

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра агроінжинірингу

**До захисту
Допускається
Завідувач
кафедри**

Шуляк М.Л.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за магістерським рівнем вищої освіти

На тему: «Дослідження впливу елементів систем точного землеробства на показники якості роботи причіпного обприскувача»

Виконав:

_____ (підпис)

Щибря В.О.

_____ (Прізвище, ініціали)

Група:

СТЗ 2301-2м ВН

(Науковий) керівник:

_____ (підпис)

Лебедєв А.Т.

_____ (Прізвище, ініціали)

Суми – 2024

РЕФЕРАТ

Випускна кваліфікаційна робота представлена на 42 сторінках машинописного тексту пояснювальної записки, що містить 1 таблицю, 8 рисунків, додатків 2, 25 літературних джерел.

Ключові слова: ОБПРИСКУВАННЯ, ПОВТОРНЕ ВНЕСЕННЯ, НОРМА ВНЕСЕННЯ, ПЕСТИЦИДИ, ТЕХНОЛОГІЯ ЗМІННИХ НОРМ.

Мета цього дослідження полягала в тому, щоб порівняти площі, оброблені обприскувачем, до та після додавання автоматичної системи керування секціями штанги та визначити, чи існує залежність між факторами форми поля, зокрема співвідношенням периметра до площі (П/П) і надмірним застосуванням пестицидів. Порівняння середнього відсотка повторного внесення на полях протягом першого сезону (12,4%) і другого сезону (6,2%) виявило значне зниження нецільового внесення. Це скорочення означає економію для сільськогосподарських виробників, що потенційно виправдовує придбання та впровадження цієї технології. Подальший аналіз вказав на зростаючу тенденцію до надмірного застосування для ручного та автоматичного керування секціями штанги, оскільки співвідношення П/П зросло для досліджуваних полів. Надлишок збільшувався з більшою швидкістю при ручному керуванні секціями штанги, що свідчить про те, що в міру збільшення вкраплень у полі (зарослих травою водних шляхів або інших перешкод) автоматичне керування секціями штанги надасть виробникам більше можливостей зменшити ці помилки.

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Стан питання і задачі досліджень.....	7
1.1 Агротехнічні вимоги до машин для захисту рослин	7
1.2 Фактори, що впливають на якість обприскування	11
1.3 Використання технологій точного землеробства для операцій обприскування.....	23
2 Методика досліджень.....	26
3 Результати досліджень та їх аналіз	30
Висновки.....	39
Список використаних джерел.....	40

ВСТУП

Ринок сучасної сільськогосподарської техніки різноманітний своїми пропозиціями, готовими докорінно змінити технології вирощування сільськогосподарських культур. Є хороша можливість підвищити продуктивність за рахунок сучасних обприскувачів, які здатні обслуговувати значні площі, витрачаючи при цьому меншу кількість часу за рахунок більш широкого захоплення штанги, активної підвіски, автоматизованого управління, чіткого витрати робочої рідини. Значно знижені ризики неякісної обробки за допомогою сучасних технологічних розпилювачів, спеціально сконструйованих для цільових обробок різних культур.

Багато хто з виробників і до тепер не замислюються про ефективність нанесення препаратів на оброблювані об'єкти, не приділяють належної уваги контролю якості обприскування. Обробки посівів різних культур різними препаратами виробляються одними і тими ж форсунками, з одними і тими ж параметрами, і часто при несприятливих зовнішніх умовах. Багато використовується старих обприскувачів з обмеженими регулюваннями, а надмірна простота конструкції вузлів частіше завдає шкоди, ніж допомагає в якісній обробці (нерегульована по висоті штанга без стабілізації вертикальних і горизонтальних коливань, примітивна і нестабільна подача робочого розчину, скачки тиску в робочій системі при зміні швидкості руху, відсутність або несправність приладів контролю тиску, нерівномірний розподіл розчину по секціях штанги, контроль всіх процесів та інше). Приємно відзначити, що така ситуація в останні роки різко змінилася в позитивну сторону.

1 СТАН ПИТАННЯ І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Агротехнічні вимоги до машин для захисту рослин

Для оцінки будь-якого способу застосування пестицидів існують два різних методи: фізичні вимірювання в лабораторних і (або) польових умовах, які полягають у визначенні рівномірності розподілу рідини, норми внесення (л/га), густоти покриття (крапель/см²) оброблених об'єктів (комахи, бур'яни або штучні поверхні - картки, скляні пластинки); біологічна оцінка, яка полягає у визначенні ступеня зниження чисельності шкідливих організмів, бур'янів або осередків хвороб і, в решті-решт, - у вимірі врожаю. Кінцева мета внесення хімікату - це зниження чисельності або придушення шкідливих організмів до рівня, нижче економічного порогу шкодочинності. Збір такого роду даних зазвичай вкрай трудомісткий і виснажливий. Тому краще фізичні вимірювання, що не володіють такими недоліками. З іншого боку, фізичні дані мають інформаційну цінність тільки тоді, коли вони дозволяють передбачити біологічну ефективність обробки. Для обґрунтування оптимальних агротехнічних вимог до процесу застосування пестицидів необхідно простежувати взаємозв'язок між фізичними вимірами і біологічною ефективністю. Які фактори впливають на ефективність обприскування? З фізичної точки зору вимоги до обприскування можна сформулювати однією фразою: "Внесення вважається успішним, коли в оптимальний термін забезпечується якомога більше і рівномірне покриття оброблюваного об'єкта необхідною кількістю препарату".

Так, вирішальне значення мають: термін внесення; рівномірність внесення; ступінь покриття; дозування.

Термін внесення, очевидно, найважливіший аспект обприскування, тому що боротьба з шкідниками, бур'янами та хворобами може бути успішною тільки тоді, коли препарат вноситься в самій чутливій стадії їх розвитку. Немає необхідності коментувати це твердження, оскільки існує велика кількість прикладів, коли несвоєчасне застосування пестицидів не

дозволяло ефективно боротися з хворобами і шкідниками і призводило до значних недоборів врожаю або навіть до повної його загибелі.

Рівномірність внесення пестицидів. Одним з найважливіших умов якісного застосування пестицидів є рівномірний їх розподіл по оброблюваному об'єкту. Цей показник необхідно розділити на дві складові: рівномірність поздовжнього розподілу препарату уздовж лінії руху обприскувача; рівномірність розподілу препарату уздовж штанги обприскувача.

Рівномірність поздовжнього розподілу залежить від сталості оборотів двигуна трактора і швидкості руху агрегату по полю, що визначається суб'єктивними факторами, серед яких можна виділити сумлінність і досвід роботи оператора. Важливе значення має і стан поверхні поля, наявність нерівностей, що змушують періодично сповільнювати швидкість агрегату. При дотриманні оператором необхідних технологічних режимів роботи цю складову нерівності внесення можна звести до мінімуму. Крім того, в даний час в се більш широко застосовуються комп'ютерні системи, які автоматично регулюють і підтримують постійну витрату робочої рідини в залежності від швидкості руху агрегату по полю.

Рівномірність розподілу препарату уздовж штанги обприскувача характеризується коефіцієнтом варіації і вимірюється у відсотках. На цей показник впливають такі чинники: якість роботи розпилювачів; технічний стан штанги і висота її установки. Розпилювачі повинні забезпечувати однакову витрату рідини, формувати симетричні факели без видимих струменів і пустот. Забороняється встановлювати на штангу розпилювачі, що утворюють факели з різним кутом при вершині. Штанга повинна бути рівною і встановлюватися паралельно поверхні ґрунту. Не допускається провисання крайніх секцій штанги, так як це погіршує якість розподілу препарату.

