \delta; \cos \alpha \cos \delta) \text{ де}$$

$$\delta = \arctg f'(x),$$

а кут ε між вектором \bar{N} і віссю Oy буде дорівнювати

$$\varepsilon = \arccos(\sin \alpha \cos \delta). \quad (1)$$

Сила тиску на елементарну площину буде дорівнювати

$$F = (\tau \sin \varepsilon + \sigma \cos \varepsilon) \Delta S, \quad (2)$$

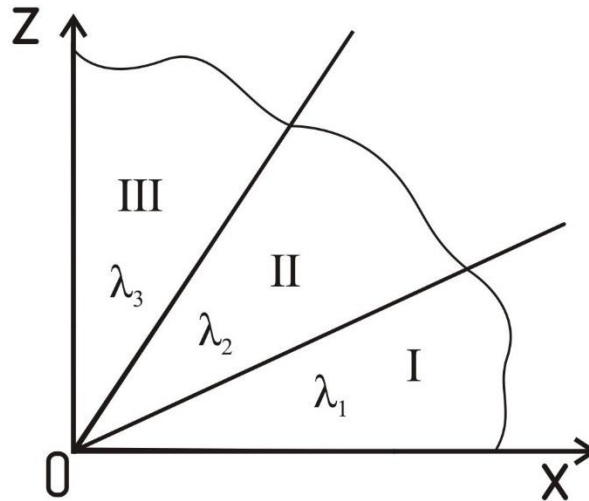
де τ – дотичні напруження на елементарній площині поверхні скоби;

σ – нормальні напруження на елементарній площині поверхні скоби;

ΔS – елементарна площа поверхні скоби.

Поверхню викопувальної скоби можна розглядати як певну сукупність положень ΔS до горизонту і вважати її як підпірну стінку. Знаходження силу тиску ґрунту на підпірну стінку зроблено з урахуванням [9].

Граничний напружений стан ґрунту може бути трьох видів, які пов'язані зі значенням кута зовнішнього тертя (рис. 1.4).



I – зона пологих підпірних стінок; II – зона проміжних положень підпірних стінок; III – зона крутих положень підпірних стінок.

Рисунок 1.4 – Граничний напружений стан ґрунтового середовища

Для пологого положення ΔS до горизонту її кут нахилу знаходиться в межах зони I і буде дорівнювати

$$\lambda_1 \leq \frac{1}{2} \arcsin \frac{\varphi}{\rho} - \frac{\varphi}{2}, \quad (3)$$

де φ – кут зовнішнього тертя;

ρ – кут внутрішнього тертя.

Для проміжного положення елементарної площини ΔS до горизонту її кут нахилу знаходиться в межах зони II і буде дорівнювати

$$\frac{\pi}{2} - \frac{\varphi}{\rho} - \frac{1}{2} \arcsin \frac{\sin \varphi}{\sin \rho} > \lambda_2 < \frac{1}{2} \arcsin \frac{\sin \varphi}{\sin \rho} - \frac{\varphi}{2}. \quad (4)$$

Для крутого положення елементарної площини ΔS до горизонту її кут нахилу знаходиться в межах зони III і буде дорівнювати

$$\lambda_3 > \frac{\pi}{2} - \frac{\varphi}{\rho} - \frac{1}{2} \arcsin \frac{\sin \varphi}{\sin \rho}. \quad (5)$$

Визначення граничних нормальних та дотичних напружень в ґрунті здійснено відповідно до розрахункової схеми, яка наведена на рисунку 1.5.

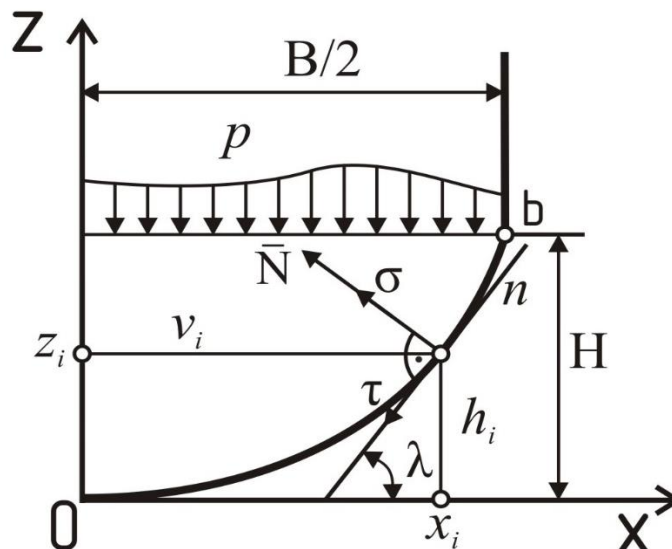


Рисунок 1.5 – Розрахункова схема для визначення напружень на поверхні викопувальної скоби.

Формули нормальної та дотичної складових сили тиску в зонах положення ΔS визначено з урахуванням [10]:

- для нормальної складової

$$\sigma = \sigma(v, h) = \begin{cases} A_1 \left(\gamma \cdot h + c \cdot \operatorname{tg} \rho + p - \frac{c}{A_1} \operatorname{ctg} \rho \right) & \text{для } \lambda_1 \\ A_3 \left(\gamma \cdot x + c \cdot \operatorname{ctg} \rho + p - \frac{c}{A_3} \operatorname{ctg} \rho \right) & \text{для } \lambda_2 \\ \gamma \cdot h \cdot \cos^2 \rho + p & \text{для } \lambda_3 \end{cases}, \quad (6)$$

- дотичного складової

$$\tau = \tau(v, h) = \begin{cases} A_2 \left(\gamma \cdot h + c \cdot \operatorname{ctg} \rho + p - \frac{c}{A_2} \right) & \text{для } \lambda_1 \\ A_4 \left(\gamma \cdot x + c \cdot \operatorname{ctg} \rho + p - \frac{c}{A_4} \right) & \text{для } \lambda_2 \\ \gamma \cdot h \cdot \cos \rho \sin \rho + c & \text{для } \lambda_3 \end{cases}, \quad (7)$$

де γ – щільність ґрунту;

ρ – кут внутрішнього тертя;

p – нормальний тиск;

c – величина зчеплення ґрунту.

Коефіцієнти A_1, A_2, A_3, A_4 визначаються за формулами:

$$A_1 = \frac{1 - \sin \rho \cdot \cos 2\beta}{1 - \sin \rho}, \quad A_2 = \frac{\sin \rho \cdot \sin 2\beta}{1 - \sin \rho},$$

$$A_3 = \left(\frac{\cos \varphi (\cos \varphi + \sqrt{\sin^2 \rho - \sin^2 \varphi})}{1 - \sin \rho} \right) \times \exp \left(2\beta - \pi + \varphi + \arcsin \frac{\sin \varphi}{\sin \rho} \right) \operatorname{tg} \rho, \quad (8)$$

$$A_4 = \left(\frac{\sin \varphi (\cos \varphi + \sqrt{\sin^2 \rho - \sin^2 \varphi})}{1 - \sin \rho} \right) \times \exp \left(2\beta + \pi + \varphi + \arcsin \frac{\sin \varphi}{\sin \rho} \right) \operatorname{tg} \rho.$$

Для отримання критерію оптимізації здійснено інтегрування рівняння (2) з урахуванням прийнятого припущення – $av/2$.

Тоді критерій оптимізації прийняв такий вигляд

$$\int_0^{\frac{H}{2}} \int_0^{\frac{B}{2}} \left[\tau(v, h) \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \alpha}{1 + f'^2(x)}} + \sigma(v, h) \frac{\sin \alpha}{\sqrt{1 + f'^2(x)}} \right] \times \sqrt{1 + f'^2(x)} dx dz \rightarrow \min, \quad (9)$$

де

$$v = \arccos \frac{\cos \alpha}{\sqrt{1 + f'^2(x)}} \quad (10)$$

$$h = H - f(x) \cos \alpha - z \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (11)$$

де v – поточна координата положення ΔS по осі X ;

h – поточна координата положення ΔS по осі Z .

Рішення даної функцію будемо шукати методом степеневих рядів, який є достатнім для розв'язання даного класу задач.

Тоді дана функція може бути представлена виразом

$$f(x) = \sum_{k=0}^n a_k x^k, \quad (12)$$

і має задовольняти умовам:

$$\begin{aligned} f(0) &= 0 \\ f(B/2) &= H \end{aligned}$$

Тоді маємо

$$a_n = \left(\frac{B}{2}\right)^n \left(H - \sum_{k=1}^{n-1} a_k \left(\frac{B}{2}\right)^k \right) \quad (13)$$

та з урахуванням того, що поверхня скоби є увігнутою маємо умову

$$\sum_{k=2}^n k(k-1)a_k x^{k-2} > 0, \quad \forall x \in [0; B/2]. \quad (14)$$

З урахуванням наведеного, задача оптимізації параметрів поверхні скоби зводиться до визначення набору коефіцієнтів:

$$(a_1, a_2, \dots, a_{n-1}) \in [0; +\infty) \times \dots \times [0; +\infty),$$

який для функції заданої рівняннями (12) і (13) забезпечує виконання умови (14) при досягненні мінімуму функціонала (9).

1.3 Результати досліджень

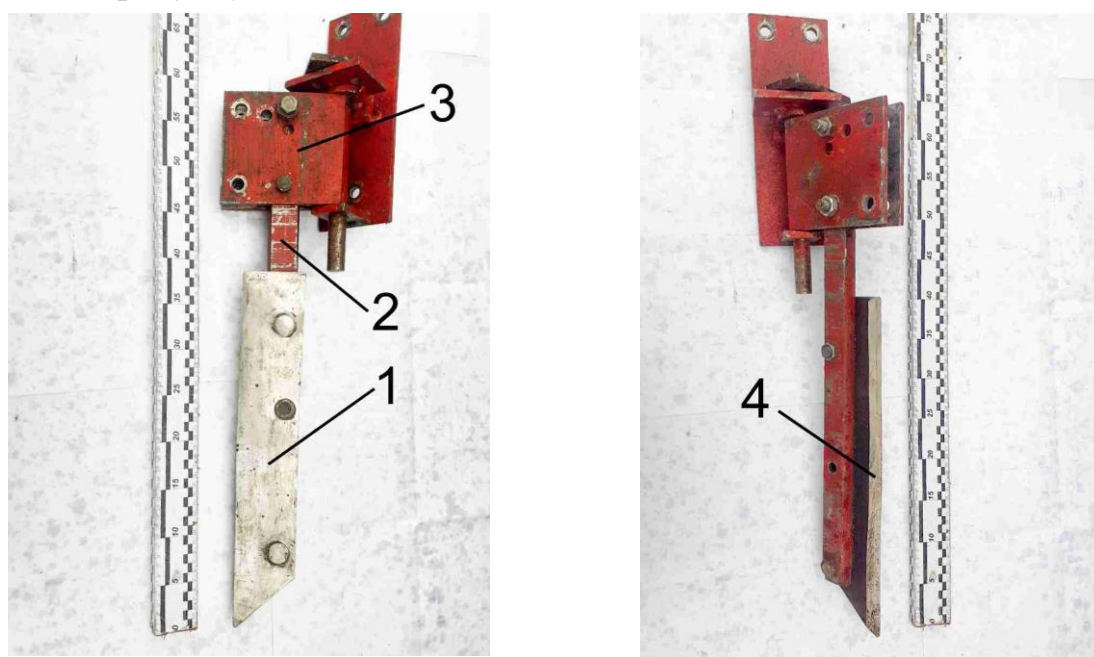
Дослідження процесу роботи макетного зразку робочого органу глибокорозпушувача проводилося в умовах ґрунтового каналу ТДАТУ в жовтні 2021 року. Ґрунтовий канал кафедри сільськогосподарських машини ТДАТУ (рис.1.6), довжина якого становить 25 м, ширина – 2,6 м, розташований на відкритому просторі, ґрунт в ньому знаходиться у природному складеному стані із непорушеною активністю біотичних процесів.

Метою досліджень було визначення впливу конструктивних параметрів робочого органу на енергоємність процесу та ступінь розпушення та ущільнення ґрунту в межах контуру смугової гряди.



Рисунок 1.6 – Ґрунтовий канал ТДАТУ для дослідження робочих процесів ґрунтообробних машин.

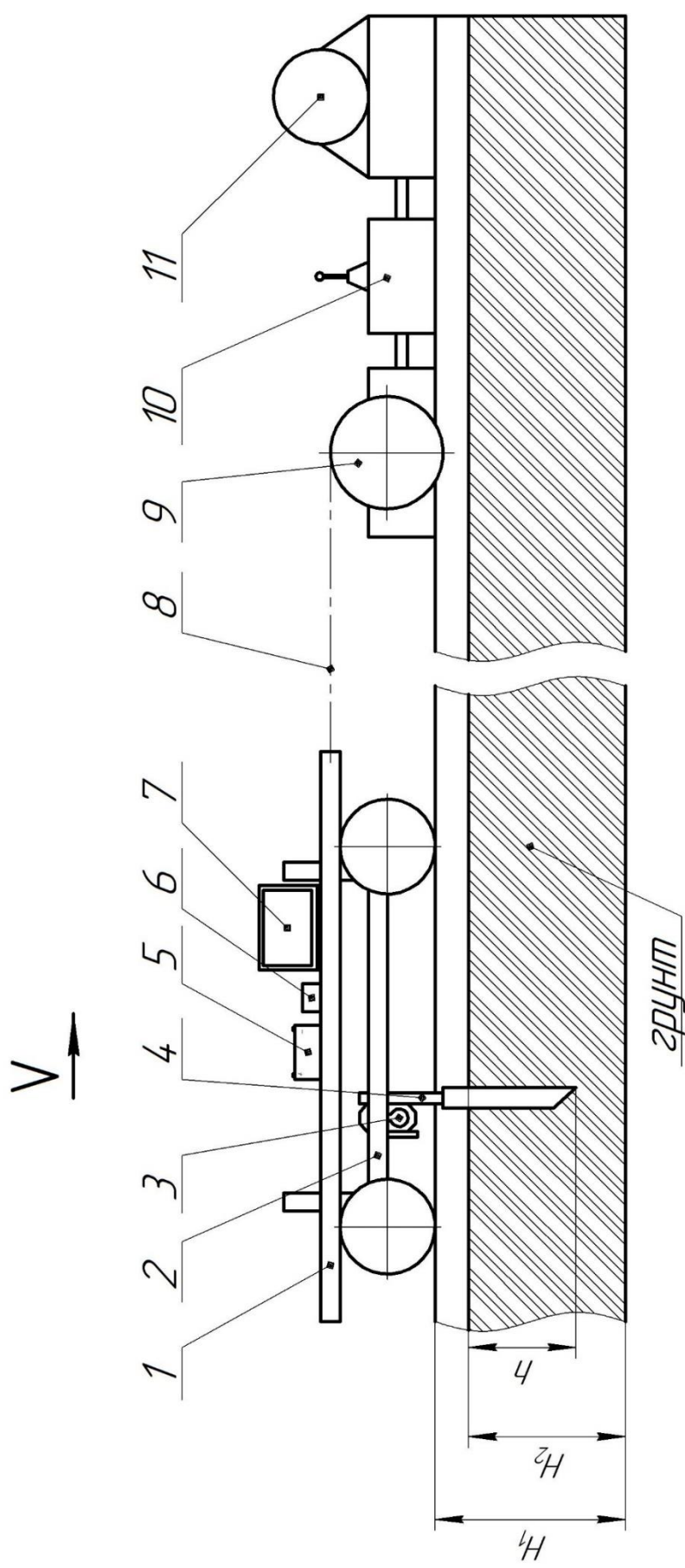
Загальний вид макетного зразка робочого органу глибокорозпушувача наведено на рисунку 1.7



1 – леміш; 2 - стійка; 3 – пристрій регульовальний; 4 – лезо.

Рисунок 1.7 – Загальний вид макетного зразка робочого органу глибокорозпушувача.

Схема розміщення візка із робочим органом та іншого устаткування для проведення досліджень у ґрунтовому каналі наведено на рисунку 1.8.



