

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко-технологічний факультет

УДК 631.348: 632.98

ПОГОДЖЕНО

Декан механіко-технологічного факультету

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри сільськогосподарських машин та систем техніки ім. акад П.М. Василенка

Юрій ГУМЕНЮК

(підпис)

(ім'я, прізвище)

Вячеслав БРАТШКО

(підпис)

(ім'я, прізвище)

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему **Техніко-технологічні основи застосування системи широтно-імпульсної модуляції при обприскуванні сільськогосподарських культур.**

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

(код і назва)

Освітня програма «Агроінженерія»

(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна, або освітньо-наукова)

Гарант освітньої програми

доктор технічних наук, професор

(науковий ступінь та вчене звання)

Вячеслав БРАТШКО

(підпис)

(ім'я, прізвище)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

к.т.н., доц.

(науковий ступінь та вчене звання)

Юрій ГУМЕНЮК

(підпис)

(ім'я, прізвище)

Виконав:

Дмитро ДОВЖЕНКО

(підпис)

(ім'я, прізвище)

КИЇВ – 2023

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко-технологічний факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри сільськогосподарських машин  
та системотехніки ім. акад П.М. Василенка

К.т.н., доц. Юрій ГУМЕНЮК  
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ім'я, прізвище)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 р.

**ЗАВДАННЯ**

**ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ**

Дмитро ДОВЖЕНКА  
(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 208 «Агроінженерія»  
(код і назва)

Освітня програма «Агроінженерія»  
(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна  
(освітньо-професійна, або освітньо-наукова)

Тема магістерської кваліфікаційної роботи: Техніко-технологічні основи застосування системи широтно-імпульсної модуляції при обприскуванні сільськогосподарських культур

затверджена наказом ректора НУБіП України від «30» грудня 2022 р. № 1943 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру \_\_\_\_\_  
(рік, місяць, число)

*Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи Науково – технічна література: результати науково-дослідних робіт по літературних джерелах використання систем ШІМ при обприскуванні польових культур*

**Перелік питань, що підлягають дослідженню:**

1. Провести аналіз існуючих способів і технічних засобів реалізації поверхневого висеснення пестицидів та обґрунтувати перспективний напрямок удосконалення процесу обприскування і технічних засобів його реалізації;
2. Провести теоретичний та експериментальний аналіз процесу обприскування, як єдиної динамічної системи.
3. Провести експериментальні лабораторні дослідження ефективності функціонування ШІМ системи та традиційних систем обприскувача.
4. Провести оцінку техніко-економічної ефективності використання обприскувачів, обладнаних ШІМ системами.

Перелік графічного матеріалу Електронна презентація на \_\_\_\_\_ слайдах

Дата видачі завдання «1» листопада 2022 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи \_\_\_\_\_  
(підпис) (ім'я прізвище)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_  
(підпис) (ім'я прізвище)

## ЗМІСТ

Вступ	5
<b>Розділ 1 Стан проблеми і постановка задач дослідження</b>	<b>8</b>
1.1 Аналіз конструкції сучасного обприскувача	8
1.2 Системи керування сучасними обприскувачами на основі стандарту CGI ISOBUS	14
1.3 Застосування широтно-імпульсної модуляції при обприскуванні польових культур	19
1.4 Особливості роботи ШІМ на складних рельєфах	22
1.5 Застосування системи ШІМ для точкового обприскування	26
1.6 Залежність між зниженням тиску при роботі з ШІМ і резистентності бур'янів до гербіцидів	36
1.7 Агротехнічні вимоги до машин для захисту рослин	37
<b>Розділ 2 Теоретичні дослідження процесу обприскування польових культур</b>	<b>39</b>
2.1 Дослідження впливу розмірів крапель на ефективність обприскування.	39
2.2 Розрахунок параметрів баків і гідравлічних мішалок обприскувача	44
2.3 Розрахунок параметрів насосів	46
2.4 Розрахунок параметрів розпилювачів	48
<b>Розділ 3 Програма і методика експериментальних досліджень</b>	<b>50</b>
3.1 Програма проведення експериментальних досліджень	50
3.2 Методика визначення продуктивності розпилювачів	50
3.3. Калібрування розпилювачів	56
3.4 Методика обробки результатів експериментальних досліджень	60
<b>Розділ 4 Результати експериментальних досліджень</b>	<b>64</b>
4.1 Визначення впливу зміни висоти штанги обприскувача на якісні показники роботи	64
4.2 Визначення впливу зміни швидкості руху на якісні показники роботи	69
4.3 Визначення впливу зміни висоти штанги обприскувача на якісні показники роботи при використанні ШІМ	73
4.4 Польове випробування системи ШІМ на основі обприскувача KUHN Autospray	79

Розділ 5 Техніко-економічна оцінка роботи обприскувача	84
обладнаного системою шім	
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ</b>	<b>92</b>
<b>СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ</b>	<b>94</b>

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

## Вступ

Захист рослин, як комплекс заходів, що спрямовані на зменшення втрат врожаю та запобігання погіршенню стану сільськогосподарських рослин через вплив на них шкідників, хвороб і бур'янів, поряд з відомими методами боротьби, потребує пошуку та впровадження нових підходів і рішень у вирішенні цього важливого для людства питання. За останні десятиліття активний розвиток генетики як науки дозволив суттєво підвищити продуктивність сільськогосподарських культур, що вирощуються для споживання людиною. Однак глобальні зміни клімату і розвиток міжнародної торгівлі спричиняють зростання кількості шкідників, появу нових бур'янів і патогенів, що, за даними Міжнародної продовольчої та сільськогосподарської організації ФАО, можуть викликати втрати до 50% світового врожаю [38].

Заходи боротьби з організмами, які шкодять культурним посівам передбачають використання агротехнічних, біологічних, механічних, фізичних, хімічних методів та їх комбінації із застосуванням пестицидів або без них. Найбільш дієвим та розповсюдженим, з огляду на технічну забезпеченість, методом є хімічний метод захисту рослин, який полягає у використанні хімічносинтезованих речовин (пестицидів), які при контакті з об'єктом боротьби (бур'яни, шкідники, хвороби, тощо) здатні порушувати його розвиток або викликають загибель. Сучасне агровиробництво, особливо велике, складно уявити без використання хімічних засобів захисту, проте і слід зазначити, що хімічний спосіб боротьби з бур'янами, поряд з його високою ефективністю, не є екологічно безпечним, потребує розуміння особливостей дії хімічних препаратів, а також є досить недешевим. З огляду на це, питання екологічної безпеки застосування пестицидів та економічного використання високовартісних хімічних препаратів не втрачає своєї актуальності і нині. Економічність і екологічність - це базис, на якому ґрунтується подальший розвиток конструкції машин для хімічного захисту рослин.

Ефективне використання сучасних обприскувачів, крім забезпечення вищезазначених критеріїв повинне забезпечувати і високу якість обробки рослин. Цей підхід передбачає пошук та впровадження нових конструкційних та технологічних рішень, які сприяють поліпшенню процесу обприскування, що особливо важливо для препаратів контактної дії, які мають потрапити на цільові об'єкти і залишатися на їх поверхні. Забезпечення ефективної обробки включає в себе збільшення дисперсності крапель, які потрапляють на рослини, і мінімальну густоту покриття поверхні рослин. Однак важливо також зберігати баланс між збільшенням дисперсності крапель і униканням збільшення знесення частини крапель повітряними потоками, що може спричинити зниження ефективності препарату і негативно вплинути на навколишнє середовище. Тому керування і контроль розпилення робочої рідини на рослини є важливим аспектом в технології обприскування.

Метою досліджень є визначення та аналіз шляхів підвищення продуктивності і точності внесення пестицидів обприскувачами з урахуванням екологічних та економічних аспектів шляхом застосування систем широтно-імпульсної модуляції.

Для досягнення поставленої мети в роботі було визначено такі завдання:

- провести аналіз існуючих способів і технічних засобів реалізації поверхневого внесення пестицидів та обґрунтувати перспективний напрямок удосконалення процесу обприскування і технічних засобів його реалізації;
- провести теоретичний та експериментальний аналіз процесу обприскування, як єдиної динамічної системи;
- провести експериментальні лабораторні дослідження ефективності функціонування ШІМ системи та традиційних систем обприскувача;
- провести оцінку техніко-економічної ефективності використання обприскувачів, обладнаних ШІМ системами

**Об'єктом дослідження** є технологічний процес поверхневого обприскування польових культур.

**Предметом дослідження** є взаємозв'язок технологічних параметрів обприскувача обладнаного системою ІПМ та показників ефективності обприскування польових культур.

**Методи дослідження.** Техніко-технологічні основи застосування системи широтно-імпульсної модуляції при обприскуванні сільськогосподарських культур базувались на аналізі впливу основних елементів обладнання обприскувача на польові культури. При проведенні теоретичних досліджень виконувались механіко-математичні методи моделювання технологічного процесу обприскування на базі вищої математики, теоретичної механіки, теорії подібності, гідравліки та теорії ймовірності.

Експериментальні дослідження проводились на серійних машинах в лабораторних та виробничих умовах з використанням загальноприйнятих та розроблених методик. При проведенні експериментальних досліджень застосовувались математичні методи планування експерименту та їх обробка з використанням програмних продуктів EXCEL, STATISTICA, MathCAD, та Autodesk Inverter.

## Розділ 1 СТАН ПРОБЛЕМИ І ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 1.1 Аналіз конструкції сучасного обприскувача

Сучасні сільськогосподарські обприскувачі зберегли основну ідею та вимоги агрономічного процесу, але отримали великий прогрес у використанні матеріалів і технологій. Основний виклик який перед собою поставили компанії агропромисловики – це підвищення ефективності процесу обприскування та економія ресурсів зі збереженням високої якості процесу.

Щоб оцінити основні характеристики сучасних обприскувачів розглянемо їх основні вузли та агрегати, беручи за основу обприскувач KUNN Lexis (рис. 1.1)



Рис. 1.1 Загальний вигляд обприскувача KUNN Lexis

**Габаритні розміри.** Довжина обприскувача обладнаного баком об'ємом 2400/3000 л, від точки його зчеплення до осі коліс, становить 4 м або 4,30 м для обприскувачів з об'ємом бака (3800 л); висота 3,10 м (зі штангсю 2,1 м). Компактні габаритні розміри машини дають змогу легко маневрувати на поворотних смугах, що в свою чергу поліпшує точність ведення



обприскування, полегшує вихід на поле і роботу заднім ходом у кутах поля, а також запобігає пошкодженню рослин.

Ергономічна форма бака (рис. 1.2) передбачає інтеграцію складеної у транспортне положення штанги у загальні габарити обприскувача, що полегшує транспортування обприскувача дорогами загального користування та його зберігання у приміщенні. Штанги MTA2 або MPA2 інтегровані в габарит машини не контактують з кабіною трактора на поворотах малого радіусу, а невелика висота причіпного обприскувача підвищує його стійкість під час транспортування.



Рис. 1.2 Переріз бака обприскувача KUH N Lexis

**Конструкція бака.** Основний бак обприскувача Lexis об'ємом 3000 літрів має низький центр ваги, а найбільша частина бака прилягає до рами, забезпечуючи високу стійкість машини. Низько розташований зливний отвір дозволяє спорожнювати бак незалежно від нахилу поля. Поблизу зливного отвору розміщена система змішування, яка забезпечує однорідність робочого розчину без утворення піни протягом усього процесу обприскування. Бак для промивання об'ємом 320/400 л займає центральне положення на осі обприскувача, що дає змогу Lexis підтримувати загальну рівновагу при різних

умовах роботи і скоротити неефективний об'єм обприскувача. Така компоновка ємностей обприскувача сприяє тому, що загальний центр ваги завжди знаходиться на центральній осі машини незалежно від рівня заповнення баків. Інформація щодо заповнення основних ємностей обприскувача виводиться на панель керування.

**Підготовка до роботи та експлуатація обприскувача.** Налаштування обприскувача є ключовим етапом процесу обприскування. Робоча зона для управління обприскуванням MANUSET подана на рисунку 1.3.



Рис. 1.3 Робоча зона управління обприскуванням MANUSET

В зоні управління роботою обприскувача є два основні крани: правий (двопозиційний) – здійснює перемикання між магістралями всмоктування рідини (у відповідних положеннях крана рідина всмоктується або з основного бака або з промивного), лівий – здійснює перемикання напряму потоку рідини (ємність для змішування хімікатів, обприскування, промивання). Всі функції обприскувача контролюються з пульта керування оператора який розташований у кабіні трактора. Функціональна схема роботи обприскувача представлена на рисунку 1.4.

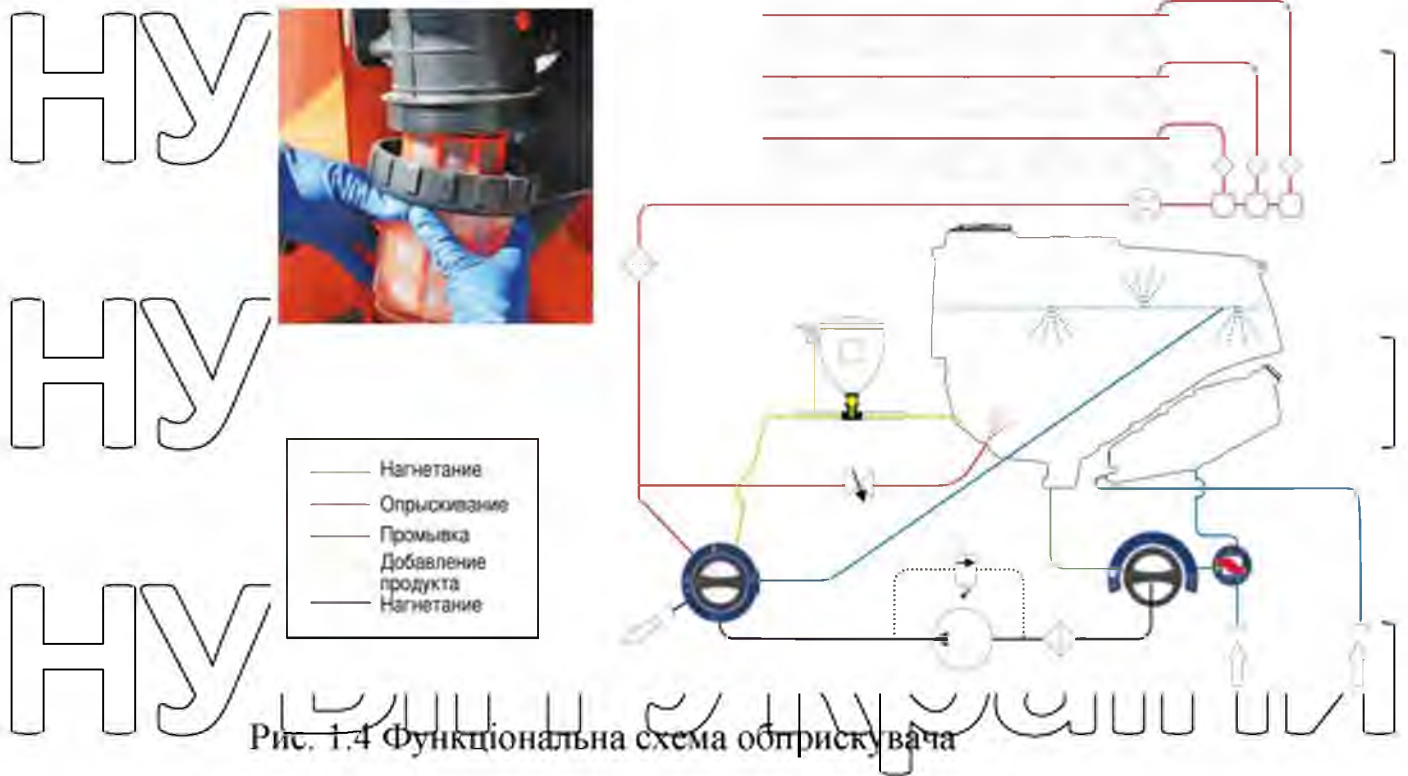


Рис. 1.4 Функціональна схема обприскувача

Для спрощення управління процесом промивання показчик рівня промивального бака, який видно з робочого місця, і дає зрозуміти оператору коли варто зупинити процес промивання.

Ємність для змішування хімікатів (рис. 1.5) об'ємом 5 л дозволяє змішувати продукти усіх типів: рідини, порошки та гранули. Система промивання складається з двох обертових розмивувачів, призначених для очищення ємностей, мірих посудин, каністр та ємності для змішування хімікатів.

Ємність для змішування має один клапан, який приводиться в дію за допомогою педалі через який активна речовина подається до основного баку. Усі інші операції по попередньому приготуванню робочих розчинів проводяться за допомогою панелі керування, розташовані поруч з ємністю для змішування. Для уникнення прямого контакту оператора з хімічними речовинами ємність для змішування промивається із закритою кришкою.



Рис. 1.5. Загальний вигляд ємності для змішування хімікатів

**Штанги обприскувача.** Штанги обприскувача KUNN Lexis (рис. 1.6)

виготовляються з алюмінію/алюмінієвого сплаву.



Рис. 1.6 Загальний вигляд штанги обприскувача

Захисна здатність алюмінієвих сплавів перед корозією базується на

наявності тонкої окисної плівки, яка автоматично формується на поверхні

металу при контакті з повітрям. Ця плівка є непомітною і досить стійкою до

дії навколишнього середовища. Вона утворюється природним чином, тож

можна стверджувати, що плівка регенерується (самооновлюється) і

підтримується самостійно. У нейтральних або неагресивних середовищах

поверхня алюмінієвих сплавів залишається практично незмінною протягом

тривалого періоду, і, зазвичай, не потребує додаткового захисту. У агресивних

середовищах, таких як лужні або кислотні, алюмінієва поверхня може почати

змінювати свій стан. Поверхня може втрачати колір і ставати шорсткою, а на ній може утворюватися білий порошкоподібний наліт. При цьому сама окисна плівка може стати розчинною, алюмінієва поверхня стає вразливою до корозії, і для захисту вимагає додаткових заходів.

Для запобігання корозії алюмінієвих сплавів у вимогливих середовищах можуть застосовуватися різні методи захисту, такі як покриття спеціальними захисними покриттями або використання корозійностійких алюмінієвих сплавів. Також можуть використовуватися інші методи, такі як катодний захист або регулярна обробка поверхні для підтримки захисної окисної

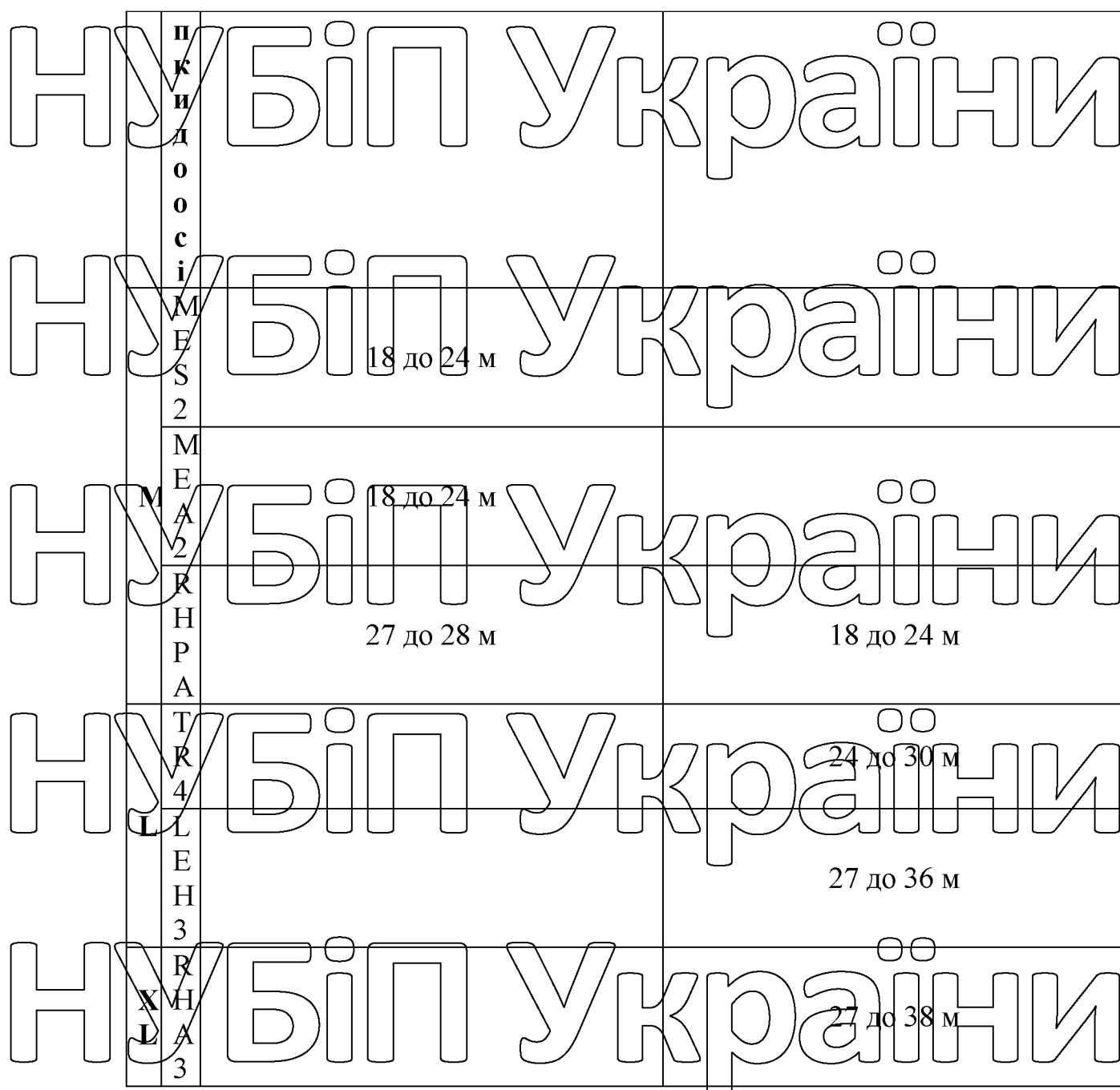
плівки. Але навіть при роботі з агресивними середовищами ресурс використання алюмінієвої штанги вразі більший у порівнянні зі сталлю.

Компанія KUNN використовує алюміній з 1986 року для виготовлення штанг довжиною понад 18 м.

Таблиця 1.1

### Характеристика штанг обприскувачів компанії KUNN

Ряд штанг	LEXIS	METRIS 2
Розміри штанг в ідзичі	4,00 – 4,30 м	4,40 м



Алюмінієві штанги легші, чудово копіюють рельєф поля, а їх природна стійкість до корозії є вирішальним чинником при контакті із засобами захисту рослин та добривами.

**Підвіска EQUILIBRA.** Підвіска EQUILIBRA (рис. 1.7) з маятниковим

механізмом забезпечує штанзі амортизацію від ударних навантажень у трьох

площинах і дозволяє штанзі залишатися паралельною поверхні поля незалежно від зміни рельєфу.