Для вертикально зростаючих культур, таких, як зернові, оптимальні великі краплі, легко проникають всередину стеблостою. Для

широколистяних, таких, як картопля, соя, бавовник більше підходить використання дрібнодисперсного розпилення. Великі краплі не в змозі досягти нижнього ярусу.

Для гербіцидів щільність покриття повинна бути не менше 20-40 крапель / см² (для системних - мінімальне кількість, а для контактних - максимальне), для інсектицидів - 30-60 (аналогічно: системних і контактних) і фунгіцидів не менше 60-70 крапель/см² (для системних допускається менше - до 40).

Для системних гербіцидів рівномірність покриття не надто багато важить, для контактних препаратів необхідно максимальне покриття поверхні.

Нерівномірність не повинна перевищувати 25% від середнього значення.

Несвоєчасна заміна розпилювачів може привести до збільшення варіаційного коефіцієнта до 60%, тоді як норма - 5%.

Витрата робочої рідини для гербіцидів - діапазон 100- 200, для фунгіцидів - 150 - 300, для інсектицидів - 150 - 250 л / га. Відхилення фактичної норми витрати робочої рідини не повинно перевищувати 5% від заданої.

Швидкість руху обприскувача підбирається з урахуванням витрати робочої рідини на 1 га, що використовується розпилювача, робочого тиску, погодних умов, вищеописаних факторів і варіює для щільних розпилювачів - 6-8, інжекторних - 8-12 і при внесенні ґрунтових гербіцидів - до 16 км / год . Останні розробки розпилювачів компанії Сингента з конструктивними особливостями, дозволяють розширити швидкісні рамки, без зниження якості обробок.

Робочий тиск - в залежності від типу обраного розпилювача і витрати робочого розчину. Всі ці параметри тісно взаємопов'язані і необхідно підбирати, як то кажуть - золоту серединку. Головне, щоб була висока якість обробки, а якою розраховує поліпшити якість обробки піде мова нижче.

Збільшення швидкості руху обприскувача підсилює турбулентність вихідних потоків, що знижує керованість факелом розпилу. Тому проведення обробок на високих швидкостях вимагає використання особливих інженерних рішень.

Значна частина часу втрачається при заправках обприскувачів, пов'язана з великим обсягом споживаної води для приготування робочого розчину. Зниження обсягів робочої рідини з 200 л/га до 100 -150 л/га допомагає заощадити до 30% часу і коштів. Виняток становлять гербіциди для широколистих бур'янів контактної дії.

Погодні умови - один з вирішальних факторів, що впливають на якість обприскування, про що неодноразово зазначалося вище. Важливо враховувати їх вплив під час обприскування і після обприскування. Якісний захист культур можлива тільки при оптимальних погодних умовах.

Вимоги до погодних умов при різних видах обприскування:

1. Ультрамалооб'ємне обприскування (УМО) 1 - 10 л/га:

- швидкість вітру - не більше 2 м / с;
- температура повітря - не більше 15-17 ° С;
- вологість повітря - не менше 70%;
- обов'язкова наявність допоміжних речовин;
- відсутність конвекції повітря.

2. Малооб'ємне обприскування (МО) 10 - 50 л/га:

- швидкість вітру - не більше 2 м/с;
- температура повітря - не більше 18-20 ° С;
- вологість повітря - не менше 60%
- відсутність конвекції повітря.

3. Средньооб'ємне 50 - 400 л/га:

- швидкість вітру - до 3м/с;
- температура - до 22-23 °С;
- вологість - не менше 60%;
- відсутність конвекції повітря.

4. Високооб'ємне 400 л/га і більше:

- швидкість вітру - не більше 5 м / с;
- температура повітря - до 25 ° С;
- вологість повітря - до 75%.

Погодні обмеження при наземному обприскуванні:

- не обприскувати відразу після дощу;
- не обприскувати при ранковій росі;
- припинити обприскування, якщо швидкість вітру перевищує 5 м/с.

Використання авіації допускається у випадках відсутності можливості застосування наземної техніки або необхідності проведення обробок в стислі терміни на великих площах з обов'язковим дотриманням регламентів застосування пестицидів і списку дозволених пестицидів.

1.2 Фактори, що впливають на якість обприскування

Для ефективного і безпечного застосування засобів захисту рослин необхідно, щоб машини і обладнання для їх внесення забезпечували якісні показники технологічного процесу. Якість і точність внесення пестицидів в значній мірі залежать від грамотної настройки і регулювання обприскують техніки. Неправильне налаштування і регулювання машин і устаткування для застосування пестицидів призводять до непродуктивних втрат препарату, забруднення навколишнього середовища, перевищення допустимих залишкових кількостей в рослинницької продукції.

При використанні сучасних засобів захисту рослин найбільша ефективність досягається при строгому дотриманні трьох основних чинників:

- правильного вибору препарату,
- оптимальних термінів застосування,
- технології застосування, в тому числі правильного підбору розпилювачів.

Основною метою застосування препаратів є підтримка чисельності шкідників, хвороб і бур'янів нижче ЕПШ (економічного порогу шкодочинності). Від правильного вибору препарату залежить тільки половина успіху в захисних заходах. Друга половина успіху, або скажімо так - ефективності обробки, залежить від термінів і технології їх застосування. Обробка препаратом в потрібний час є важливим чинником. Наприклад, можливість контролю злакових бур'янів різко знижується після того, як бур'яни проходять фазу друге - третє справжніх листків: до цього моменту втрачається в середньому 1 ц / га потенційного врожаю пшениці. Вибір оптимального розпилювача забезпечує підвищення ефективності впливу препарату на ці бур'яни. Ідеальною точності в таких випадках добитися не дуже просто, так як дуже багато різних зовнішніх і внутрішніх факторів, що на це вплив, але прагнути до цього потрібно.

При сучасній інтенсифікації сільськогосподарського виробництва неможливо поки обійтися без засобів захисту рослин (далі - ЗЗР) і сучасних методів контролю різних шкідливих об'єктів на сільськогосподарських культурах. Так за даними ФАО при ООН щорічні світові втрати сільськогосподарської продукції від шкідливих організмів становлять близько 35%, в тому числі від шкідників - 13,8%, хвороб - 9,2% і бур'янів - 12%. На сьогодні 40% світового виробництва продуктів харчування отримано в результаті застосування ЗЗР. Тому необхідне правильне, обгрунтоване застосування препаратів із захисту рослин з метою реалізувати не тільки потенціал рослин, а й отримувати кінцеву продукцію не містить залишкових кількостей пестицидів вище гранично допустимих норм. Нестача коштів, обприскують техніки, запасних частин і приладдя до неї, значні площі обробок, прагнення знизити витрати на виробництво (як приклад - необгрунтоване зменшення витрати робочої рідини, придбання дешевих, дженерикових препаратів, іноді навіть не зареєстрованих в РК), несприятливі погодні умови, поспіх при виконанні польових робіт часто призводять до негативних результатів, слабку ефективність проведених

робіт. Реалії сучасного бізнесу змушують рахувати кожен тенге, витрачену на отримання якісного врожаю. При сформованих цінах на ЗЗР головне завдання полягає в отриманні максимальної ефективності від їх застосування.

Професійне внесення ЗЗР може здійснюватися на швидкостях від 6-8 до 14-16 км / год і більше, з нормою витрати робочої рідини 100 - 150 л / га, з використанням різних типів розпилювачів залежно від цільового об'єкта, стану культури, погодних та інших умов. Інакше кажучи, при використанні ЗЗР необхідно звертати пильну увагу не тільки на їх різноманітності і вартості, але і на підвищенні технології їх застосування. До недавнього часу сільське господарство не мало тими знаннями і можливостями, які з'явилися в даний час. Традиційно на обприскувачах майже у всіх господарствах по республіці використовуються щілинні розпилювачі з плоским факелом одного-двох розмірів, з великою варіацією величини вироблених крапель, а швидкість обприскування становить в середньому 8-14 км/год (а на самохідних часто доходить до 24-28 км/годину) з витратою робочої рідини 200-300 і більше л / га (а на самохідних обприскувачах знижують до 50-80 л/га і в даному випадку якість обробки можна поставити під великий сумнів, особливо при несприятливих погодних умовах, неправильно підібраних розпилювачі, обліку термінів їх придатності, зносу і т.д.).