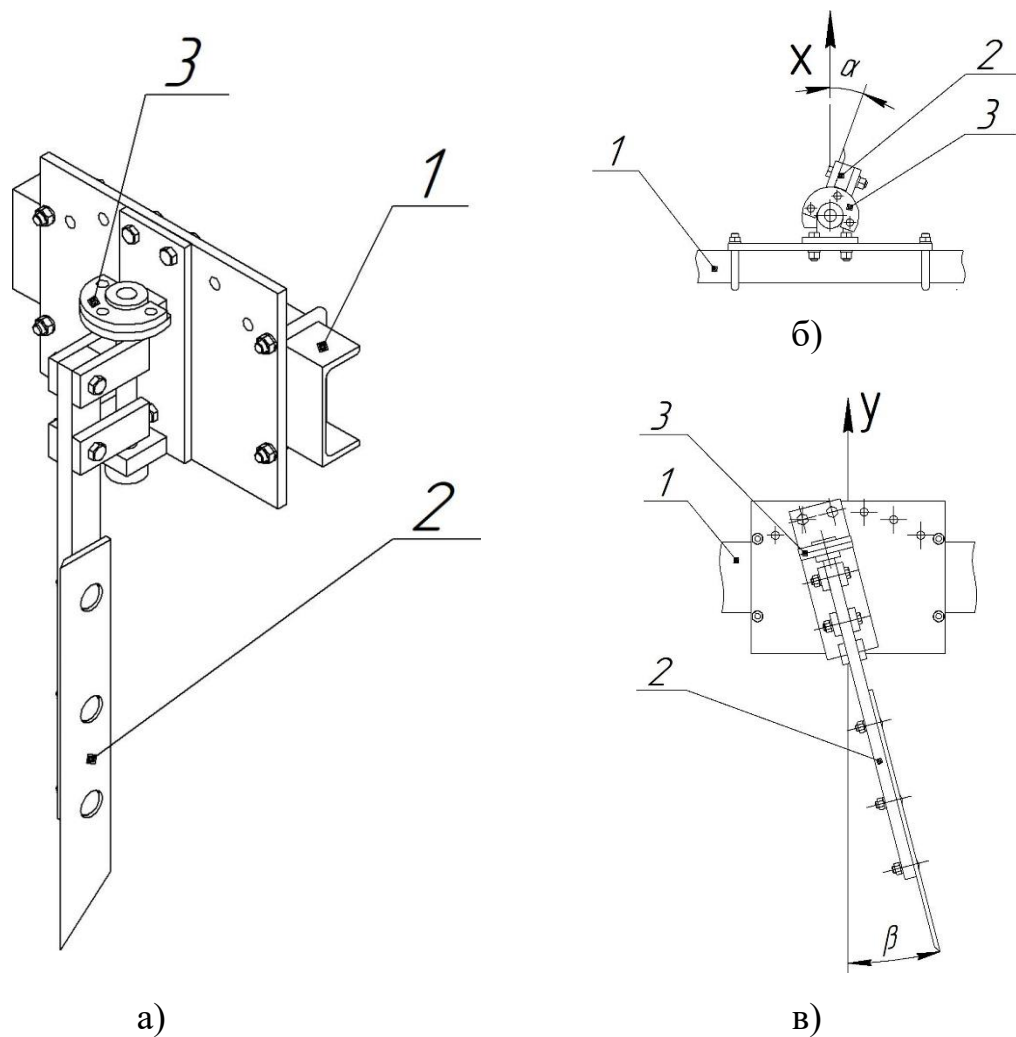
1 – візок; 2 – рамка; 3 – тензоланка; 4 – робочий орган; 5 – джерело живлення 12V; 6 – АЦП; 7 – ноутбук; 8 – гнучкий трос; 9 – барабан; 10 – коробка швидкостей; 11 – електродвигун.

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

Рисунок 1.8 – Схема устаткування для проведення досліджень у ґрунтовому каналі.

За допомогою регулювального пристрою (рис. 1.9) у процесі проведення дослідів змінювались такі параметри розташування робочого органу в просторі:

- кут α між робочою площиною леміша та напрямком руху робочого органу (кут атаки) (рис.1.9, б);
- кут β відхилення стійки із робочим органом у поперечно-вертикальній площині (рис.1,9, в).



а) модель робочого органу (тензоланка не показана); б) зміна кута α ;
 в) зміна кута β .

1 – швелер рамки візка; 2 – робочий орган; 3 – пристрій регулювальний.

Рисунок 1.9 – Параметри положення робочого органу, що змінювались під час проведення досліджень у ґрунтовому каналі.

У таблиці 1.1 наведені межі варіювання параметрів робочого органу, що змінювались під час проведення дослідів у ґрунтовому каналі.

Таблиця 1.1. Межі варіювання змін параметрів робочого органу.

Позначення параметру	Одиниця вимірювання	Нижнє граничне значення	Верхнє граничне значення	Крок
Кут α	град.	10	20	10
Кут β	град.	15	30	15

Дослідження проводилися при глибині ходу робочого органу $h = 0,1$ м незалежно від змін параметрів робочого органу. Наприклад, при збільшенні кута нахилу стійки β з 15° до 30° для забезпечення заданої глибини ходу робочого органу рамка візка опускалася нижче.

Швидкість руху візка складала $0,37$ м/с ($1,3$ км/год).

В якості критеріїв оцінки процесу прийнято:

- середнє значення тягового опору, Н;
- щільність ґрунту в межах контуру смугової гряди, г/см³;
- ширина зони розпушення ґрунту, що піднімався на денну поверхню, м.

Щодо щільності ґрунту в межах контуру смугової гряди, слід пояснити наступне. Розглянемо поперечний переріз ґрунту (смугової гряди) після проходження досліджуваного робочого органу (рис.1.10), який є розпушувачем із поставленим під кутом атаки α лемішем та стійкою, нахиленою під кутом β у поперечно-вертикальній площині, яка фактично окреслюватиме форму граничного контуру смугової гряди.

Стінка контуру на відріжку AB , що знаходиться справа по ходу руху буде ущільнюватися. Назвемо її «ущільнена стінка», а щільність цього шару позначимо ρ_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 ρ_p .

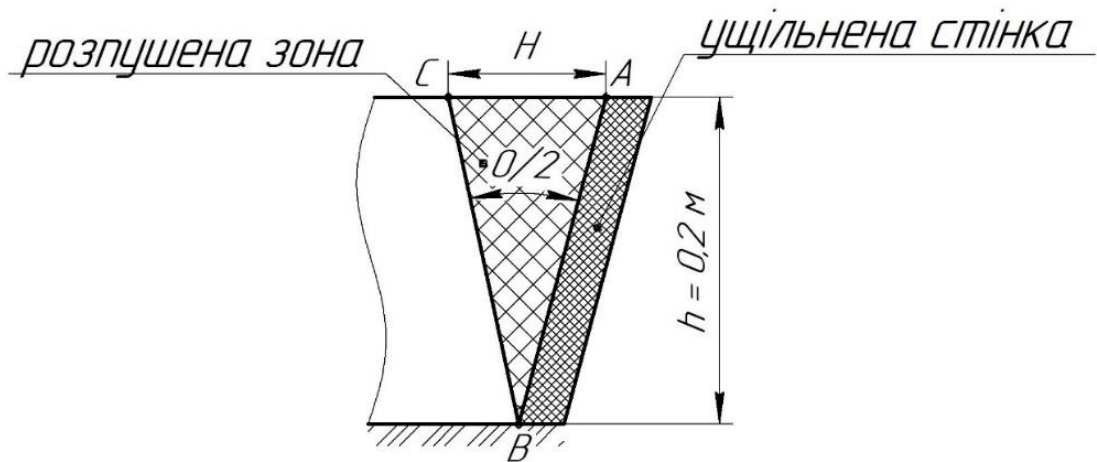


Рисунок 1.10 – До визначення щільності ґрунту у контурі смугової гряди.

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

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

Щільність ґрунту вимірювалася згідно ГОСТ 20915-75 [11].

При проведенні досліджень визнався стан ґрунту за показниками вологості та твердості. Вологість ґрунту визначалася термостатно-ваговим способом [12,13], твердість ґрунту за методиками [14] твердоміром Ревякіна №224.

Результати заносилися до журналу.

Перелік приладів та обладнання, що використовували при проведенні експерименту в ґрунтовому каналі наведено у таблиці 1.2

Таблиця 1.2

Перелік приладів та обладнання, що використовували при проведенні експериментальних досліджень.

Найменування приладу	Марка, тип
Лінійка лабораторна	ГОСТ 17435-72
Ваги електронні	AXIS ADGS100
Фотоапарат цифровий	Canon
Бюкси	ГОСТ 7148-70
Шафа сушильна	СШ-3, ТУ 79 РСФСР 335-72
Рулетка	РС-5, ГОСТ 5072-77
Секундомір дистанційний	С-1-2а, ГОСТ 8.423-81
Твердомір Ревякіна	№224

Тяговий опір ґрунту від переміщення в ньому робочого органу визначався методом тензометрування (рис. 1.11). Для цього застосовано подовжену кільцеву октагональну тензоланку [15].

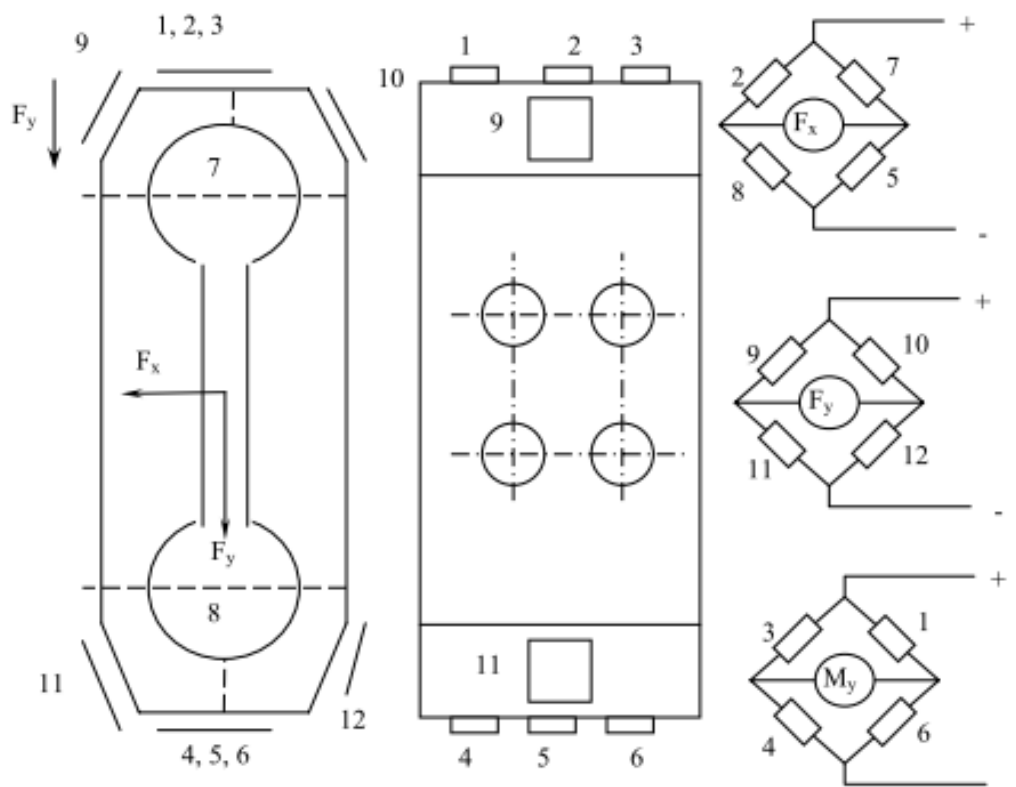


Рисунок 1.11 – Схема підключення тензорезисторів на подовжену кільцеву октагональну тензоланку.

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, які утворюють 3 тензодатчики (тензомости), відповідно до рисунку 1.11.

Перед початком визначання тягового опору робочого органу необхідно було перевірити працездатність тензодатчиків та сприйняття ними навантаження у різних діапазонах його значень, а також встановленні залежності між механічним навантаженням і вихідними значеннями електричного сигналу аналого-цифровому перетворювачі (АЦП) проведено градуювання тензоланки на тарувальному стенді (рис.1.12).



- 1 – тензоланка;
- 2 – динамометр;
- 3 – аналого-цифровий перетворювач сигналу

Рисунок 1.12 – Процес тарування тензоланки на стенді.

Реєструючим приладами при тензометруванні був аналого-цифровий перетворювач АЦП.ТЕНЗО-002.001.00 (рис.1.12, поз.3), який для обробки та запису даних на комп'ютері передавав сигнали на спеціальне програмне забезпечення. Обробка результатів проводилась за допомогою програмного забезпечення GNU Octave.

В результаті побудовані залежності кодів АЦП від зусилля навантаження у горизонтальній (F_x) та вертикальній (F_y) площинах (рис.1.13-1.14).

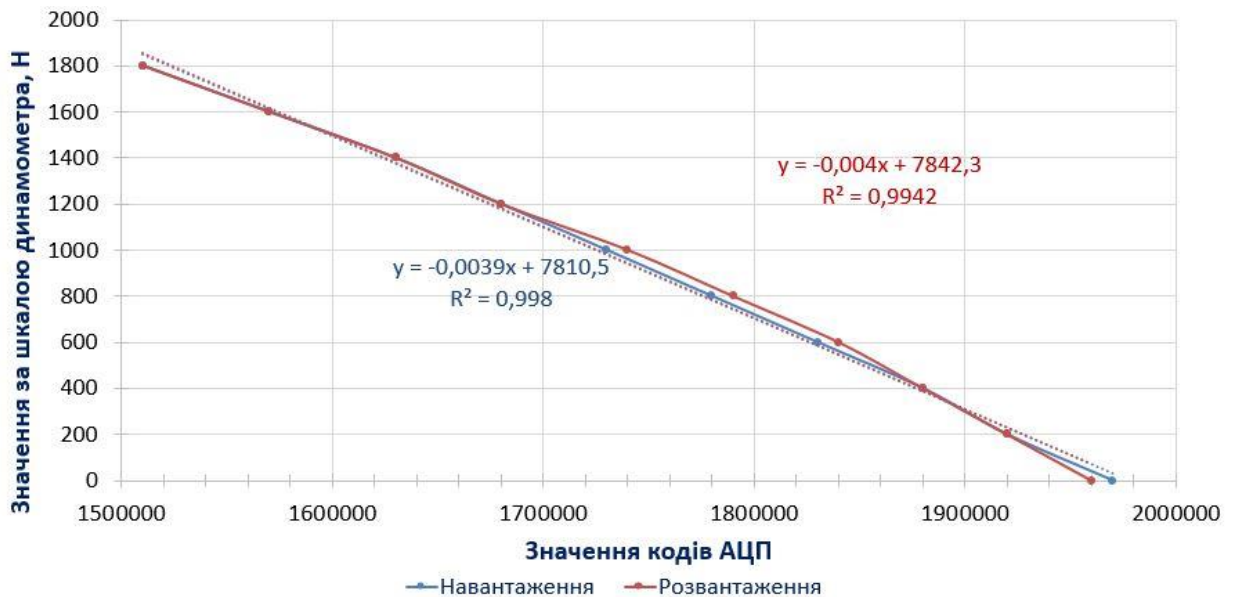


Рисунок 1.13 – Результати тарування тензоланки у площині F_x .

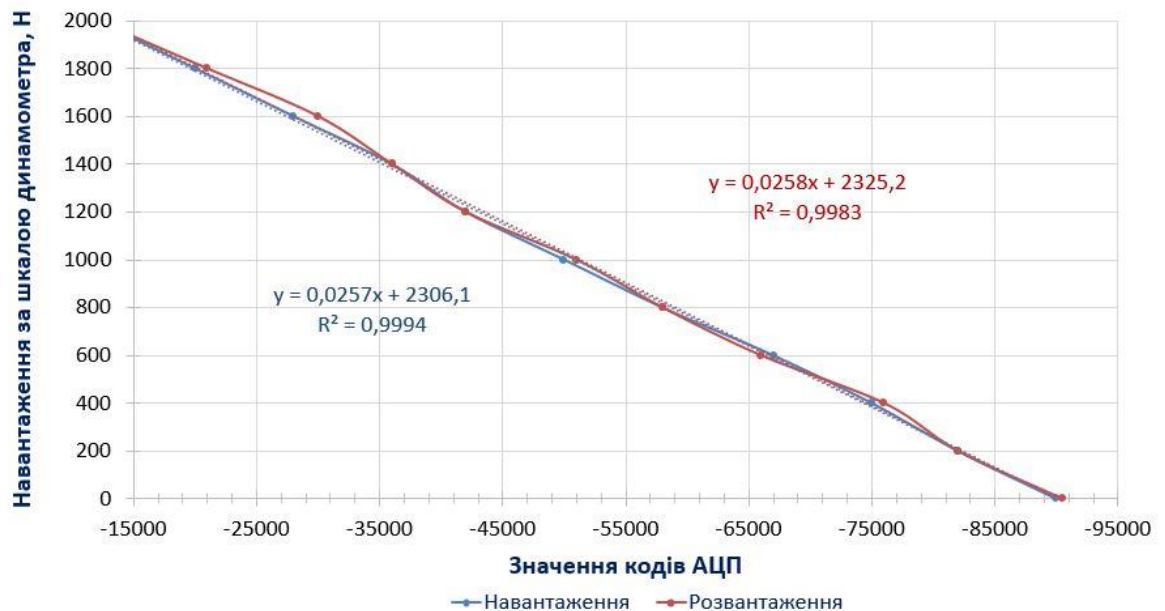


Рисунок 1.14 – Результати тарування тензоланки у площині F_y .