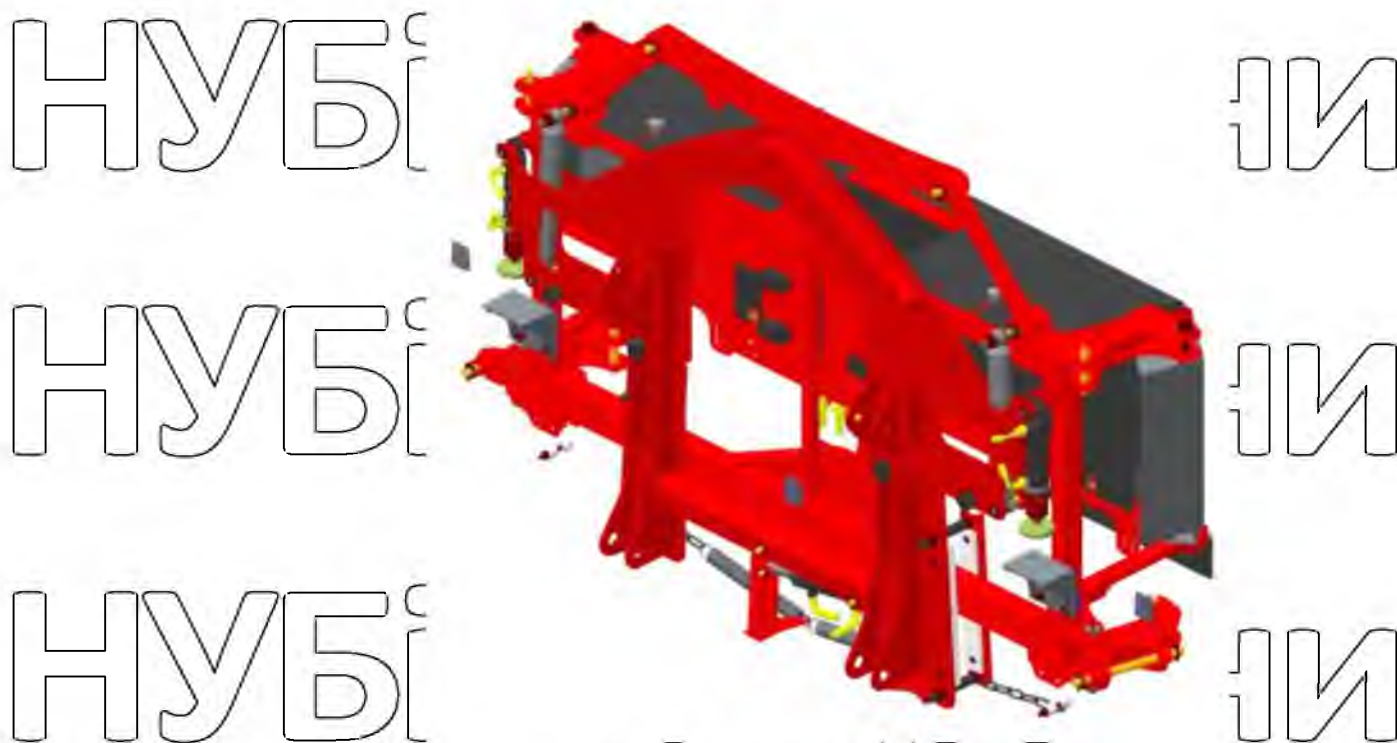


Рис. 1.7 Загальний вигляд підвіски EQUILIBRA

Два амортизатори поглинають коливання та обмежують вертикальні зміщення штанги, тим самим забезпечуючи якісне вирівнювання штанги при поворотах, при русі на високій швидкості та під час розгону і гальмування.

Підвіска EQUILIBRA розроблена для інтенсивної роботи і включає в себе стандартну незалежну систему, яка складається з маятникового механізму, тяги для радіального руху, амортизаторів, підпружиненого автоматичного коректора нахилу та механізму олокування рами.

## 1.2 Системи керування сучасними обприскувачами на основі стандарту CCITSOBUS

Починаючи з 1990 року 5 компаній виробників сільськогосподарської техніки GRIMME, KRONE, KUHN, LEMKEN і RAUCH задумались над створенням єдиного стандарту комунікації між тракторами і причіпним обладнанням. Проблема була викликана неможливістю виробників самохідної техніки і виробників причіпного обладнання надати можливість фермерам забезпечити інтеграцію технології plug-and-play між енергетичними засобами

(тракторами) і технологічними машинами наприклад, обприскувачами) різних виробників. Один за всіх, усі за одного – під таким девізом у 2009 році компанії GRIMME, KRONE, KUHN, LEMKEN і RAUCH заснували Центр компетенції ISOBUS eV.

ISOBUS (ISO 11783) - це стандартизований протокол зв'язку, який застосовується в сільськогосподарській і лісогосподарській техніці. Цей протокол ґрунтується на використанні мережі контролера (CAN-шина). По суті, він є нащадком протоколу SAE J1939, який застосовується в більшості вантажних транспортних засобах, включаючи багато моделей тракторів.

Сьогодні ISOBUS реалізований в більшості сучасних тракторів і сільськогосподарських інструментів, таких як прес-підбирачі, обприскувачі, машини для внесення добрив, сівалки, тощо. Він забезпечує стандартизований зв'язок між ними, що робить можливим об'єднання та керування різними сільськогосподарськими пристроями за допомогою одного універсального терміналу. Завдяки сертифікованим рішенням ISOBUS, кінцеві користувачі можуть уникнути захаращування кабіни трактора великою кількістю спеціальними терміналів, а замість цього керувати різними видами обладнання з використанням єдиного універсального терміналу.

Результатом співробітництва 3 компаній-виробників стали декілька високотехнологічних продуктів:

- Термінал керування CCI 1200.
- Сенсорний джойстик керування CCA A3.
- Набір ліцензій для керування різними функціями.
- Портал для бездротового обміну даними між машинами.

Розглянемо вищезазначені продукти.

**Термінал керування CCI 1200.** Термінал CCI 1200 (рис. 1.8) було розроблено з урахуванням трьох пріоритетів: підвищення продуктивності, наочності та гнучкості. Результатом цих зусиль став сенсорний термінал



розміром 30,5 см (12,1 дюйма) у формі планшета з антибліковим екраном, що дозволяє оператору переглядати усю важливу інформацію про машинно-тракторний агрегат.



Рис. 1.8 Загальний вигляд терміналу керування CCI 1200

Розміри терміналу та конструкція забезпечують одночасне відображення на екрані двох машин ISOBUS. Термінал CCI 1200 має подвійну функцію UT, що дозволяє регулювати та керувати комбінацією двох машин ISOBUS, наприклад, фронтальним бункером (насіння або добриво) та сівалкою.

CCI 1200 оснащений функцією MultiTouch, дуже схожою на функціональність сучасних планшетів, за якою сенсорний екран може відстежувати одночасне натиснення декілька точок. Наприклад, зблизивши пальці рук, можна зменшити зображення на дисплеї, розсавуючи його збільшити, перетягуванням перемістити зображення, а також переглядати різні меню, екрани та програми, як це зазвичай відбувається на смартфонах та планшетах. Також термінал підтримує функції роботи з файлами та обмін документами:

- SHP та ISOXML;
- Зчитування «дір» файлів;

- Сумісність з картками пам'яті від різних виробників;
- Обмін даними через USB або онлайн за допомогою платформи AgriCenter.

**Сенсорний джойстик керування CCA A3** За допомогою джойстика CCI A3 ISOBUS (рис. 1.9) можна переглядати функції машини безпосередньо на сенсорному екрані джойстика.



Рис. 1.9 Загальний вигляд сенсорного джойстика керування CCA A3

CCI A3 має сертифікат ISOBUS AUX-N AEF, він сумісний з усіма машинами ISOBUS, що мають сертифікат ISOBUS AUX-N. Сенсорний екран забезпечує інтуїтивно зрозумілий інтерфейс. За допомогою кольорового сенсорного екрана можна візуалізувати будь-які функції машини ISOBUS для виконання роботи. Для обслуговування різних типів знарядь та необхідних функцій керування, джойстик комплектується трьома швидкозмінними сітками/накладками, які мають 8, 9 або 10 комірок/кнопок, пов'язаних з трьома різними рівнями, що в свою чергу забезпечує 24, 27 або 30 програмованих функцій.

Сенсорний екран з трьома легкозамінними сітками/накладками з 8, 9 або 10 функціями, доступний стандартно. Для додаткового комфорту джойстик регульоване по висоті, підтримує руки в'я. Перемикач функцій, розташований за джойстиком, дозволяє переміщатися між трьома рівнями.

**Набір ліцензій для керування різними функціями.** За допомогою додатка CCI.Command Section Control, доступного як опція для терміналу CCI 1200 ISOBUS, можна виконувати керування до 254 секцій за сигналами GPS. Цей додаток має функцію керування на поворотній смугі, а також модуль Parallel Tracking (паралельне відстеження), який автоматично вибирає маршрут за допомогою GPS.

Додаток Multi Rate Control дає змогу застосовувати дві різні норми нанесення шляхом окремого керування різними системами дозування.

Додаток CCI.Tesci дозволяє передавати основну інформацію про трактор, як-от швидкість руху, швидкість обертання ВВП або положення зчеплення.

Додаток CCI.Control – контролер завдань, який реєструє всі операції з будь-яким обладнанням ISOBUS.

Додаток CCI.Cam підключить камеру та переглядайте відеозображення безпосередньо на терміналі CCI 1200.

Додаток CCI.Convert дає змогу працювати з датчиком який робить NDVI аналіз та регулює норму внесення в залежності від стану рослин на ділянці поля.

### **Портал для бездротового обміну даними між машинами.**

Термінали CCI 800 та CCI 1200 ISOBUS стандартно є сумісними з платформою обміну даними Agrirouter. Agrirouter безпечно передає дані, файли, карти модуляції з одного місця до іншого. Щойно машини, термінали та програмне забезпечення приєднуються до платформи Agrirouter, вони також пов'язуються між собою та можуть обмінюватися даними.

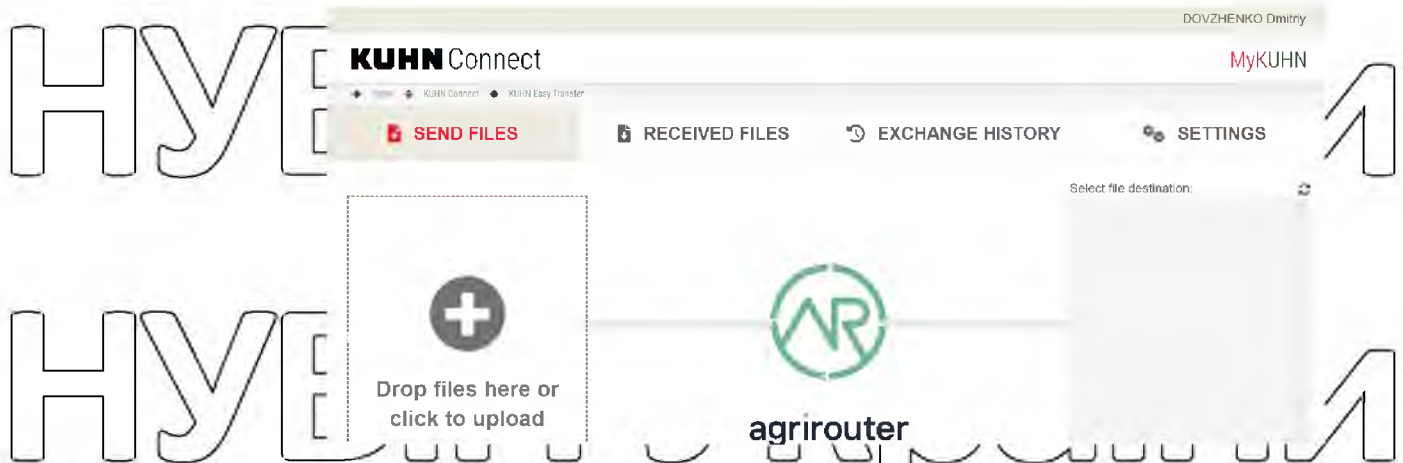


Рис. 1.10 Інтерфейс обміну даними за допомогою платформи Agrirouter



Рис. 1.11 Сумісність із постачальником карт додатків

### 1.3. Застосування широтно-імпульсної модуляції при обприскуванні польових культур

Обприскувачі використовуються для внесення засобів захисту рослин із забезпеченням необхідної дози внесення. Для штангових обприскувачів доза внесення - це добуток ширини штанги, швидкості руху обприскувача та витрати рідини через розпилювачі. З цих трьох факторів ширина штанги вважається постійною, тоді як швидкість руху та швидкість потоку робочої рідини є величинами змінними. Якщо швидкість руху машини змінюється, швидкість потоку рідини також потрібно змінити, щоб підтримувати задану дозу внесення.

Переважає більшість розпилювачів має фіксовані розміри вихідного отвору, як наслідок, єдиним способом змінити потік робочої рідини є зміна тиску обприскування. У сучасному обприскувачі бортовий комп'ютер,

відомий як контролер норми, виконує обрахунки та при необхідності здійснює коригування дози внесення. Наприклад, якщо обприскувач прискорюється, - потрібно збільшувати і потік робочої рідини, щоб зберегти необхідний об'єм внесення отрутохімікату на одиницю площі. Контролер дози внесення «знає» ширину захвату обприскувача (дані вносяться оператором) і за допомогою радара або GPS розраховує необхідну швидкість руху і витрату робочої рідини (витратоміром). Якщо швидкість руху збільшується, регулятор дози внесення збільшує тиск розпилення, доки датчик витрати не покаже, що поточної витрати достатньо для підтримки цільової дози внесення.

Проблема цього підходу полягає в тому, що розпилювачі дуже чутливі до тиску розпилення. Занадто низький тиск призведе до погіршення динаміки потоку, що в свою чергу викличе погіршення якості покриття польових культур. Занадто високий тиск, - вплине на дисперсність краплин, створюючи проблеми зі знесенням краплин повітряним потоком. У результаті оператори традиційних обприскувачів повинні виконувати технологічний процес в дуже конкретному вузькому діапазоні швидкостей, а це не завжди можливо, оскільки може змінюватись рельєф місцевості або ж вологість ґрунту.

Одним із рішень цієї проблеми є принципово інше керування швидкістю потоку, яке базується на використанні широтно-імпульсної модуляції (ШИМ). Широтно-імпульсна модуляція - це процес, який, поряд з пристроями силових електроніки (зміна яскравості горіння світлодіодів, зміна частоти обертання двигуна постійного струму), використовується для формування керуючих сигналів при автоматизації технологічних процесів сільськогосподарського виробництва.

Обприскування з використанням ШИМ передбачає, що кожен корпус розпилювача оснащений електронним соленоїдом (запірним клапаном). Клапан вмикається і вимикається десять або більше разів за секунду, створюючи переривчасте імпульсне розпилення. Кількість циклів увімкнення та вимкнення клапана за одиницю часу називається частотою і вимірюється в

герцах (Гц). Пропорція часу, протягом якого клапан відкритий, називається шириною імпульсу або робочим циклом і пов'язана зі швидкістю потоку рідини, що проходить через сопло. Керування робочим циклом здійснюється електронною системою.

Наприклад, кожен розпилювач може працювати при повному номінальному потоці рідини (100% робочого циклу) або ж частці потоку (скажімо, 20% робочого циклу). На низьких частотах (для систем ШПМ зазвичай це показник знаходиться в межах від 10 до 15 Гц,) робочий цикл пропорційний швидкості потоку. При 20%-му робочому циклі розпилювач забезпечує приблизно одну п'яту потоку у порівнянні з номінальним значенням (100%). Висока частота імпульсів не впливає на загальне покриття чи розмір крапель. За допомогою такої системи, при зміні швидкості обприскувача, робочий цикл автоматично змінюється відповідно до вимог щодо витрати робочої рідини, розрахованих контролером дози. Це означає, що, обприскувач, обладнаний системою ШПМ позбавляється необхідності змінювати тиск в системі при зміні вхідних факторів (зміна швидкості руху при зміні рельєфу поля та зміна коефіцієнта зчеплення опорних коліс) технологічного процесу обприскування.

Контроль дрейфу (знесення) краплин у обприскувачах з системою ШПМ реалізується простіше. Основний спосіб зменшення дрейфу полягає у збільшенні розміру крапель, що досягається за рахунок зменшення тиску розпилення. Але зниження тиску призводить до зменшення потоку робочої рідини, і оператор для дотримання дози внесення препарату змушений уповільнити рух. У цьому випадку оператор за допомогою ШПМ-системи знижує тиск, а система в свою чергу компенсує зниження потоку рідини за рахунок збільшення тривалості робочого циклу. Це дозволяє продовжувати роботу з заданою швидкістю.

Додатковими перевагами використання ШПМ є можливості адресного керування дозами згідно картограм внесення технологічних матеріалів (тобто відповідно до потреби рослин в будь-якій точці поля), а також, з метою

запобігання подвійного обприскування, можливість керування секціями обприскувача (ввімкнення/вимкнення) при зміні конфігурації поля, якого можна досягти

#### 1.4 Особливості роботи ШІМ на складних рельєфах

Як зазначалось раніше, зміна швидкості руху змінює робочий цикл пульсуючого соленоїда, регулюючи швидкість потоку без зміни тиску. Це забезпечує задану продуктивність обприскувача обладнаного системою ШІМ.

Знос краплин або якість покриття рослин контролюються оператором, який у режимі **нон-стоп** може вносити корективи у процес обприскування знаходячись у кабіні трактора.

Схема компенсації зміна дози внесення розпилювачами при повороті штанги обприскувача представлена на рисунку 1.12.

Рис. 1.12. Схема компенсаційного дозування розпилювача при повороті обприскувача з шестисекційною штангою.

При проходженні обприскувачем поворотів кожна секція штанги описує траєкторію певного радіусу та рухається з певною швидкістю. При чому радіус траєкторії і швидкість руху для кожної точки штанги буде різною.

Очевидно, що і для кожного з розпилювачів, встановлених на штанзі ці показники будуть різними. Незначним виключенням є розпилювачі встановлені на центральній секції штанги, оскільки вони, на відміну розпилювачів віддалених від центральної секції штанги, фактично не мають радіального зміщення і забезпечують задану дозу без додаткового коригування.

Секція штанги, яка розташована на зовнішньому радіусі повороту рухається швидше і описує дугу більшого радіусу, в той час як секція розташована на внутрішньому радіусі буде описувати дугу меншого радіусу і рухатись повільніше. У цьому випадку доза внесення для культур, які знаходяться в зоні внесення секції зовнішнього радіусу буде зменшуватись, а для культур внутрішньої зони - збільшуватись.

З системою ШІМ кожна секція матиме фіксовану компенсацію дози внесення з урахуванням радіусу повороту і швидкості руху крайніх точок штанги. При цьому головним фактором при розрахунку компенсаційної дози для розпилювачів бокових секцій, буде слугувати швидкість центральної секції штанги (читай швидкість обприскувача).

Моделювання руху обприскувача обладнаного шестисекційною штангою довжиною 30 м з 10 розпилювачами, який здійснює поворот навколо об'єкта діаметром 18 метрів, показує, що відхилення від оптимальної компенсації дозування є найменшим на зовнішніх секціях обприскувача і зростає до внутрішньої частини поворот. У прикладі (рис. 1.12) останній розпилювач зовнішньої секції штанги занижує дозу на 6% відносно заданої, а внутрішній розпилювач цієї ж секції вносить 7%-вий надлишок робочої рідини. Крайні розпилювачі наступної секції мають відхилення відповідно - 7% і +8%, і.т.д. Рухаючись від центру обприскувача до внутрішнього крила



штанги: відхилення становлять  $-9\%$  і  $+12\%$  від норми, далі  $+12\%$  і  $+16\%$  і, зрештою,  $-16\%$  і  $+24\%$  вище.

На «некомпенсованій штанзі» (рис. 1.13) з аналогічними розмірами крайній розпилувач буде «недоливати»  $38\%$  робочої рідини, а внутрішній – на  $267\%$  «переливати».

Рис. 1.13. Схема роботи «некомпенсованої» штанги у повороті.

Однак важливо пам'ятати, що важливіше внести задану дозу вливання на зовнішньому радіусі ніж на внутрішньому.

Рис. 1.14. Приклад поля з великою кількістю поворотів.

НУ  
НУ

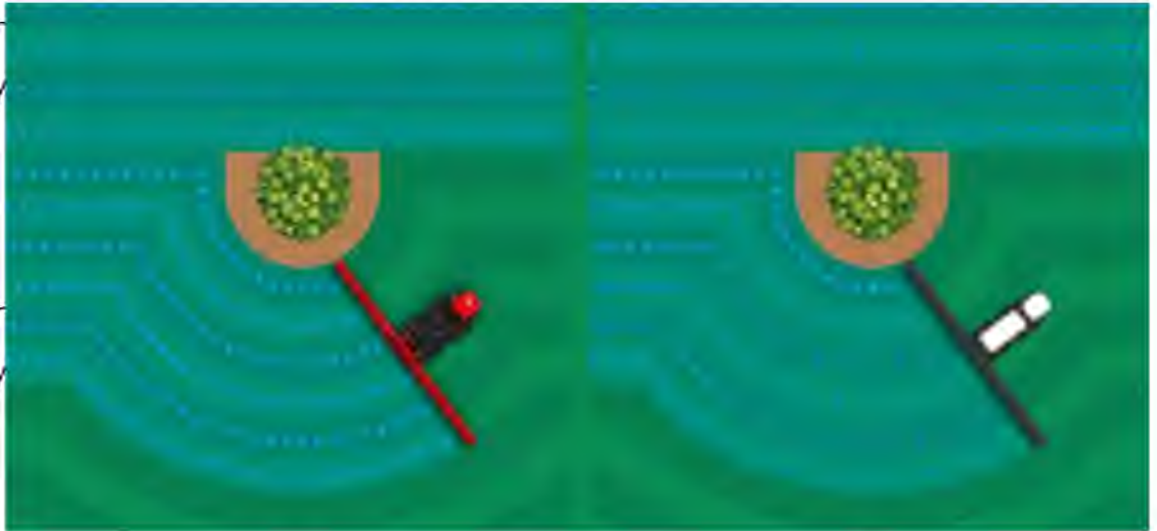
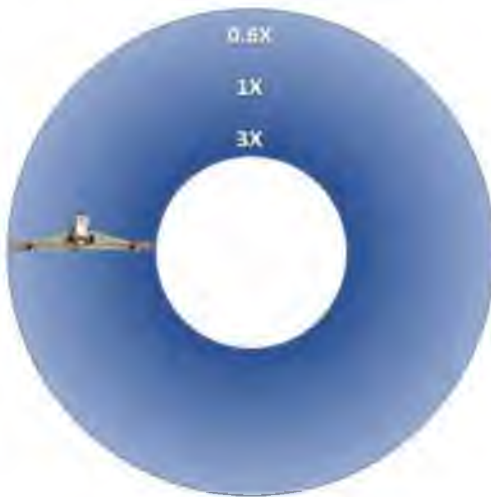


Рис. 1.15. Схеми роботи обприскувача з «компенсованою» (а) і «некомпенсованою» (б) штангами в повороті

Якщо обприскувач рік за роком виконує обприскування складних ділянок поля, наприклад по колу, то зовнішня область штанги буде знову й знову «недодозовувати» препарат. Ї подальшому «недодозовані» ділянки поля стануть живильним середовищем для полігеної стійкості бур'янів до гербіцидів.

НУ  
НУ



Without turn compensation



With turn compensation

Рис. 1.16. Робота обприскувача на заокруглених ділянках поля без корекції дози (а), та з корекцією дози (б)

Щорічно повторюване недостатнє внесення препаратів на краях поля або навколо постійних об'єктів, таких як дерева, ЛЕП, тощо призводить до проблем із заміченістю полів бур'янами та шкідниками.

### 1.5. Застосування системи ШІМ для точкового обприскування.

Необхідність проведення картографування польових площ сьогодні ні у кого не викликає жодних сумнівів. За останні десятиліття для аграріїв уже стало звичним збирання двох врожаїв: першого – біологічного, другого – інформаційного. Моніторинг урожайності, вмісту поживних речовин, стану посівів став звичним атрибутом сучасного ведення господарства.

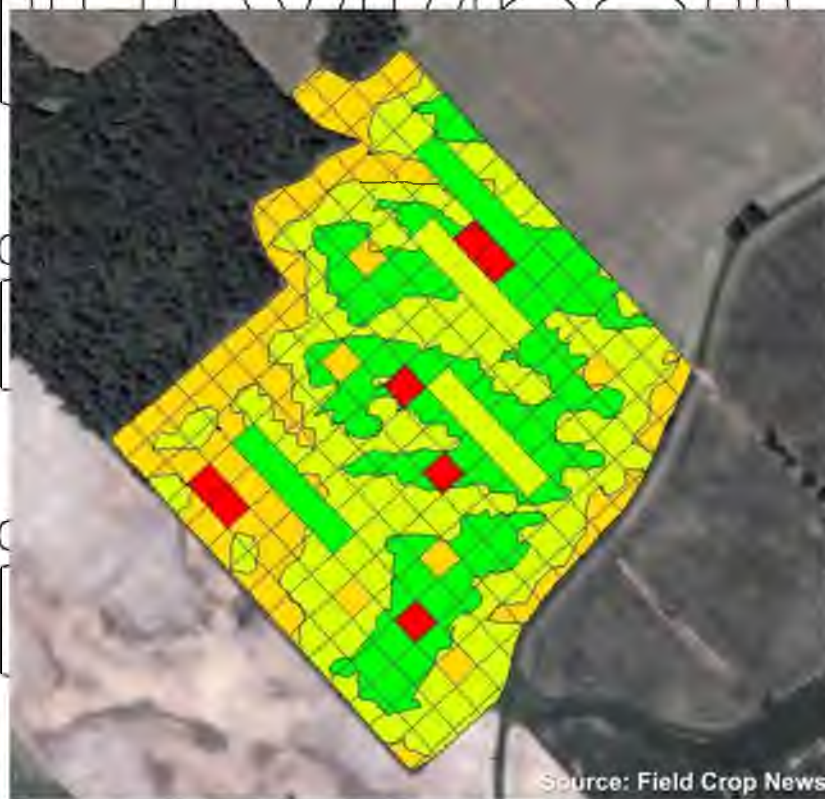


Рис. 1.17 Типова карта вмісту поживних речовин в ґрунті (Джерело: Field Crop News)

Для ефективної роботи машин для захисту рослин також необхідні карти. Це карти, які містять інформацію про наявність бур'янів, локацію вонош шкідників, хвороб, тощо. Однак, не зважаючи на важливість цієї інформації таке картографування займає багато часу і є досить дорогим.