Об'єктами для обробки в сільськогосподарському виробництві є в першу чергу бур'яни, шкідники та хвороби, і природно - грунт, на якій вирощуються культури і виростає бур'яниста рослинність. І основною метою тут є своєчасна діагностика і правильний вибір препарату, а також утримання чисельності шкідників, різних патогенів та бур'янів нижче економічного порогу шкодочинності (далі - ЕПШ). Завдання агронома і оператора при обприскуванні - забезпечити максимально можливе потрапляння і утримання продукту на цільових об'єктах обробки без втрати робочого розчину. Ідеальна точність в більшості випадків не досяжна, тим не менш, характер розподілу факела розпилу на оброблюваної поверхні,

здатність проникати, покривати її і утримуватися на ній має вирішальне значення для ефективної обробки. Це багато в чому залежить від цільового об'єкта, дії препарату, застосованих розпилювачів, знань і умінь адаптувати обробку до конкретних умов. При плануванні та проведенні захисних заходів слід враховувати особливості виду обробки і культури. В одному випадку параметри обробки можуть бути ефективні, то в іншому - немає або зовсім не приносять користі. Кожен вид обробки переслідує певну мету, і в сукупності з особливостями обробки розробляються рекомендації і виділяються пріоритети.

Наприклад:

- При внесенні досходових гербіцидів важливо забезпечити рівномірність і високу щільність покриття на поверхні ґрунту, що забезпечується великою кількістю крапель.

- При гербіцидних обробках по сходам культур краще використовувати розпилювачі, які виробляють велику краплю, це зменшить знос і поліпшить проникнення розчину крізь стеблестой до бур'янів.

- Для фунгіцидних і інсектицидних обробок, особливо контактними препаратами, а також десикації, краще використовувати розпилювачі з дрібною дисперсією, щоб забезпечити гарне проникнення і краще відкладення розчину з максимальною площею покриття органів рослин по ярусах.

До всього іншого на ефективності можуть позначитися умови, на які ми не можемо вплинути (погода, закони фізики, людський фактор (допускаються помилки)). Оптимальними умовами для проведення обприскування є: температура повітря від 12 до 25 ° С, вологість повітря 70-80%, швидкість вітру не більше 5-6 м / с, відсутність опадів, в тому числі туману і роси. Відхилення від оптимальних умов можуть призвести до багаторазового зниження або відсутності ефективності обробки, а також можуть завдати шкоди навколишньому середовищу. В деяких випадках допустимі незначні (порогові) відхилення при використанні спеціальних

добавок (адьювантов) і технічних новинок, засобів, що не суперечать регламенту використання конкретних препаратів. і навіть в цих випадках немає гарантій на успішну обробку, і в даному випадку всю відповідальність несе виконавець. Є випадки таких обробок, в результаті яких виконавець звинувачує виробників препаратів за їх низьку ефективність, і не визнається в порушеній її регламентів і умов застосування їх. Все це легко розкривається при комісійних перевірках на місцях.

Основні вимоги до параметрів розпилу з метою досягнення найкращих результатів ґрунтуються на наступних показниках: здатності утримуватися; площі покриття і розподілу.

Ці параметри залежать як від препарату, так і від цільового об'єкта. Все розпилювачі, в залежності від типу, конструкції, діапазону тиску, виробляють різну кількість і спектр крапель різних розмірів (дуже дрібні, дрібні, середні, великі і дуже великі), а пропорційне їх співвідношення може змінюватись. Оператори можуть використовувати даний факт для адаптації розміру крапель до густоти покриття і цільового об'єкту обробки. Розмір крапель важливий в будь-якому випадку (рис.1). І тут дуже важливо пам'ятати (при виборі розпилювача і ефективності обробки) основні три фактори - об'єкт обробки, препарат і ризик знесення.

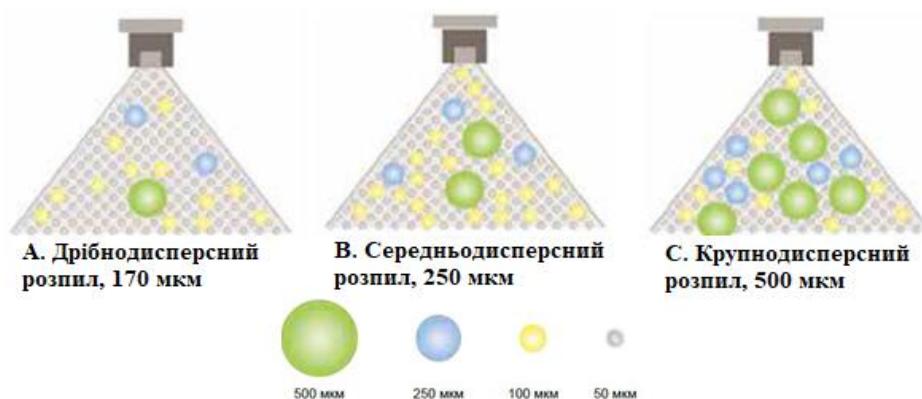


Рис. 1 - Пропорційне співвідношення розміру крапель у факелі розпилу

Дуже дрібні і дрібні краплі, а також середні - найефективніші краплі, краще утримуються на поверхні рослин, ніж великі краплі, які мають тенденцію скочуватися з поверхні. Переважання дрібних крапель у факелі

розпилу необхідно при обробці таких бур'янів, як вівсюг, види просянок на злакових культурах, при обробці бур'янів на горосі, в сім'ядольні стадії на цукровому буряку, інших культурах, а також при застосуванні контактних фунгіцидів і інсектицидів. Але дрібні краплі дуже сильно схильні до зносу і випаровуванню. Тому дуже важливо строго дотримуватися швидкісного режиму обприскувача, дотримуватися оптимальної зовнішньої температури повітря і мінімальних показників вітру. Великі краплі, проте, на диво добре підходять для культур, легко утримують краплі, наприклад, квасоля або олійні культури (через опушенности листя, що не дає їм скочуватися або при ударі відлітати, як наприклад на капустяному листі). Значний вплив на здатність краплі утримуватися на оброблюваній поверхні надають прилипачі (ад'юванти), що містяться в препаратах або додані в робочий розчин при обробках. Знижуючи динамічний поверхневий натяг розпилюються крапель, дані кошти можуть скоротити непродуктивні втрати. Великі краплі легко проникають в стеблестой злакових культур, менше схильні до зносу і випаровуванню, але їх ефективність, особливо з контактними препаратами, може бути низькою. Найчастіше такі краплі краще підходять для внесення системних і ґрунтових гербіцидів.

При заданому обсязі рідини зменшення розміру розпилюваних частинок вдвічі, призводить до восьмиразового збільшення кількості утворених крапель, при цьому площа покриття плоскої поверхні листа або ґрунту може зрости до 4 разів (рис.2). Цього можна домогтися шляхом підбору розпилювачів малих розмірів або збільшенням тиску в робочій системі обприскувача, але розпилювачі з малими розмірами менше витрачають робочого розчину, можуть забивається частіше і допускати огріхи при обробках. І навпаки - розпилювачі великих розмірів менше схильні до засмічення, але більше витрачають робочого розчину, а зі збільшенням тиску збільшується і витрата робочого розчину, і кількість дрібних крапель. В даному випадку витрата робочого розчину на 1 га потрібно регулювати швидкістю руху обприскувача, щоб залишатися в

заданих параметрах. І не треба забувати про те, що саме дрібні краплі найбільш ефективні, але сильно схильні до зносу і випаровуванню.