Коефіцієнт детермінації для результатів тарування, як при навантаженні, так і розвантаженні ланки становить більше 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.

Для визначення загального середнього значення тягового опору робочого органу $F_{заг}$, Н користувалися формулою:

$$F_{заг} = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \quad (1.1)$$

де F_x – горизонтальна складова сили опору ґрунту, Н;

F_y – вертикальна складова сили опору ґрунту, Н.

Робочі моменти досліджень робочого органу у ґрунтовому каналі наведено на рисунку 1.15.



Рисунок 1.15 – Робочі моменти досліджень робочого органу у ґрунтовому каналі.

Висновки.

1. Розроблено математичну модель проектування поверхні безполицевого робочого органу, який взаємодіє з ґрунтом і може бути застосований для утворення контуру смугової гряди. Критерієм оптимізації є мінімізація енерговитрат при досягненні нормативної якості, що може бути здійснено вирішенням не прямої, а обертової задачі: визначенням сили тиску ґрунту певного стану на поверхню робочого органу, який проектується.

2. Умовою для проведення процедури оптимізації цільової функції (9) є визначення невідомих коефіцієнтів функціоналу, що можуть бути встановлені шляхом проведення натурного моделювання.

Розроблено методику та проведено в умовах ґрунтового каналу досліді по визначенню впливу конструктивних параметрів макетного зразку робочого органу для формування смугової гряди на енергоємність процесу та ступінь розпушення та ущільнення ґрунту. Отримані дані потребують обробки та інтерпретації результатів, які можна використати для визначення шуканих коефіцієнтів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Галузева програма розвитку садівництва України на період до 2025 року. Міністерство аграрної політики України УААН. Інститут садівництва, 2008. 76 с.
2. Привалов І.С., Соколов В.О., Майбенко М.І. Комплекс машин для механізації робіт у плодкових розсадниках і маточниках. *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*. Мелітополь, 2015. Вип 3. С.161-171
4. Барабаш Л.О. Напрями інтенсифікації садівництва на інноваційній основі. Збірник наукових праць Вінницького національного університету. Серія Економічні науки. Вінниця, 2010. Вип 4. С. 67-73.
5. Чижиков І.О. Обґрунтування схеми та засобів механізації вирощування саджанців плодкових культур на грядках. *Імпортозамінні технології вирощування, зберігання і переробки продукції садівництва та рослинництва*: матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції. Умань, 17-18 травня 2018 р. С. 26-31.
6. Ветров Ю.А. Резание грунтов землеройными машинами. М. Машиностроение, 1971. 340 с.
7. Караєв, О. Г., Матковський, О. І., Чижиков, І. О., Рубцов, М. О. Проектування поверхонь робочих органів машин, які взаємодіють з ґрунтом. Сучасні проблеми моделювання: зб. наук. праць., 2020, Вип.19, С. 70-78.
8. Караєв, О. Г., Матковський, О. І., Чижиков, І. О., Сушко С.Л. Геометричне моделювання напрямної поверхні долота робочого органу чизельного знаряддя. Сучасні проблеми моделювання: зб. наук. праць., 2021, Вип.21, С. 154-163.
9. Дьяков В.П. Обоснование механической и энергетической моделей деформации и потери сплошности почвы. *Сохранение и воспроизводство*

плодородия почв в адаптивно-ландшафтном земледелии сбор. докл. Всероссийской научно-практической конференции ГНУ ВНИИЗ и ЗПЭ РАСХН, Курск, 13-15 сентября 2011 г. 2011. С.147–157.

10. Баловнев В.И. Физическое моделирование резания грунтов. М. Машиностроение, 1969. 160 с.

11. ГОСТ 20915-2011. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний. [Взамен ГОСТ 20915-75 сельскохозяйственная техника. Методы определения условий испытаний] Дата введения 2013-01-01. Москва: Стандартинформ, 2013. 24 с.

12. ГОСТ 28268-89. Почвы. Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений. Дата введения 1990-06-01. Москва: Стандартинформ, 2004. 8с.

13. ДСТУ Б В. 2. 1-5-96. Основи та підвалини будинків і споруд. Грунти. Методи статистичної обробки результатів випробувань. [Діючий від 01.04.1997]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 1996. 21 с.

14. Саньков С. М., Дядя В. М. Вимірювання твердості ґрунту: метод. рекомендації до лабораторної роботи здобувачів ступеня вищої освіти «Бакалавр» зі спеціальності 208 «Агроінженерія» (на основі молодшого спеціаліста) механіко-технологічного факультету. Мелітополь: ТДАТУ, 2017. 16 с.

15. Саньков С. М., Дядя В. М. Дослідження тягового опору робочих органів сільськогосподарських машин: метод. рекомендації до лабораторної роботи здобувачів ступеня вищої освіти «Бакалавр» зі спеціальності 208 «Агроінженерія» (на основі молодшого спеціаліста) механіко-технологічного факультету. Мелітополь: ТДАТУ, 2017. 30 с.

РОЗДІЛ 1.2. РОЗРОБИТИ ЗАСОБИ МЕХАНІЗАЦІЇ ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ ПЛОДОВО-ОВОЧЕВИХ КУЛЬТУР ІНТЕНСИВНОГО ТИПУ В УМОВАХ ПІВДНЯ УКРАЇНИ

Керівник – к.т.н., доцент каф.СГМ **Саньков С.М.**

Виконавці – к.т.н., доцент каф.СГМ **Дядя В.М.**

асистент каф.СГМ **Головльов В.А.**

магістрант каф.СГМ **Моторін**

2.1 Актуальність теми дослідження

Серед технологічних операцій вирощування продукції рослинництва сівба має визначальне значення тому що після неї починається розвиток рослини. Вона впливає на витрати посівного матеріалу, урожайність, затрати праці, енергетичних ресурсів та остаточно на собівартість отриманої продукції. Площі живлення визначається способом сівби, що припадає на одну рослину, і тому мають різний вплив на її розвиток. Від схеми сівби рослин залежать можливості максимального використання всебічної механізації під час догляду за ними та збирання урожаю. Значну увагу приділяють сівбі дрібнонасінних овочевих культур: коріанду моркви, цибулі, редиски, кропу, петрушки, шпинату, та ін. [1-4]. Вони мають значно менші розміри параметрів форми, особливості технологічних, фізико–механічних властивостей, які впливають на взаємодію їх з робочими органами посівних машин [5-10].

Науково-виробнича компанія "РОСТА" (НВК "РОСТА") розробила та виготовила експериментальний зразок самохідної сівалки для сівби дрібнонасінних культур СДК – 11 С – 2К, тому з'явилося потреба в проведенні експлуатаційно-технологічної оцінки роботи машини. Випробування проводились в ґрунтового каналі НВК "РОСТА".

2.2 Методика проведення досліджень

2.2.1 Програма експериментальних досліджень.

Сівалки дрібнонасієних культур (СДК), які виробляє НВК "РОСТА" [11], призначені для сівби насіння овочевих культур. Під час сівби вона рухається завдяки зусиллям, які надає робітник рухаючись ззаду за її ходом. Такі умови призводять до додаткового ущільнення ґрунту робітником і змінюють глибину закладання насіння у місцях контакту з ґрунтом його взуття. Усунення цього недоліка дозволяє зробити зроблена на базі сівалки СДК самохідна СДК – 11С – 2К, маючи рушій у вигляді сітчатого барабана, який має власний електричний привід.

Сівалка пройшла попередні заводські випробування тому було прийнято рішення про проведення досліджень з експлуатаційної оцінки.

Програмою досліджень було передбачено:

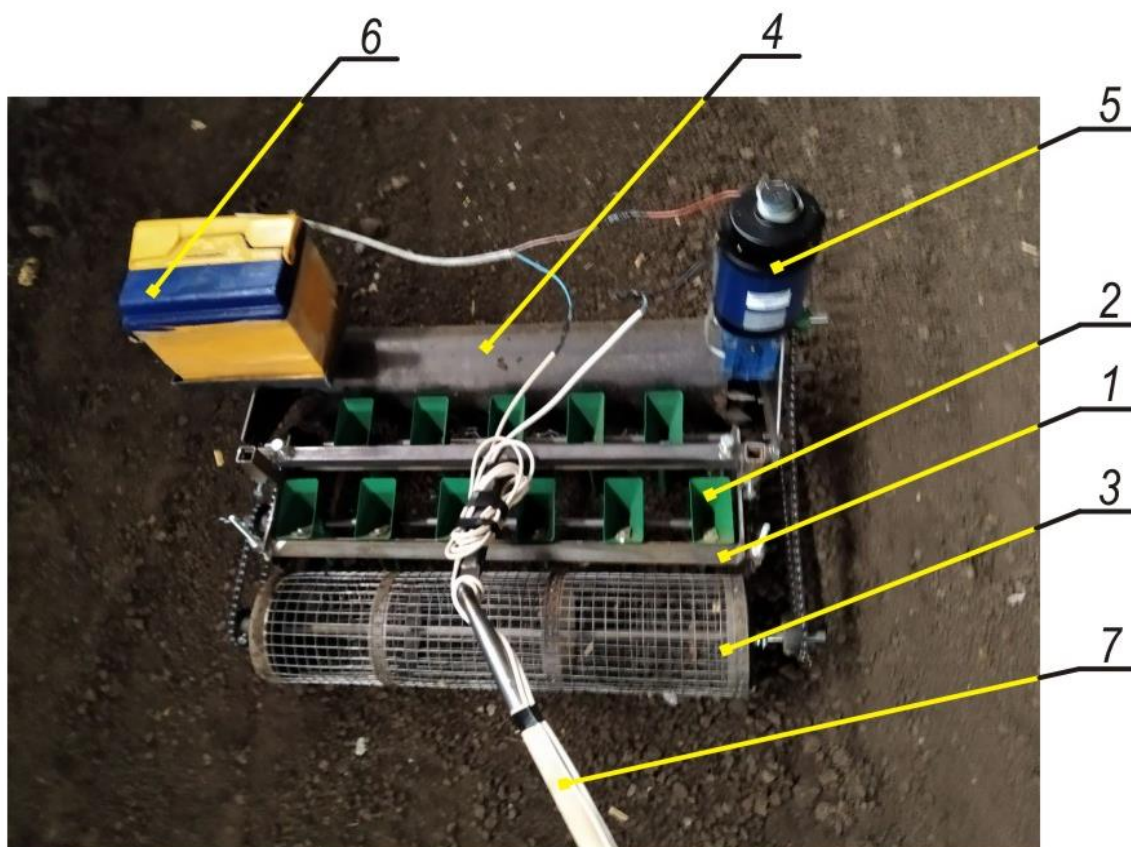
- а) провести вимірювання експлуатаційно-технологічних показників сівалки СДК – 11 С – 2К;
- б) провести визначення статистичних характеристики часу роботи сівалки;
- в) провести визначення експлуатаційно-технологічних показників:
 - продуктивність роботи машини за 1 годину змінного часу;
 - продуктивність роботи машини за 1 годину експлуатаційного часу.

2.2.2 Характеристика об'єкту досліджень та умови проведення дослідів

Сівалки дрібнонасієних культур (СДК), які виробляє НВК "РОСТА" [11-13], призначені для сівби насіння овочевих культур. Під час сівби вона рухається завдяки зусиллям, які надає робітник рухаючись ззаду за її ходом. Такі умови призводять до додаткового ущільнення ґрунту робітником і

змінюють глибину закладання насіння у місцях контакту з ґрунтом його взуття. Усунення цього недоліка дозволяє зробити зроблена на базі сівалки СДК самохідна СДК – 11С – 2К, маючі рушій у вигляді сітчатого барабана, який має власний електричний привід.

Сівалка СДК – 11С – 2К призначена для рядкового посіву дрібнонасінних овочевих культур в теплицях, парниках та відкритому ґрунті. Загальний вигляд сівалки наведено на рисунку 2.1.



1 – рама; 2 – висівні секції з висівними апаратами; 3 – решітчастий каток;
4 – каток з зачепами; 5 – мотор-редуктор; 6 – акумуляторна батарея;
7 – рукоятка з механізмом керування електроприводом.

Рисунок 2.1 – Сівалка дрібнонасінних культур СДК – 11 С – 2К.

Сівалка складається з рами, на якій розташовано два ряди висівних секцій. Висівні апарати відповідають вимогам ТУ У30952138-001-2004, мають висівну катушку з комірками і встановлені на окремих валах. Висівні секції сівалки СДК – 11 С – 2К зафіксовані на рамі з інтервалом між висівними

апаратами, які дорівнюють 6 см (ширина міжряддя). Ширина захвату сівалки дорівнює 60 см.

На рамі спереду за ходом сівалки встановлено решітчастий каток, а ззаду циліндричний каток із зачепами, який виконує функцію рушія.

Сівалка має електропривод, який складається з електричного двигуна 110ZYТ57/71В14 (потужність –200 Вт, оберти 1800 об/хв.), мотор-редуктора SMW 040 (передаточне відношення редуктора 1:50, крутний момент 42 Нм,), живлення якого відбувається від акумуляторної батареї 6СТ 65 А·год.

Норма висіву регулюється заміною зірочок з 22-26 зуб'ями ланцюга приводу, які постачає завод-виробник разом із сівалкою.

Висівні апарати сівалки заводської комплектації мають комірки діаметром 4 мм. Для насіння, яке потребує для розміщення в комірці більший еквівалентний діаметр, заводом пропануються котушки під різні розміри насіння.

2.3. Результати досліджень

Експлуатаційно-технологічну оцінку роботи сівалки проводили в ґрунтовому каналі НВК "РОСТА". Показники умов вимірювань експлуатаційно-технологічних параметрів сівалки СДК – 11 С – 2К наведені в таблиці 1.

Результати вимірювань експлуатаційно-технологічних параметрів (показників)сівалки СДК – 11 С – 2К наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.1

Значення показників умов випробувань сівалки СДК – 11 С – 2К з надання експлуатаційно-технологічної оцінки

Показник	Значення показника за даними випробувань
Умови	
Насіння	насіння дрібнонасінних овочевих культур (випробування проводились без висіву насіння)
Тип ґрунту та назва за механічним складом	темно-каштановий слабо солонцюватий чорнозем
Рель'єф	рівний
Вологість ґрунту в горизонті 0 -5 см., %	9,2
Твердість в горизонті 0 -5 см., МПа	1,11
Щільність ґрунту в горизонті 0 -10 см., г/см ³	1,02
Режим роботи	
Склад агрегату	самохідна сівалка СДК-11С - 2К з електроприводом
Швидкість руху, м/с	0,23
Тривалість роботи до повного використання ресурсу акумуляторної батареї, год.	7,3

Таблиця 2.2

Значення експлуатаційно-технологічних параметрів (показників) сівалки СДК – 11 С – 2К.

Параметри / показники	Позначення	Значення показника
Показники призначення		
3.1.1 Робоча швидкість руху, км/год.	v	0,83
3.1.2 Робоча ширина захвату, м	ш	0,6
3.1.3 Ширина міжрядь, см	b	6
Інтервали часу, які вимірювались		
Основна робота (робочий хід), год.	T ₁	0,5
Повороти, год.	T ₂	0,11
Технологічнеобслуговування, год.	T ₃	0,06
Технологічні відмови, год.	T ₄	0,07
Технічне обслуговування, год.	T ₅	0,05
Усунення технічних відмов, год.	T ₆	0,04
Інтервали часу, які розраховані		
Технологічний час зміни, год.	T _{техн}	0,75
Час зміни, год.	T _{зм}	0,8
Експлуатаційний час, год.	T _{ек}	0,84
Параметри режиму роботи сівалки		
Швидкість руху, м/с	v	0,23
Довжина робочого гону, м	l	15
Глибина ходу робочих органів, м	s	0,015
Об'ємно-вагові параметри		
Наробіток машини, га	B	0,025
Витрати електроенергії, Вт	G	200
Розмір обробленої площі, га	S	0,025
Конструктивні параметри		
Радіус повороту, м	R	0,8
Ширина смуги повороту, м	w	0,8
Примітка. Наведені дані отримані за 1 годину роботи сівалки		

Статистичні характеристики часу T_1 , який витрачено на робочий хід сівалки наведена в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3

Статистичні характеристики часу T_1 роботи сівалки

Показник	Позначення	Значення
Середнє значення часу одного робочого ходу для вибірки 28 спостережень, с.	t	65,0
Коефіцієнт варіації часу одного робочого ходу, %	Кв	15,8

Коефіцієнт варіації часу K_v одного робочого ходу складає 15%, що є достатнім для розрахунку експлуатаційно-технологічних показників. Проведено визначення експлуатаційно-технологічних показників.