Причиною цього, з огляду на динаміку поширення шкідників, є обмежена тривалість актуальності інформації, яку містять такі карт. Очевидно, що відтермінування активних дій щодо знешкодження шкідників призведе до необхідності оброблення усїєї площї поля. А це, зважаючи на високу ціну хїмічних препаратів, потребує значних витрат.

Одним з шляхів, який дозволяє економити ресурси є точкове обприскування. Для стримання традиційної карти завдання необхідне проведення монїторингу усїєї площї поля, в той час як використання сучасних систем оптичного точкового розпилення (OSS) дозволили фактично обїтись без вартїсного монїторингу і обробляти кожен квадратний метр поля індивідуально. Обприскувачі, обладнані відповідними датчиками ідентифїкують стан і тип рослини та за необхідності вмикають розпилювач, який розташований над відповідною зоною. Схема роботи такої системи показана на рис. 1.18.

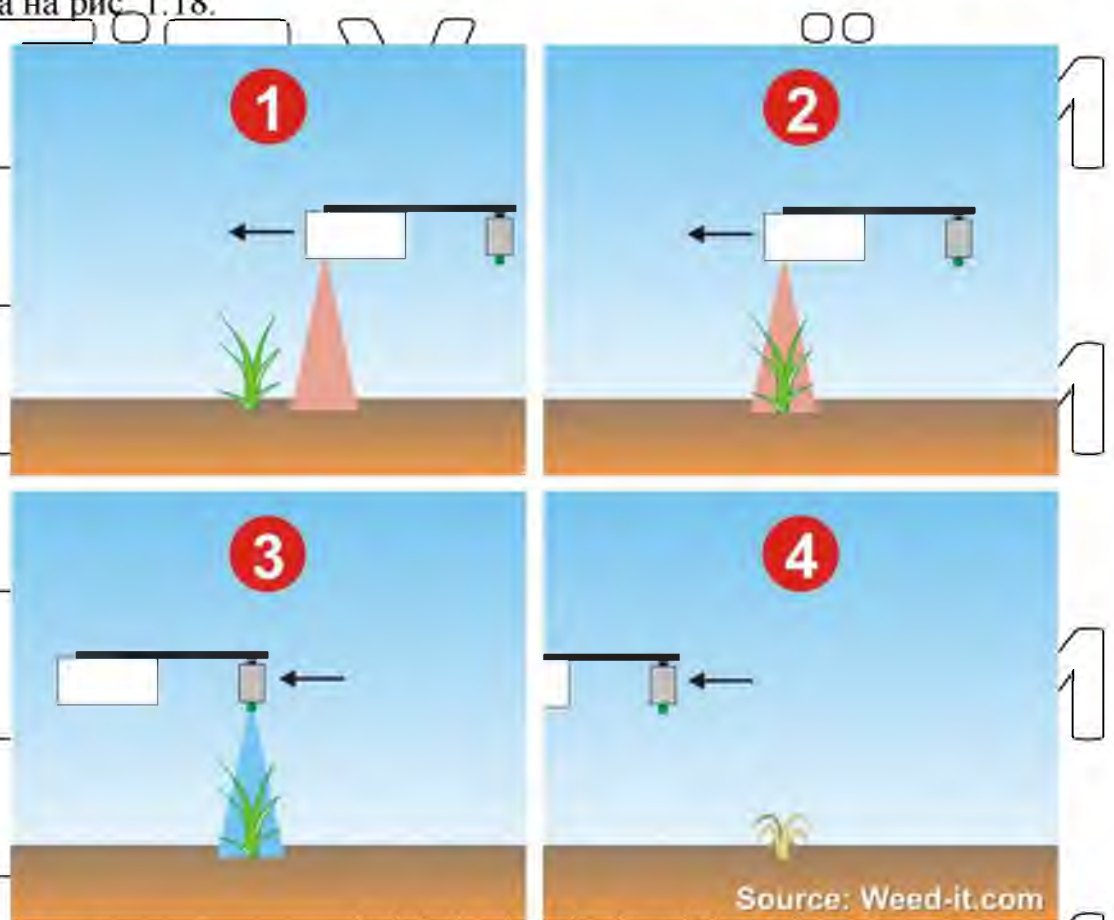


Рис. 1.18 Принцип оптичного точкового розпилення (OSS) (Джерело: Weed-it.com)

Ця ідея та технологія з'явилися в сільському господарстві з початку 1990-х років, з Concord DetectSpray, а пізніше Trimble WeedSeeker.

Два основних виробники зайняли традиційне місце оптичного точкового розпилення (OSS) Green on Brown (зелений на коричневому) – Trimble WeedSeeker і WEEDit. Обидва виробники добре зарекомендували себе на ринку та підтвердили свою надійність. WeedSeeker використовує принцип нормалізованого індексу відмінності рослинності (NDVI) для виявлення зеленого на незеленому фоні. У такій системі використовується один датчик на розпилювач, який вмикається або вимикається залежно від того, що виявляє датчик. Система WEEDit виробляється в Нідерландах компанією Rometron (<https://www.weed-it.com/>).

На штангах з системою WEEDit встановлено датчики, розміщені з інтервалом 1 м, які сканують поверхню поля перед штангою, ідентифікують рослину і, при потребі, активують розпилювач. Найновіший чотирьох-канальний датчик Quadro створений для роботи з форсунками на відстані 25 см.



Рис. 1.19 Розпилювач Hurpo для рівномірного розпилення (смуги) з кутом відкриття факелу 30 градусів.

Розпилювач з кутом відкриття факела  $30^\circ$  покриває смугу шириною до 25 сантиметрів на заданій висоті.

Принцип виявлення бур'янів базується на відбитті світла від поверхні рослини. Датчики на штанзі випромінюють червоне (перше покоління датчиків (рис. 1.20)) або синє (останнє покоління, Quadro (рис. 1.21)) світло, а рослини, що містять хлорофіл, випромінюють унікальний спектр хвиль, який відрізняється від спектрів ґрунтового середовища, мертвого рослинного матеріалу та інших об'єктів.



Рис. 1.20 Датчик WEEDit старішого покоління

Датчик WEEDit старішого покоління розміщувався з інтервалом 1 м і мали п'ять каналів, кожен з яких охоплював смугу 20 см.



Рис. 1.21 Датчик WEEDit Quadro нового покоління

Коли датчик системи «дивиться» на 1 метр вперед, час відгуку системи, який витрачається на розпізнавання рослини і спрацювання розпилювача дозволяє обприскувачу якісно виконувати технологічний процес на швидкостях до 20 км/год. Крім того, програмне забезпечення надає користувачеві два важливі елементи керування: по-перше, відстань обприскування до та після виявленої рослини може бути буферизована між 5 та 20 см, у результаті чого обприскується ділянка довжиною від 10 до 40 см. Це може стати у нагоді, коли штанга коливається, а відповідно і положення розпилювачі відносно бур'яну змінюється. По-друге, користувач може вибрати одну з чотирьох установок чутливості. Вища чутливість може виявити менші бур'яни, але також призведе до більшої кількості помилкових результатів.



Рис. 1.22. Водочутливий папір для підтвердження застосування препарату на виявленій бур'яні.

Терміни передпосівного обприскування дуже вузькі, - бур'яни в цей період можуть бути дуже дрібними або тільки проростати і тому існує ризик промаху пов'язаний з їх не виявленням. Однак система WEEDit має функцію, яка усуває цей ризик. Клапан системи НІМ для WEEDit (рис. 1.23) здатний миттєво реагувати на частоті від 10 до 50 Гц. Соленоїди, які встановлені на

окремим розпилювачам, мають широтно-імпульсну модуляцію (ШИМ). Систему внесення усієї штангу обприскувача можна запрограмувати на розпилення «фонові» дози, яка може становити до 50% від необхідної дози (так званій «Подвійний режим»). У цьому випадку найдрібніші бур'яни, які не виявлені системою технічного зору, ймовірно, будуть знищені «фонові» дозою.



Рис. 1.23 Клапан системи ШИМ для WEEDit.

Потім система виявить більші бур'яни та обробить їх індивідуальним точковим розпилювачем у повній дозі. Подвійний режим зазвичай встановлюється на рівні 25%, загальна економія робочої рідини при цьому буде меншою, але ефект від боротьби з бур'янами у стадії білої нитки - більшим. Система WEEDit Quadro також може працювати в «режимі покриття» для розподільного обприскування, де вона функціонує як повноцінна ШИМ-система з компенсацією витрати рідини при проходженні



поворотів. Економія рідини в порівнянні зі звичайним розпиленням становить від 65 до 85%.

На початку 2022 року компанія John Deere оголосив про вихід на ринок Green on Brown своєї технології See & Spray Select™. Ця технологія побудована навколо системи ExactApply і використовує камери RGB, щоб відрізнити зелені рослини від незелених фонових кольорів. За словами представників компанії John Deere, система вийде на поля вже у 2024 році. Подібні системи на основі RGB розробляються іншими виробниками, хоча їхню ефективність ще не порівнювали з системами WEEDit або WeedSeeker.

Початкові дослідження свідчать про те, що системи RGB повільніші та в меншій мірі здатні виявляти малі рослини.

У 2021 році Hardi анонсувала новий продукт під назвою GeoSelect. Ця система не має датчиків встановлених на штанзі, а працює за картою завдання, створеною за допомогою дрона. Перевага цієї системи полягає в тому, що необхідна кількість гербіциду відома завчасно до обприскування, а інформація про локалізацію бур'янів у полі може дозволити використовувати більш ефективний план роботи розпилювачів. Ця система дозволяє проводити обприскування за будь-яких умов освітлення та здатна контролювати стабільність штанги.

Альтернативою Green on Brown є технологія Green on Green (Зелений по Зеленому). Обприскування Green on Green, яке виявляє бур'яни в посівах культурних рослин досягло значного прогресу, і перші комерційні зразки вже з'явилися на ринку. Йдеться зокрема про KUHN I-Spray (рис. 1.24), Amazone SmartSprayer.

У цілому оптичне точкове обприскування пропонує низку можливостей боротьби з бур'янами, а саме:

- значна економія ресурсів та привабливі показники повернення інвестицій: при середній економії 75% на гербіцидах сума економії може становити 450 тис. грн на рік;

управління резистентністю бур'янів до гербіцидів: щоб відстрочити настання стійкості бур'янів до гербіцидів, необхідно використовувати більш дорогі бакові суміші з оригінальних препаратів, що дозволяє зменшити норму внесення отрутохімікату без зниження його ефективності. А застосування точкового внесення препарату дає додаткову можливість знизити собівартість технології вирощування;

• підвищення ефективності процесу: завдяки 75% економії препаратів автономність обприскувача збільшиться; коефіцієнт змінного часу буде доведений до 0,69 завдяки зменшенню часу, який раніше витрачався на транспортування води та хімічних препаратів, а також на підготовку та обслуговування обприскувача. До прикладу користувачі систем точкового обприскування заправляють обприскувач лише 1 раз на день, або для зменшення шкідливого ущільнення ґрунту, заправити бак наполовину об'єму

(перехід на стандарт CTF)



Рис. 1.24 Фогодатчик з штучним інтелектом KUHN I-SPRAY

Стандарт Controlled traffic farming (CTF) – це технологія спрямована на зменшення ущільнення ґрунту шляхом обмеження руху техніки по полю постійними смугами руху. На практиці це означає зіставлення ширини колій всіх агрегатів, які працюють на полі таким чином, щоб вони займали найменшу можливу площу. Перехід господарства на CTF у першу чергу

означає прийняття СТГ «менталітету» – переконання, що розділення поля на частину для обробітки і частину для технологічної колі є загрозою підвищення врожайності. Впровадження цієї технології дозволить на 15% підвищити врожайність та накопичити у ґрунті до 75 мм додаткової вологи.

Прогресивний підхід у підвищенні ефективності використання засобів захисту рослин запропонований нідерландськими компаніями Dronewerkers (<https://www.dronewerkers.nl>), Taranis (<http://www.taranis.ag>) і Xarvio (<https://www.xarvio.com>). Ці компанії створили алгоритми розпізнавання рослин, який здатний ідентифікувати понад 100 їх різновидів. Кожен вид рослин можна додатково розділити на кілька стадій зростання та розвитку (Рис. 1.25).



Рис. 1.25 Ідентифікація стадії розвитку рослини програмою Xarvio

Xarvio Scouting - це платформа (додаток) у їхній лінійці Field Manager (<https://www.xarvio.com/en-CA/Scouting>), за допомогою якого агровиробник, зробивши фото, може миттєво отримати інформацію щодо стану посівів (ідентифікація хвороб, бур'янів, шкідників, рівня азоту). Інтегровані алгоритми машинного навчання дозволяють програмі постійно самоудосконалюватися, тому точність результатів ідентифікації постійно зростає.

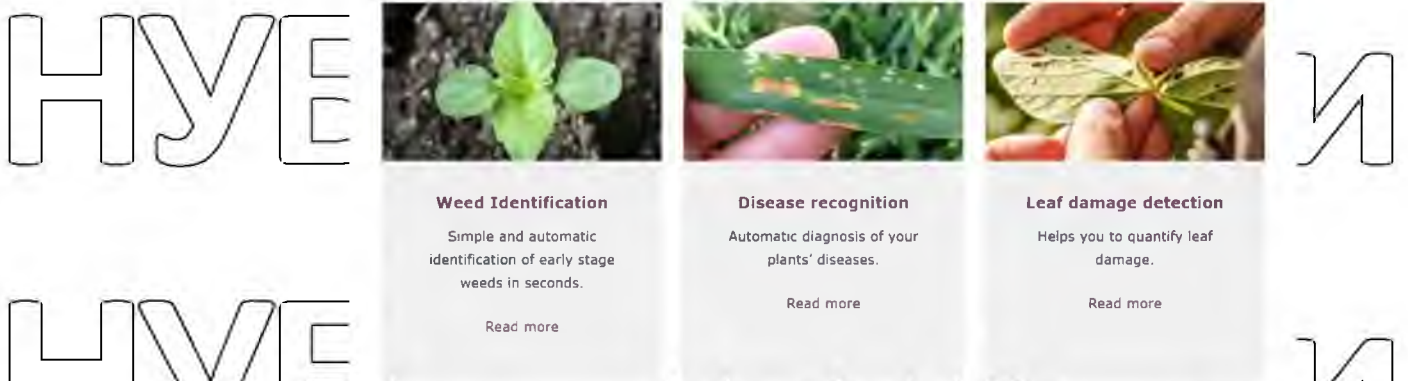


Рис. 1.26 Знімок екрана з Harvio.com



Рис. 1.27 Штучний інтелект Green-Eye Technology ідентифікує амброзію в посівах гороху.



Рис. 1.28 Ідентифікація рослинних симптомів рінaku (Джерело: Taranis)

Агронімічна цінність інформації, яку надають вищезазначені платформи без перебільшення є дуже високою.

## 1.6 Залежність між зниженням тиску при роботі з ШІМ і резистентності бур'янів до гербіцидів.

Резистентність (стійкість) до гербіцидів є серйозною загрозою при використанні звичайних стратегій боротьби з бур'янами, що базуються на застосуванні основі гербіцидів.

Починаючи з 1970-х років кількість зафіксованих випадків стійкості бур'янів до гербіцидів демонструє лінійне зростання у всьому світі (близько 500 задокументованих видів бур'янів). Темпи зростання резистентності залишаються постійними, і наразі немає підстав вважати, що зростання кількості випадків сповільниться.

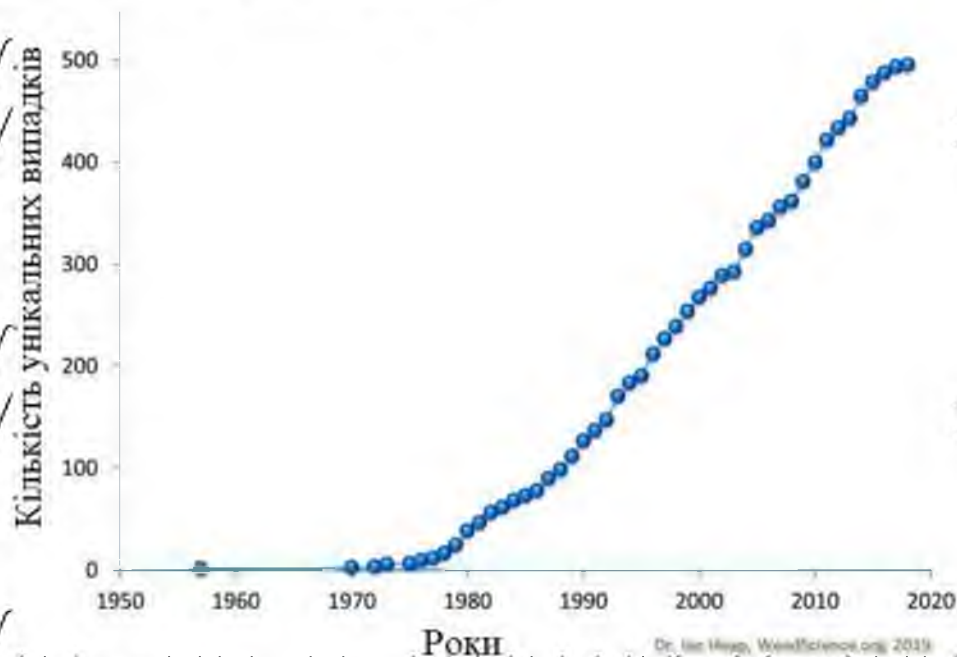


Рис. 1.29 Світова практика зростання випадків резистентності до гербіцидів у всьому (Джерело: WeedScience.org)

Використовуючи гербіциди, ми вибираємо біотики бур'янів, які з тих чи інших причин можуть переносити препарат. Мутації, які надають стійкість до гербіцидів є рідкісними, але завжди присутні на дуже низьких рівнях у

більшості популяцій бур'янів. Повторне використання одного і того ж способу боротьби збільшує відносну частоту стійкого біотипу, до моменту поки це не стане помітним і невдовзі стане проблематичним.

Найвідоміші форми резистентності включають мутації одного гена і, таким чином, зв'язування гербіцидів зменшується, що призводить до зниження ефективності. В результаті цього розвиток рослини-шкідника не припиняється, рослина продовжує нормально рости після застосування гербіциду.

Основними механізмами резистентності бур'янів до гербіцидів є:

- мутація цільового сайту;
- збільшена кількість копій генів;
- надмірна експресія ферментів;
- посилений обмін речовин;
- диференціальне поглинання;
- диференціальний перерозподіл;
- секвестр;
- затримка проростання;
- швидкий некроз/дефоліація.

Інші форми стійкості до гербіциду включають надмірне виробництво цільового ферменту рослиною, механізму, який або метаболізує, або секвеструє гербіциди. [37]

### 1.7 Агротехнічні вимоги до машин для захисту рослин

Для якісного виконання технологічного процесу обприскування сучасні машини для захисту рослин повинні відповідати таким агротехнічним вимогам:

1. Машини для захисту рослин мають відповідати вимогам санітарної гігієни, бути обладнаними пристроями для промивання чистою водою, бути зручними в керуванні і безпечними в користуванні.

2. У відповідності до зональних рекомендацій оброблення посівів потрібно здійснювати у стислі агротехнічні терміни, а також дотримуватися вказівок служб хімічного захисту рослин.

3. Робоча рідина отрутохімікату має бути однорідною, а відхилення концентрації від розрахункової не повинно перевищувати  $\pm 5\%$ .

4. Обприскувачі мають забезпечувати необхідну дисперсність розпилу і рівномірний розподіл пестицидів на площі обробки із заданою нормою.

5. Допустима нерівномірність розподілу отрутохімікату за шириною захвату не повинна перевищувати  $30\%$ , а по довжині гону  $\pm 15\%$ .

6. Допустиме відхилення фактичної дози від заданої при обприскуванні  $+15\%$  і  $-20\%$ .

7. Швидкість вітру при обприскуванні не має перевищувати  $5$  м/с.

8. Обприскування не рекомендується проводити за температури навколишнього середовища понад  $23^{\circ}\text{C}$  та за наявності висхідних потоків повітря. Забороняється також здійснювати обприскування під час дощу.

9. Якщо протягом доби після обприскування пройшов дощ, то необхідно робити повторне обприскування. Не рекомендується обприскувати рослини в період їх цвітіння.

## РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОБПРИСКУВАННЯ ПОЛЬОВИХ КУЛЬТУР

### 2.1 Дослідження впливу розмірів крапель на ефективність обприскування.

Технологічний процес обприскування містить послідовне виконання таких технологічних операцій: дозування робочих рідин, розпилення на дрібні частинки і їх транспортування на об'єкт оброблювання.

Дозування хімічних препаратів має забезпечувати необхідну норму внесення отрутохімікату на одиницю площі поля, яка в процесі роботи має бути незмінною. Розпиленням і транспортуванням має забезпечуватись рівномірний розподіл робочого розчину на поверхні рослини.

Головними факторами, які впливають на ступінь розпилення робочої рідини і ефективність осідання крапель на рослини є властивості пестицидів, робочий тиск системи, конструктивні особливості розпилювачів та спосіб доставки краплин до об'єктів обробки. У теорії розпаду струменя ідеальних (нев'язких) рідин, які мають поверхневий натяг, базисом є уявлення про розпад рідкого струменя рідини внаслідок його нестійкості від впливу малого випадкового збурення з певною довжиною хвилі. Дана теорія добре узгоджується з емпіричними даними, але придатна лише для ламінарних (тонких) струменів, які повільно рухаються.

Розвиток сучасної теорії поки не призвів до переконливого аналізу процесів розпилення рідин під час неупорядкованого (турбулентного) руху рідини і до створення зрозумілих методів розрахунку розпилювачів. Тому для задоволення потреб практики, науковці створювали емпіричні або напівемпіричні методи розрахунку конкретних типів розпилювачів у певному діапазоні зміни параметрів розпилювача і розпилюваної рідини.

При різних способах розпилення утворюються краплини різних розмірів (полідисперсність) або краплини однакового розміру (монодисперсність) у межах від 25 до 350 мікрон. Часточки різних розмірів одного і того ж



препарату мають різну токсичність. Великі краплі гірше утримуються на рослинах і мають меншу токсичність для шкідників, але можуть викликати опіки культурних рослин. Дрібні краплі за однакової витрати пестициду на одиницю площі поля рівномірніше покривають оброблювану рослину, краще утримуються на її поверхні і є стійкішими до змивання дощами. Таким чином, чим вища дисперсність розпилення, тим вища токсичність пестициду.

Для оцінки дисперсності розпилення дослідники користуються поняттям середнього діаметра. Якщо краплини, що виходять із розпилювача ловити на спеціально оброблені паперові картки, то краплини залишать на картках слід, за яким можна підрахувати їх діаметр:

$$d_{кр} = \frac{d_{сл}}{\sqrt[3]{4\sin^3 \alpha / (2 + \cos^3 \alpha - 3 \cos \alpha)}}, \quad (2.1)$$

де  $d_{кр}$  — діаметр краплини;  $d_{сл}$  — діаметр заміряного сліду краплини;  $\alpha$  — кут між дотичною до сфери краплини в точці її перерізу з оброблюваною поверхнею і поверхнею картки.

Маючи значення коефіцієнта розтікання, який залежить від властивості поверхні, діаметр сліду краплин визначається залежністю:

$$k = \frac{d_{сл}}{\sqrt[3]{h(h^2 + \frac{3}{4}d_{сл}^2)}}, \quad (2.2)$$

де  $k$  — коефіцієнт розтікання рідини краплини на дослідній поверхні;  $h$  — висота краплини.

Важливим критерієм оцінки роботи обприскувача, котрий напряму залежить від критерію дисперсності, є ступінь покриття краплинами поверхні,

‰:

$$M = \frac{100\pi}{4f_0} (n_1 d_1^2 + n_2 d_2^2 + \dots + n_n d_n^2) = \frac{25\pi}{f_0}, \quad (2.3)$$

# НУБІП УКРАЇНИ

де  $d_1, d_2, \dots, d_n$  - діаметр слідів краплин, мкм;  $n_1, n_2, \dots, n_n$  - кількість краплин кожного розміру;  $S_0$  - досліджувана площа, мкм<sup>2</sup>.

Попередніми дослідженнями встановлено, що під час обприскування дрібними краплинами краща ефективність обробки рослин досягається при менших ступенях покриття, (див. формула (2.3)), ніж під час обприскування великими краплинами. Це явище пояснюється тим, що хімпрепарат також діє

ді.