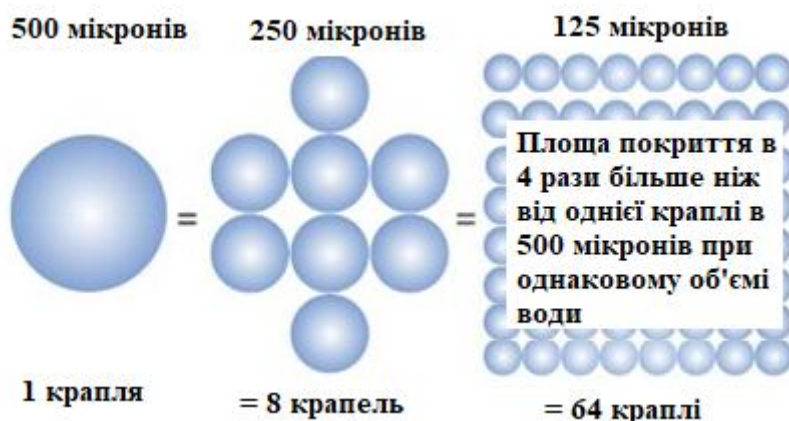


Рис. 2 - Взаємозв'язок між розміром і кількістю крапель

Тому, коли об'єкт розпилення має малі розміри, наприклад, злакові бур'яни на стадії появи другого справжнього листка, або скажімо личинки шкідника молодших вікових груп, розпил, який містить велику кількість дрібних крапель, значно підвищить шанси потрапляння в ціль при суворому обліку зовнішніх факторів. Дрібні краплі краще пересуваються в горизонтальній площині між листям, забезпечуючи проникнення і покриття в разі широколистяних культур. При заданому обсязі рідини частинки малих розмірів забезпечують набагато більш повне покриття поверхні листа. Для продуктів системної дії достатнім є потрапляння лише кількох крапель, що містять активні інгредієнти, але для контактних препаратів повне покриття поверхні листа є важливим фактором.

Здатність до проникнення всередину стеблостою - один з ключових чинників, що впливають на вибір параметрів обприскування. Злакові культури являють собою вертикально зростаючі об'єкти, тому для них оптимальні краплі великого розміру з хорошою проникаючою здатністю, що падають вертикально вниз. У випадку з широколистяними культурами, навпаки, великі краплі осідають на верхній поверхні листя і не потрапляють на нижні яруси. Наприклад, для проникнення в стеблестой картоплі або бавовнику краще використовувати мелкодисперсне розпорошення, тому що дрібні краплі переміщуються як в горизонтальній площині, так і краще

проникають всередину крізь яруси листків. Досліди і практика перевірки якості обприскування на ВЧБ (водочутливої папері компанії Сингента) підтверджують це. Дрібні краплі за рахунок турбулентності проникають в усі яруси стеблостою, а також на нижню сторону листя, що дуже важливо при боротьбі зі скритноживущіми шкідниками, що знаходяться і харчуються на нижній стороні листя. Такі краплі долітають навіть до самої землі. Але турбулентність, особливо при високих швидкостях руху обприскувача, може знизити якість обприскування за рахунок повільного осідання крапель і їх випаровування, тим більш, коли до уваги береться вітер і температурний режим при обробках.

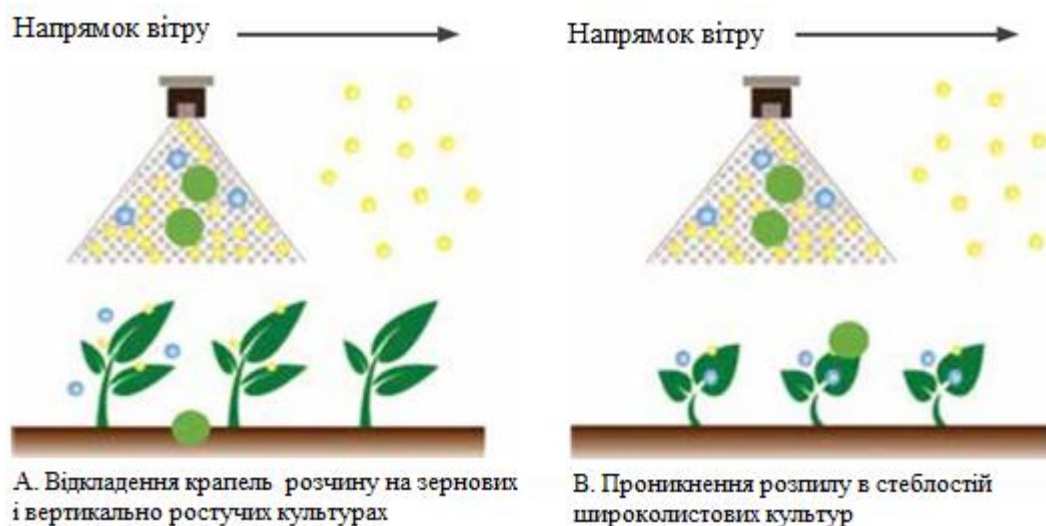


Рис. 3 - Відкладення і проникнення розпилю в стеблостій с / г культур

Зрозуміло, що чим більше швидкість вітру, дрібніше крапля робочого розчину і вище розташована штанга обприскувача, тим сильніше буде знесення крапель. Що призводить і до нерівномірності покриття, і до небезпеки попадання пестицидів на сусідні поля або нецільові об'єкти. Тут можна послатися на довідкові матеріали компанії «Lechler». При роботі з дрібнокрапельними форсунками не варто працювати при швидкості вітру вище 3 м / сек, середньокрапельними - 4 і крупнокрапельними - 5 м / сек. Варто мати на увазі, що навіть крупнокрапельні форсунки завжди дають деякий розкид в розмірі щодо медіанного значення, і наявність навіть невеликої частки дрібних крапель гербіциду при значному вітрі може привести до вкрай неприємних наслідків. За дужками залишаємо різні

спеціальні моделі обприскувачів (з примусовим осадженням або повітряним рукавом), які дозволяють працювати при великих швидкостях вітру. Виробники стверджують про можливість використовувати таку техніку при швидкості вітру до 8 - 10 м / сек.

Для одночасного визначення на місці температури, вологості і швидкості вітру можна використовувати кишенькові термоанемометри/гігрометри. Такі прилади коштують в районі 70 - 200 дол. США в залежності від моделі та відносяться до розряду дуже корисних придбань. По верхньому порозі рекомендованих обмежень швидкості вітру ми поговорили. Однак можуть створитися погодні умови, коли знос стає небезпечним в умовах майже повного затишшя. Досить часто для того, щоб уникнути роботи в умовах вітру, спеки і низької вологості повітря, доводиться працювати у вечірні або нічні години. Тим більше, що сучасні навігаційні системи дозволяють це робити.

Але малохмарного вечера або ясної безвітряної ночі можуть створитися умови приземної температурної інверсії - коли температура біля поверхні землі виявляється нижче, ніж в приземному шарі повітря. В цьому випадку при високій вологості повітря дуже дрібні краплі робочого розчину формують туман, який може накопичуватися в значній концентрації в місцях пониження рельєфу, мігрувати під дією слабого вітру на досить значні відстані (сотні і навіть тисячі метрів) і осідати, зберігаючи свою активність зовсім не там, де ми цього очікували. З відповідними, найчастіше досить неприємними (особливо якщо мова йде про гербіцидах) наслідками.