Значення основних експлуатаційних показників розраховано за такими формулами:

- продуктивність роботи машини за 1 годинузмінного часу:

$$W_{зм} = \frac{B}{T_{зм}}, \quad (2.1)$$

- продуктивність роботи машини за 1 годинуексплуатаційного часу:

$$W_{ек} = \frac{B}{T_{ек}}, \quad (2.2)$$

де B – наробіток машини;

- питомі витрати електроенергії:

$$q = \frac{G}{B}, \quad (2.3)$$

де G – витрати електроенергії за 1 годину роботи сівалки.

За проведеними розрахунками отримані наступні значення показників:

- продуктивність роботи машини за 1 годину змінного часу

$$W_{зм} = \frac{0,025}{0,75} = 0,033 \text{ га/год.};$$

– продуктивність роботи машини за 1 годину експлуатаційного часу

$$W_{ек} = \frac{0,025}{0,84} = 0,029 \text{ га/год.}$$

Висновки: За результатами заводських випробувань сівалки дрібнонасінних культур СДК – 11 С – 2К зроблено такі висновки:

1. Сівба самоходною сівалкою дозволяє усунути ущельнення ґрунту і нерівномірність глибини посіву насіння від переміщення робітника за сівалкою.

2. Коефіцієнт варіації часу K_v одного робочого ходу складає 15,8%, що є достатнім для розрахунку експлуатаційно-технологічних показників.

3. Проведено визначення експлуатаційних показників продуктивності сівалки: за 1 годину змінного часу – 0,033 га/год.; за 1 годину експлуатаційного часу – 0,029 га/год.

4. Максимальне зусилля на рукоятці при здійсненні повороту сівалки складає 86 Н.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Адамчук В.В., Третяк В.М., Надикто В.Т., Кюрчев В.М., Караєв О.Г. Керівний документ. Сільськогосподарська техніка. Експлуатаційно – технологічна оцінка. *Національний науковий центр «ІМЕСГ» НААН України*, К, 2017. 12 с.

2. Адамчук В. Нова вітчизняна овочева сівалка. *Аграрний тиждень. Україна*: електрон. версія жур. 10.04.2021 URL <https://a7d.com.ua/machines/34848-nova-vtchiznyana-ovocheva-svalka.html> (дата звернення: 30.08.2021).

3. Бакум М. В., Ящук Д. А. Результати порівняльних польових досліджень способів сівби насіння овочевих культур. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка*. Харків, 2013. Вип. 135. С. 374-379.

4. Бойко А. І., Лісовий І. О., Тарасенко В. В. Функціонування сошника прямого посіву як відкритої технічної системи. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка*. Харків, 2008. Вип. 75. С. 256-258.

5. Бондаренко Л. Ю. Вплив частоти коливань плоских решіт на якість калібрування насіння, що має поверхню з підвищеною шорсткістю. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: Мелітополь: ТДАТУ*, 2011. Вип. 11, т.5. С. 252 – 257.

6. Бондаренко Л. Ю. Результати досліджень впливу кінематичних параметрів роботи плоских решіт на якість калібрування насіння плодкових кісточкових культур. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: Мелітополь: ТДАТУ*, 2011. Вип. 11, т.5. С. 228 – 232.

7. Бондаренко Л. Ю. Визначення оптимальних параметрів процесу калібрування насіння плодкових кісточкових культур. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: Мелітополь: ТДАТУ*, 2010. Вип. 10, т.5. С. 162-168.

8. Бондаренко Л. Ю. Обґрунтування параметрів і режимів роботи установки для калібрування насіння плодкових кісточкових культур:

автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.05.11 Таврійський державний агротехнологічний університет. Мелітополь, 2010. 20 с.

9. Назарова О. П., Бондаренко Л. Ю. Статистический анализ размерно-массовых характеристик семян плодовых косточковых культур. *Розвиток наукових досліджень*. Матеріали Міжнар. наук. – практ. конф. Полтава, 7-9 листопада 2005 р. Т. 7. С.147-148.

10. Бондаренко Л. Ю., Зайдлер М. Я. Встановлення розмірно – масових параметрів посівного матеріалу плодовых кісточкових культур. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*: Мелітополь: ТДАТУ, 2004. Вип. 23. С. 123-128.

11. Іваненко І. Розроблення концептуальної схеми та обґрунтування складу елементної бази модуля сівби сидератів для ґрунтообробних знарядь. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України*: зб. наук. пр. УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого. Дослідницьке, 2019. Вип. 24 (38). С. 100-112.

12. Сеялка мелкосемянных культур СМК-3. *Науково-виробнича компанія "РОСТА"*: URL: <http://www.rosta.ua/ru/smk-3.html>.

13. Матковський О.І., Тарасенко В.В., Головльов В.А. Експлуатаційно-технологічна оцінка сівалки дрібнонасінних культур СДК-11С-2К. Матеріали XXI Міжнародної наукової конференції: Науково-технічні засади розроблення, випробування та прогнозування сільськогосподарської техніки і технології. Дослідницьке, 2021. С. 119-123.

РОЗДІЛ 1.3. РОЗРОБИТИ ПРОГРАМНО-АПАРАТНИЙ ОМПЛЕКС УПРАВЛІННЯ ТЕХНІЧНИМИ ПАРАМЕТРАМИ СИСТЕМИ ЗРОШУВАННЯ І ФІЗІОЛОГІЧНИМИ ПАРАМЕТРАМИ ДЕРЕВ КІСТОЧКОВИХ КУЛЬТУР

Керівник – д.т.н., ст.наук.співр., зав. каф. СГМ **Карасв О.Г.**

Виконавці – к.т.н., доцент каф. СГМ Сушко С.Л.,

аспірант кафедри СГМ Філіпов Д.О.

інж. кафедри СГМ Латоша В.В.

3.1 Актуальність теми дослідження

Впровадження автоматизованих систем у сільськогосподарське виробництво – це, на сьогодні, практично обов'язковий процес у розвитку сільськогосподарської галузі.

Для застосування процесу автоматизації у системі зрошення необхідно попередньо провести аналіз ґрунтових і метео даних, а також фітомоніторинг відповідних сільськогосподарських культур, які задіяно у виробництві [1,2].

Фітомоніторинг передбачає довготривале, одночасне спостереження за кількома процесами у цілісній інтактній рослині за допомогою систем непошкоджуючих датчиків. Згідно з методологією фітомоніторингу, насамперед виділяються ті фізіологічні параметри, які є найбільш інформативними та виступають як маркери функціонального статусу рослин, разом з тим вони можуть безперервно автоматично реєструватися [3].

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 [3,4]. Основні положення методу управління ґрунтуються саме на впровадженні новітніх технологій, що є досить актуальним [5,6].

3.2 Характеристика об'єктів досліджень, методика проведення дослідів та опис технічного забезпечення засобів автоматизації

3.2.1 Характеристика об'єктів досліджень

Проведення фітомоніторингових досліджень з визначення закономірностей водного обміну кісточкових культур (абрикосу і черешні) здійснено на дослідній ділянці, розміщеній на землях НВД «Наукове-2» МДСС імені М.Ф. Сидоренка ІС у межах міста Мелітополь (46°50/ с.ш., 35°22/ в.д.). Висота над рів моря – 33 м. Клімат району – континентальний. Ґрунт – чорнозем супіщаний на давньому алювії. Середня об'ємна маса ґрунту у шарі 1 м становить 1,55 - 1,58 г/см³.

Біологічні об'єкти:

- дерева абрикоса – сорт Мелітопольський лучистий (схема посадки 6x4 м, 2002 року садіння), підщепа – сіянець абрикоса;

- дерева черешні – сорт Крупноплідна (схема посадки 4x4 м, 2016 року садіння), підщепа – вишня магалєбська.

Технічні прилади та установки реєстрації даних: потенціометр КСП-4, підсилювач сигналів від датчиків – мікроампервольтметр ЭН-3000.

Гідрометеорологічні прилади та установки: альбедометр М-69, випаромір ГГИ-3000, термограф М-16, термометр ртутний метеорологічний ТМ-8, термометр ртутний метеорологічний колінчатий ТМ-5.

У варіантах досліду насаджень абрикоса та черешні зрошення передбачено здійснювати системами мікрозрошення: підкоронового дрібнодисперсного дощування та краплинного зрошення.

Контроль – варіант природного зволоження.

Системи мікрозрошення мають фільтр для очищення зрошувальної води, розподільну й поливну мережі трубопроводів, регулюючу арматуру, пристрій для автоматичного управління водорозподіленням. Поливна мережа систем розміщена під кронами дерев. Вздовж ряду насаджень до дроту кріпляться поливні поліетиленові трубопроводи діаметром 20 мм на висоті 0,6-0,8 м від поверхні ґрунту. При підкороновому дощуванні на них, при будь-якій схемі розміщення дерев у саду, через 2-2,5 м встановлюються кутники К-337 із відцентрово-гвинтовими насадками Д-005 для дрібнодисперсного розпилення води з витратою 20-25 л/год при тиску 200-300 кПа. При краплинному зрошенні замість насадок біля кожного дерева в поливний трубопровід вмонтовуються крапельниці К-383 з витратою води 5,5 л/год. Обидві системи розроблено в ІЗС імені М.Ф. Сидоренка НААН.

При проведенні поливів мінералізація води була в межах від 0,5 до 2,0 г/л.

3.2.2 Методика проведення дослідів, схеми 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 досліду.

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 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, 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;

7) економічна ефективність управління вегетаційними поливами абрикоса.

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

Мета досліду: 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 фітомоніторингових та еколого-фізіологічних досліджень.

Схема досліду.

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;

7) економічна ефективність управління вегетаційними поливами черешні.

Усі вимірювання будуть виконуватися на модельних деревах черешні кожного варіанта в трикратній повторності.

Обробка отриманих даних проводилася методами математичної статистики за допомогою пакету програм на персональному комп'ютері.

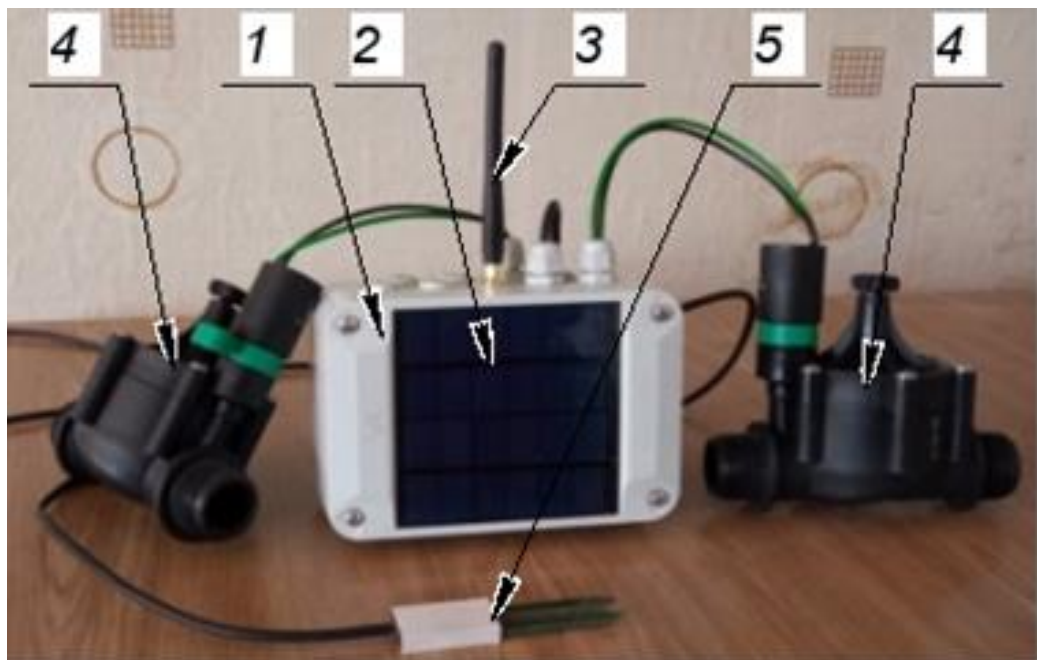
3.2.3 Опис технічного забезпечення засобів автоматизації

Автоматизована система дрібнодисперсного дощування мала систему управління поливами із застосуванням протоколу LoRa Wan.

Система складається з наступних елементів:

- радіомодулі з датчиками та клапанами;
- концентратор;
- метеорологічна станція;
- система фертигації;
- система фільтрів;
- насоси;
- локальний (стаціонарний) контролер;
- система трубопроводів.

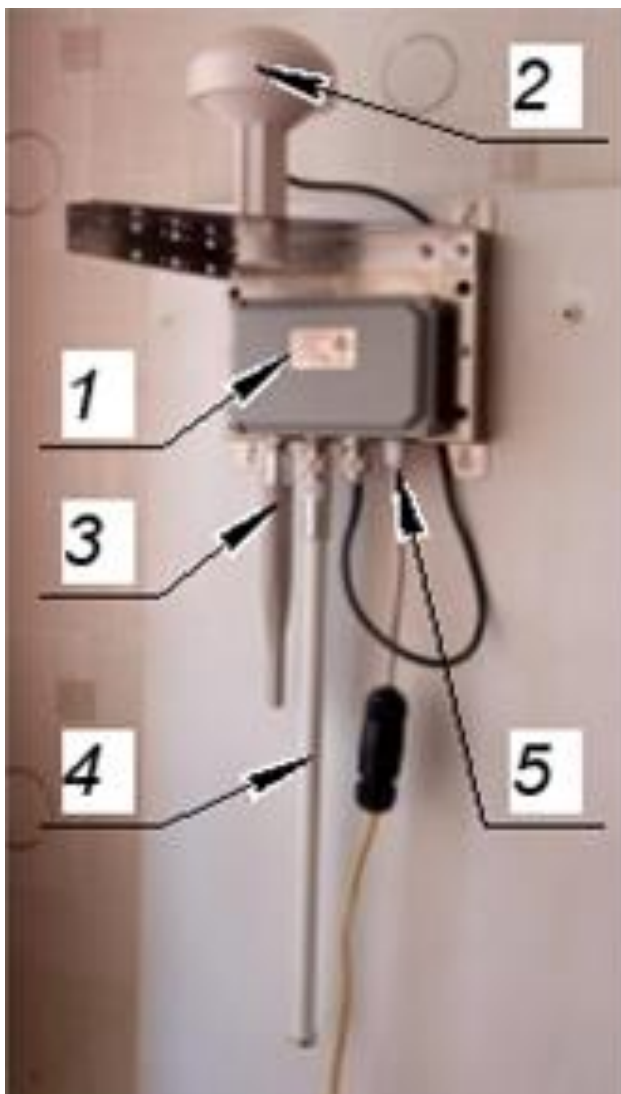
Радіомодуль, застосований у системі, є автономним і має сонячну панель (рис.3.1).



1 - модуль, 2 - сонячна панель, 3 - антена, 4 - електроклапан, 5 - датчик вологості ґрунту

Рисунок 3.1 – Радіомодуль.

Принцип роботи радіомодуля (рис.3.2): радіомодуль передає дані з датчиків до концентратора, який отримує сигнали для виконання корегувальних дій (відкриття або закриття клапанів) .



1 - корпус, 2 - GPS антена, 3 - GSM антена, 4 - LoRa антена, 5 - кабель електроживлення

Рисунок 3.2 – Концентратор.

Принцип роботи концентратора. Концентратор накопичує інформацію з датчиків і метеорологічні дані та передає їх до хмари Agrio Commander, звідки отримує керувальні сигнали і надсилає їх до радіомодулів.

Метеорологічна станція – служить для постійного збирання метеоданих із супутника.

Система фертигації – керується автоматично та/або дистанційно, вона дозволяє вносити добрива разом із поливною водою системою зрошення. В систему фертигації входить інтелектуальна інтегрована машина для води і добрив Agrio-va2.0, яка використовує промисловий програмований логічний контролер в якості ядра управління, стандартно з саморозробленим модулем шлюзу, використовує режим поглинання добрив через трубку Вентурі, високочастотний електромагнітний клапан для автоматичного регулювання пропорції дозування. Даною машиною можна дистанційно керувати за допомогою програми для мобільного телефону і вона може здійснювати автоматичне внесення добрив шляхом установки параметрів датчика, витрати і тиску.

Система фільтрів – виконує роботу у автоматичному режимі, коли система поливу функціонує. Служить для очищення поливної води.

Насоси, працюючи в автоматизованому режимі, направляють поливну воду, системою трубопроводів, під необхідним тиском.

Локальний контролер – виконує функцію стаціонарного пульта керування системою поливу.

Система трубопроводів планується і прокладається самим підприємством, або за допомоги спеціалізованих підприємств. Дана система слугує для транспортування поливної води від джерела (штучного або природного) до місць проведення зрошувальних робіт.