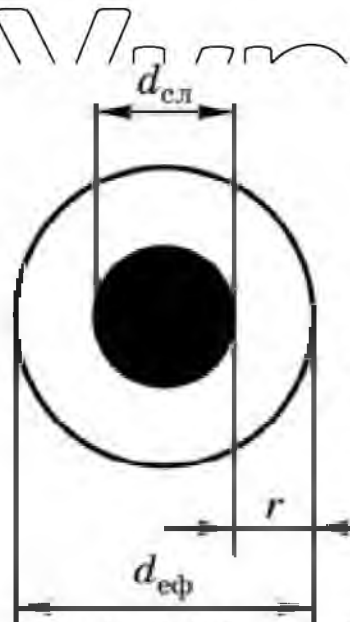


Рис. 2.1. Площа сліду краплини та площа ефективної дії препарату

З цією метою дослідниками вводиться коефіцієнт ефективної дії краплини

$k_{\text{эф}}$ , який визначається співвідношенням загальної площі ефективної дії до площі, яка утворена слідом краплини (рис. 2.1). При цьому:

$$S_{\text{сл}} = \frac{\pi d_{\text{сл}}^2}{4}$$

Площа ефективної біоцидної дії препарату описується залежністю:

$$S_{\text{сл}} = \frac{\pi}{4} (d_{\text{сл}} + 2r)^2$$

Емпірично доведено, що зона біоцидної дії препарату  $\vartheta$  змінюється в межах від 100... 200 мкм. Коефіцієнт ефективної дії краплин має вигляд:

$$k_{\text{еф}} = \frac{S_{\text{еф}}}{S_{\text{сл}}} = \frac{(d_{\text{сл}} + 2r)^2}{d_{\text{сл}}^2}. \quad (2.4)$$

Таким чином, зі зменшенням розмірів краплин коефіцієнт їх ефективної дії буде збільшуватись, виходячи з цього правильним буде оцінювати якість покриття при обприскуванні дрібною краплею, ввівши поняття ступеня ефективного покриття, який описується залежністю:

$$M_{\text{еф}} = Mk_{\text{еф}}$$

Краплина, що виходить зі розпилювача штангового обприскувача, перебуває на деякій висоті  $H$  над поверхнею. У горизонтальному напрямку краплина потрапляє під дію потоку повітря з певною швидкістю  $u$ . У вертикальному напрямку краплина рухається під дією сили тяжіння зі швидкістю  $v$ , яка визначається за формулою Стокса:

$$v = \frac{2gr^2(\rho_k - \rho_p)}{9\eta}, \quad (2.5)$$

де  $u$  - швидкість краплин під дією сили тяжіння;  $g$  - прискорення вільного падіння;  $r$  - радіус краплини;  $\rho_k$  - густина рідини краплини;  $\rho_p$  - густина повітря;  $\eta$  - кінематична в'язкість повітря.

Абсолютна швидкість краплини буде спрямована під кутом  $\alpha$  до горизонту:

$$\text{tga} = \frac{u}{v}.$$

Тоді, відстань (рис. 2.1), на яку буде знесено краплину за досягнення нею поверхні поля, можна визначити залежністю:

$$L = \frac{H}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{Hv}{u}, \quad (2.6)$$

де  $H$  - висота початкового положення краплин над поверхнею обробки;  $v$  - початкова швидкість краплин в горизонтальному напрямку.

Залежність (2.6) вказує, що небезпека знесення краплин на значну відстань є прямо пропорційною висоті розміщення над поверхнею, швидкості повітряного потоку і обернено пропорційна швидкості руху краплин під дією сили тяжіння. При цьому з виразу (2.5) випливає, що зменшення діаметра краплин за лінійним законом викликає зменшення швидкості осідання за квадратичною залежністю. Це підтверджується також і емпіричними даними (див. розділ 4.2).

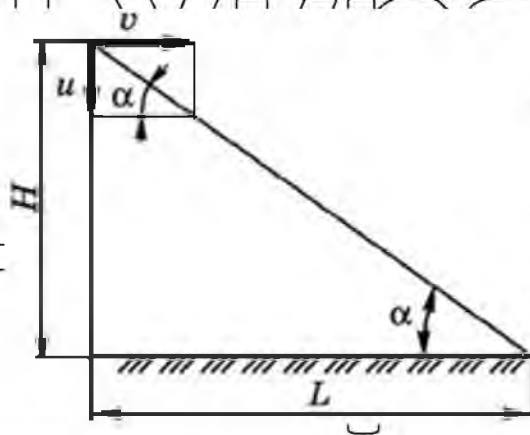


Рис. 2.1 Схема руху краплини в повітряному потоці

Крім вищезазначеного, слід також враховувати ефект випаровування краплин під час руху в повітряному потоці. Таким чином, при обґрунтуванні оптимальної дисперсності, потрібно зважати на спосіб обприскування (звичайне, малооб'ємне, ультрамалооб'ємне), види шкідників (комахи, хвороби, бур'яни тощо), тип робочої рідини (водний розчин, емульсія, суспензія та ін.) та здатність їх до випаровування.

Для ефективної боротьби з бур'янами рекомендується використовувати грубодисперсне обприскування, при якому зменшується небезпека знесення гербіцидів на сусідні ділянки поля. При обробці від шкідливих комах і хвороб ефективнішим буде дрібнодисперсного розпилення. Однак для уникнення знесення дрібних краплин потрібно застосовувати примусове осадження та додавати в робочі розчини речовини, які знижують випаровуваність рідини.

## 2.2 Розрахунок параметрів баків і гідравлічних мішалок обприскувача

Баки сучасних обприскувачів мають складну конфігурацію, але традиційно форма може мати вигляд горизонтально розміщеного циліндра з поперечним круглим, еліптичним або грушовидним перерізом з плоскою або сферичною передню і задню стінками. Об'єм бака залежить від типу обприскувача та його продуктивності, яку розраховують, керуючись умовою забезпечення безперервної роботи обприскувача упродовж половини або повної зміни.

Об'єм баків, в залежності від їх типів, обчислюють за такими залежностями:

- для циліндричного бака зі сферичним днищем:

$$V_6 = \frac{\pi d^2}{4} (l + l_1) + 1,047 l_1^3, \quad (2.7)$$

- для циліндричного бака з плоским днищем:

$$V_6 = \frac{\pi d^2}{4} l, \quad (2.8)$$

- для бака з еліптичним поперечним перерізом і сферичним днищем:

$$V_6 = \frac{\pi}{4} d_1 d_2 (l + l_1) + 1,047 l_1^3, \quad (2.9)$$

# НУБІП УКРАЇНИ

- для бака з еліптичним поперечним перерізом і плоским дном:

$$V_6 = \frac{\pi}{4} d_1 d_2 l, \quad (2.10)$$

# НУБІП УКРАЇНИ

де  $V_6$  – об'єм бака, м<sup>3</sup>;  $l, l_1$  – відповідно довжина основної частини і дна (висота сегмента) резервуара, м;  $d_1, d_2$  – довжина осей еліпса поперечного перерізу, відповідно, м;  $d$  – діаметр циліндричного резервуара, м.

Щоб забезпечити однорідність робочої рідини та її сталу концентрацію, рідина у баці безперервно переміщується за допомогою гідравлічної мішалки, яка монтується на висоті 20...50 мм від дна бака.

# НУБІП УКРАЇНИ

Інтенсивність перемішування робочої рідини у баку оцінюють коефіцієнтом циркуляції  $k_{ц}$ :

# НУБІП УКРАЇНИ

$$k_{ц} = \frac{Q}{V_6}; \quad (2.11)$$

де  $Q$  – продуктивність мішалки, м<sup>3</sup>/с;  $V_6$  – об'єм бака, м<sup>3</sup>.

# НУБІП УКРАЇНИ

Продуктивність гідравлічних мішалок  $Q_{г}$ , м<sup>3</sup>/с, визначається формулою:

$$Q_{г} = \frac{\pi d_c^2}{4} v, \quad (2.12)$$

# НУБІП УКРАЇНИ

де  $d_c$  – діаметр сопла, м;  $v$  – швидкість потоку рідини, м/с.

Швидкість потоку рідини  $v$  можна визначити, якщо відоме значення тиску рідини в гідравлічній системі обприскувача:

# НУБІП УКРАЇНИ

$$P = \frac{\rho v^2}{2g} (1 + k_c). \quad (2.13)$$

де  $K_c$  - коефіцієнт місцевого опору сопла, що залежить від напору, діаметра та якості обробки отвору мішалки.

Швидкість потоку робочого розчину  $v$  гідравлічної мішалки визначається за формулою:

$$v = \varepsilon \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}}, \quad (2.14)$$

де  $\Delta P$  - різниця тисків перед входом в мішалку (ежектор) та біля вихідного перерізу сопла, Па;  $\varepsilon \approx 0,97$  - коефіцієнт, який ураховує вплив гідравлічного опору і нерівномірності розподілу швидкостей у стисненому струмені на швидкість витікання рідини.

Якщо продуктивність мішалки відома, то з виразу (2.12) можна розрахувати діаметра сопла. Оскільки швидкість потоку робочої рідини, який створює мішалка, зменшується внаслідок тертя рідини по стінках бака, то коефіцієнт циркуляції  $k_{ци}$  буде меншим, чим більшою є довжина бака.

### 2.3 Розрахунок параметрів насосів

На сучасних обприскувачах використовуються поршневі, плунжерні, мембранні і шестеренні насоси.

Подачу поршневого і плунжерного насосів  $q_H$ , л/хв, можна визначити за формулою:

$$q_H = \frac{\pi a^2}{4} snz\eta_H, \quad (2.16)$$

де  $d$  - діаметр поршня/плунжера, дм;  $s$  - хід поршня/плунжера, дм;  $n$  - кількість подвійних ходів поршня/плунжера за хвилину;  $z$  - кількість циліндрів;  $\eta_n = 0,85 \dots 0,90$  - коефіцієнт об'ємного наповнення циліндрів насоса.

Коефіцієнт корисної дії поршневих/плунжерних насосів визначається:

$$\eta = \eta_r \eta_o \eta_m, \quad (2.15)$$

де  $\eta$  - повний ККД насоса;  $\eta_r = 0,70 \dots 0,98$  - гідравлічний ККД насоса, що характеризує гідравлічний опір;  $\eta_o = 0,85 \dots 0,98$  - об'ємний ККД, що характеризує втрати рідини через нещільності;  $\eta_m = 0,85 \dots 0,95$  - механічний ККД насоса, що враховує тертя у з'єднаннях.

Для того, щоб урухомити поршневий/плунжерний насоси потрібна потужність  $N$ , кВт, яку можна визначити за формулою:

$$N = \frac{10^{-7} q_d P}{6 \eta}, \quad (2.16)$$

де  $q_d$  - дійсна подача насосів, л/хв;  $P$  - тиск рідини в напірній магістралі, Па;  $\eta$  - повний ККД насоса.

Величину теоретичної подачі  $q_T$ , м<sup>3</sup>/хв, шестеренного насоса можна обчислити за формулою:

$$q_T = \frac{3,5}{4} (d_3^2 - d_B^2) b n, \quad (2.17)$$

де  $d_3$ ,  $d_B$  - діаметр кола виступів і впадин шестерні, відповідно, м;  $b$  - ширина шестерні, м;  $n$  - частота обертання шестерні, хв<sup>-1</sup>.

Подача шестеренного насоса з кількістю зубів від 6 до 12 визначають за формулою, л/хв:



$$q_t = \frac{7 \cdot D_n \cdot m \cdot b \cdot n}{10^6} \quad (2.18)$$

де  $D_n$  - діаметр початкового кола ведучої шестерні, мм;  $m$  - модуль зачеплення шестерень, мм;  $b$  - ширина шестерні, мм;  $n$  - частота обертання ведучої шестерні,  $\text{хв}^{-1}$ .

Вираз для визначення дійсної подачі  $q_d$  шестеренного насоса має вигляд:

$$q_d = q_t \eta_0, \quad (2.19)$$

де  $\eta_0 = 0,80 \dots 0,85$  - об'ємний ККД насоса.

#### 2.4 Розрахунок параметрів розпилювачів

Розпилювальні пристрої (розпилювачі) забезпечують подрібнення на дрібні краплі дозованої кількості робочої рідини і їх транспортування на поверхню об'єкта обробки. Витрату робочої рідини обприскувачем за 1  $\text{хв}$ , у відповідності до вибраних технологічних параметрів, визначають за формулою, л/хв.:

$$q = \frac{QvB}{600} \quad (2.20)$$

де  $Q$  - норма витрати рідини, л/га;  $B$  - ширина захвату машини, м;  $v$  - робоча швидкість машини, км/год.

Розрахункова витрата робочої рідини за 1  $\text{хв}$  має бути завжди меншою за величину подачі насоса обприскувача  $q < q_n$ . Якщо ця умова не виконується,

то необхідно змінити параметри швидкості руху агрегату  $v$  або ширину захвату

$B$ .  
Залежно від типу розпилювачів (штанговий, вентиляторний), обраної схеми обприскування (суцільне або стрічкове), а також бажаної дисперсності

розпилення (дрібнодисперсне, грубодисперсне) визначають кількість розпилювачів і обраховують витрату робочої рідини через один розпилювач за 1 хв, л/хв:

$$q_1 = \frac{q}{n}, \quad (2.21)$$

де  $q$  – загальна витрата рідини за 1 хв через всі розпилювачі, л/хв;  $n$  – кількість розпилювачів, шт.

Необхідна витрата робочої рідини за 1 хв через один розпилювач забезпечується площею перерізу вихідного отвору розпилювача та швидкістю витікання рідини із сопла. Витрати робочої рідини за 1 хв через один розпилювач визначаються залежністю:

$$q_1 = 0,06\mu S\sqrt{2gp}, \quad (2.22)$$

де  $\mu$  – коефіцієнт витрати, що залежить від типу розпилювача;  $S$  – площа вихідного отвору (сопла) розпилювача, мм<sup>2</sup>;  $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;  $p$  – тиск робочої рідини на вході в розпилювач, м.вод.ст.

Аеродинамічна суміш маси дрібних краплин робочої рідини і навколишнього повітря, яка виходить із сопла розпилювача, утворюють робочий потік. У цьому потоці краплини транспортуватимуться штанговими розпилювачами під дією початкової швидкості, сили тяжіння і сил турбулентної дифузії в пригрунтовому шарі.

Для ефективного осадження краплин на оброблювані поверхні використовують напрямлені повітряні потоки (примусове обсаджування розпиленої рідини).

## Розділ 3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 3.1 Програма проведення експериментальних досліджень

В процесі досліджень були отримані залежності, які встановлюють зв'язок між конструктивними параметрами обприскувача, параметрами автоматизованої системи, однак, при описі технологічного процесу роботи обприскувача практично неможливо передбачити і врахувати всі фактори, які в повною мірою обумовлюють точність роботи. Одночасний вплив на динаміку руху польового обприскувача по нерівностях поверхні поля, наявності значної кількості зовнішніх збурень, не дозволяють характеризувати процеси, тільки теоретичним шляхом. Найбільш достовірними вважаються результати досліджень, які отримані експериментальним шляхом.

Програма експериментальних досліджень передбачала:

- Визначення впливу зміни висоти штанги обприскувача на якісні показники роботи.
- Визначення впливу зношення розпилювачів, на якість формування факела краплин.
- Вивчення впливу зміни швидкості обприскування та робочого тиску на показники зносу краплин та порівняльні випробування якості обприскування при зміні швидкості руху обприскувача.
- Експериментальна перевірка роботи систем широтно-імпульсної модуляції при обприскуванні польових культур.
- Визначення техніко-економічних показників ефективності використання обприскувачів, обладнаних ШІМ системами.

### 3.2 Методика визначення продуктивності розпилювачів

Польовий обприскувач обладнаний 72 корпусами з поворотними головками, на яких встановлені по три розпилювачі. Загальна кількість

розпилювачів встановлених на штанзі обприскувача - 216 шт. Розпилювачі зношені на кілька відсотків спричиняють зміну швидкості потоку, порушення геометрії факела, а отже погіршується і якість процесу обприскування.

Випробування розпилювачів проводились на столі для перевірки розпилювачів «Patty» (рис.3.1) розробленого та виготовленого Mohawk College, Брентфорд, Онтаріо (Канада). Подача рідини до розпилювача здійснювалась насосом Shurflo 2088-594-154. Робочий тиск встановлювався за допомогою байпасного регулятора та аналогового манометра, покази якого контролювались за допомогою цифрового манометром SprayX (рис.3.2), розміщеним під корпусом розпилювачів. В якості робочої рідини використовувалась вода кімнатної температури.

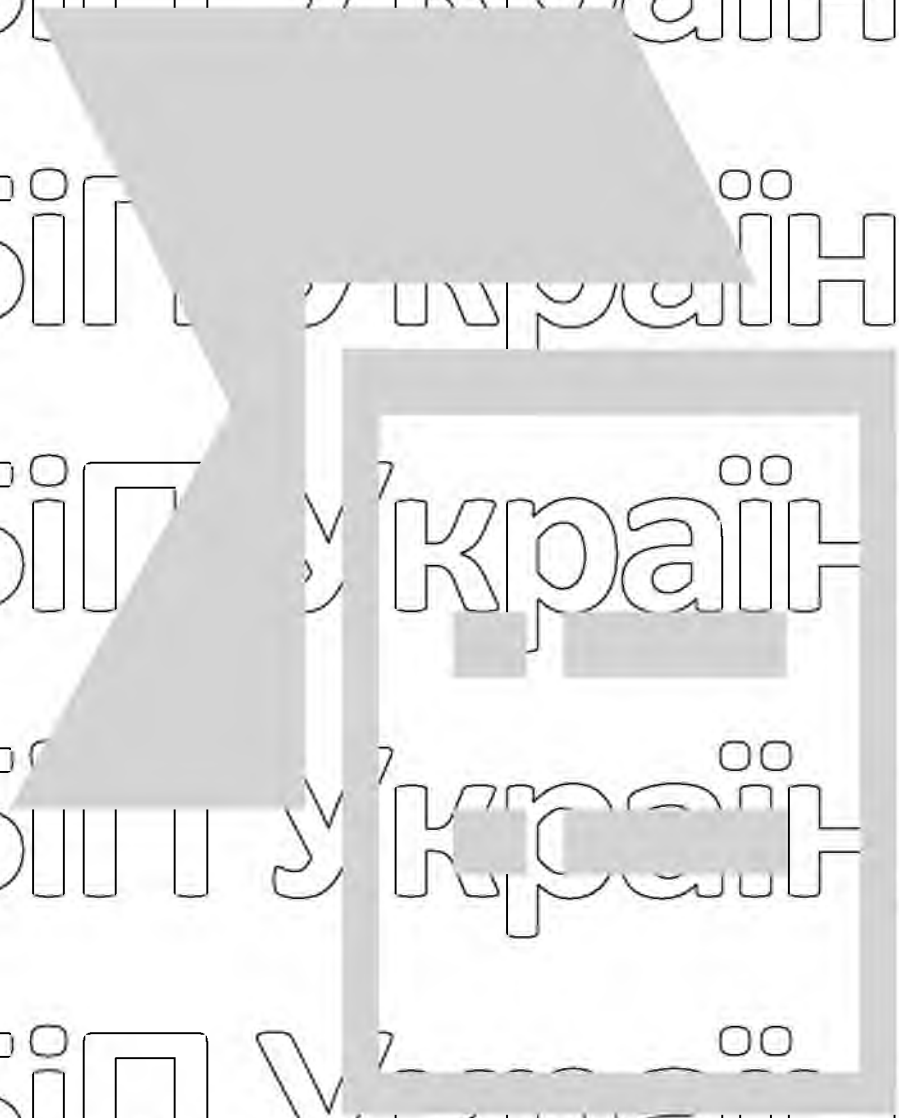


Рис.3.1 «Patty» стіл для перевірки розпилювачів.

НУБІП України  
 НУБІП України

Рис.3.2 Цифровий манометр SprayX на розгалужувачі тестової насадки.

НУБІП України  
 НУБІП України

Перевірка продуктивності розпилювачів (швидкості потоку) проводилась за допомогою систем вимірювання швидкості потоку через сопло (Рис.3.3): Billericaу Flowcheck; калібрувальний стакан Delavan; градуйований циліндр; калібрувальний глечик Greenleaf; SprayX SprayFlow Turbo; SpotOn SC-1; SpotOn SC-2; SpotOn SC-4 та методом зваженого виходу рідини;

НУБІП України  
 НУБІП України

Рис.3.3. Системи вимірювання швидкості потоку: 1 - Billericaу Flowcheck; 2 - калібрувальний стакан Delavan; 3 - градуйований циліндр; 4,5 - калібрувальний глечик Greenleaf; 6 - SprayX SprayFlow Turbo; 7 - SpotOn SC-1; 8 - SpotOn SC-2; 9 - SpotOn SC-4; 10 - зважений вихід.

**Billerica Flowcheck** - це пасивна система вимірювання, розроблена для горизонтальної штанги. дозволяє проводити вимірювання при тиску у 3 бар. Після вибору відповідного розпилювача система вимірювання монтується до корпусу розпилювача. На рисунку 3.4 система фіксує значення 1,53 л/хв.

Похибка вимірювання становила 2,5%.

Рис.3.4. Billerica Flowcheck

**Чашка для калібрування Delavan:** пластикова чашка зі шкалою.

Використовується для вимірювання витрати для вузькофакельних розпилювачів.

**Градуваний циліндр:** циліндр об'ємом 1000 мл заповнюється протягом 30 секунд на одне вимірювання. Значення об'єм зібраної рідини множилося на два. Величина похибки становила менше ніж на 2%.

**Калібрувальний глечик Greenleaf:** Будова аналогічна чашці Delavan, похибка вимірювання становила 3%.

**Цифрові калібратори Innoquest Spot On: SC-1, SC-2 SC-4,** призначені визначення показників роботи розпилювачів з високою швидкістю потоку.

Відрізняються швидкою реєстрацією даних.

**Зважений вихід:** Метод заснований на тому, що вага 1 мл води становить один грам. Потік рідини збирався протягом 30 секунд з наступним

зважування на цифрових вагах. Отримане значення ваги рідини множилось на два.

**SprayX SprayFlow Turbo:** У комплект пристрою входить цифровий манометр, витратомір і цифрові ваги. Він працює через додаток для смартфона (Рис.3.5). На початку експерименту налаштувався віртуальний розпилювач, дані у таблицю додатку вводились значення кількості секцій і кількості розпилювачів. Потім проводилось калібрування датчика потоку, після якого проводились основні вимірювання у трикратній повторюваності.

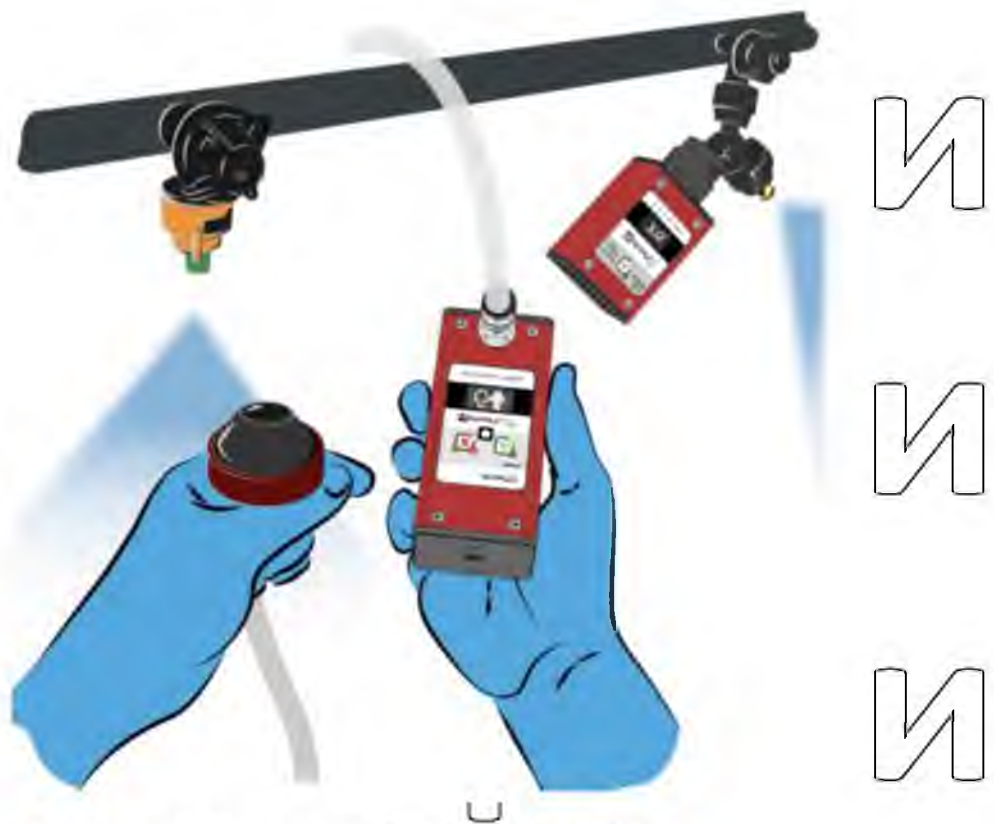


Рис.3.5 Знімок екрана з програми SprayX SprayFlow.