Імовірність приземної температурної інверсії вище в вечірні та нічні години в малохмарну або ясну погоду при вітрі менше 1,5 м / сек. Її ознаками можуть бути туман або серпанок, а також рясні роси. Інверсійні явища, як правило, починають формуватися за кілька годин до заходу сонця і зберігаються до двох годин після сходу. Іноді для перевірки рекомендують запалити димову шашку: якщо дим буде стелитися над землею, повільно мігруючи, - це ознака інверсії.

Ще простіше виміряти температуру повітря в 10 - 15 см і в 2 - 3 м над поверхнею землі (термометр при цьому повинен перебувати в тіні), щоб вловити цей ефект. Якщо ближче до землі температура нижче, ніж на висоті, - температурна інверсія в наявності. Тому в ясні маловітряна вечора і ночі треба бути вкрай обережним, особливо при використанні дрібнокраплинних форсунок.

Потік повітря, створюваний обприскувачем при русі, робить негативний вплив на факел розпилу. Повітря захоплює більш легкі краплі, що повільно рухаються і не дає їм можливості потрапити на оброблювану культуру, її листя. Проблема посилюється підвищенням швидкості переміщення сучасних обприскувачів: чим вище швидкість, тим більше створюється потік повітря. При збільшенні поступальної швидкості вдвічі коефіцієнт турбулентності зростає в 4 рази. Невелике збільшення швидкості переміщення має значні наслідки, так само як розпорошення проти вітру в порівнянні з розпиленням за напрямком вітру. Зменшити знесення робочої рідини можна шляхом збільшення середнього розміру крапель за рахунок зниження робочого тиску, а також швидкості обробки. Однак в деяких випадках це може призвести до зниження якості розпилення і погіршення результатів обробки. При підвищенні швидкості зростає турбулентність, яка ускладнює управління факелом розпилу. Необхідно використовувати нові технологічні та інженерні рішення для зниження зносу крапель і підвищення ефективності застосування препаратів. Такі рішення у компанії «Сингента» є і про них піде мова трохи нижче.

Низька температура уповільнює метаболізм у рослин, висока температура може викликати стрес.

Оптимальний час проведення обробок - ранкові та вечірні години, а також у нічний час, особливо при значних посівних площах і обмеженого оптимального часу проведення захисних заходів.

Важливу роль в ефективності застосування пестицидів відіграє якість води. Необхідно заздалегідь з'ясувати, чи володіє вода, яка використовується

для приготування робочого розчину якість, які можуть негативно вплинути на дію препаратів. В першу чергу потрібно звернути увагу на етикетку на тарній упаковці використовуваного препарату. Там наведено основні вимоги до умов приготування робочого розчину.

Частинки ґрунту, рослинні залишки, водорості можуть бути причиною засмічення або повного перекриття отворів розпилювачів, фільтрів, інших складових системи обприскувача. Потрапляючи в робочий розчин, можуть зв'язувати діючу речовину препарату, що позначається в кінцевому підсумку на ефективності обприскування.

Жорстка вода - вода, що містить високі концентрації солей кальцію і магнію. У більшості випадків препарати, чутливі до жорсткої води, в своєму складі містять речовини, що дозволяють нівелювати цей вплив.

Кількість розчинених солей можна заміряти в сухому зразку або за показником електропровідності. Важливо не значення кожного елемента, а загальна електропровідність розчину. Оптимальний рівень електропровідності - 0,3-0,7 мСм / см, вимірювати цей показник можна портативним ЕС-метром. Слід зазначити, що бікарбонати в концентрації більше 500 мг/л можуть знижувати ефективність дії гербіцидів на основі 2,4-Д.

Деякі пестициди в жорсткій воді випадають в осад, що значно знижує ефективність препарату, а також призводить до забивання форсунок. Багато гербіцидів знижують ефективність при жорсткості води понад 8°Ж (4 ммоль/л).

Жорсткість води залежить від пори року і погодних умов. Як правило, у поверхневих джерел вона максимальна в кінці зими і мінімальна в період паводків. Даний показник можна виміряти в лабораторії або за допомогою портативних приладів, зокрема TDS-метрів.

Проблему зайвої жорсткості води можна вирішити додаванням спеціальних речовин.

Кислотність води. Рівень рН природної води знаходиться в межах 6,5-8. Вода з рН 8 володіє лужними властивостями, що призводить до явища лужного гідролізу. Саме тому не слід залишати на ніч вже приготований робочий розчин - в процесі лужного гідролізу змінюється хімічна структура діючої речовини, що неминуче впливає на ефективність обприскування.

Електропровідність води - залежить від містяться в ній розчинених солей і температури. Висока концентрація іонів Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- часто є причиною погіршення розчинності кристалічних пестицидів. «Солонна» вода з часом змінює свою кислотність через буферні властивості. Оптимальний рівень електропровідності 0,3-0,7 мС/см.

Вода не повинна бути дуже холодною (тільки зі свердловини) або занадто гарячою (в закритій ємності під палючим сонцем). Важливо врахувати і такий чинник, що багато сільгоспвиробників використовують робочі суміші пестицидів і азотних добрив (аміачна селітра, карбамід та ін.), Останні при розчиненні знижують температуру робочого розчину на 5-8 °С, особливо якщо вода береться з свердловини, яка і так до 10 і більше градусів нижче навколишнього температури повітря. Тобто рослини в цьому випадку отримають серйозний стрес. Препарати в холодній воді погано розмішуються. Необхідно дати воді зі свердловини нагрітися до температури навколишнього середовища, а потім вже використовувати для приготування робочого розчину і обприскування.

Кислотність і електропровідність води можна самостійно тестувати. Занадто «солону» воду можна розбавляти з інших джерел. Кислотність і жорсткість води регулюється за допомогою спеціальних комерційних продуктів. Для отримання інформації про «переваги» використовуваного пестициду слід звернутися до етикетки препарату.

Слід пам'ятати, що якість природної води, використовуваної для обробок, може сильно змінюватися в залежності від погодних умов, особливо після зливових дощів.

1.3 Використання технологій точного землеробства для операцій обприскування

Використання технологій точного землеробства, таких як автоматичне водіння та автоматичне керування секцією штанги на основі карти, на сільськогосподарських обприскувачах значно зросло за останні кілька років. Метою цих систем є зменшення похибки внесення пестицидів за рахунок зменшення перекриття між проходами або шляхом вимкнення секцій штанги, коли штанга проходить над раніше покритими ділянками або за межі поля.

Технології точного землеробства забезпечують широкий спектр переваг агровиробникам. Глобальні системи позиціонування (GPS) і геоінформаційні системи (GIS) є основою розвитку цих технологій. Виробники використовували ці системи для пасивного збору даних, наприклад для відбору проб ґрунту, картографування врожайності комбайнами та картографування меж поля. Останнім часом виробники почали використовувати технології точного землеробства як системи управління різними видами сільськогосподарської техніки. На тракторах, комбайнах, машинах для внесення добрив і самохідних обприскувачах зазвичай використовуються засоби GPS-навігації, такі як світлові панелі та автоматичні системи навігації.

Однією з головних цілей кожної системи є зменшення помилок застосування шляхом контролю перекриття між суміжними проходами поля. Ці системи часто порівнюють із пінними маркерами, які все ще є популярним допоміжним посібником для багатьох виробників, щоб визначити їхню ефективність для підвищення точності розпилення. Повідомлялося про помилки до 10% при використанні пінних маркерних систем. Показано, що допоміжні засоби наведення зі світловими панелями підвищують ефективність на 2-3% за оптимальних імітованих умов розпилення порівняно з пінними маркерами. У той час як системи світлових смуг все ще певною мірою покладаються на здатність оператора, система

автоматичного керування, що використовує GPS-приймач у реальному часі (RTK), зазвичай може контролювати перекриття під час послідовних проходів з точністю до кількох сантиметрів.