Принцип роботи системи управління поливом: оператор системи підключається до системи через локальний (стаціонарний) контролер, персональний комп'ютер або мобільний телефон, куди надходять дані з усіх датчиків, де він може встановити або скоригувати параметри автоматизованої системи. Це дозволяє дистанційно (при використанні ПК або телефону) керувати системою, наприклад загальне ввімкнення системи, відкриття та закриття клапанів, керування витратою і тиском води в системі тощо [4].

Функціональну структуру системи управління поливами наведено на рис.

3.4.

Інформаційні зв'язки між елементами системи управління поливом (рис. 3.3) [5]: комплекс радіомодулів передає дані з датчиків через шлюз LoRa, а саме концентратор, по бездротовій мережі до хмари AgrioCommander, звідки інформація через інтернет передається на локальний (стаціонарний) контролер, персональний комп'ютер та/або мобільний телефон, які підключені до системи.

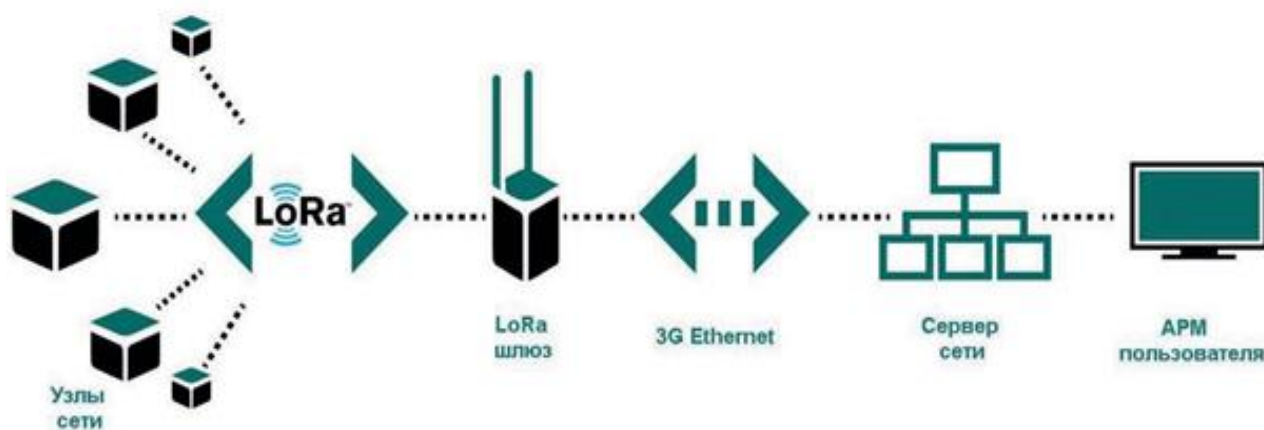


Рисунок 3.3 – Безпроводна мережа датчиків трансиверів протоколу LoraWan.

Отримана інформація обробляється і, вручну або в автоматичному режимі, передається до системи поливу, звідки поступає команда щодо здійснення корегувальних дій (відкрити/закрити клапани тощо). Усі функціональні налаштування можна виконати з веб-платформи Agrio Commander. Для функціонування бездротової мережі із застосуванням протоколу Lora Wan необхідно встановити один роутер на 5-10 км площі, за відсутності підключення до інтернету можна використати маршрутизатор 4G Lora із дальністю зв'язку 5-20 км, в залежності від каналу зв'язку та довкілля.

Основні показники програмно-апаратного комплексу:

- радіус дії радіомодема – до 2,5 км;
- кошторисна вартість – до 50 тис грн/га;
- витрати на експлуатацію – від 2,7 до 3,0 тис грн/га;
- річний економічний ефект – не менше 4500 грн/га;
- термін окупності – не більше 5 років.

3.3. Результати досліджень.

3.3.1 Вплив абіотичних факторів на показники фітотимоніторингу 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 взятій день наявно демонструє графік, зображений на рис. 3.5. 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 [7].

У рослинах виникав водний дефіцит, тобто за встановленою закономірністю відношення величини передсвітанкового індексу ксилемного потоку до денного було більше за одиницю [8,9].

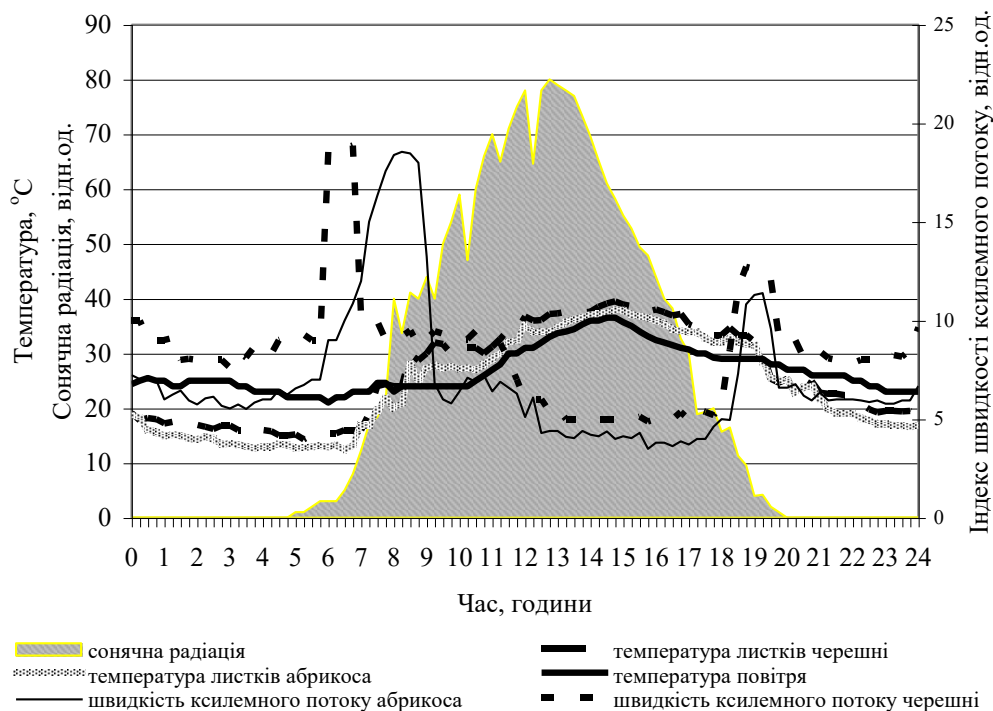


Рисунок 3.5 – Вплив абіотичних факторів на індекс швидкості ксилемного потоку у стовбурі та температуру листків абрикоса й черешні

Аналізуючи добовий ритм індексу швидкості ксилемного потоку у стовбурі абрикоса, відмічено, що максимального ранкового значення він набував близько сьомої години ранку. За ранковим максимум 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.

Добова динаміка індексу ксилемного потоку та температури листків надає інформацію про функціональний стан дерев абрикоса й черешні залежно від змін навколишнього середовища [10]. 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.

3.3.2 Вплив дрібнодисперсного підкранового дощування на індекс швидкості ксилемного потоку та температуру листків черешні

Вплив дрібнодисперсного підкранового дощування на функціональний стан черешні наведено на рис. 3.6. На рисунку спостерігаємо наявність суховію при максимальній температурі повітря 31,5°C, при мінімальній відносній вологості повітря 22%, швидкості вітру 1,9 м/с з поривами до 8 м/с. Полив виконували з 09.45 до 15.45 у переривчастому режимі (полив - пауза).

Проведення поливів у денні години доби сприяли збільшенню величини індексу швидкості ксилемного потоку, а також зменшенню температури листків.

Отже, підкранове дощування сприяло зменшенню пригнічення індексу ксилемного потоку у денні години доби, у порівнянні з контролем (без зрошення). Під час паузи його величина наближувалася до передполивного рівня. Після припинення поливу у дерев величина показника швидкості ксилемного потоку досягала відповідного рівня, а водний дефіцит до кінця доби

було усунено. Про що свідчить те, що після вечірнього максимуму величина індексу ксилемного потоку вночі значно знизилася у порівнянні з попередньою ніччю.

3.3.3 Вплив дрібнодисперсного підкранового дощування на індекс швидкості ксилемного потоку та температуру листків абрикоса

Вплив абіотичних факторів (температури повітря, сонячної радіації) та дощування на фізіологічні показники стану абрикоса за змінами їх добових ритмів в окремо взятий день зображено на рис. 3.7.

Добова динаміка фізіологічних показників, які вивчалися на тлі метеопараметрів при виконанні підкранового дрібнодисперсного дощування свідчать, що під час повітряної посухи за умов вологості ґрунту на оптимальному рівні спостерігалася чітка реакція рослин абрикоса на дощування в режимі полив-пауза.

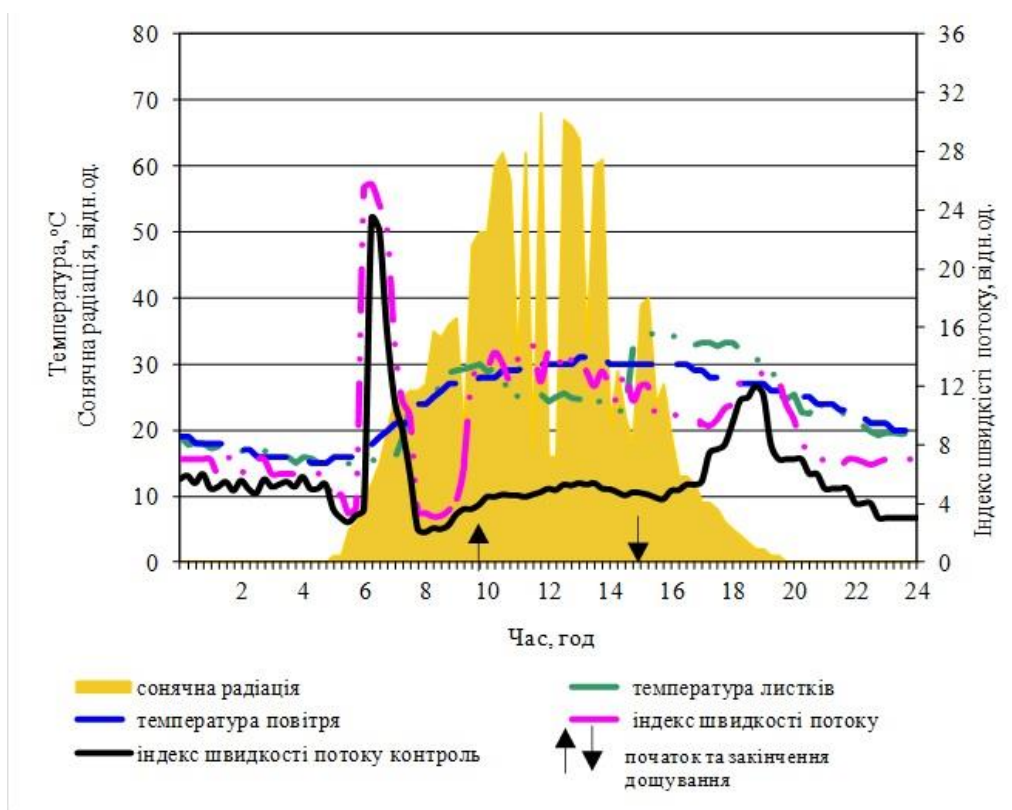


Рисунок 3.6 – Вплив дрібнодисперсного підкранового дощування на фізіологічні показники черешні.

Під час дрібнодисперсного дощування тривалістю 5-7 хвилин спостерігалось збільшення величині індексу ксилемного потоку, тобто відбувалося зменшення його пригнічення у денні години доби, а під час паузи (15 - 40 хвилин) його величина наближувалася до передполивного рівня.

Поливи виконували з 10.45 до 13.45. Після припинення дрібнодисперсного дощування у дерев величина показника швидкості ксилемного потоку досягала відповідного рівня, а водний дефіцит до кінця доби було усунено. Про що свідчить те, що після вечірнього максимуму величина індексу ксилемного потоку вночі значно знизилася у порівнянні з попередньою ніччю.

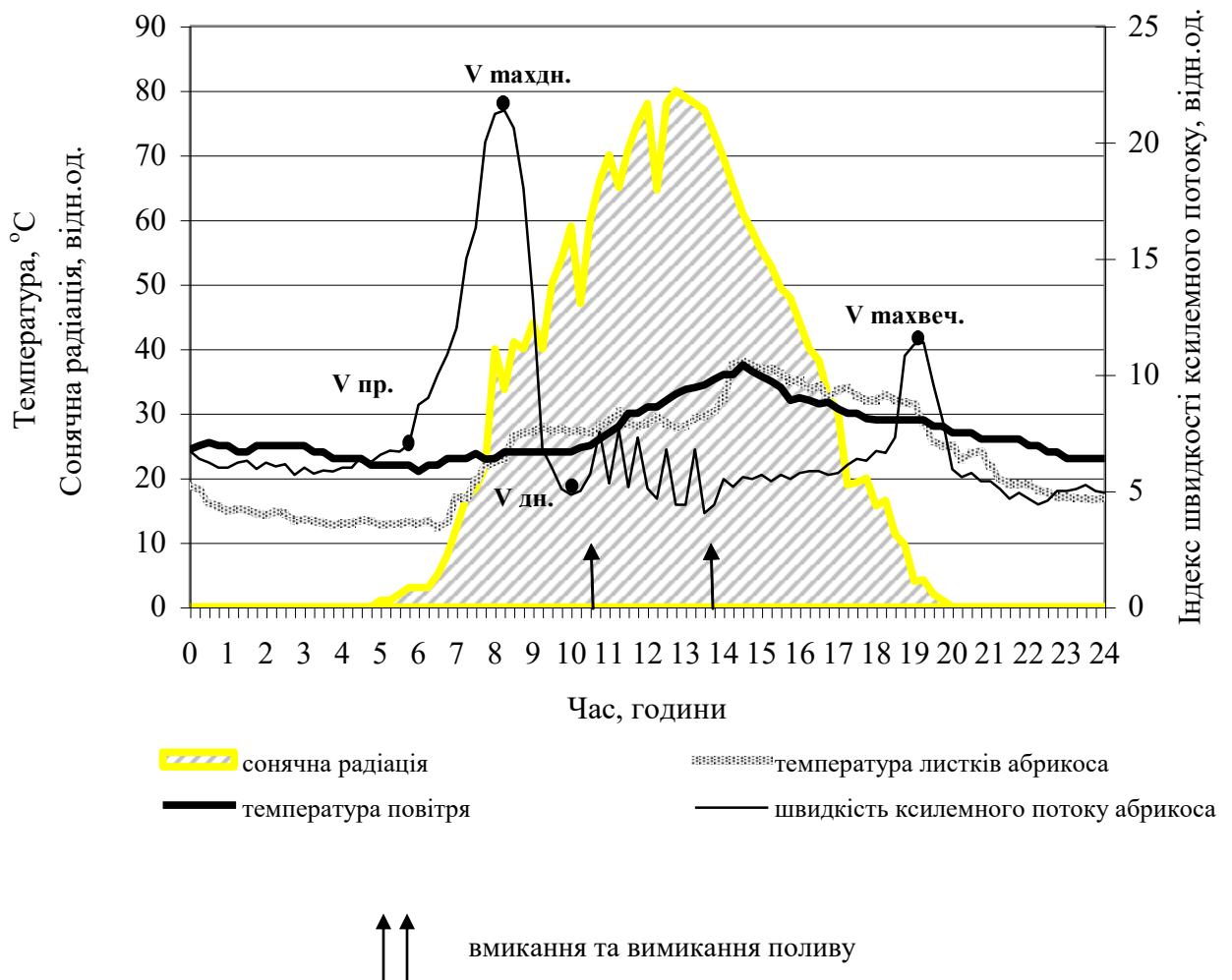


Рисунок 3.7 – Вплив поливів на індекс швидкості ксилемного потоку та температуру листків абрикоса.

Динаміка температури листків дерев абрикоса показала, що у нічний період їх температура нижча за температуру повітря. Протягом інтенсивної сонячної інсоляції (з 9 до 17 години) температура листків перевищувала температуру повітря, але під час зрошення температура листків знижувалася на 4-5 °С.

Отже, при проведенні дрібнодисперсного дощування абрикоса й черешні за напружених метеорологічних умов встановлено, що індекс швидкості висхідного водного току у стовбурі дерев збільшувався в 1,2 раза, а температура листків знижувалася на 4-6 °С, ніж на контролі (природне зволоження).

ВИСНОВКИ

1. Отримано метеорологічні та фізіологічні дані стану дерев персика і абрикосу щодо визначення оптимальних та граничних значень їх функціональних параметрів з водного обміну в деревах під впливом навколишнього середовища та зрошення.

2. 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 раза, а температура листків знижується на 4-5 °С в порівнянні з краплинним зрошенням та контролем, що сприяло вищому загальному рівню транспіраційних потоків в рослинах та запобігало перегріванню листкового апарату.