Три зразки розпилювачів були вв'язі з нового TeeJet XR8004 (Рис.3.6, а), які перевірялись при тиску 3 бар, інші три зразки розпилювачів – з нового TeeJet AIXR11004 (Рис.3.6, б) перевірялись при тиску 5 бар. Після кожної серії експериментів системи вимірювання швидкості потоку спорожнявались і просушувались.

Отримані емпіричні дані витрати рідини через розпилювач переводились в літри за хвилину, а значення потоку порівнювалось з його розрахунковим значенням.



Рис. 3.6. Розпилювачі: а - TeeJet XR8004, б - TeeJet AIXR11004

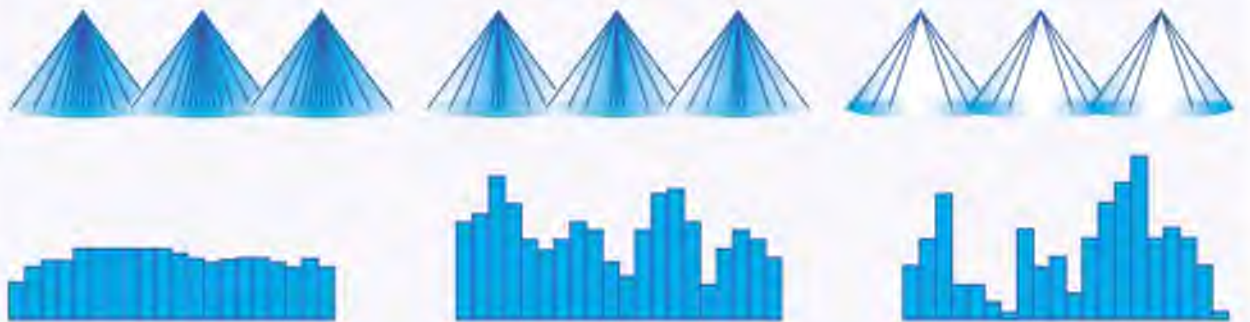
Наприклад, якщо манометр фіксує тиск 2,62 бар для TeeJet XR 8004, то розрахункове значення витрати становить 1,47 літрів на хвилину. Емпіричне значення витрати для даного розпилювача становило 1,55 літрів на хвилину, це означає, що відхилення норми витрати становить +5,1%.

Слід також пам'ятати, що якість виконання технологічного процесу обприскування знаходиться у прямій кореляційній залежності зі станом розпилювачів.

Нові розпилювачі

Зношені розпилювачі

Пішкоджені розпилювачі



CV 4%

CV 35%

CV 57%

Рис. 3.7 Зміна коефіцієнта варіації (CV) витрати робочої рідини розпилювачів в залежності від ступеня їх зношення





Рис. 3.8 Візуалізація процесу розподілу робочої рідини розпилювачами



Рис.3.9 Результати вимірювання похибки в системах вимірювання витрати робочої рідини

Більшість виробників розпилювачів рекомендують їх міняти, коли витрата робочої рідини перевищує 10% від табличного значення.

### 3.3. Калібрування розпилювачів

Калібрування має бути регулярною практикою під час кожної операції з використанням розпилювачів. Це робиться з метою підтвердження того, що кожен розпилювач працює відповідно до специфікацій виробника.

Алгоритм роботи з калібрувальною таблицею (див. табл. 3.1 і 3.2.) полягає в тому, що використовуючи верхній горизонтальний рядок таблиці вибираємо значення необхідної витрати робочого розчину, у крайньому лівому стовпці вибираємо тип розпилювального пристрою, а в другому

стовбці – робочий тиск. Внутрішні значення таблиці – це рекомендована швидкість руху обприскувача.

# НУБІП України

Таблиця 3.1

## Традиційна калібрувальна таблиця

Розмір розпилюв	Тиск (bar)	Потік (мл/хв)	Норма вилливу з розпилювачем з кроком=50см							
			70	80	90	100	120	140	160	180
			л/га	л/га	л/га	л/га	л/га	л/га	л/га	л/га
	1,0	924	15,8	13,9	12,3	11,1	9,2	7,9	6,9	6,2
	2,0	1306	22,4	19,6	17,4	15,7	13,1	11,2	9,8	8,7
<b>04</b>	3,0	1600	27,4	24,0	21,3	19,2	16,0	13,7	12,0	10,7
	4,0	1848	31,7	27,7	24,6	22,2	18,5	15,8	13,9	12,3
<b>Red</b>	5,0	2066	35,4	31,0	27,5	24,8	20,7	17,7	15,5	13,8
	6,0	2263	38,8	33,9	30,2	27,2	22,6	19,4	17,0	15,1
	7,0	2444	41,9	36,7	32,6	29,3	24,4	20,9	18,3	16,3
	8,0	2613	44,8	39,2	34,8	31,4	26,1	22,4	19,6	17,4
	1,0	1155	19,8	17,3	15,4	13,9	11,5	9,9	8,7	7,7
	2,0	1633	28,0	24,5	21,8	19,6	16,3	14,0	12,2	10,9
<b>05</b>	3,0	2000	34,3	30,0	26,7	24,0	20,0	17,1	15,0	13,3
	4,0	2309	39,6	34,6	30,8	27,7	23,1	19,8	17,3	15,4
<b>Brown</b>	5,0	2582	44,3	38,7	34,4	31,0	25,8	22,1	19,4	17,2
	6,0	2828	48,5	42,4	37,7	33,9	28,3	24,2	21,2	18,9
	7,0	3055	52,4	45,8	40,7	36,7	30,6	26,2	22,9	20,4
	8,0	3266	56,0	49,0	43,5	39,2	32,7	28,0	24,5	21,8

Наприклад, при витраті 160 л/га для розпилювача типу 05 Brown при робочому тиску у 3 бари, рекомендована швидкість руху обприскувача має бути рівною 15 км/год (без ШІМ). Якщо необхідно забезпечити витрату робочої рідини на рівні 150 л/гектар за допомогою ШІМ, потрібно врахувати правильний DC (Duty Cycle) або робочий цикл. Наприклад, витрата 150 л/гектар призведе до необхідності мати норму вилливу з запасом у 30%. Система ШІМ у цьому випадку налаштовується для роботи на рівні 70% постійного потоку.

# НУБІП України

Таблиця 3.2

Традиційна калібрувальна таблиця адаптована до ШІМ

Розмір розпилювач	Тиск (bar)	Потік (мл/хв)	Норма виліву з розпилювачем з кроком = 50см							
			80	90	100	120	140	160	180	200
			л/га	л/га	л/га	л/га	л/га	л/га	л/га	л/га
	1,0	1386	20,8	18,5	16,6	13,9	11,9	10,4	9,2	8,3
	2,0	1960	29,4	26,1	23,5	19,6	16,8	14,7	13,1	11,8
06	3,0	2400	36,0	32,0	28,8	24,0	20,6	18,0	16,0	14,4
Gray	4,0	2771	41,6	37,0	33,3	27,7	23,8	20,8	18,5	16,6
	5,0	3098	46,5	41,3	37,2	31,0	26,6	23,2	20,7	18,6
	6,0	3394	50,9	45,3	40,7	33,9	29,1	25,5	22,6	20,4
	7,0	3666	55,0	48,9	44,0	36,7	31,4	27,5	24,4	22,0
	8,0	3919	58,8	52,3	47,0	39,2	33,6	29,4	26,1	23,5
	9,0	4148	62,1	55,2	50,0	41,5	35,7	31,3	27,7	25,0
08	2,0	2613	39,2	34,8	31,4	26,1	22,4	19,6	17,4	15,7
	3,0	3200	48,0	42,7	38,4	32,0	27,4	24,0	21,3	19,2
	4,0	3695	55,4	49,3	44,3	37,0	31,7	27,7	24,6	22,2
	5,0	4131	62,0	55,1	49,6	41,3	35,4	31,0	27,5	24,8
White	6,0	4525	67,9	60,3	54,3	45,3	38,8	33,9	30,2	27,2
	7,0	4888	73,3	65,2	58,7	48,9	41,9	36,7	32,6	29,3
	8,0	5226	78,4	69,7	62,7	52,3	44,8	39,2	34,8	31,4

Для досягнення витрати 160 л/гектар при швидкості обприскувача 15 км/год можна обрати розпилювач 06 Grey при середньому тиску (3 бари) або розпилювач 08 White при низькому тиску (2 бари).

Опцією з важливим рис системи ШІМ є її гнучкість, - система все одно працюватиме добре незалежно від значення DC (DC 65% чи DC 80%). Єдиним обмеження, які впливають на можливості системи ШІМ - потрібно уникати робочих циклів в діапазоні нижче 50% або вище 90%.

Для правильного підбору розпилювачів ШІМ було розроблено окремий алгоритм (робочий аркуш) представлений на табл. 3.3, який дозволяє здійснити правильний підбір розпилювачів для будь-якої витрати робочої рідини і відстані між розпилювачами. Необхідні ввести в жовті комірки бажану витрату округом катку, швидкість руху обприскувача та відстань між

розпилювачами. Результат підбору раціонального діапазону робочого циклу буде промаркований світло-зеленим кольором.

Таблиця 3.3

## Робочий аркуш підбору розпилювачів для ШІМ

Швидкість:	15	км/год			
Норма вилливу:	160	л/га			
Відстань між розпилювач:	50	см			
Розрахунковий потік:	2000	мл/хв			
Потік при 70% DC:	2857	мл/хв			
Ширина штанги:	28	м.			
Загальний потік на штангу:	112	л/хв			
Розмір розпилювача	Тиск розпилує (bar)	Потік розпилує мл/хв	Швидкісний діапазон		DC (%) при
			Мін 25% DC	Макс 100% DC	15 км/год
0,5	1,0	1155	2,2	8,7	>100
	2,0	1633	3,1	12,2	>100
	3,0	2000	3,8	15,0	100
	4,0	2309	4,3	17,3	87
Brown	5,0	2582	4,8	19,4	77
	6,0	2828	5,3	21,2	71
	7,0	3055	5,7	22,9	65
	8,0	3266	6,1	24,5	61
0,6	1,0	1386	2,6	10,4	>100
	2,0	1960	3,7	14,7	>100
	3,0	2400	4,5	18,0	83
	4,0	2771	5,2	20,8	72
Gray	5,0	3098	5,8	23,2	65
	6,0	3394	6,4	25,5	59
	7,0	3666	6,9	27,5	55
	8,0	3919	7,3	29,4	51

### 3.4 Методика обробки результатів експериментальних досліджень

Для оцінки відтворюваності експериментальних даних застосовувався критерій Кохрена шляхом порівняння розрахункового значення з табличним [39].

$$G = \frac{S_{u \max}^2}{\sum_{u=1}^n S_u^2} \leq G_{\text{табл}}(0,05; n; f_u), \quad (3.1)$$

де  $G_{\text{табл}}(0,05; n; f_u)$  - табличне значення критерію Кохрена при 5%-му рівні значимості, при кількості дослідів  $n$  і кількості ступенів вільності  $f_u = m - 1$  із кількістю повторностей  $m$ ;

$S_u^2, S_{u \max}^2$  - дисперсія на  $u$ -му рівні та її максимальне значення.

Дисперсія визначалась за формулою:

$$S_u^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (y_{uik} - \bar{y}_u)^2, \quad (3.2)$$

де  $y_{uik}$  - значення вихідного параметра відповідної повторності дослідів.

Похибка дослідів залежністю:

$$S_y^2 = \frac{1}{n} \sum_{u=1}^n S_u^2. \quad (3.3)$$

Після підтвердження відтворюваності дослідів за критерієм Кохрена визначалися коефіцієнти регресійної моделі:

$$b_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{y}_i; b_p = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_{pi} \bar{y}_i; b_{pr} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_{pi} X_{ri} \bar{y}_i. \quad (3.4)$$

В загальному випадку регресійне рівняння має вигляд:

$$Y = b_0 + b_p X_p + \dots + b_{pr} X_p X_r + \dots \quad (3.5)$$

Дане рівняння описує вплив окремих факторів і їх взаємодію на функцію відгуку  $Y$ .

Адекватність рівняння регресії, яка оцінює належність процесу дослідження, здійснювалась за критерієм Фішера [39]

$$F = \frac{S_{ad}^2}{S_y^2} < F_{табл}(0,05; f_{ad}; f_y), \quad (3.6)$$

де  $S_{ad}^2 = \frac{1}{f_{ad}} \sum_{u=1}^n (y_u - \bar{y}_u)^2$  дисперсія адекватності;

$f_{ad} = n - k - 1$  - кількість ступенів свободи дисперсії адекватності при числі факторів рівному  $k$ ;

$f_y = n(m - 1)$  - кількість ступенів свободи дисперсії відтворюваності.

Після перевірки адекватності, за критерієм Стюдента оцінювали значимість коефіцієнтів регресії [39].

Коефіцієнти регресії є значимими за умови:

$$|b_i| \geq t_{табл}(0,05; f_y) \frac{S_y}{\sqrt{n}}, \quad (3.7)$$

де  $t_{табл}(0,05; f)$  - табличне значення критерію Стюдента при 5%-ому рівні значимості.

Для визначення щільності зв'язків між вихідним фактором, а також зв'язків між факторами, здійснювався кореляційний аналіз. Коефіцієнти кореляції між величинами  $x$  і  $y$  визначались за залежністю:

$$r_{xy} = K_{xy} / (S_x S_y), \quad (3.8)$$

де  $S_x, S_y$  - середнє квадратичне відхилення відповідних величин,  
 $K_{xy}$  - кореляційний момент.

У випадку коли коефіцієнт кореляції дорівнює нулю - величини некорельовані. Якщо коефіцієнт кореляції приймає значення більші 0,7, - це свідчить про сильний кореляційний зв'язок, 0,3-0,7 - середній кореляційний зв'язок, менше 0,3 - кореляційний зв'язок є слабким. При цьому середньоквадратична похибка коефіцієнта кореляції описується залежністю:

$$S_r = \sqrt{(1-r_{xy}^2)/(n-2)}. \quad (3.9)$$

Зв'язок між величинами вважається істотним за умови, що розрахунковий критерій Стюдента буде більший за його табличне значення.

Тобто:

$$t_r = r_{xy} / S_r \geq t_{табл}. \quad (3.10)$$

За одночасної дії декількох величин на значення вихідного параметру варто застосовувати множинний коефіцієнт кореляції. Щільність зв'язку величини  $x$  з величинами  $y, z$  можна описати залежністю:

$$R_{x,yz} = \frac{r_{xy}^2 + r_{yz}^2 - 2r_{xy}r_{xz}r_{yz}}{1 - r_{yz}^2} \quad (3.11)$$

Розрахункове значення множинного коефіцієнта кореляції це величина позитивна, числове значення якої змінюється від 0 до 1. Нульове значення множинного коефіцієнта кореляції вказує на відсутність лінійного зв'язку між величинами, але і не виключає можливості існування зв'язку нелінійного.

Якщо значення коефіцієнта рівне 1, то в цьому випадку існує лінійний зв'язок, а всі експериментальні дані знаходяться в одній площині, яка є поверхнею відгуку. Квадрат коефіцієнта кореляції – це детермінація ( $d$ ), яка описує залежність однієї величини від іншої.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України



## Розділ 4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 4.1 Визначення впливу зміни висоти штанги обприскувача на якісні показники роботи

Коливання штанги обприскувача, пов'язані зі зміною рельєфу поля, зміною швидкості руху та іншими чинниками спричиняють зміну її висоти встановлення. Це призводить до нерівномірного внесення отрутохімікатів і, як наслідок, стає причиною зниження якісних показників роботи.

Найкращими в сенсі дотримання сталості висоти штанги є причіпні обприскувачі. Однак з причин їх низькокліренсності ці машини, на відміну від самохідних обприскувачами, не є універсальними і тому поволі втрачають популярність.

Якість виконання технологічного процесу обприскування, як показують дослідження, напряду залежить від технології стабілізації штанги, якою обладнано обприскувач. На рисунку 4.1 показано характер зміни дози внесення отрутохімікату в залежності від коливань штанги.

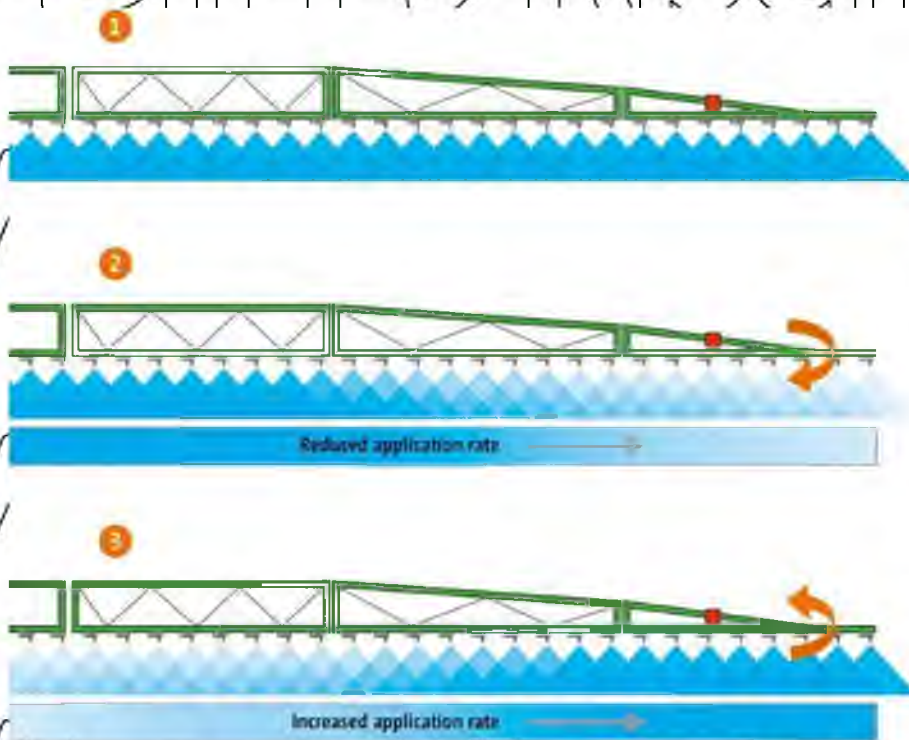


Рис. 4.1 Деформація штанги, що спричиняє недоставне (2) та надмірне (3) внесення отрутохімікатів

Розпилювачі, встановлені на штанзі, розміщуються на відстані 50 сантиметрів один від одного і в режимі функціонування створюють штучний факел крапель з певним перекриттям (рис. 4.2). При цьому витрата робочої дисперсність крапель у центральній частині конуса більші ніж на його периферійних ділянках.



Рис. 4.2 Схема роботи розпилювачів.

Різні за розміром краплини по-різному взаємодіють з поверхнею рослини: дрібні краплини затримуються на листостебловій поверхні, а крупні скочуються до кореневої системи (рис.4.3)

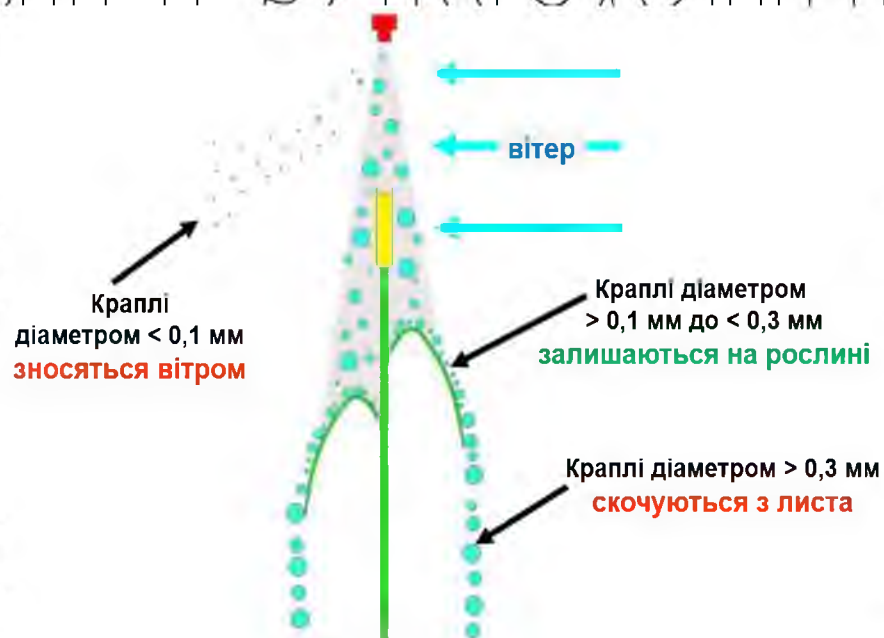


Рис. 4.3 Характер взаємодії краплин різної дисперсності з рослиною

Для рівномірного розподілу робочої рідини по всій площі поля потрібно забезпечити 100%-ве перекриття (рис.4.4 б) між сусідніми розпилювачами (по

50% від кожного розпилювача), яке для кращого ефекту додатково забезпечить оптимальне співвідношення дрібних і крупних краплин.

На рисунку 4.4 подано схему роботи розпилювачів при 30%-му перекритті (а) та 100%-му перекритті (б). Червона лінія демонструє характер розподілу дози внесення отрутохімікатів.

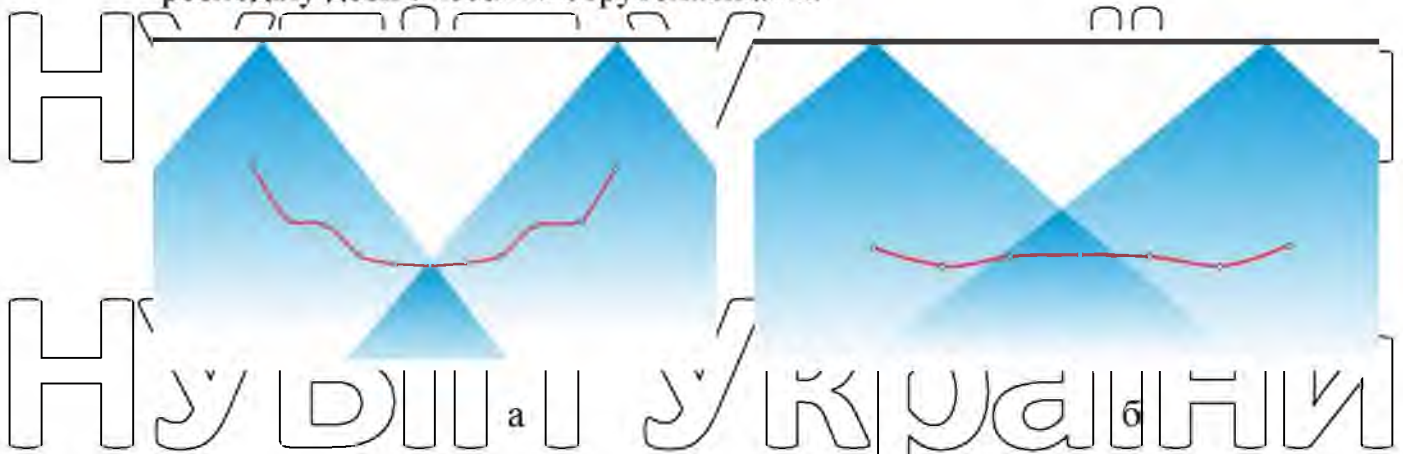


Рис. 4.4 Схема роботи розпилювачів при 30%-му перекритті (а) та перекритті у 100%(б).

Теоретичні та експериментальні дослідження впливу висоти встановлення штанги на якісні показники роботи обприскувача вказують на те, що чим нижчою буде висота штанги, тим меншим буде перекриття факелів сусідніх розпилювачів. При розстановці розпилювачів з кроком 50 см для розкриття факелу на  $110^\circ$  потрібно утримати штангу в діапазоні 50-60 см над цільовою поверхнею.