Використання цих технологій дає виробникам можливість зменшити повторну обробку, пов'язану з обприскуванням. GPS та ГІС часто використовуються разом, щоб визначити та застосувати оптимальні норми внесення засобів рослинництва. Одним із прикладів є використання GPS та ГІС для забезпечення внесення насіння та добрив на основі карт зі змінною нормою внесення. Цей метод дозволяє виробникам націлити відповідні ресурси на високопродуктивні ділянки поля, щоб оптимізувати віддачу. Ще однією нещодавньою розробкою, що використовує ці технології, є автоматичне керування секцією штанги на основі карт. Такі системи, по суті, записують попередньо обприскані ділянки та вимикають секції штанги, коли вони проходять над цими ділянками під час наступних проходів. Незважаючи на те, що конкуруючі системи були розроблені багатьма компаніями, кожна з них має однакову мету – зменшити надмірне використання пестицидів, таким чином зменшивши як витрати виробників, так і негативний вплив на навколишнє середовище. Ці системи, як правило, здатні контролювати від п'яти до тридцяти секцій керування. Додаткова перевага, пов'язана з багатьма з цих систем, полягає в тому, що можна ввести межі для визначення «зон без розпилення», таких як водні шляхи з травою та території за межами поля.

Збільшення практики нульового землеробства виробниками посилює проблеми, пов'язані з надмірним застосуванням пестицидів. Це пов'язано з тим, що культури, висаджені за технологією No-till, часто обприскують два-три рази протягом одного вегетаційного періоду.

Початкову обробку застосовують перед посівом, щоб усунути будь-який ріст бур'янів протягом зими, і одну або кілька обробок пестицидами після сходів застосовують для контролю росту бур'янів або шкідників протягом вегетаційного періоду. Такий підхід до боротьби з бур'янами дає

оптимальні результати. Було проведено дослідження щодо хімічного зменшення використання пестицидів на певному місці, в якому хімікати застосовуються лише до тих ділянок поля, де є бур'яни. Однак цей метод зменшення використання хімікатів, ймовірно, буде непрактичним у ситуаціях, коли необхідно обприскувати цілі поля, щоб знищити бур'яни під час внесення пестицидів до посіву без обробки і ширина штанги перевищує 30 м. Керування цими великими обприскувачами в ручному режимі з декількома секціями штанги показало, що надмірне внесення внаслідок перекриття буде значним.

Досвід агровиробників, які використовують певну форму автоматичного керування секціями штанги, вказують на те, що ці системи забезпечують економію під час внесення пестицидів. Суттєва економія може бути реалізована за допомогою автоматичного керування штангою; однак це дослідження було проведено з використанням гіпотетичних полів і припущено, що не буде помилок перекриття в результаті керування секціями автоматичної штанги. Впливу факторів форми поля на надмірне застосування в минулому приділяли мало уваги; однак деякі дослідження показали, що такі фактори, як співвідношення периметра до площі (П/П), можуть впливати на загальні помилки. Основною метою цього дослідження було продемонструвати ефективність автоматичного керування секцією штанги для зменшення перекриття на кількох полях. Цілі цього дослідження полягали в тому, щоб: 1) оцінити різницю в надмірному внесенні пестицидів за допомогою ручного контролю секції штанги з п'яти секцій і автоматичного контролю секції штанги з семи секцій, 2) визначити, чи існує будь-який зв'язок між надмірним внесенням і співвідношення П/П для досліджуваних полів для обох систем управління секціями.

2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Для дослідів було обрано поля правильної та неправильної форми, багато з яких містять перешкоди, такі як вкриті травою водні шляхи та дерева. Для цього аналізу було відібрано двадцять одне поле загальною площею 578 га, яке представляє різні форми та розміри. Деякі з полів були вільні від перешкод, а інші містили численні вкриті травою водні перепони та дерева.

Поля з 1 по 21 мали розміри від 3,1 до 101 га, середня площа 27,5 га. Досліджувані поля отримали перші досходові гербіциди протягом вегетаційних сезонів 2023 та 2024 років.

Для дослідження використовувався обприскувач (Apache AS710, Equipment Technologies, Mooresville, Ind.), оснащений штангою 24,76 м (ширина розпилення), що складається з 65 сопел, розташованих через кожні 38,1 см. Приймач DGPS (Phoenix 2(H), Raven Industries, Sioux Falls, S.D.) надавав дані GPS із частотою 10 Гц до систем керування обприскувачем. Система автоматичного керування (SmarTrax, Raven Industries, Sioux Falls, S.D.) була встановлена на обприскувачі для підтримки перекриття між послідовними проходами по полю на 15 см. Оператор використовував контролер норми розпилення (SCS 4400, Raven Industries, Sioux Falls, S.D.), щоб підтримувати норму внесення системи під час операцій розпилення. Контролер норми розпилення також надав оператору можливість вручну керувати окремими секціями штанги обприскувача.

Польовий комп'ютер, встановлений на обприскувачі (Envizio Plus, Raven Industries, Sioux Falls, SD), наносив на карту ділянки поля, які були обприскані під час попередніх проходів по полю, і відображав цю інформацію оператору. Крім того, польовий комп'ютер записував GPS-координати, швидкість руху, курс транспортного засобу над землею, зони покриття обприскуванням, дані про висоту та приблизну кількість розпилення під час польового внесення. Ці дані збиралися з мінімальною

частотою 1 Гц, а додаткова інформація збиралася, коли секції штанги вмикалися або вимикалися. Площі обприскування були записані польовим комп'ютером шляхом створення полігонів і збереження їх у шейп-файлах. Обприскувач створював би кожен полігон за поточними GPS-координатами, використовуючи пройдену відстань із попередньо записаних GPS-координат і контрольних секцій, які були ввімкнені протягом цього часу. Якщо ввімкнути всі контрольні ділянки, то ширина полігону склала б 24,76 м; однак, якщо ввімкнено лише деякі розділи керування, ширина багатокутника буде рівною ширині цих розділів.

Під час першого сезону штанга була розділена на п'ять секцій, якими оператор міг індивідуально керувати за допомогою перемикачів на регуляторі норми розпилення. Зовнішня ліва та права секції мали ширину 305 см, середні ліва та права секції штанги мали ширину 609 см, а центральна секція штанги мала ширину 648 см. Оператор був змушений керувати цими секціями вручну, вмикаючи та вимикаючи секції штанги на основі дисплея польового комп'ютера або ділянок поля, позначених піною. Однак під час особистого спілкування з оператором стало відомо, що ручне керування окремими секціями штанги використовується рідко, і вся штанга зазвичай вмикається та вимикається як одна секція керування. Причиною цього було те, що обприскувач часто проходив понад 19 км/год під час входу в зони розвороту (точкові ряди), що залишало мало часу для оператора, щоб активувати перемикачі окремих секцій під час керування та дроселювання для виконання поворотів у цих місцях.

Перед початком другого сезону до обприскувача було додано два додаткових клапани потоку, щоб розділити дві зовнішні секції штанги навпіл. Початкові 305 см контрольні секції були розділені на дві 152,5 см контрольні секції, що забезпечило загалом сім окремих контрольних секцій по всій штанзі обприскувача. Потім до системи керування обприскувачем було додано вузол автоматичного керування секцією штанги (AssuBoom, Raven Industries, Sioux Falls, S.D.). Автоматична система керування секцією

штанги працювала разом із польовим комп'ютером для моніторингу оброблених ділянок поля. Система контролю була створена для того, щоб було повне покриття поля. Наприклад, у випадку точкових рядів секцію штанги не вимикатимуть, доки вона повністю не пройде на попередньо обприскані ділянки, фактично двічі обприскуючи невелику частину площі поля, але забезпечуючи повне покриття під час внесення гербіцидів із появою сходів.