3. На основі встановлених закономірностей функціонального стану абрикоса й черешні розроблено метод управління параметрами фізіологічного стану дерев плодкових кісточкових культур і системою мікрозрошення.

4. За отриманими закономірностями формування продуктивності дерев при мікрозрошенні із застосуванням методу управління параметрами фізіологічного стану дерев плодкових кісточкових культур та керованими

параметрами мікрозрошення виявлено чітку реакцію дерев абрикоса й черешні на полив системою підкоронового дрібнодисперсного дощування.

5. Для управління системою дрібнодисперсного дощування застосовано програмно-апаратний комплекс, який базується на застосуванні сучасного передового протоколу LoraWan і має такі основні показники:

- радіус дії радіомодема – до 2,5 км;
- кошторисна вартість – до 50 тис грн/га;
- витрати на експлуатацію – від 2,7 до 3,0 тис грн/га;
- річний економічний ефект – не менше 4500 грн/га;
- термін окупності – не більше 5 років.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Караев А.И., Сушко С.Л., Одинцова В.А. Формирование базы данных для автоматизированного управления физиологическим состоянием плодовых деревьев мелкодисперсным дождеванием. *Motrol. Commision of Motorization and Energetics in Agriculture*. 2016. Vol. 18. No. 1.55 - 61.

2. Караев А.И., Сушко С.Л. Расчетный метод определения режимов орошения с использованием климатических показателей. *Motrol. Commision of Motorization and Energetics in Agriculture*. 2015. Vol. 17, No. 9.

3. Караев О.Г., Сушко С.Л., Ковальчук Д. М. Особливості проектування систем зрошення плодкових культур. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь: ТДАТУ, 2015. Вип. 5, т. 2.

4. Караев О.Г., Сушко С.Л., Кузьмінов В.В. Алгоритм прийняття рішень щодо проведення поливів насаджень черешні. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь: ТДАТУ, 2012. Вип. 2, т. 5.

5. Латоша В.В. Обґрунтування напрямку досліджень щодо управління параметрами системи мікрозрошування плодкових культур під час проведення вегетаційних поливів. *Збірник наукових праць магістрантів та студентів: механіко–технологічний факультет*. Мелітополь: ТДАТУ, С. 121-122

6. Караєв О.Г. Латоша В.В. Розробка системи мікродощування плодкових культур. Матеріали ІХ Всеукраїнської наук.-практ. конф. Магістрантів та студентів. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. С. 54.

7. Одинцова В.А. Застосування фітомоніторингу в дослідженнях водного обміну персика. *Садівництво*. 2008. Вип.61. С. 306-313.

8. Черняева Е.В. Фитомониторинг в исследованиях сельскохозяйственных растений: автореф. дис. канд. биол. наук: 06.01.03. Агрофизический научно-исслед. ин-т. Санкт-Петербург. 2002. 30 с.

9. Ермаков Е.И., Мелещенко С.Н., Радченко С.С. Фитомониторинг. Современные проблемы и перспективы. *Сельскохозяйственная биология: Сер. биология растений*. 2002. №3. С.25-35.

10. Ильницкий О.А., Бойко М.Ф. Динамика влажности ксилемы ствола у плодовых культур семейства Rosaceae. *Черноморский ботанический журнал*. 2006. Т.2, №2. С.60-71.

11. Vodymyr Nadykto, Aleksander Karaiev, Volodymyr Kyurchev, Hristo Beloev. The Efficiency of Tractor Application with Articulated Frame for Cultivating Arable Crops. *Modern Development Paths of Agricultural Production: Trends and Innovations*, 2019. Part I, P.161-167.

12. Aleksander Karaiev, Ludmila Tolstolik, Ivan Chyzykov and Tatiana Karaieva. Defining Stability of Technological Process of Growing Fruit Crop Seedlings. *Modern Development Paths of Agricultural Production: Trends and Innovations*, 2019. Part I. P.53-62.

13. Oleksandr Matkovskyi, Aleksander Karaiev, Sergii Sankov and Tatiana Karaieva. The Parameters Substantiation of Seed Drill Capacity for Stone Crop Seeds. *Modern Development Paths of Agricultural Production: Trends and Innovations*, 2019. Part I. P.121-131.

РОЗДІЛ 1.4. ОБҐРУНТУВАТИ ПАРАМЕТРИ СИСТЕМ ПЕРЕТВОРЕННЯ ЗРІЗАНИХ ГІЛОК ПЛОДОВИХ НАСАДЖЕНЬ В ЕНЕРГОПРОДУКТ.

Керівник – к.т.н., доцент каф. ТМКП **Бондаренко Л.Ю.**

Виконавці – к.т.н., доцент каф. ОПХВ Стручаєв Н.І.,
к.т.н., доцент каф. ТМКП Вершков О.О.,
магістрант кафедри ТМКП Тетервак І.Р.

4.1 Актуальність теми дослідження

Необхідність утилізації відходів садівництва - одна з найважливіших екологічних проблем. В садівництві щорічно проводиться обрізування дерев, після чого в саду залишається багато зрізаних гілок, які є потенційним носієм тепла. Зрізані гілки (ЗГ) дерев плодкових культур є побічною продукцією садівництва, а в сучасному виробництві плодової продукції України є викидом. Згідно з ДСТУ ISO 13600-2001, зрізані гілки можна віднести до відновлюваного ресурсу (ВР), який може бути перетворений в енергопродукт.

Використання деревних відходів крім економічних завдань порушує ще й глибокі екологічні проблеми – охорону навколишнього середовища.

Одним з найбільш раціональних способів використання ВР плодкових дерев є їх спалювання в подрібненому виді (далі – тріска) з поверненням попопу в сад як добрива. Продукти згоряння зрізаних гілок мають малий вміст сірки порівняно із вугіллям, що є важлив з точки зору охорони навколишнього середовища. Але коефіцієнт корисної дії сучасних топків, які можуть бути використані для спалювання тріски не перевищує 60%. Пов'язано це з тим, що в них занадто великі втрати теплоти з димовими газами [1,2]. Тому підвищення ефективності роботи топків є актуальною задачею.

Шляхом постачання плодової продукції на зовнішній ринок є процедура сертифікації всіх процесів виробництва продукції за стандартом GLOBALG.A.P. [3], яким визначено, що відходи компостують і застосовують для поліпшення ґрунту в садах, а методи компостування мають гарантувати відсутність ризиків для навколишнього середовища. У сучасному промисловому садівництві України основне джерело відновлюваних ресурсів є тріска зрізаних гілок плодових дерев, яку доцільно використовувати для приготування компосту, тим самим повертаючи відновлювані ресурси у екосистему сада, в якості біодобрива – компосту [4].

Для того, щоб забезпечити процедуру сертифікації плодової продукції за стандартом GlobalG.A.P. по контрольній точці з вимогами щодо переробки і компостування тріски із зрізаних гілок плодових дерев необхідно визначити склад вхідної суміші, яка буде складатися із відходів садівництва [5]. Це надає можливість обґрунтувати параметри буртів буртового способу компостування для перетворення деревини зрізаних гілок (тріски) на добрива.

Для підвищення ефективності процесу компостування тріски необхідно дослідити вплив оптимальної кількості води на процес перетворення компостної суміші.

4.2 Методика проведення та програма досліджень

4.2.1 Програма експериментальних досліджень

Питання виробництва енергії на базі деревини є одним з невід'ємних елементів управління господарствами садівництва і використання деревини. Зрізані гілки плодових дерев відіграють важливу роль як джерело відновлюваних ресурсів, яке може бути використано в якості енергопродукту.

Використання енергоносіїв на базі деревини може мати позитивні наслідки для екології навколишнього середовища при цьому виділення вуглецю з біомаси знижує чистий обсяг його викидів в атмосферу. Енергоносії на базі деревної біомаси можуть бути легко пристосовані для використання з метою

виробництва тепла невеликими побутовими установками як на садівничих підприємствах так і в інших дрібних господарствах.

Використання деревної біомаси, а саме зрізаних гілок плодкових дерев як добриво, потребує вивчення правильного поєднання речовин, які важко і легко розкладаються та їх рівномірне зволоження й перемішування.

Програмою досліджень було передбачено:

- вивчити сучасні технології брикетування деревних відходів;
- визначення розмірно-масових параметрів зрізаних гілок плодкових дерев;
- провести дослідження щодо визначення енергетичного балансу процесу горіння тріски у топці;
- провести дослідження щодо підвищення ефективності і стабільності вироблення компосту.

4.2.2 Технологія виробництва деревних паливних брикетів

Альтернативою прямого використання деревних відходів у вигляді палива є виготовлення і застосування брикетів. При цьому вирішуються проблеми підвищення теплоутворення паливного матеріалу і зменшення необхідних складських площ. При зберіганні паливні брикети не самозаймаються. Збільшується коефіцієнт корисної дії котелень. До недоліків цього виду палива можна віднести складність автоматизації процесу завантаження брикетів в топковий пристрій.

В цілому завдання виробництва ефективного й екологічного палива з відновлювальних і невикористовуваних відходів є досить благородним і вдячним, вирішуючи проблеми утилізації практично непотрібних відходів дає споживачам додаткове джерело ефективного палива, є предметом вигідного бізнесу виробників, даючи їм додаткове джерело прибутку [6-15]

В основі технології виробництва деревних паливних брикетів (рис. 4.1) лежить процес пресування дрібно подрібнених відходів деревини (тирси або тріски) під високим тиском при нагріванні, при цьому сполучним елементом є лігнін, який міститься в клітинах рослин. При цьому в процесі брикетування матеріал пресується під високим тиском, температура матеріалу підвищується і відбувається виділення смолистих в'язучих речовин, за рахунок яких і здійснюється склейка матеріалу і подальше формування брикету. Мінімальна вологість пресованого матеріалу становить 6%. Оптимальна вологість матеріалу для брикетування варіюється в залежності від породи і фракції останнього, оптимальний вміст вологості від 6 до 16%.

Типова технологічна схема виробництва паливних брикетів з біомаси включає сім операцій: первинне подрібнення зрізаних гілок плодкових дерев; вторинне роздрібнення отриманої сировини у тирсу або тріску; калібрування отриманої сировини; сушіння; пресування сировини у брикети; охолодження; фасування отриманих брикетів.

На стадії первинного подрібнення виконується подрібнення гілок на дрібні фракції. Далі отримана сировина проходить другий етап роздрібнення у тирсу або тріску до фракції, що відповідає вимогам певного пресувального обладнання (близько 4 мм). На третьому етапі відбувається калібрування отриманої сировини з використанням барабанних калібраторів з отворами сит до 5-6 мм. Деякі виробники використовують подрібнювачі із ситами, що виконують функцію калібрування біомаси.

Подрібнена сировина по матеріалопроводу потрапляє в камеру сушильного агрегату. Відбір зайвої вологи здійснюється гарячим повітрям, виробленим теплогенератором, який може працювати як на самій біомасі, так і на природному газі. Зазвичай сировину необхідно висушити до вологості 8-14%. Існують прес-брикетувальники з можливістю використання біомаси вологістю до 30%, яка може бути досягнута при належному зберіганні біомаси, а тому відпадає необхідність в операції сушіння.



Рисунок 4.1 – Технологія виробництва паливних брикетів.

Далі подрібнений і висушений матеріал по пневмотранспорту поступає в батарейний циклон, де відбувається його розділення із теплоносієм. Відпрацьований теплоносій викидається в атмосферу, а висушений матеріал подається на живильний пристрій прес-брикетувальника. На п'ятому етапі відбувається пресування сировини у брикети, а саме формування з подрібненої маси міцного брикету забезпечується як фізико-механічними властивостями матеріалу, так і умовами протікання самого процесу брикетування. Існують певні вимоги до якості брикету, які необхідно виконати: це, перш за все, щільність брикету ($0,8-1,3 \text{ т/м}^3$), його вологість, розміри (діаметр, довжина), а також правильність форми.

Охолодження отриманих брикетів. У процесі пресування сировина досягає температури більше 70°C . Чим вище зусилля пресування, тим більша

температура брикетів та краща їх якість. Охолодження необхідне для остаточного затвердіння готових брикетів, що робить їх придатними для зберігання і транспортування.

На останньому етапі відбувається фасування та реалізація. Надання виробленому продукту товарного вигляду – невід’ємна частина виробничого процесу. Тому на завершальному етапі підготовки брикетів до реалізації їх фасують у мішки або поліетиленові пакети та складають на піддони.

Головною операцією у технологічному процесі виробництва паливних брикетів з біомаси є пресування. Ця операція найбільш енергоємна і формує якість кінцевої продукції. Для брикетування біомаси використовують прес-брикетувальники двох типів: з поршнеvim і шнековим робочим органом. Але щодо брикетування відходів плодової деревини, то це питання вивчено мало. І потребує додаткових досліджень, щодо розробки і впровадження обладнання для пресування біомаси плодової деревини.

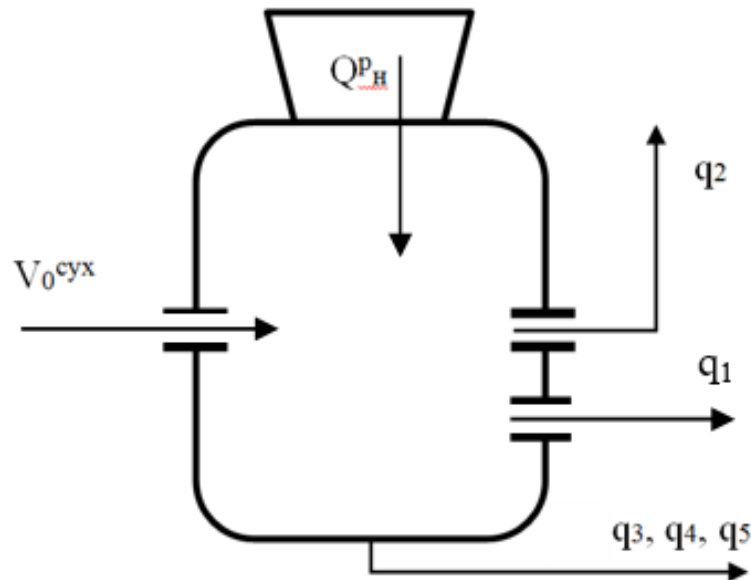
4.2.3 Методика визначення коефіцієнта корисної дії топки для спалювання тріски зрізаних гілок плодових дерев

В сучасних системах опалення будов і споруд є актуальним питання щодо використання альтернативних джерел палива, таких як ЗГ плодових дерев, які є більш дешевшими ніж видобувні види палива і менше забруднюють навколишнє середовище стосовно нульового балансу споживання та викидів CO₂. Порівняно з газоподібним паливом, витрати на опалення відходами деревини скорочуються більш ніж на 78%.

Існуючі топки для спалювання тирси (тріски) мають певні недоліки, а саме: періодичність в переміщенні шару палива, необхідність його механічного розпушування і розрівнювання палива та руйнування «шуби» з попелу, яка погіршує горіння. Суттєвим недоліком є також прогоряння колосникової решітки внаслідок перегріву її горизонтальної частини. Ці недоліки знижують

коефіцієнт корисної дії даних топок, а для підвищення ККД топок для спалювання тріски недостатньо даних щодо дослідження процесу її горіння.

Для визначення енергетичного балансу процесу горіння тріски було використано топку, схему якої наведено на рисунку 4.2.



Q_n^p - кількість теплоти, яка міститься у паливі, що подається у топку, $V_0^{сух}$ – об'єм сухого повітря, яке надходить у топку, q_1 – питома корисно використана теплота, q_2 - втрати теплоти з димовими газами, q_3 - втрати теплоти від хімічного недопалу, q_4 - втрати теплоти від механічного недопалу, q_5 - втрати теплоти топкою у навколишнє середовище.

Рисунок 4.2 – Схема енергетичного балансу топки для спалювання тріски зрізаних гілок.

За методика визначення енергетичної ефективності спалювання тріски в топках наведена у [2].

4.2.4 Методика визначення оптимальної кількості води для зволоження компостної суміші із тріски зрізаних гілок плодкових дерев

Для визначення оптимальної кількості води для зволоження компостної суміші із тріски зрізаних гілок плодкових дерев необхідно розробити: методику розрахунку визначення оптимальної кількості води для зволоження компосту; схему пристрою оборотної системи зволоження компосту.

Методика дослідження заснована на модифікованому методі вивчення процесу компостування [16–18].

Для приготування компосту використовували суміш наступного складу: тріска зі зрізаних гілок 60%; опале листя 20%; курячий послід 20%. Курячий послід є важливим компонентом для приготування компосту. Використовували послід бройлерів, курей маточного стада, що містяться на підстилці з тирси, лузги насіння, дрібно нарізаною соломи. Необхідно також додавати гіпс, який використовується в розрахунку 60 кг гіпсу на одну тонну тріски зрізаних гілок та опалого листя і потрібен для формування структури і рН компосту. Важливим компонентом є також вода.