Розрахункове значення раціональної висоти встановлення штанги в межах 50 см підтверджується експериментальними дослідженнями і забезпечує баланс між якістю перекриття, значенням кутів розкриття факела ( $80^\circ$ - $90^\circ$  і  $110^\circ$ - $120^\circ$ ) і швидкістю руху обприскувача. Використання розпилювачів з меншим кутом розкриття факела потребує коригування висоти штанги (рис.4.5). При недотриманні раціональної висоти штанги

спостерігається нерівномірний розподіл робочого розчину, зниження ефективності препаратів, фітотоксичність та інші негативні наслідки

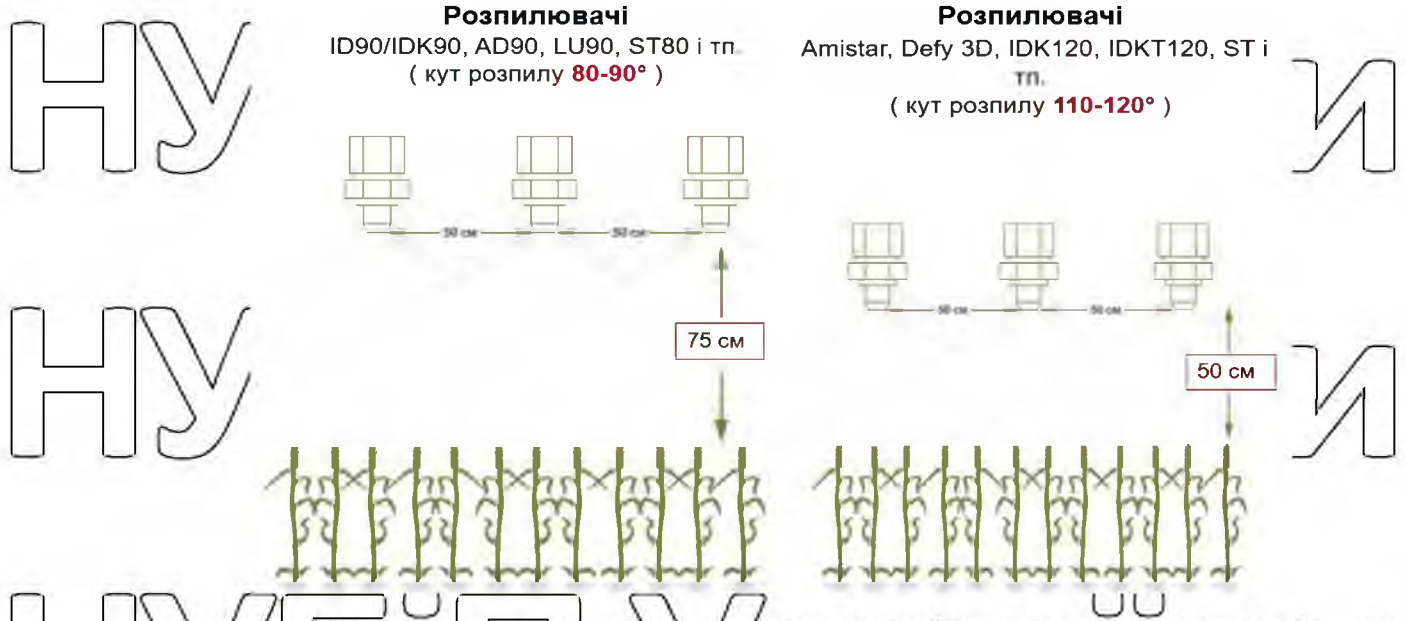


Рис 4.5. Коригування висоти штанги при різних кутах розкриття факела

Таблиця 4.1

Висота штанги при різних значеннях перекриття факелу

Кут факелу (град)	Відстань між розпилювачами (см)	Висота штанги (см)					
		0% перекриття	25% перекриття	50% перекриття	100% перекриття	150% перекриття	200% перекриття
110	50	18	21,9	26,3	35,0	43,8	52,5
80	50	30	37,2	44,7	59,6	74,5	89,4

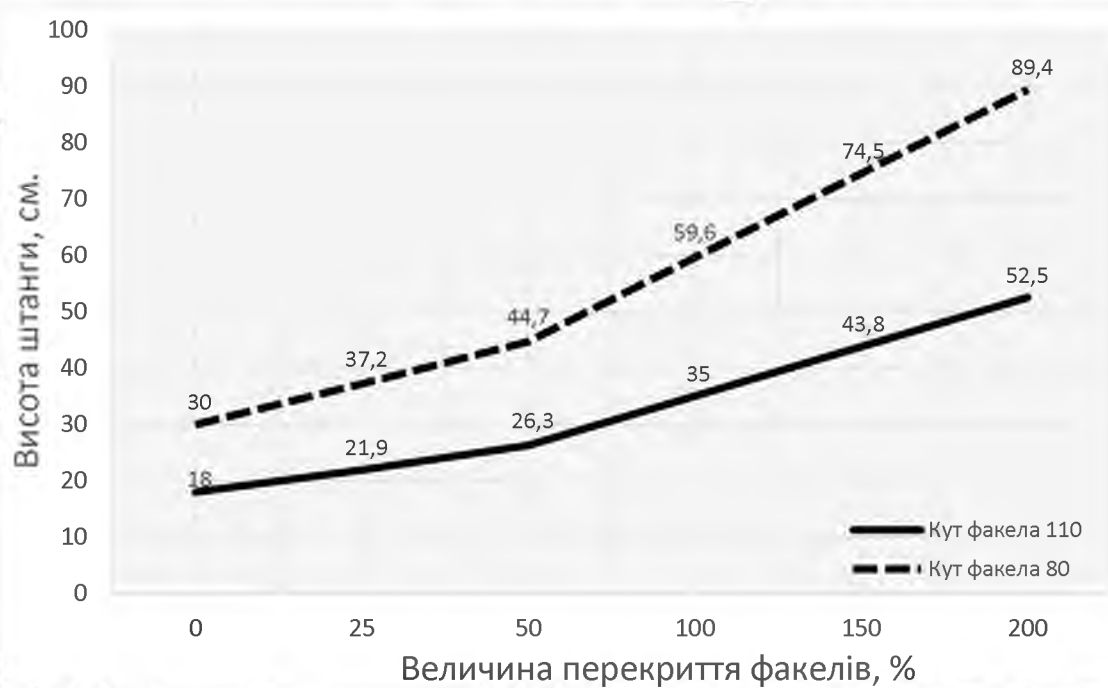


Рис. 4.6. Залежність висоти штанги при різних значеннях перекриття факелу

Експериментальні дослідження проводились на обприскувачах KUHN Lexis 3000 та KUHN Metris 4201 Autospray, обладнаних розпилювачами Lechler IDK 05-110 та Lechler IDK 04-110.

Щоб досягти 100% перекриття мінімальна висота штанги для сучасних розпилювачів (з кутом факела  $110^\circ$ ) повинна становити 35 см. Однак більшість сучасних штанг, щоб зберегти можливість компенсації їх розгойдування, не експлуатуються на висоті менше 50-60 сантиметрів.

Кожний розпилювач з кутом факела  $110^\circ$ , встановлений на штанзі з кроком 50 сантиметрів на висоті 60 сантиметрів, забезпечує теоретичну ширину смуги покриття в межах 1,7 метра, що становить 240%. Враховуючи мінімально допустиме перекриття 50% (25% від кожного суміжного розпилювача), штанга повинна бути встановлена на висоті 27 сантиметрів (рис. 4.7).

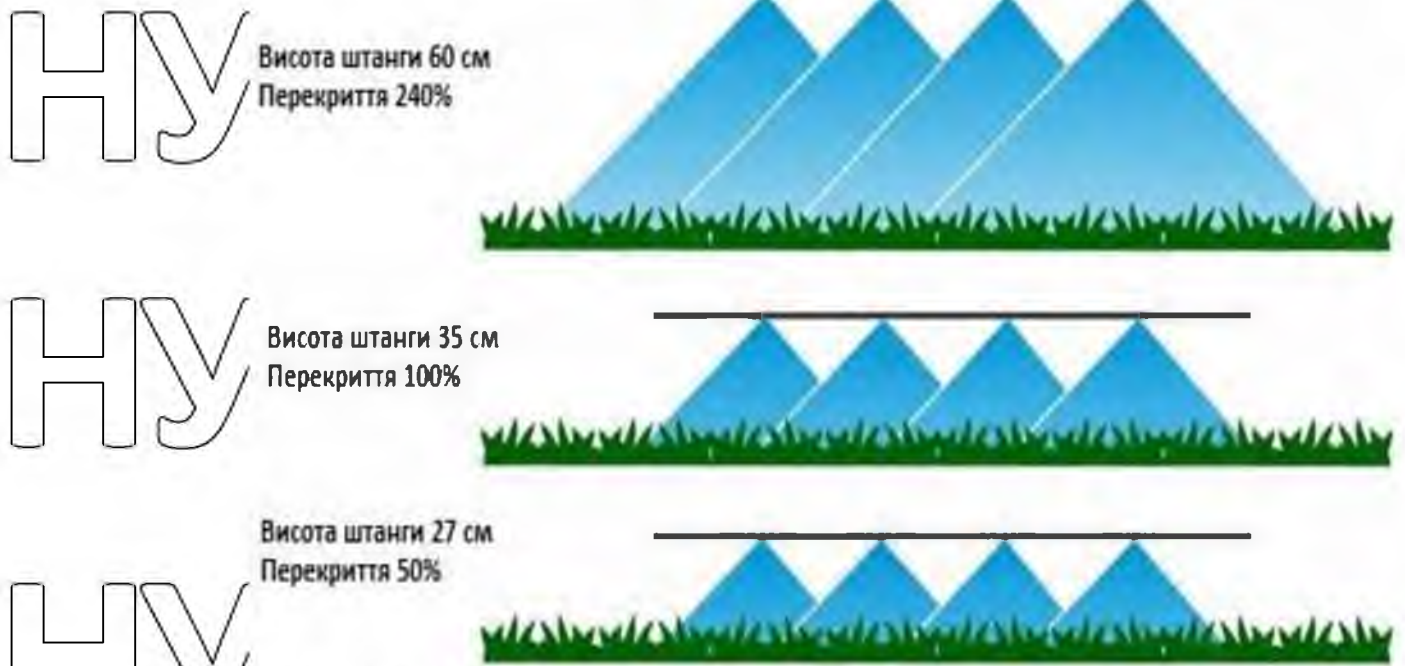


Рис. 4.7 Зміна величини зони перекриття суміжних розпилювачів при зміні висоти встановлення штанги (розпилювачі з факелом розкриття  $110^\circ$  та кроком розстановки 50 см.)

#### 4.2 Визначення впливу зміни швидкості руху на якісні показники роботи

Як зазначалось раніше головними факторами, які впливають на ступінь розпилення робочої рідини і ефективність осідання крапель на рослини є властивості пестицидів, робочий тиск системи, конструктивні особливості розпилювачів та способу доставки краплін до об'єктів обробки. Основою теорії розпаду струменя нев'язких рідин є уявлення про розпад рідкого струменя рідини внаслідок його нестійкості від впливу малого випадкового збурення з певною довжиною хвилі. Розвиток сучасної теорії поки не представив переконливої формалізації процесів розпилення рідин під час турбулентного руху рідини.

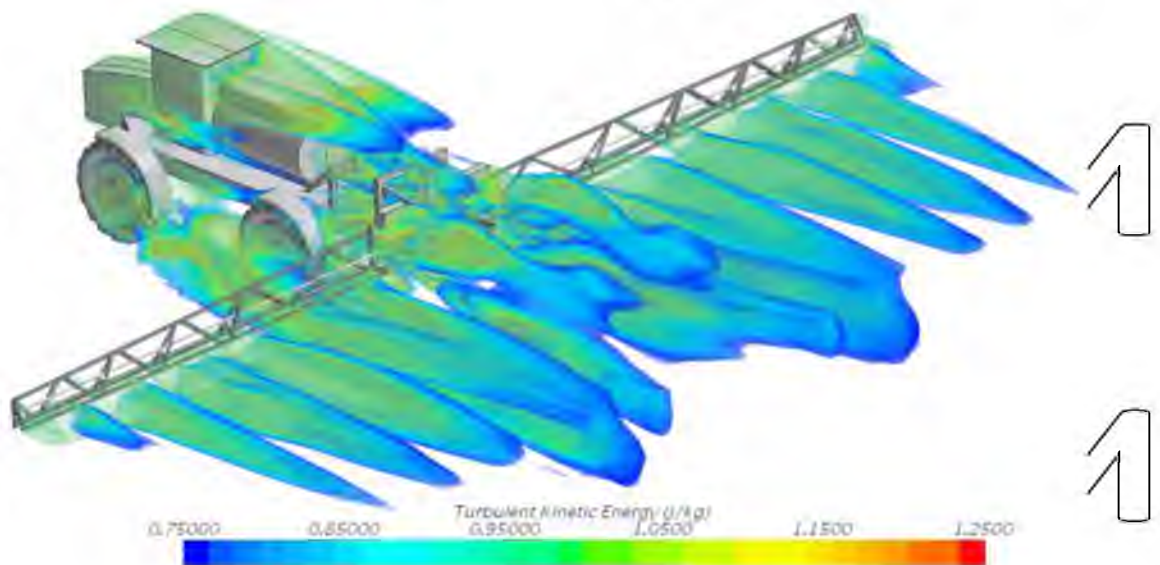


Рис. 4.8 Турбулентний (аеродинамічний) слід обприскувача

Тому для задоволення потреб практики створюються емпіричні та напівемпіричні методи розрахунку конкретних типів розпилювачів у певному діапазоні зміни параметрів розпилювача і рідини, що розпилюється.

При різних способах розпилення утворюються краплі різних розмірів або краплі однакового розміру у межах від 25 до 350 мікрон.

Таблиця 4.2

### Ступені покриття та зносу краплин в залежності від їх розміру

Якість покриття	VMD відхилення (мікрон*)	Рівень утримування на вологих листках	Використання	Ступінь зносу
Чудова	60	Чудовий	Не рекомендовано	Високий
Дуже добра	61—105	Чудовий	Не рекомендовано	
Добра	106—135	Дуже добрий	Дозволено	
Середня	236—340	Добрий	Більшість ЗЗР	
Велика	341—403	Середній	Системні препарати	
Дуже велика	404—502	Слабкий	Грунтові препарати	
Екстримально велика	503—665	Дуже слабкий	Рідкі добрива, КАС	
Надзвичайно велика	>665	Дуже слабкий	Рідкі добрива, КАС	Низький

Часточки різних розмірів одного і того ж препарату мають різну токсичність. Великі краплі гірше утримуються на рослинах і мають меншу токсичність для шкідників, але можуть викликати опіки культурних рослин. Дрібні краплі за однакової витрати пестициду на одиницю площі поля рівномірніше покривають оброблювану рослину, краще утримуються на її поверхні і є стійкішими до змивання дощами. Таким чином, чим вища дисперсність розпилення, тим вища токсичність пестициду.

Важливим критерієм оцінки якості роботи, який напряду залежить від критерію дисперсності, є ступінь покриття краплинами поверхні.

Дослідженнями встановлено, що під час обприскування дрібними краплинами краща ефективність обробки рослин досягається при менших ступенях покриття ніж під час обприскування великими краплинами.

Краплини робочої рідини, що виходять зі розпилювачів перебуваючи на деякій висоті над поверхнею, потрапляють під дію повітряного потоку певної швидкості. Небезпека знесення краплин на значну відстань є прямо пропорційною висоті розміщення над поверхнею, швидкості повітряного

поток (швидкості руху обприскувача) і обернено пропорційна швидкості руху краплин під дією сили тяжіння, а зменшення діаметра краплин викликає зменшення швидкості осідання, що підтверджується емпіричними даними.

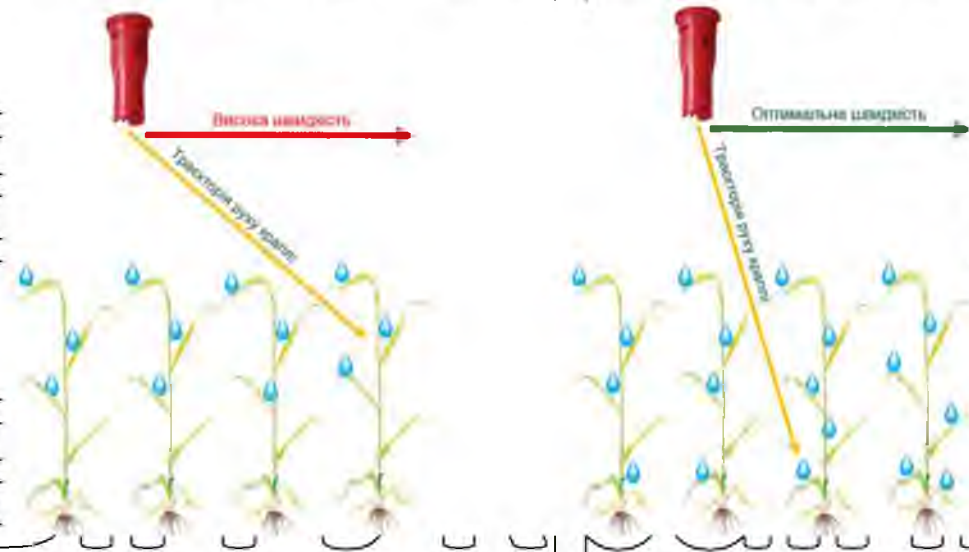


Рис 4.9 Траєкторія руху краплин в залежності від зміни швидкості обприскувача.

Таблиця 4.3 Швидкість осідання краплини рідини в залежності від її розмірів

Розмір краплин, мкм	500	250	100	50	10
Швидкість осідання, м/с	2,8	0,94	0,27	0,07	0,003

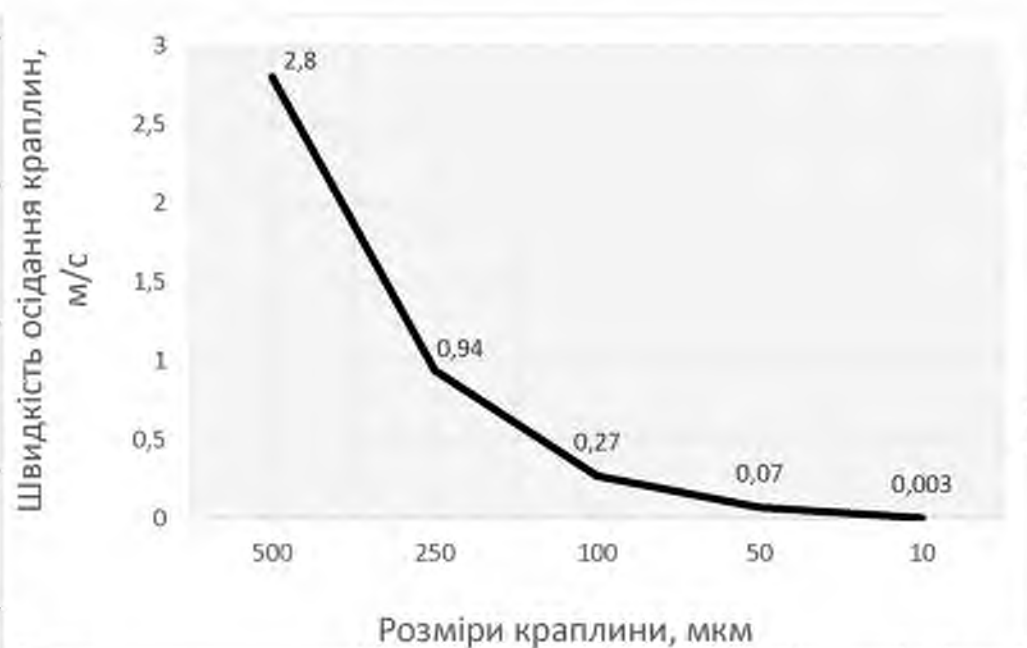


Рис. 4.10 Залежність зміни швидкості осідання краплини від зміни її розмірів



Крім вищезазначеного, слід також враховувати ефект випаровування краплин під час руху в повітряному потоці. Таким чином, при обґрунтуванні оптимальної дисперсності, потрібно враховувати спосіб обприскування, тип робочої рідини та здатність їх до випаровування.

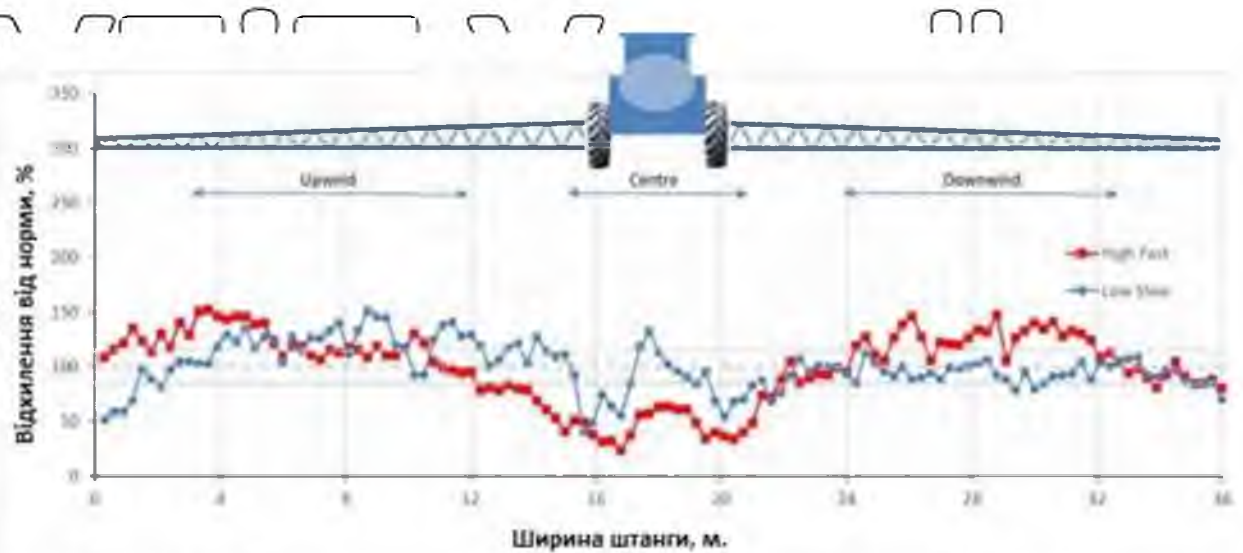


Рис. 4.11 Порівняння однорідності покриття при нормі 150 л/га та швидкості 8 і 15 км/год.

Якісний розподіл робочої рідини на одиницю при звичайному обприскуванні, можна забезпечити грубодисперсним розпиленням з розміром краплини  $d_{\text{ср}} = 250 \dots 300$ , а при малооб'ємному і ультрамалооб'ємному внесенні рекомендоване тонкодисперсне розпилення з розміром краплини в межах 50...150 мікрон.

Забезпечити зменшення впливу турбулентності на якість внесення отрутохімікатів можна шляхом зниження швидкості руху обприскувача та пониження висоти встановлення штанги. Але, як зазначалось раніше, існують певні обмеження щодо цього, оскільки зміна висоти штанги обмежує можливість демпфірування її коливань, а також впливає на формування повноцінної зони перекриття між розпилювачами. Нахиливши розпилювачі на  $30^\circ$  вперед або назад від вертикалі, отримаємо можливість ще на 5 сантиметрів зменшити висоту штанги зберігши при цьому оптимальне перекриття.

#### 4.3 Визначення впливу зміни висоти штанги обприскувача на якісні показники роботи при використанні ШПМ

Система ШПМ замінює тиск розпилення робочим циклом (DC) Duty Cycle пульсуючого соленоїда як основного засобу керування потоком через розпилювач. Соленоїд, в залежності від характеристик системи, здійснює керування клапаном потоку рідини з періодом від 10 до 100 разів на секунду. Робочий цикл (DC) визначається як період часу, протягом якого клапан, який керується соленоїдом відкритий. Головне правило налаштування системи ШПМ полягає в тому, що при рекомендованих параметрах швидкості обприскувача (таблицне значення, яке відповідає типу розпилювача і робочому тиску) робочий цикл системи ШПМ має знаходитись у діапазоні між 60 і 80%. Це означає, що клапан подачі рідини до розпилювачів відкритий протягом 2/3 часу. Правило 2/3 робочого циклу активізує ключові функції ШПМ:

- компенсація дози внесення препарату при проходженні обприскувачем поворотів, при якій на 20-40%, збільшується подача робочої рідини до розпилювачів, які обробляють зовнішній сектор повороту штанги з синхронним пропорційним зменшенням величини витрати рідини для розпилювачів внутрішнього сектора повороту штанги;

- компенсація зміни параметрів робочого тиску без зміни швидкості, яка забезпечує сталість роботи розпилювачів, що знаходяться в зоні аеродинамічного сліду обприскувача.

Висота штанги має вирішальне значення для стрічкових і точкових обприскувань. Використання широтно-імпульсної модуляції збільшує вимоги до величини і якості перекриття факелів розпилювачів. Занадто широкий слід на поверхні поля від дії одного розпилювача сприяє зменшенню дози, вузький - спричиняє промахи.