Шейп-файли зони покриття, що складається з кількох полігонів, було завантажено з польового комп'ютера у квітні 2024 року. Польовий комп'ютер зберіг географічні координати кожного полігону як широту та довготу у форматі десяткових градусів. Файли були імпортовані в ArcMap (ArcGIS v9.3, ESRI, Redlands, Cal.) і спроектовані з формату WGS84 у систему координат NAD 1983 State Plane Kentucky FIPS 1600 м. Високоякісні аерофотознімки, зроблені в 2020 році, були завантажені для кожного поля та імпортовані в ArcMap. Після того, як були спроектовані шейп-файли, зареєстровані полігональні площі покриття були підсумовані, щоб визначити загальну оброблену площу (га) для кожного поля. Потім для кожного поля створювали межі полів шляхом оцифрування зовнішніх полігонів зони покриття, збережених для кожного поля.

Будь-які вкриті травою водні перепони або інші польові перешкоди, які не можна було обприскувати, були виключені з межі поля. Межі поля були збережені як один багатокутник у NAD State Plane Kentucky FIPS проекційних географічних координатах. Площа поля була розрахована та збережена в га за допомогою інструменту «обчислити геометрію» в ArcMap. Для кожного поля відсоток перевищення площі покриття визначали шляхом віднімання площі поля від площі обприскування, а потім ділення цієї різниці на площу поля. Крім того, ArcMap використовувався для розрахунку периметра кожного поля. Периметр включав межі водних перешкод та інші включення поля. Периметр (м) розділили на площу поля (м²), щоб визначити співвідношення П/П (м⁻¹) для кожного поля. Потім було нанесено

графік залежності повторного внесення пестицидів у результаті ручного та автоматичного контролю секції штанги проти співвідношення П/П, а лінії тренду були підігнані до цих даних, щоб визначити, чи існує залежність між надмірним внесенням пестицидів і співвідношенням П/П. Співвідношення П/П також було нанесено на графік відносно площі поля (га), щоб проілюструвати зв'язок, який існував між формою та розміром досліджуваних полів.

Відсоток перевикористання в зоні охоплення (або всі поля з першого та другого сезонів було імпортовано в MS Excel. Для даних першого та другого сезонів було створено гистограми, щоб перевірити, чи вони розподілені нормально. Було проведено статистичний аналіз в SAS з використанням узагальненої лінійної моделі для перевірки ефектів обробки, щоб визначити чи два види обробки застосованих в зоні охоплення для досліджуваних полів (ручне керування штангою з п'ятьма секціями проти автоматичного керування штангою з сімома секціями) призвели до значних відмінностей у відсотках. У цих статистичних аналізах використовувався тест двосторонньої найменшої значущої різниці (LSD) і відмінності вважалися значущими при значенні альфа 0,05.

3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ

Графік полігонів зони покриття, згенерований польовим комп'ютером для поля 20 за допомогою ручного та автоматичного керування секціями штанги, показано на рис. 4. Під час обох застосувань оператор розпочав обприскування, виконавши один прохід навколо межі поля. Потім були зроблені наступні паралельні проходи, щоб завершити внутрішню частину поля. Паралельні проходи починалися на південній межі поля і просувалися на північ. Можна побачити, що основна перевага автоматичного керування секціями штанги відбулася вздовж північно-східної межі поля, де існують точкові ряди. Під час першого проходу через попередньо оброблену межу оператор намагався зменшити надмірне внесення, ввімкнувши вручну п'ять секцій штанги. Однак під час наступних проходів оператор контролював всю штангу одночасно, що призводило до надмірного перекриття. Під час польового внесення з ручним керуванням оператор також розпилив невелику частину за межами поля, яка виглядає як водний шлях із травою. Зрозуміло, що надмірне перекриття вздовж північно-східної межі було зменшено за допомогою автоматичного керування секцією штанги.

Тут польовий комп'ютер контролював, які секції штанги вмикаються на основі попередньо обприсканих площ. Додаткові переваги використання менших секцій керування на кінцях штанг також очевидні на рис. 4. Під час першого проходу на південному кінці поля (за винятком граничного проходу) обприскувач перекривався на раніше розпилену межу і польовий комп'ютер відключав зовнішню праву секцію штанги, щоб зменшити перекриття.

Важливо відзначити, що більшість скорочень зон покриття застосування з першого до другого сезону пояснюється додаванням автоматичного керування секціями штанги. Однак ще одним фактором зменшення надмірного використання є додатковий контрольний розділ. На

рис. 5 наведено приклад цього шляхом порівняння трьох сценаріїв роботи обприскувача в точкових рядах.