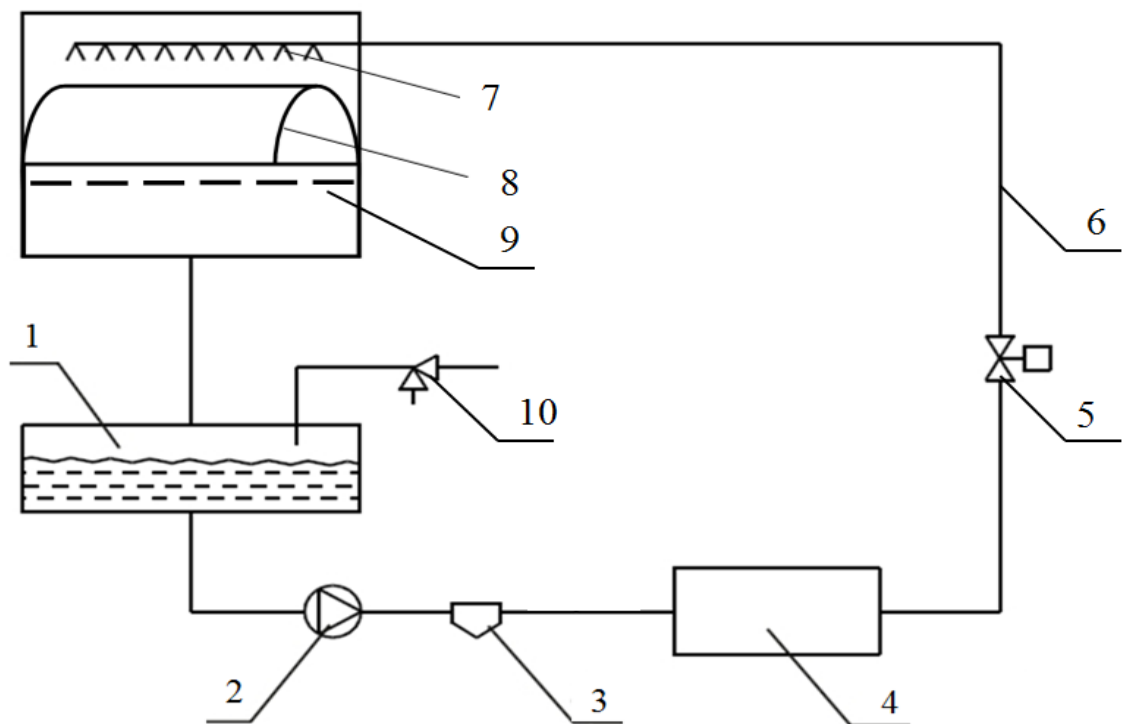
Для отримання якісного компосту, необхідно знати початкову вологість його компонентів, а також вміст в них азоту, фосфору, калію і кальцію.

На підставі результатів аналізу вихідної сировини приступають до початкового етапу компостування, суміш перемішують і зволожують до відносної вологості 70–80%. Ці операції сприяють зростанню мікрофлори, яка бере участь в процесі компостування. В результаті життєдіяльності мікроорганізмів відбувається розігрів суміші, що компостується, яку перемішують через кілька днів, що сприяє насичуванню компосту киснем, мінеральними добавками і доведенню до однорідного стану.

Ферментація як недостатньо вологого, так і перезволоженого компосту менш ефективна, а при «заливанні» його процес може зупинитися зовсім.

Одним із вагомих чинників процесу компостування є волога, а саме її рівномірне розподілення. Для цього необхідно забезпечити відповідне дозування

витрати води. Під час зволоження деяка кількість води утримується у компостній суміші – це капілярна волога, а інша її кількість – гравітаційна вода, просочується (фільтрується) через буртову суміш і потрапляє через ґратчасту підлогу з лотком у приямок. Пропонується зібрати просочену воду і використати її для повторного зволоження. Для цього розроблено схему зволоження компосту зі зворотною системою (рис. 4.3).



1 – бак-накопичувач, 2 – насос, 3 – пісчано-гравійний фільтр, 4 – дозатор – змішувач мінеральних домішок, 5 – регульовальний кран, 6 – поливний трубопровід, 7 – розподільчий трубопровід з водовипусками, 8 – бурт компосту, 9 – ґратчаста підлога з лотком і приямок, 10 – кран подачі води.

Рисунок 4.3 – Схема установки для зволоження компосту з деревної біомаси зрізаних гілок.

Зволоження під час приготування компосту проводиться по замкнутому циклі. На ґратчасту підлогу 9 з лотком і приямок укладають біомасу у вигляді

бурта 8. Для забезпечення нормального процесу ферментації в компостній суміші, її зрошують водою, яка подається за допомогою насоса 2 з бака–накопичувача через пісчано–гравійний фільтр 3 з використанням дозатора – змішувача мінеральних домішок 4. Через регулювальний кран 5 та поливний трубопровід 6 вода потрапляє у розподільчий трубопровід з водовипусками 7.

Зайва волога з бурту 8 (в тому числі волога від атмосферних опадів) просочується через ґратчасту підлогу 9 в приямок і лоток, звідки стікає (завдяки ухилу дна лотка) назад в бак–накопичувач 1. В процесі ферментації вологість біомаси зменшується і для її зволоження по замкнутому циклу використовується вода, яка просочується з бурту 8. При необхідності через кран подачі 10 подається додаткова кількість води.

4.3. Результати досліджень

4.3.1 Визначення коефіцієнта корисної дії топки для спалювання тріски зрізаних гілок плодкових дерев

Метою досліджень є підвищення енергетичної ефективності спалювання тріски в топках шляхом оптимізації процесу трансформації рослинної речовини в теплову енергію.

Тріска (робоче паливо), що подається в топку має такий хімічний склад: вуглець $C^P = 35,4\%$, водень $H^P = 4,2\%$, кисень $O^P = 25,3\%$, сірка $S^P = 0,4\%$, азот $N^P = 0,4\%$, зола $A^P = 10,3\%$, вода $W^P = 24\%$. Теплота згоряння тріски Q^P знаходиться у межах від 10 МДж/кг до 16МДж/кг.

За методикою, яка наведена у [2] визначимо теоретично необхідну кількість повітря для спалювання 1кг палива:

-сухого $V_0^{сух}$:

$$V_0^{сух} = 0,089 C^P + 0,265 H^P + 0,033(S^P - O^P), \quad (4.1)$$

$$V_0^{сух} = 0,089 \cdot 35,4 + 0,265 \cdot 4,2 + 0,033(0,4 - 25,3) = 5,083 \text{ м}^3/\text{кг}$$

- вологого $V_0^{\text{вол}}$:

$$V_0^{\text{вол}} = V_0^{\text{сух}}(1 + 0,0016 \cdot d), \quad (4.2)$$

$$V_0^{\text{вол}} = 5,083(1 + 0,0016 \cdot 10) = 5,26 \text{ м}^3/\text{кг}$$

де d – вологомісткість, $d = 10$ г/кг [2].

Як відомо, коефіцієнт надлишку повітря в топці складає $a = 1,6$, а коефіцієнт присосу повітря у паливо-приготувальну систему складає $\Delta\alpha_{\text{пал}} = 0,04$.

Дійсну кількість повітря $V_{\text{д}}$, м³/кг на 1кг палива розраховуємо за формулою [2]:

$$V_{\text{д}} = a \cdot V_0^{\text{вол}}, \quad (4.3)$$

$$V_{\text{д}} = 1,6 \cdot 5,26 = 8,416 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Визначимо кількість теплоти, яка утворюється в топці, приймаючи до уваги, що температура димових газів становить $t_{\text{вих}} = 130^\circ\text{C}$ [2]. Для цього визначимо теплоту згоряння, що вноситься холодним повітрям $Q_{\text{х.п.}}$, кДж/кг:

$$Q_{\text{х.п.}} = C \cdot V_{\text{д}} \cdot t_{\text{х.п.}}, \quad (4.4)$$

де C – теплоємність повітря, $C = 1,32$ кДж/кг;

$t_{\text{х.п.}}$ – температура холодного повітря, $t_{\text{х.п.}} = 20^\circ\text{C}$.

$$Q_{\text{х.п.}} = 1,32 \cdot 8,416 \cdot 20 = 227 \text{ кДж/кг}$$

Визначимо теплоту згоряння підігрітого повітря у топці:

$$Q_{\text{в}} = C \cdot V_{\text{д}} \cdot t_{\text{г.п.}}, \quad (4.5)$$

де $t_{\text{г.п.}}$ – температура гарячого повітря у топці, $t_{\text{г.п.}} = 340^\circ\text{C}$.

$$Q_{\text{в}} = 1,32 \cdot 8,416 \cdot 340 = 3777 \text{ кДж/кг}$$

Визначимо кількість корисно використаної теплоти q_1 та суму теплових втрат у топці. Прийmemo такі значення втрат теплоти в процесі горіння тріски:

- питомі втрати теплоти з димовими газами $q_2 = 9,8\%$;

- питомі втрати теплоти від хімічного недопалу $q_3 = 3,4\%$.
- питомі втрати теплоти від механічного недопалу $q_4 = 2,2\%$.
- питомі втрати теплоти в навколишнє середовище $q_5 = 0,4\%$.
- питомі втрати теплоти з теплою шлаків $q_6 = 0,3\%$.

Тоді, суму теплових втрат $\sum q$ визначимо за формулою:

$$\sum q = q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6, \quad (4.6)$$

$$\sum q = 9,8 + 3,4 + 2,2 + 0,4 + 0,3 = 16,1\%,$$

а кількість корисно використаної теплоти q_1 , яка характеризує коефіцієнт корисної дії (ККД) $\eta_{к.а}$ топки, визначимо за формулою:

$$\eta_{к.а} = q_1 = 100 - \sum q, \quad (4.7)$$

$$\eta_{к.а} = q_1 = 100 - 16,1 = 83,9\%$$

Найбільш вагомим значенням під час оцінки ефективності використання теплоти у топці є питомі втрати теплоти з димовими газами q_2 , які визначимо за формулою:

$$q_2 = \frac{t_1 - t_2}{t_{\max}} - (C' + (h - 1) \cdot B \cdot K) \cdot 100, \quad (4.8)$$

де t_1 – температура димових газів, $^{\circ}\text{C}$;

t_2 – температура холодного повітря, $^{\circ}\text{C}$;

t_{\max} – максимальна температура димових газів, $^{\circ}\text{C}$;

h – коефіцієнт збільшення об'єму продуктів горіння;

C' – коефіцієнт відношення середньозваженої теплоємності продуктів горіння;

B – емпіричний коефіцієнт;

K – коефіцієнт відношення теплоємності повітря до теплоємності продуктів горіння.

Після обробки результатів даних, що отримані за формулами 1-8, отримано залежності питомої втрати теплоти з димовими газами q_2 від температури t згорання тріски та вологості робочого палива W (рис. 4.4).

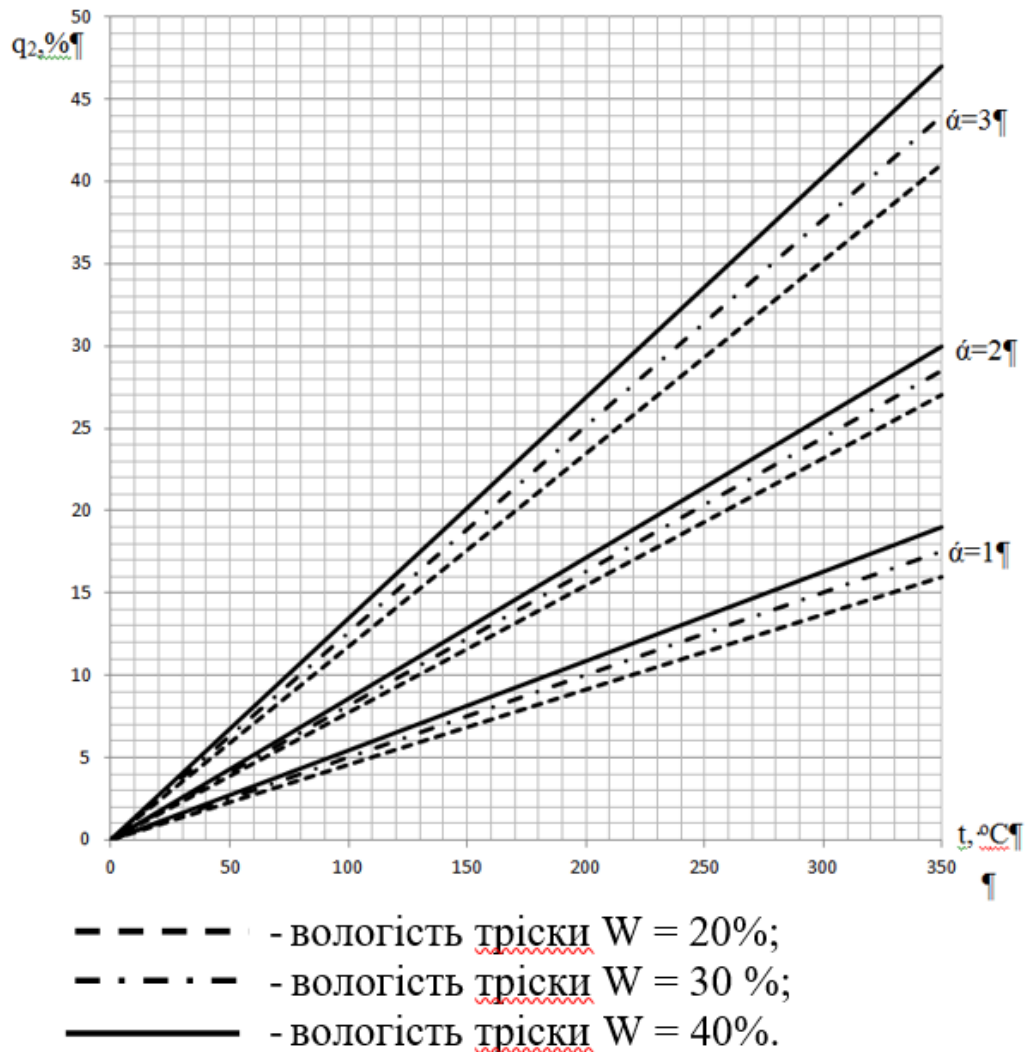
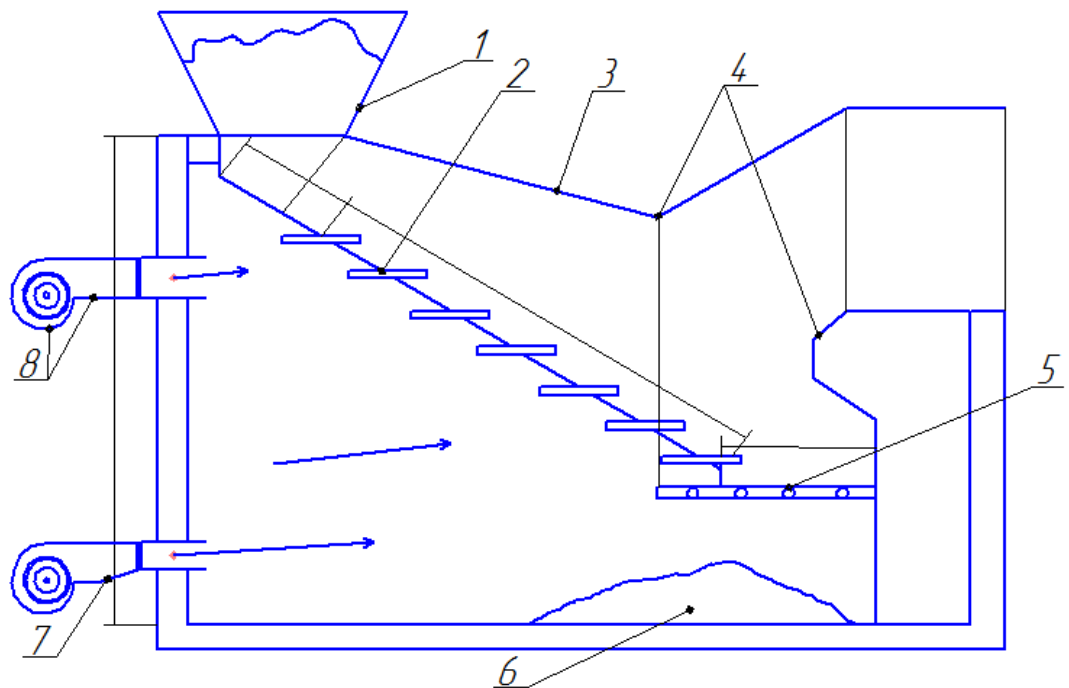


Рисунок 4.4 – Залежності втрат теплоти з димовими газами q_2 від температури t згоряння тріски при заданих значеннях коефіцієнту надлишку повітря у топці ($\alpha = 1, \alpha = 2, \alpha = 3$) та вологості тріски W .