З системою ШПМ розпилювачі на штанзі встановлені у шаховому порядку і при встановленні робочого циклу  $>50\%$ , відбувається по чергове включення і виключення (рис. 4.12).

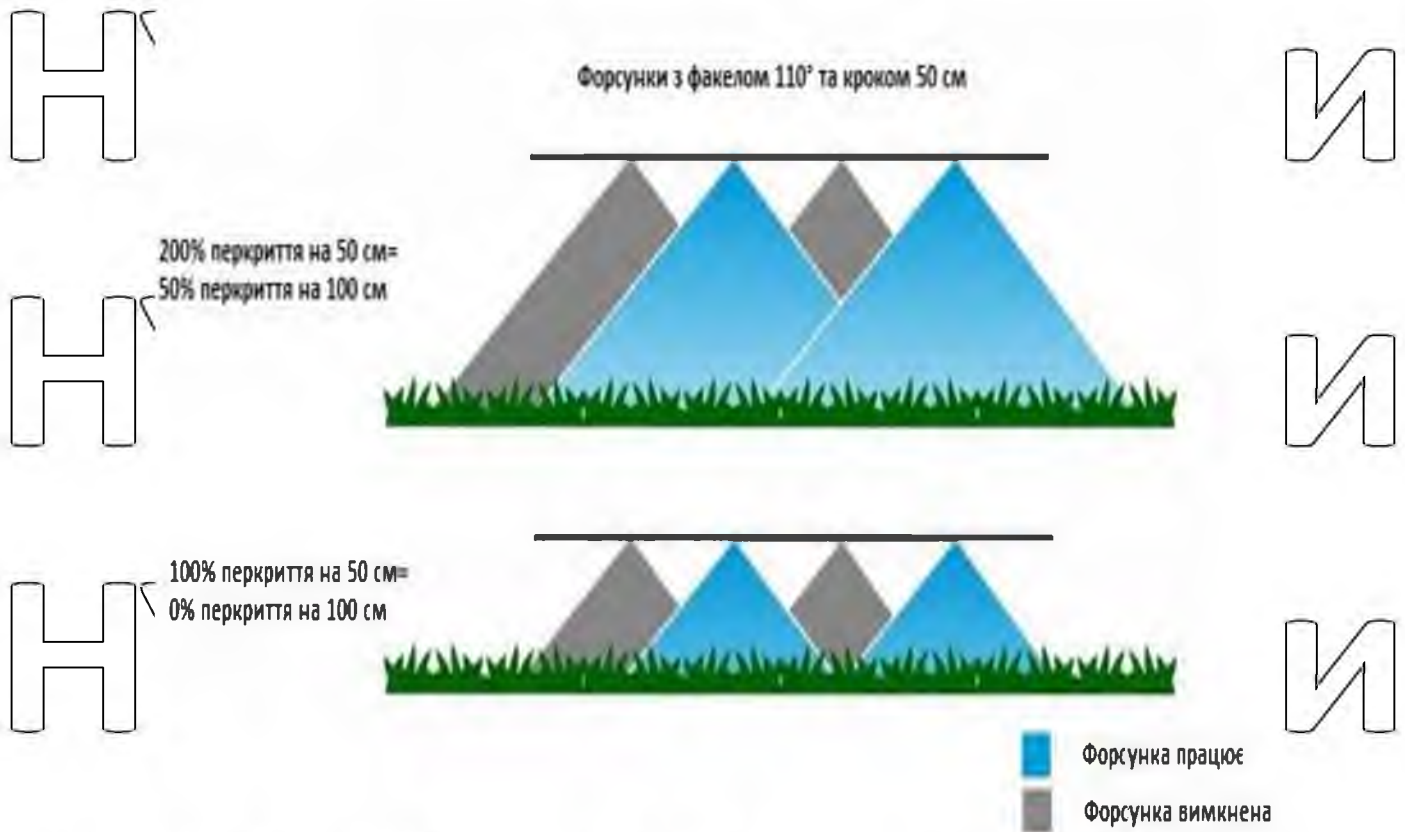


Рис. 4.12. Схема роботи розпилювачів, які встановлені в шаховому порядку з системою ШІМ

Для коректної роботи ШІМ треба обирати розпилювачі з факелом не менше 110 градусів і тримати перекриття в діапазоні >100%.

Локалізація осередку бур'янів часто викликає спрацювання кількох сусідніх розпилювачів, які для забезпечення відповідної якості обробки повинні працювати синхронно, щоб створити однорідну смугу покриття.

Однак, по причині вибору невірної комбінації частоти та робочого циклу системи ШІМ, суцільність смуги внесення може бути порушена. Це може спричинити утворення на поверхні поля небажаного шахового малюнку обробки (рис. 4.13).

Штанги з широтно-імпульсною модуляцією вимагають 200% покриття, щоб забезпечити належну якість роботи під час пульсації розпилювачів. Для розпилювачів з факелом 110° з відстанню 400 см (коли

кожний другий (розпилювач вимкнений) мінімальна висота штанги повинна становити 50 сантиметрів

Рис 4.13. Шаховий (небажаний) малюнок роботи системи ШПМ

(розпилювач Lechler IDK 04-110 , норма 120 л/га швидкістю 12 км/год., 30%

DC, 20 Гц, штанга 28 метрів.)

Рис 4.14. Пропуски від ШПМ



Рис. 4.15. Бажаний малюнок роботи системи ШІМ (розпилювач Lechler ІДК 05-110, норма 200 л/га швидкістю 12 км/год., 60% ВС, 20 Гц, штанга 28 метрів)

Як зазначалось раніше відстань між розпилювачами 50 сантиметрів є стандартом, оскільки вона найкраще відповідає основним характеристикам процесу внесення отрутохімікатів при використанні розпилювачів з кутом факела  $110^\circ$ . Використання для точкового внесення менших розпилювачів із меншим кроком може викликати певні труднощі. Як правило, менший розмір розпилювача означає кращу якість розпилення (в сенсі дотримання дози).

Однак менші розпилювачі мають більшу схильність до засмічення, тому для них дуже важливим є питання фільтрації робочого розчину. Більшість розпилювачів комплектуються фільтрами 50 Mesh (або більш глибокими).

Для активації одного розпилювача, щоб зберегти якісне покриття цільової поверхні, необхідно створити рівномірну вузьку смугу розпилення. Це означає, що необхідний кут факелу розпилювачів буде  $30^\circ$  або  $40^\circ$ . Наприклад, висота штанги 60 сантиметрів створить смугу 33 сантиметри розпилювачем з кутом факелу  $30^\circ$ , та смугу 45 сантиметрів - з кутом факелу  $40^\circ$ .

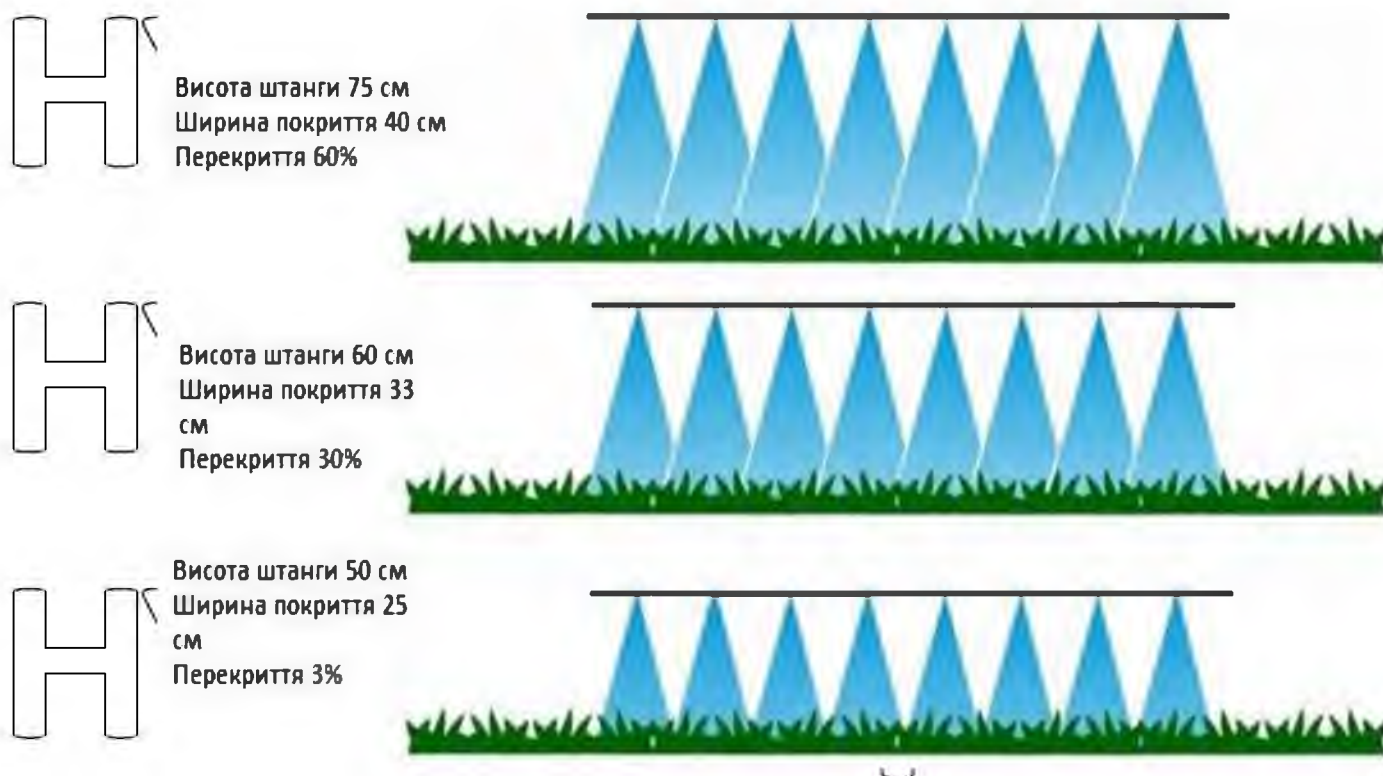


Рис. 4.16 Значення висоти штанги при точковому обприскуванні

(розпилювачі з факелом  $30^\circ$  та кроком установки 25 см)

Відстань 25 см між розпилювачами на штанзі дозволяє дещо зменшити висоту штанги, що, у свою чергу, може зменшити її дрейф і покращити покриття польових культур.

Знадобляться також розпилювачі які працюють з меншим потоком рідини, що в свою чергу, буде вимагати кращої підготовки суміші (якість препаратів та вимоги до вимішування) та збільшить регулярність обслуговування секційних та лінійних фільтрів. Також при зменшенні висоти штанги до цільової поверхні необхідно звернути особливу увагу на стабілізацію штанги. Потана стабілізація штанги може звести нанівесь усі переваги такого внесення.

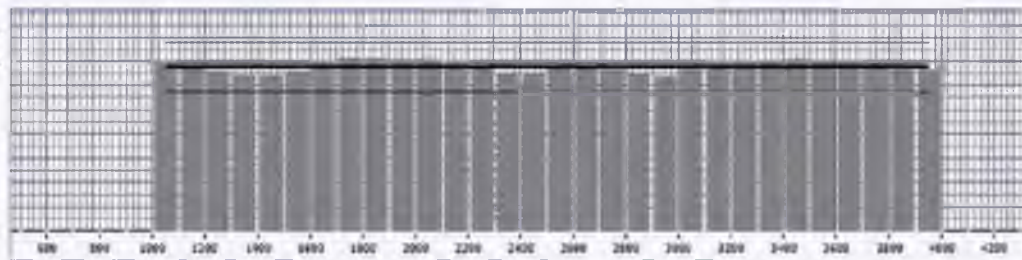
Для підвищення ефективності використання систем ІШМ і покращення якості процесу внесення отрутохімікатів потрібно використовувати такі рекомендації:

- уникати циклів DC менше 60%;

не допускати роботи обприскувача на швидкостях, які вищі за рекомендовані, оскільки при високих швидкостях руху система зазвичай працює з високим робочим циклом;

- уникати роботи при тиску нижче 2,4 бар. Інформація на моніторі про падіння тиску на соленоїді до 2,7 бар може означати, що реальний тиск на розпилювачі становить 1,9 бар. Такої величини тиску може бути недостатньо для повного розкриття факелу на  $110^\circ$  з наступними негативними наслідками у сенсі перекриття і розміру краплин. Також важливо знати, що інжекторні розпилювачі, призначені для використання з ШІМ, мають тенденцію створювати низьку якість розкриття факелу при роботі з низьким тиском та низьких робочих циклів менших 40%.

- використання оптичного обладнання для точкового розпилення, допомагає економити значні ресурси, що в свою чергу дозволить у майбутньому використовувати складніші дорогі бакові суміші.



Розпилювач FL з жиклером 1,5 – поперечний розподіл на випробувальному стенді (вода).  
Коефіцієнт варіації: 55,9%  
Тиск 2,0 бари і висота 1000 мм

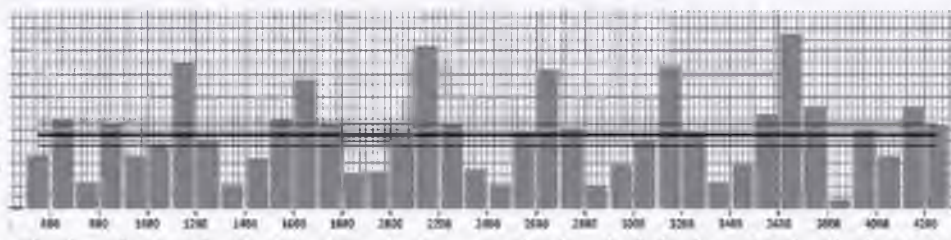


Рис 4.17. Робота розпилювачів при малих тисках

#### 4.4 Польове випробування системи ШІМ на основі обприскувача Kuhn Autospray

Кінцевою метою польових випробувань системи широтно-імпульсної модуляції були дослідження ефективності внесення робочих розчинів отрутохімікатів та перевірка можливості диференційованого внесення з допомогою обприскувача Kuhn Metris 4102s Autospray. В якості робочої рідини використовувався препарат Реглон Форте (діюча речовина дикват іону) від Syngenta призначений для пришвидшення досягання, припинення розвитку хвороб та знижує вологість насіння. Культура – соя. Алгоритм підготовки до внесення передбачав зйомку поля за допомогою дрона з NDVI камерою (або ж використання супутникових даних з платформи Starwise) і створення картограми поля. Завдяки NDVI-карті (рис 4.18) було зафіксовано зони з мінімальним індексом вегетації сої, що свідчило про те, що потенційно в цих місцях можна зменшити норму внесення препарату або ж його не вносити взагалі.

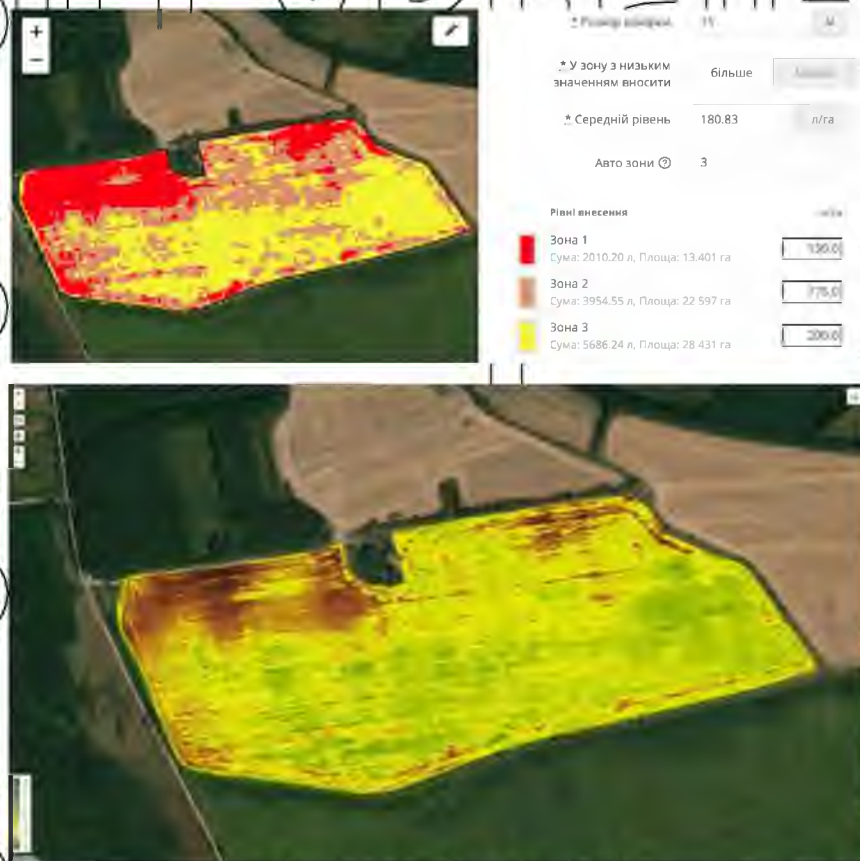


Рис. 4.18 Загальний вигляд NDVI-карти



Поле залежно від індексу вегетації було автоматично розділено на 3 зони:

- Зона 1 – ділянки з низьким індексом вегетації (найбільш сухі);
- Зона 2 – ділянки із середнім індексом вегетації
- Зона 3 – ділянки із високим рівнем вегетації (недостиглі та забур'янені)

Далі картограма завантажувалась у цифрову платформу збору агрономічних даних Storwise і на її основі проводилась підготовка картограм-завдань для внесення засобів захисту рослин. Готові картограми-завдання завантажувались у термінал CCI1200 обприскувача Kuhn Metris 4102S після

чого проводилось обприскування. Норми витрати препарату, залежно від зони, становила від 1,5 до 2 л/га для Реглон Форте та 2,25-3 л/га для «генерика». Схема дослідю подана у таблиці 4.4.

Таблиця 4.4

#### Схема дослідю з перевірки ефективності внесення робочих розчинів отрутохімікатів

Контроль	Опис
1	Ділянка, на якій десикація не проводилась
2	3 л/га генеричного диквату (150 г/л) + традиційне внесення ЗЗР
3	2,25-3 л/га генеричного диквату (150 г/л) + диференційоване внесення з PWM-технологією
4	1,5-2 л/га Реглон Форте (200 г/л) + диференційоване внесення з PWM-технологією

Таблиця 4.5

#### Технічне забезпечення та умови проведення дослідю

Дата обробки	29.09.2023
Обприскувач	Kuhn Metris 4102s Autospray
Робоча швидкість	10 км/год
Розпилювачі	Lechler IDTA 120-05
Температура повітря	14°C
Вологість	70%
Швидкість вітру	5-7 м/с
Розмір краплі	F (136-144 micron) *відповідно до налаштувань Autospray



Рис. 4.19 Загальний вигляд МТА

Аналіз результатів порівняльних досліджень традиційної і диференційної технологій внесення показав, що:

**Реглон Форте:**

- при традиційному внесенні на даному полі використано:
  - ✓ 128,86 л Реглон Форте;
  - ✓ 12756,94 л води.
- при диференційованому внесенні за обраною схемою використано:
  - ✓ 116,51 л Реглон Форте;
  - ✓ 11534,49 л води.

**Економія:**

✓ Реглон Форте=12,35 л (9,58%) ~ 80\$;

✓ Вода=1222,45 л.

**Генеричний продукт:**

- При традиційному внесенні на даному полі використано:
  - ✓ 193,29 л Генеричного продукту (який використовується на даному господарстві);
  - ✓ 12692,51 л води.

- При диференційованому внесенні за обраною схемою використано:  
 174,77 л генеричного продукту (використовується господарстві).  
 11476,23 л води.

#### Економія:

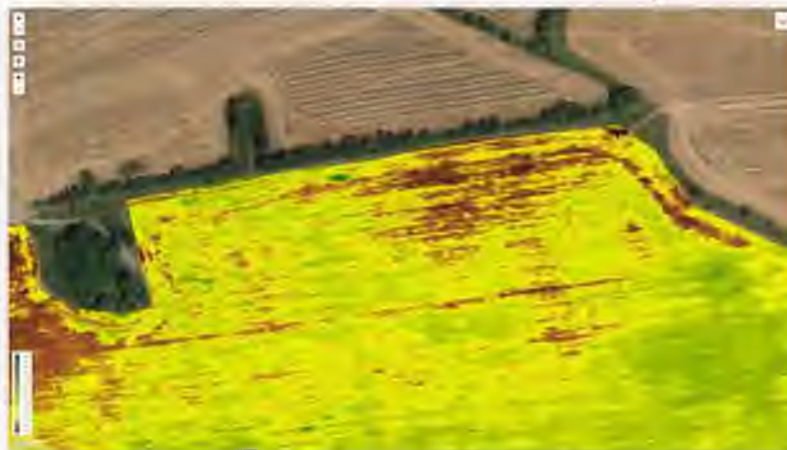
- ✓ генеричний продукт = 18,52 л (9,58%) ~ 129,08\$;
- ✓ вода = 1216,28 л.

#### Якість обробки:

Площа покриття цільового об'єкту складає **20,7%** (Рис. 4.2). Відповідно до загальноприйнятих рекомендацій ефективність від внесення десиканту буде високою, якщо забезпечити площу покриття цільового об'єкту не менше **15%**.



Рис. 4.20 Визначення якості покриття цільової поверхні.



- зона з низьким рівнем вегетації
- зона з середнім рівнем вегетації
- зона з високим рівнем вегетації

Рис. 4.21 Загальний вигляд карти до обробки поля.

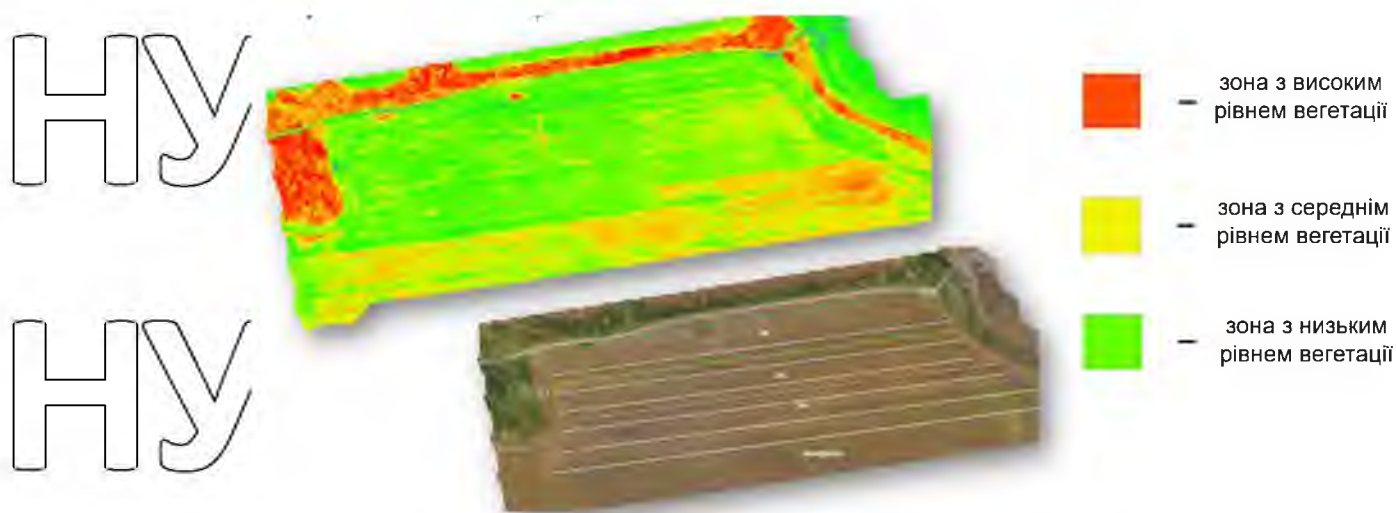


Рис. 4.22 Загальний вигляд після обробки поля:

### Висновки дослід:

Відповідно до результатів внесення можна зробити такі висновки:

- Найвища ефективність десикації у варіанті №3 (Карта-завдання+AUTOSPRAY)
- За допомогою технології AUTOSPRAY та карти-завдання на даному випробуванні вдалось отримати економію 9,8% (препарату та води). У варіанті №2 – це приблизно 129\$, у варіанті №3 - 80\$.
- Дана технологія допомагає оптимізувати норми виліву робочого розчину.

## Розділ 5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РОБОТИ ОБПРИСКУВАЧА ОБЛАДНАНОГО СИСТЕМОЮ ШІМ

Системи з ШІМ починають активно впроваджуватися різними виробниками причіпних та самохідних обприскувачів. Їх активне впровадження на прямо пов'язано з рядом агрономічних та технічних переваг які несе широтно імпульсна модуляція.