Аналіз графіків на рисунку 4.10 вказує на те, що втрати теплоти з димовими газами мають лінійну залежність від температури згоряння та вологості тріски. Чим більша вологість тріски, тим менша її горюча частина і тим менше необхідно повітря для її спалювання. Але для перетворення зайвої води в пар необхідно додаткова кількість теплоти. Це призводить до збільшення втрат теплоти з димовими газами q_2 . Тобто, необхідно передбачити в конструкції топки попереднє підсушування тріски та спалювання її у декілька етапів. Запропонована топка для спалювання тріски, схема якої наведена на рисунку 4.5. Для здійснення попереднього підсушування тріски топка має

підсушуюче склепіння 3 та пережим топки 4. Також передбачено наявність вентилятора 8, який призначений для виносу тріски з похилої колосникової решітки. При цьому горизонтальну колосникову решітку 5 розташовано після похилої колосникової решітки 2.



1 - бункер для тріски, 2 - похила колосникова решітка, 3 - підсушуюче склепіння, 4 - пережим топки, 5 - горизонтальна колосникова решітка, на якій відбувається допалювання тріски, 6 - попіл, 7 - дуттьовий вентилятор, 8 - вентилятор для виносу тріски з похилої колосникової решітки.

Рисунок 4.5 – Схема топки для спалювання тріски.

Топка працює наступним чином: під час подачі тріски у бункер палива 1, вона зсипається на похилу колосникову решітку 2, де підсушується завдяки тепловим променям, які надходять від розжареного підсушуючого склепіння 3. Вентилятор 8 здуває підсушену тріску з похилої колосникової решітки частково в середину топки, а частково на допалювальну горизонтальну колосникову решітку 5. Пережим топки 4 затримує розжарені гази у топці, що сприяє спалюванню підсушеної тріски у зваженому стані. Тріска, яка не встигла згоріти падає на допалювальну горизонтальну колосникову решітку 5 де

догорає у нерухомому шарі, як у звичайній топці. Попіл, який утворюється при цьому зсипається у нижню частину топки, дуттьовий вентилятор 7 забезпечує процес горіння необхідною кількістю повітря та охолоджує горизонтальну колосникову решітку 5.

4.3.2 Визначення оптимальної кількості води для зволоження компостної суміші із тріски зрізаних гілок плодкових дерев.

Метою дослідження є встановлення можливості підвищення ефективності і стабільності вироблення компосту, шляхом забезпечення оптимальної кількості води, доданої в процесі компостування, за рахунок застосування зворотної системи зволоження.

Зволоження під час приготування компосту проводиться по замкнутому циклу (рис. 4.3). Під час зволоження деяка кількість води утримується у компостній суміші – це капілярна волога, а інша її кількість – гравітаційна вода, просочується (фільтрується) через буртову суміш. Її можна використати для додаткового зволоження компосту тим самим не витрачаючи додаткових вкладень на цей процес.

Розрахунок оптимальної кількості води для зволоження проводимо для вхідних параметрів складових компонентів компостної суміші, які наведені в таблиці 4.2.

Масу води, яку містить тріска визначимо за формулою:

$$m_{в.т} = \frac{W_{в.т.} \cdot m_t}{100}, \quad (4.9)$$

де $m_{в.т.}$ – маса води у вхідній масі тріски, кг;

m_t – вхідна маса тріски, кг;

$W_{в.т.}$ – відносна (робоча) вологість вихідної тріски, %.

Таблиця 4.2

Вхідні параметри складових компонентів компостної суміші.

№ п/п	Величина	Позначення	Одиниці вимірювання	Значення
Складові компоненти суміші				
1	Тріска	<i>a</i>	%	60
2	Листя	<i>b</i>	%	20
3	Курячий послід	<i>c</i>	%	20
Вологість компонентів суміші				
4	Тріска	$W_{в.т}$	%	70
5	Листя	$W_{листя}$	%	60
6	Курячий послід	$W_{посл.}$	%	40
	Вхідна вологість суміші	$W_{сomp.}$	%	
7	Необхідна вологість суміші	$W_{сomp}$	%	70–80
Маса компонентів суміші				
8	Тріска	m_T	кг	10000
9	Листя	$m_{листя}$	кг	2000
10	Курячий послід	$m_{посл.}$	кг	2000
11	Загальна маса компонентів суміші	$m_{комп.}$	кг	14000

Кількість води у листях визначимо за формулою:

$$m_{в.л.} = \frac{W_{в.л.} \cdot m_L}{100}, \quad (4.10)$$

де $m_{в.л.}$ – маса води у вхідній масі листя, кг;

m_L – вхідна маса листя, кг;

$W_{в.л.}$ – відносна (робоча) вологість вхідного листя, %.

Кількість води у курячому посліді визначимо за формулою:

$$m_{в. посл} = \frac{W_{в. посл} \cdot m_{посл.}}{100}, \quad (4.11)$$

де $m_{в. посл}$ – маса води у вхідній масі посліду, кг;

$m_{посл.}$ – вхідна маса посліду, кг;

$W_{в. посл}$ – відносна (робоча) вологість вхідного посліду, %.

Сумарну кількість води у компостній суміші визначимо за формулою:

$$m_{в. комп} = m_{в. т} + m_{в. листя} + m_{в. посл}, \quad (4.12)$$

де $m_{в. комп}$ – вхідна маса води у компості, кг;

Сумарну масу компосту визначимо за формулою:

$$m_{комп} = m_{т} + m_{листя} + m_{посл}, \quad (4.13)$$

де $m_{комп}$ – вхідна маса компосту, кг;

$m_{т}$ – вхідна маса тріски, кг;

$m_{листя}$ – вхідна маса листя, кг;

$m_{посл}$ – вхідна маса посліду, кг.

Вологість вхідної суміші, що підлягає компостуванню визначимо за формулою:

$$W_{в. комп} = \frac{m_{в. комп}}{m_{комп}} \cdot 100\%. \quad (4.14)$$

Кількість сухої речовини у вхідній суміші компосту визначимо за формулою:

$$m_{с.р} = \frac{(100 - W_{в. комп}) \cdot m_{в. комп}}{100}, \quad (4.15)$$

де $m_{с.р}$ – вхідна маса сухої речовини у компості, кг;

$m_{в. комп}$ – маса води у вхідній масі суміші, що компостується, кг;

$W_{в. комп}$ – вологість вхідної суміші, що підлягає компостуванню, %.

Процентна кількість сухої речовини у вхідній суміші, що підлягає компостуванню (ступінь сухості) визначимо за формулою:

$$x_{\text{сух.к.}} = \frac{m_{\text{сух.к.}}}{m_{\text{комп}}} \cdot 100\%, \quad (4.16)$$

де $x_{\text{сух.к.}}$ – ступінь сухості вхідної суміші, що компостується, %.

Під час приготування компосту суміш має підлягати періодичному зволоженню, тому наступним кроком є визначення необхідної кількості води для зволоження даної компостної суміші:

– масу суміші, що компостується, зволоженої до необхідної вологості визначимо за формулою:

$$m_{\text{зв.комп}} = \frac{m_{\text{сух.к.}} \cdot 100\%}{x_{\text{сух.к.}}}, \quad (4.17)$$

де $m_{\text{сух.к.}}$ – вхідна маса сухої речовини компосту, кг;

– загальна маса води (вихідна плюс додаткова) у компості, яка необхідна для досягнення необхідної вологості визначиться за формулою:

$$m_{\text{заг.}} = m_{\text{зв.комп}} - m_{\text{сух.к.}}, \quad (4.18)$$

де $m_{\text{зв.комп}}$ – маса суміші, що компостується, яка зволожена до необхідної вологості, кг;

– маса води, яку необхідно додати для досягнення необхідної вологості визначиться за формулою:

$$m_{\text{дод.води}} = m_{\text{заг.}} - m_{\text{вих.в.комп}}, \quad (4.19)$$

де $m_{\text{заг.}}$ – загальна маса води (вихідна плюс додаткова) у компостній суміші для досягнення необхідної вологості, кг;

$m_{\text{вих.в.комп}}$ – вихідна маса води у компості, кг;

Результати розрахунку параметрів компостування наведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3

Результати розрахунку параметрів компостування.

Величина	Позначення	Одиниці вимірювання	Значення
Кількість вологи, що містить тріска	$m_{в.т}$	кг	7000
Кількість вологи у листях	$m_{в.л.}$	кг	1200
Кількість вологи, що містить курячий послід	$m_{в.посл.}$	кг	800
Сумарна кількість води у компості	$m_{в.комп}$	кг	9000
Загальна маса компонентів суміші для компосту	$m_{комп.}$	кг	14000
Вихідна вологість суміші для компосту	$W_{в.комп}$	%	64,286
Кількість сухої речовини у вихідній суміші	$m_{с.р}$	кг	5000
Процентна кількість сухої речовини у вихідній суміші, що завантажується для компостування	$x_{сух.к.}$	%	35,714
Маса суміші, що компостирується, яку зволожено до необхідної вологості	$m_{зв.комп}$	кг	16700
Загальна маса води в завантаженому компості для досягнення необхідної вологості	$m_{заг.}$	кг	11700
Маса води, що додається для досягнення необхідної вологості	$m_{дод.води}$	кг	2700

Висновки

1. Для забезпечення енергетичного використання побічної продукції садівництва необхідно розробити технологію переробки зрізаних гілок плодових дерев, яка буде відповідати вимогам стандарту GlobalG.A.P.

2. Отримано залежності втрат теплоти з димовими газами від температури згоряння робочого палива при заданій вологості тріски, за якими, шляхом підбору значення коефіцієнту надлишку повітря в топці, можна довести ККД топки до 84%.

3. Встановлено, що для прискорення процесу горіння тріски слід його здійснювати у два етапи – у зваженому стані в об'ємі топки та на допалювальній горизонтальній колосниковій решітці, де вона догорає у нерухомому шарі.

4. Запропонована конструкція топки, яка дозволяє здійснювати попереднє підсушування тріски завдяки підсушуючому склепінню та пережимові топки.

5. Доведено, що підвищення ефективності процесу компостування може бути досягнуто шляхом визначення оптимальної кількості води і застосування зворотної системи зволоження. Для забезпечення оптимальних режимів приготування компостної суміші у кількості 14т необхідно додати додатково 2700 л рідини.

6. Встановлено, що зворотна система зволоження компостної суміші дозволяє раціонально використовувати просочену воду для подальшого зволоження компосту, яка може бути використана при проектуванні процесу компостування і підбору відповідного обладнання.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Грачева Л.И. Стручаев Н.И. Кислый С.А. и др. Котельные установки в сельском хозяйстве. К.: Урожай, 1985. 167с.
2. Дідур В.А., Стручаєв М.І. Теплотехніка, теплопостачання і використання теплоти в сільському господарстві К.: Аграрна освіта, 2008. 233с.
3. Global G.A.P. Интегрированная система управления сельско-хозяйственным производством [Integrated Farm Assurance Standard (IFA)]. Общий базовый модуль для сельхозпредприятий – Растениеводство – Фрукты и овощи. Контрольные точки и критерии соответствия [Действует с 01.07.2017]. Кельн, 2017. 163 с.
4. Караєв О. Г., Бондаренко Л. Ю. Визначення та опис технічної енергетичної системи з використання відновлювальних ресурсів плодкових насаджень. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь, 2019. Вип. 19, т. 2. С. 192-199.
5. Караєв О.Г., Бондаренко Л.Ю., Стручаєв М.І. Використання відновлюваних ресурсів садівництва за вимогами стандарту GLOBALG.A.P. *Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти*. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2019. С. 92-99.
6. Караєв О.Г., Бондаренко Л.Ю. Енергетичне обґрунтування використання відновлюваних ресурсів плодкових насаджень. *Імпортозамінні технології вирощування, зберігання і переробки продукції садівництва та рослинництва*: матеріали VI міжнар. Наук.-практ. конф. Умань, 2020. С. 14-17.
7. Караєв О.Г. Наукові основи створення механізованих технологічних комплексів для виробничих систем розсадництва плодкових культур: автореф. дис. ... д-р. техн. наук: 05.05.11. Таврійський державний агротехнологічний університет. Мелітополь. 2017. 41 с.
8. Караєв О.Г., Бондаренко Л.Ю. Визначення та опис технічної енергетичної системи з використання відновлювальних ресурсів плодкових насаджень. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*.

Мелітополь: ТДАТУ, 2019. Вип. 19, Т. 2. С. 192–199. DOI: 10.31388/2078-0877-19-2-192-199.

9. Мельничук М.Д., Дубровін В.Г., Мироненко В.Г. Альтернативна енергетика: навч. посібник К.: Аграр Медіа Груп, 2012. 244 с.

10. Гелетуха Г. Г., Железна Т. А., Драгнєв С. В., Баштовий А. І. Перспективи використання біомаси від обрізки та видалення багаторічних сільськогосподарських насаджень для виробництва енергії в Україні. *Промислова теплотехніка*, 2018. т. 40, № 6. С. 68-74

11. N. Struchaiev, L. Bondarenko, O. Vershkov, A. Chaplinskiy. Improving the efficiency of fruit tree sprayers. *Modern Development Paths of Agricultural Production. Trends and Innovations*. Cham: Springer International Publishing. 2019. P.3-10.

12. Бондаренко Л. Ю. Стручаєв М. І., Вершков О.О., Філіпов Д.О. Підвищення ефективності використання відходів плодової деревини. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. Вип. 21, т. 1. С.74-83.

13. Бондаренко Л. Ю., Караєв О. Г., Чижиков І. О., Дмитрієв Ю. О. Визначення розмірно-масових параметрів зрізаних гілок плодових дерев. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету* Мелітополь: ТДАТУ, 2021 Том.11, № 1.

URL: <http://oj.tsatu.edu.ua/index.php/visnik>.

14. Валієва К.Р., Бондаренко Л.Ю. Шляхи використання відновлюваних ресурсів плодових насаджень. *Збірник наукових праць магістрантів та студентів*. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. С.132-134.

15. Бохан О.Д., Бондаренко Л.Ю. Утилізація відходів садівництва та її місце в енергетичному потенціалі біомаси в Україні. *Збірник наукових праць магістрантів та студентів*. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. С.60-61.

16. Ялпачик В.Ф., Стручаєв М.І., Верхоланцева В.О. Планування експериментальних досліджень процесу охолодження зерна *Праці Таврійського*

державного агротехнологічного університету. Мелітополь: ТДАТУ, 2015. Вип. 15, т.1. С. 3–8.

17. Didur V.A., Struchaiev M.I. *Teplotekhnika, teplopostachannya i vykorysyannya teploty v sil's'komu gospodarstvi [Heat engineering, heat supply and heat using in agriculture]*. Kiev: Agrarna osvita, 2008. 233 pp. [in Ukrainian].

<http://nmcbook.com.ua/wpcontent/uploads/2017/11/pdf>

18. Стручаєв М. І., Постол Ю. О. Аналіз термодинамічних процесів у потоці повітря *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П.Василенка*. Харків, 2017. Вип. 187. С. 28–29.

19. Lezhenkin A., Lezhenkin I., Vershkov A., Kolomiyets S. Agrobiological as well as mechanical and technological framework of development of the harvesting technology with the method of grain crops combing in standing position. *Modern Development Paths of Agricultural Production Trends and Innovations*. Cham: Springer International Publishing, 2019. P.85-91.

20. Lezhenkin A., Halko S., Miroshnyk A., Kovalyshyn, S., Vershkov A., Hryhorenko O. Mathematical simulation of separating work tool technological process. *International Scientific Conference on Progress of Mechanical Engineering Supported by Information Technology*. Czajowice; Poland, 2019. Vol. 132. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/2019132010> POLSITA 2019 25 25

21. Бондаренко Л.Ю., Караєв О.Г. Функції деревини зрізаних гілок плодкових насаджень як джерела енергії. *Плодовий сад – новітнє в теорії та практиці*: матеріали V Всеукр. наук.-практ. інтернет-конференції. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. С. 39-42.

22. Бондаренко Л.Ю., Караєв О.Г. Утилізація плодової деревини та її брикетування. *Плодовий сад – новітнє в теорії та практиці*: матеріали V Всеукр. наук.-практ. інтернет-конференції. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. С. 44-48.

23. Бондаренко Л.Ю. Використання деревної біомаси як добриво для поліпшення ґрунтів у садах. *Плодовий сад – новітнє в теорії та практиці*: матеріали V Всеукр. наук.-практ. інтернет-конференції. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. С. 49-53.