### Агрономічні переваги:

- Можливість підтримувати розмір краплини у діапазоні швидкостей до 20 км на год;
- Можливість змінювати розмір краплини без зміни розпилювача;
- Компенсація норми вливу у повороті;

### Технічні переваги:

- Можливість робити пофорсункове відключення;
- Зменшення норми внесення робочих розчинів;
- Підвищення коефіцієнта змінного часу;
- Зменшення затрат праці на обслуговування;
- Зменшення кількості заправок обприскувача.

До економічних показників обприскування віднесемо наступні затрати праці, прямі експлуатаційні витрати, питомий і річний економічний ефект, строк окупності затрат на модернізацію. Для визначення цих показників порівняємо продуктивність, витрати палива трактором та балансову вартість між 2-ма обприскувачами KUHN Lexis 3000 та KUHN Metris 4201 Autospray. 2-й обприскувач обладнаний системою ШІМ.

Використання обприскувача з ШІМ системою дозволить збільшити швидкість роботи обприскувача до з 10 до 14 км/год (згідно агротехнічних вимог для уникнення ефект зносу краплин швидкість не повинна

перевищувати  $18 \text{ км/год}$ ) а це в свою чергу веде до збільшення продуктивності роботи.

Розрахуємо продуктивність KUHN Metris 4201 Autospray за годину чистої роботи за формулою:

$$W = 0,1 \cdot B_p \cdot V_p \quad (5.1)$$

де  $V_p$  - робоча швидкість руху агрегату,  $\text{км/год}$ ;

$B_p$  - робоча ширина захвату агрегату, м,  $B_p = 24 \text{ м}$ .

З врахуванням збільшення швидкості руху агрегату (трактор зможе рухатися із робочою швидкістю  $14 \text{ км/год}$ ), будемо мати:

$$W = 0,1 \cdot 14 \cdot 24 = 33,6 \text{ га/год}$$

Чистий час роботи трактора з оприскувачем KUHN Metris 4201 Autospray  $T_p = 5,52 \text{ год}$ .

Тоді, норма виробітку і продуктивність за годину змінного часу трактора з оприскувачем KUHN Metris 4201 Autospray буде становити:

$$H_M = 33,6 \cdot 5,52 = 185,5 \text{ га/зміна},$$

а продуктивність агрегату буде дорівнювати:

$$W_{зм} = H_M \cdot T_{зм} = 185,5 / 8 = 23,19 \text{ га/год}.$$

Витрати палива трактора Valtra G135 при роботі з оприскувачем Metris 4201 Autospray становлять  $3,8 \text{ л/га}$ . Відповідно з прийнятим в господарстві нормуванням механізованих польових робіт норма виробітку на обприскування становить  $23 \text{ га}$ , при витраті палива  $4,1 \text{ л/га}$ .

Балансова вартість обприскувачів наступна: Lexis 3000 становить  $S_b = 3\,866\,500$  грн., Metris 4201 Autospray –  $4\,273\,500$  грн.  
 Вихідні дані для проведення економічних розрахунків використання обприскувача з ШІМ зведемо в табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Вихідні дані до розрахунку економічної ефективності

Показники	Агрегат	
	VALTRAG135 + LEXIS 3000	VALTRA G135 + METRIS AUTOSPRAY
Продуктивність, га/год	16,56	23,19
Литомі витрати палива, кг/га	3,10	2,90
Вартість обприскувачів, грн	3 866 500	4 273 500

Затрати праці на обприскування визначимо за формулою:

$$Z_n = M/W_e \quad (5.2)$$

де  $M$  - кількість обслуговуючого персоналу, чол;

$W_e$  - продуктивність агрегату за годину змінного часу, га/год.

Оскільки кожний агрегат обслуговує один механізатор (тракторист) і один допоміжний працівник, то за формулою (5.2) будемо мати:

- затрати праці при роботі Lexis 3000:

$$Z_{n.6} = 2/16,56 = 0,12 \text{ люд.год/га,}$$

- затрати праці при роботі Metris Autospray:

$$Z_{п.м} = 2/23,19 = 0,086 \text{ люд.год/га.}$$

Отже, зниження затрат праці при використанні обприскувача з ШІМ становить  $0,034 \text{ люд.год./га}$ .

Питомі прямі експлуатаційні витрати на обприскування визначимо за формулою:

$$C = C_{op} + C_{ra} + C_{кто} + C_{пмм} \quad (5.3)$$

де  $C_o$  - оплата праці з нарахуваннями,  $грн/га$ ;

$C_{ra}$  - відрахування на реновацію,  $грн/га$ ;

$C_{кто}$  - витрати на капітальний і поточний ремонт та ТО,  $грн/га$ ;

$C_{пмм}$  - витрати на паливо і мастильні матеріали,  $грн/га$

В господарстві прийнята наступна система оплати праці працівників, які зайняті обприскуванням. Оплату праці механізаторів здійснюють по 6-му розряду тарифної сітки із розрахунку  $38,8 \text{ грн}$  за виконану норму виробітку. Крім того, в господарстві запроваджена доплата за класність. Механізаторам, які мають перший клас доплачують 20% до тарифної ставки. Оплату праці допоміжним працівникам, які обприскувач, також здійснюють по 4-му розряду на ручних роботах в рослинництві із розрахунку  $22,6 \text{ грн}$  за норму. Виходячи із вищезазначеного оплату праці можна визначити за формулою:

$$C_{on} = \frac{\alpha [T_m M (1 + \beta) + T_o N]}{H}, \quad (5.4)$$

де  $T_m, T_o$  - відповідно, оплата праці механізаторам і допоміжним робітникам за норму виробітку  $грн$ ;

$\alpha$  - коефіцієнт, який враховує нарахування на заробітну плату  $\alpha = 1,375$ ;

$\beta$  - доплата за класність,  $\beta = 0,2$ ;

$M$  і  $N$  - відповідно кількість механізаторів і допоміжних працівників, які обслуговують агрегат;



*H* - норма виробітку, *га*.

Тоді витрати на оплату праці становлять:

- при обприскуванні Lexis 3000:

$$C_{\text{оп}}^{\text{б}} = \frac{1,375[38,8 \cdot 1(1+0,2) + 32,6 \cdot 1]}{16,56} = 5,14 \text{ грн./га,}$$

- при обприскуванні Metris Autospray :

$$C_{\text{оп}}^{\text{м}} = \frac{1,375[38,8 \cdot 1(1+0,2) + 32,6 \cdot 1]}{23,19} = 4,13 \text{ грн./га.}$$

Відрахування на реновацію машин в агрегаті визначимо за формулою:

$$C_{\text{ра}} = \frac{\alpha_1 B_m}{100 W_s T_m} + \frac{\alpha_2 B_M}{100 W_s T_M} \quad (5.5)$$

де  $B_m$  і  $B_M$  - відповідно балансова вартість трактора і машини, *грн.* ( $B_T = 4\,517$  *700 грн*),

$\alpha_1$  і  $\alpha_2$  - норма річних відрахувань на реновацію від балансової вартості відповідно трактора і машини, %;

$T_m$  і  $T_M$  - нормативне річне завантаження відповідно трактора і машини, *год* (за нормативами  $T_m = 1600$ , а  $T_M = 320$  *год*).

За нормативами річна норма відрахувань на реновацію трактора VALTRA G135 складає 10%, а обприскувача Metris Autospray - 12%. Тоді, витрати на амортизацію будуть дорівнювати:

- для Lexis 3000:

$$C_{\text{ра}}^{\text{б}} = \frac{4517700 \cdot 10}{100 \cdot 1600 \cdot 16,56} + \frac{3866500 \cdot 12}{100 \cdot 320 \cdot 16,56} = 104,6 \text{ грн/га},$$

• для Metris Autospray:

$$C_{\text{ра}}^{\text{м}} = \frac{4517700 \cdot 10}{100 \cdot 1600 \cdot 23,19} + \frac{4273500 \cdot 12}{100 \cdot 320 \cdot 23,19} = 81,28 \text{ грн/га}.$$

Витрати на ремонти і технічне обслуговування машин в агрегаті можна визначити за формулою:

$$C_{\text{кто}} = \frac{\alpha_{1к} B_m}{100 W_3 T_m} + \frac{1}{100 W_3} \left( \frac{\alpha_{1n} B_m}{T_m} + \frac{\alpha_{2n} B_m}{T_m} \right), \quad (5.6)$$

де  $\alpha_{1к}$  - відрахування на капітальний ремонт трактора, % ( $\alpha_{1к} = 5\%$ );  
 $\alpha_{1n}$  і  $\alpha_{2n}$  - норма річних відрахувань на поточний ремонт і ТО відповідно трактора і машини ( $\alpha_{1n} = 8\%$ ,  $\alpha_{2n} = 4,5\%$ ).

Тоді, відрахування на ремонти і ТО агрегатів становлять:

• для базового Lexis 3000:

$$C_{\text{кто}}^{\text{б}} = \frac{5 \cdot 4517700}{100 \cdot 16,56 \cdot 1600} + \frac{1}{100 \cdot 16,56} \left( \frac{8 \cdot 4517700}{1600} + \frac{4,5 \cdot 3866500}{320} \right) = 55 \text{ грн/га},$$

• для Metris Autospray:

$$C_{\text{кто}}^{\text{м}} = \frac{5 \cdot 4517700}{100 \cdot 23,19 \cdot 1600} + \frac{1}{100 \cdot 23,19} \left( \frac{8 \cdot 4517700}{1600} + \frac{4,5 \cdot 4273500}{320} \right) = 41,7 \text{ грн/га}.$$

Питомі витрати на паливо і мастильні матеріали:

$$C_{\text{лмм}} = Q C_k, \quad (5.7)$$

де  $Q$  - витрати палива,  $\text{кг/га}$ ;  
 $C_k$  - комплексна ціна палива,  $\text{грн/л}$ .

Комплексна ціна включає витрати на основне і пускове паливо, а також на мастильні матеріали. Норми витрат мастильних матеріалів в % до

Основного палива для МТА становлять: дизельне мастило – 5%, автотракторне мастило – 3,7%, солідол – 0,5%, трансмісійне мастило – 0,8%.

Вартість палива і мастил коливаються на ринку і залежать від об'ємів закупок, постачальника і інших факторів. З врахуванням сьогоднішніх цін приймаємо комплексну ціну ПММ 51,0 грн/л. Тоді, питомі витрати на паливо і мастильні матеріали будуть дорівнювати:

- для Lexis 3000:

$$C_{\text{ПММ}}^{\text{б}} = 3,1 \cdot 51,0 = 158,1 \text{ грн/га,}$$

- для Metris Autospray:

$$C_{\text{ПММ}}^{\text{м}} = 2,9 \cdot 51,0 = 147,9 \text{ грн/га.}$$

Загальні питомі прямі експлуатаційні витрати при обприскуванні становлять:

- агрегатом, в склад якого входить Lexis 3000:

$$C^{\text{б}} = 5,74 + 104,6 + 55 + 158,1 = 323,44 \text{ грн/га,}$$

- агрегатом, в склад якого входить Metris Autospray:

$$C^{\text{м}} = 4,13 + 81,28 + 41,7 + 147,9 = 275,01 \text{ грн/га.}$$

Економія питомих експлуатаційних витрат при впровадженні Metris Autospray буде становити:

$$E_{\text{ев}} = C^{\text{б}} - C^{\text{м}} = 323,44 - 275,01 = 48,43 \text{ грн/га.}$$

При використанні обприскувача на площі  $F$ , яка відповідає його нормативному річному завантаженню, визначити яку можна наступним чином

$F = W_3 \cdot T_M = 23,19 \cdot 320 \approx 7\,421$  га, економія експлуатаційних витрат буде

становити:

$$E = E_{ев} \cdot F = 48,43 \cdot 7\,421 = 359\,399 \text{ грн.}$$

Результати розрахунків економічної ефективності використання (табл.

5.2) показують, що використання обприскувача з ШІМ системою дасть змогу одержати річний економічний ефект в сумі 359 399 грн. за умови річного наробітку у розмірі 7 421 гектара (розрахункова площа господарства 1 850 га.)

Таблиця 5.2

### Основні економічні показники проекту

Назва показників	Агрегат	
	VALTRA G135 + LEXIS 3000	VALTRA G135 + METRIS AUTOSPRAY
Вартість обприскувачів, грн	3 866 500	4 273 500
Продуктивність, га/год	16,56	23,19
Затрати праці, люд.год/га	0,12	0,086
Прямі експлуатаційні витрати, грн/га	323,44	275,01
в тому числі		
оплата праці	5,74	4,13
відрахування на реновацію	104,6	81,2
відрахування на ремонти і ТО	55	41,7
витрати на ПММ	158,1	147,9
Річний економічний ефект, грн		359 399

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Один із способів вирішення проблеми підвищення якості внесення препаратів за допомогою обприскувачів є система ШІМ. Як ми побачили з наведеної інформації ця система дозволяє розмежувати питання швидкості обприскувача, норми внесення робочої рідини та розміру краплі.
2. Розглянуті різні способи розпилення і різні типи розпилювачів дозволяють отримати різний ступінь дисперсності розпилення отрутохімікатів.
3. За звичайного обприскування для того, щоб одержати краплини достатньої щільності на одиницю поверхні, що обробляється цілком виправданим може бути грубодисперсне розпилення ( $d_{cp} \in 250 \dots 300$  мікрон).
4. Для забезпечення потрібної щільності покриття площі при малооб'ємному і ультрамалооб'ємному внесенні потрібне тонкодисперсне розпилення (50.. 150 мікрон).
5. Зменшення діаметра краплин за лінійним законом в 2, 3, 4 рази викликає збільшення кількості краплин за кубічною залежністю, а саме в 8, 27, 64 рази.
6. За результатами спеціальних токсикологічних досліджень, норма витрат робочої рідини на одиницю площі що обробляється в кілька разів, а часом і на декілька порядків перевищує потрібну для 100% ефективності. Однак не вся робоча рідина, що розпилюється, осідає на об'єкти оброблення, причому, чим вища дисперсність, тим гірше осідання.
7. До переваги ШІМ систем можемо віднести підтримання норми вливу при роботі у складних рельєфах. За допомогою пульсації система може індивідуально змінювати норму вливу на кожному розпилювачі відповідно до встановленої карти завдання або інформації про складні умови рельєфу. До прикладу, на некомпенсованій штанзі крайній

розпилювач буде недозувати на 38%, а внутрішня розпилювач буде перевищувати дозування на 267%.

8. Оптимальний робочий цикл системи треба забезпечувати в діапазоні від 30% до 100%, з урахуванням цього необхідно здійснювати підбір розпилювача.

9. Аналіз літературних джерел, практичний досвід експлуатації серійних ШМ показали недосконалість системи при використанні на малих швидкостях на нормах виліву. При цьому робочий цикл падає менше 30% і відбувається певна строкатість поля. Беручи до уваги проаналізовану інформацію різних виробників ШМ систем дійшов до висновку що оптимальним є робочий цикл більше 30%.

10. При використанні ШМ системи дуже важливим є підтримання стабільної висоти штанги. Розпилювачі з факелом 110 градусів розраховані на роботу з перекриттям 50% для забезпечення якісного покриття робочої поверхні. Перекриття 50% досягається при робочій висоті штанги в 26,3 сантиметри. Більшість виробників пропонують тримати штангу на висоті 50 см і мати при цьому перекриття у 200%. Це дає змогу невілювати потенційні огріхи від недотримання висоти штанги при роботі у складних рельєфних умовах.

11. Польові дослідження ШМ системи на базі KUHN Metris Autospray, підтвердили перевагу використання ШМ систем для отримання суттєвої економії препаратів. Дослід, який було проведено на десикації сої показав економію препарату у 10% та суттєву економію води.

12. Економічний ефект від переходу ШМ система є дуже суттєвим. По даним які були отримані з полових випробувань економія препарату при використанні цієї системи досягає 10% на препараті та 1200 літрів води на кожні 60 гектарів поля. Також ці показники дозволяють збільшити коефіцієнт змінного часу до 0,69 що значно підвищують продуктивність агрегату, та зменшують час на додаткові операції на полі.

## СНИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бабій А.В. Аналіз параметрів штангового обприскувача з метою збільшення його продуктивності. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv, Ukraine, 2019. Vol. 10. No 4. P. 51–55.

2. Бабій А.В. Вибір критеріїв для досягнення оптимальних параметрів обприскувача. Матеріали XXI наукової конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (16-17 травня 2019 р.). С. 8.

3. Бабій А.В. До питання підвищення продуктивності штангового обприскувача. Збірник тез доповідей II Міжнародної науково-практичної конференції "Агроінженерія: сучасні проблеми та перспективи розвитку", присвячена 90-й річниці з дня заснування механіко-технологічного факультету НУБіП України (7-8 листопада 2019 року). Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ, 2019. С.30–32.

4. Бабій А.В. Дослідження нерівномірності покриття при хімічному захисті рослин. Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій: матеріали Міжнародної науково-технічної конференції до 60-річчя з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та 175 річчя з дня народження Івана Пулюя, (Тернопіль, 14–15 травня 2020 року). Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2020. С. 53–54.

5. Бабій А.В. Фактори, що впливають на ефективність процесу нанесення робочого препарату при хімічному захисті рослин. Сучасні проблеми землеробської механіки: матеріали XXI Міжнародної наукової конференції, присвяченої 119-й річниці з дня народження академіка Петра Мефодійовича Василенка, 17-19 жовтня, 2019 р., м. Миколаїв. Міністерство освіти і науки України. Миколаївський національний аграрний університет. Миколаїв : МНАУ, 2019. С. 77–79.

6. Бабій А.В., Бабій М.В., Вічко О.І. Пристрій для визначення кількості та рівномірності розпилення продукту робочим органом штангового

обприскувача. Декларативний патент на корисну модель 141105 B05B 3/00, B05B/12/00, G01F 3/36 (2006.01); заявл. 16.07.2019, u201908385; опубл. 25.03.2020, бюл. № 6/2020

7. Василенко П.М., Погорелый Л.В. Основы научных исследований. Механизация сельского хозяйства. К. : Вища школа, 1985. 266 с.

8. Використання добрив і пестицидів під урожай сільськогосподарських культур 2018 року. Державна служба статистики України : [Електрон. ресурс]. Режим доступу: <http://ukrstat.gov.ua>.

9. Вікович І.А. Конструкції і динаміка штангових обприскувачів: монографія. Львів : видавництво «Львівської політехніки», 2003. 460 с.

10. Вікович І.А. Математична модель дифузійного осадження краплин препарату на рослини при обприскуванні штанговими обприскувачами. Наук. вісн. Зб. наук.-техн. пр.-Львів : Укр. ДЛТУ, 2002. Вип. 12. 3. С.226–232.

11. Вікович І.А. Штангові обприскувачі для хімічного захисту рослин. Львів : Вид-во НУ «Львівська політехніка», 2003. 480 с.

12. Вікович І.А., Дмитриченко М.Ф. Обґрунтування спрощеного аналітичного методу визначення величини горизонтальної сили удару рідини об стінку рухомої прямокутної ємкості. Вісник Національного транспортного університету, 2018. № 1. С. 63–72.

13. Войтюк Д.П., Дубровін В.О., Іщенко Т.Д. та ін. Сільськогосподарські та меліоративні машини. Підручник за ред. Д.П. Войтюка. К. : Вища освіта, 2004. 544 с.

14. Выбираем распылители (форсунки) для опрыскивания под конкретную норму вылива / kas32 : [Електрон. ресурс]. Режим доступу: <http://kas32.com/post/view/399>.

15. Грабар І.Г., Водяницький Г.П. Теорія та технологія наукових досліджень. Навчальний посібник для магістрів напряму підготовки 8.10010203 «Механізація та електрифікація сільського господарства», «Автомобілі та автомобільне господарство». ЖНАЕУ, 2013. 260 с.

16. Дідух В.Ф., Панасюк С.Г. Основи збереження сільськогосподарської



продукції. Навчальний посібник. Рекоменд. Вченою радою Луцького НТУ.  
Луцьк : «Вежа - Друк», 2016. 244 с.

17. Довідник агронома. Україна. Август у світі : [Електрон. ресурс]. Режим доступу: [http://ua.avgust.com/kalkulyator\\_forsupok](http://ua.avgust.com/kalkulyator_forsupok).

18. Іваненко І., Любченко С., Карпенко А. Технічний засіб для зниження трудомісткості визначення показників якості виконання технологічного процесу штанговими обприскувачами. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України, 2016. № 20. С. 161–167.

19. Карбамідо-аміачна суміш КАС-32 / kas32 : [Електрон. ресурс]. Режим доступу: <http://kas32.com/ua/post/view?id=54>.

20. Каталог продукції компанії TeeJet Technologies. 196 с.

21. Кобець О.М., Давиденко І.С., Тонкоголос І.Р. Ресурсні дослідження відцентрових розпилювачів, виготовлених з різних матеріалів. Інженерія природокористування, 2015. № 2. С. 96–100.

22. Кобець О.М., Пугач А.М., Кузьменко О.Ф. Стенд для дослідження розпилюючих пристроїв машин для внесення агрохімікатів. Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка. Вип. 190. Харків, 2018. С. 52–57.

23. Коваль В.П., Мележик О.І. Обприскування відцентровими розпилювачами Роса. Техніка і технології АПК, 2011. № 11, 12.

24. Любченко С., Іваненко І., Сербій С., Карпенко А. Тензометричний витратомір для визначення продуктивності форсунок обприскувачів. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України, 2016. № 20. С. 168–173.

25. Людвіновський О. Якість застосування засобів захисту рослин. Спецвипуск. Пропозиція. Сучасна техніка для захисту с.-г. культур, 2017. С. 12–16.

26. Мележик А.И. Выбор распылителей пестицидов для конкретных культур, задач и условий работы. Днепропетровск, 2015. 93 с.

27. Митрофанов О.П., Бондарев Є.І., Мележик В.А., Сидоренко В.В. Пристрій

для визначення рівномірності та кількості витрат продукту штанговим обприскувачем. Деклараційний патент на корисну модель 35849 B05B 3/00; заявл. 14.04.2008 u200804777; опубл. 10.10.2008, бюл. № 19

28. Обладнання для захисту рослин. Обприскувачі. Частина 1. Методи випробовування насадок для розприскування (ISO 5682-1:1996, IDT): ДСТУ ISO 5682-1:2005. [Чинний від 2007-10-01]. К. : Держспоживстандарт України, 2007. 13 с. (Національний стандарт України).

29. Обприскування от А до Я 3-е Видавництво «Теорія і практика обприскування». Компанія Lechler Метцинген. Німеччина, 2018. 68 с.

30. Обприскувач Case ІІ Patriot SPX 00330. URL: <http://agroalliance.com.ua/case3330-1234533>. Основи наукових досліджень в агрономії: Підручник. В.О. Єщенко, П.Г. Копитко, П.В. Костогриз, В.П. Опришко. За ред. В.О. Єщенка. Вінниця : ПП “ТД “Едельвейс і К”, 2014. 332 с.

31. Пестициди: історичний екскурс та перспективи / Тетяна Белінська. АгроЕліта, 2017. [Електрон. ресурс]. Режим доступу: <https://agroprod.biz/2017/12/21/pestytsydy-istorychnyj-ekskurs-ta-perspektyvy/>.

32. Погорілий Л.В. Випробування сільськогосподарської техніки. Науковометричні основи оцінки прогнозування надійності сільськогосподарських машин. Фенікс, 2004. 208 с.

33. Посібник. Машини для хімічного захисту рослин. За ред. Кравчука В.І., Войтюка Д.Г. Дослідницьке: УкрНДПІВТ ім. Л. Погорілого, 2010. 184 с.

34. Причіпний польовий обприскувач PRIMUS. Інструкція з експлуатації. LEMKEN GmbH & Co. KG. 20 с.

35. Стенд для випробування причіпних обприскувачів на динамічні, циклічні та механічні навантаження. Технічний опис та інструкція по експлуатації. Богуслав: ПАТ «Богуславська сільгосптехніка», 2015. 9 с.

36. Стратегія і тактика захисту рослин. Т. 1. Стратегія / під редакцією академіка НААН України, доктора біологічних наук, професора В.П. Федоренка. К. : Альфа-стевія, 2012. 500 с.

37. Во АВ, Won OJ, Sin HT, Lee JJ, Park KW. 2017. Механізми резистентності бур'янів до гербіцидів. Корейський журнал сільськогосподарської науки 44:001-015.

38. Електронний ресурс: [<https://superagronom.com/news/2838-do-50-vrojajiv-vtrachayetsya-cherez-shkidnikiv--ekspert>]

39. Ковшов В.Н. Постановка інженерного експеримента [Текст] / В.Н. Ковшов. – К. – Донецьк : Вища школа, 1982. – 120 с.

40. Мельников С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов [Текст] / С.В. Мельников. – Л.: Колос, 1980.

–168с

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України