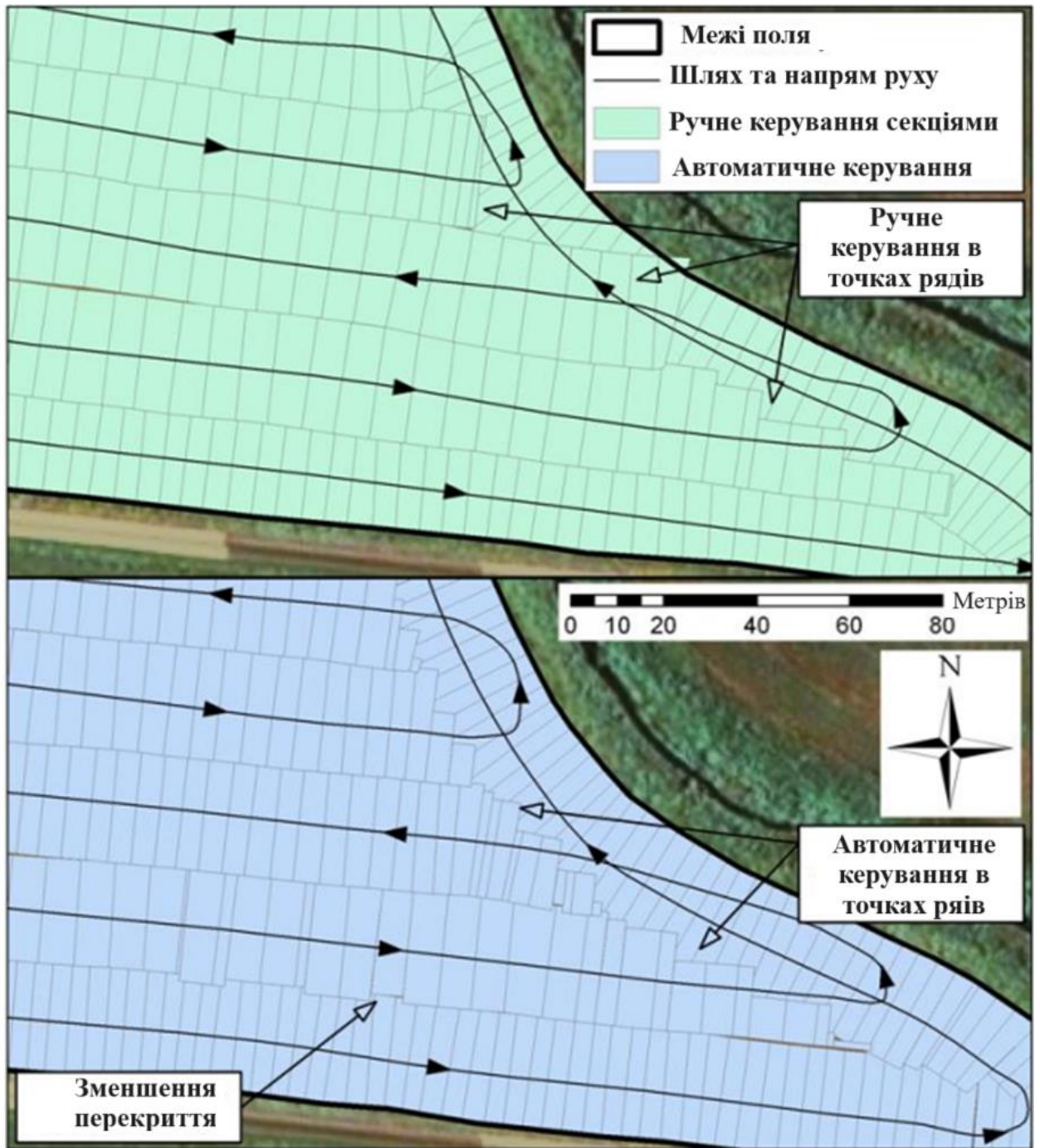
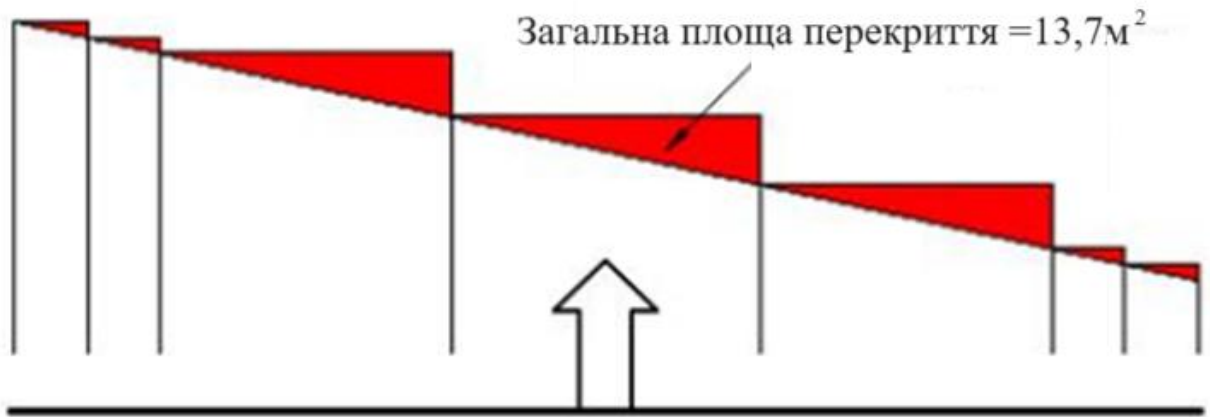
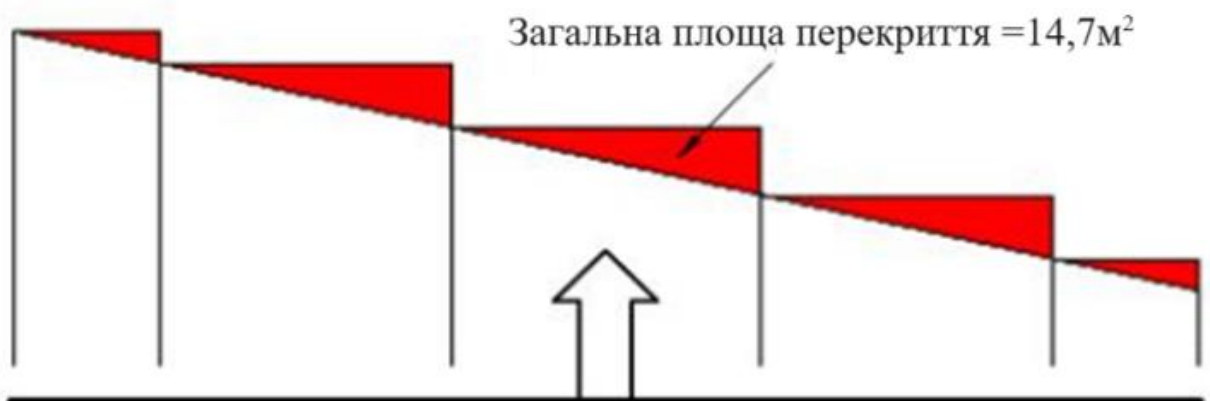


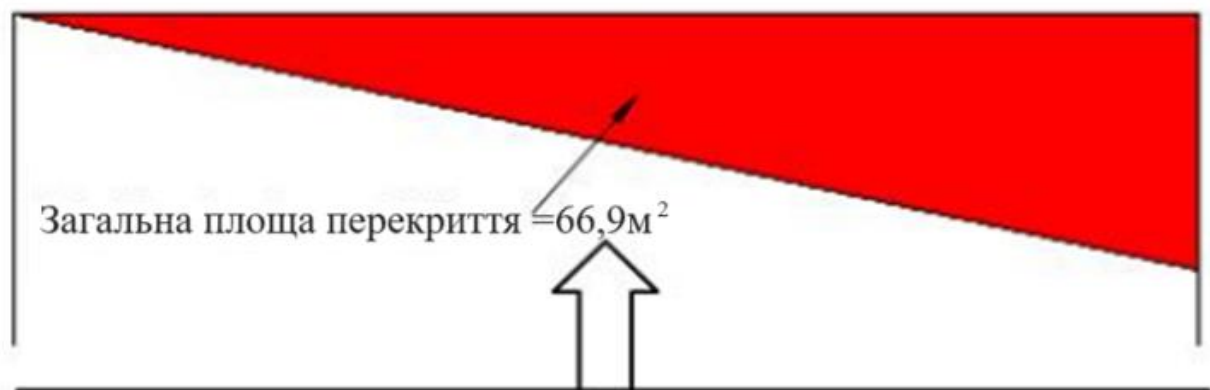
Рис. 4 - Багатокутники зони покриття, створені польовим комп'ютером для (верхнього) ручного та (нижнього) автоматичного керування секціями штанги (напрямок руху обприскувача позначено стрілками), накладені на аерофотознімок



Сценарій 3: Штанга 24,76м з 7-ма керованими секціями



Сценарій 2: Штанга 24,76м з 5-ма керованими секціями



Сценарій 1: Штанга 24,76м з 1 керованою секцією

Рисунок 5 - Три сценарії, що зображують обприскувач, що проходить у попередньо обприскані точкові ряди (заштриховані), порівнюючи перекриті площі, досягнуті з однією секцією штанги ($66,9\text{ м}^2$), п'ятьма секціями штанги ($14,7\text{ м}^2$, 78% зменшення) та семи секціями штанги ($13,7$). м^2 , 79,5% зменшення). Дві додаткові контрольні секції у сценарії 3 забезпечили приблизно 1,5% додаткової економії порівняно зі сценарієм 2

Якби штанга розпилювача працювала лише з однією контрольною секцією (сценарій 1), утворилася б площа перекриття 66,9 м², коли штанга проходила в попередньо обприскані межові ряди. З п'ятьма контрольними секціями, що представляють перший сезон обприскування та конфігурацію штанг (сценарій 2), перекриття було б зменшено на 78% порівняно зі сценарієм 1, якби секції штанг були вимкнені в точці повного покриття з мінімальним перекриттям. Використовуючи сім контрольних секцій, що представляють конфігурацію штанги другого сезону (сценарій 3), перекриття було б зменшено на 79,5% порівняно зі сценарієм 1. На основі рисунка 2 додавання двох контрольних секцій призвело до додаткового зменшення покриття на 1,5% області. Таким чином, дві контрольні секції, додані між сезонами обприскування, могли вплинути на надмірне застосування, як обговорювалося раніше.

Рівень повторного внесення для досліджуваних полів узагальнено в таблиці 1. Помилки внесення надмірного перекриття з першого сезону (ручне керування секцією штанги) становили в середньому 12,4% для всіх полів. Додавання двох контрольних секцій разом із автоматичним керуванням секціями штанги протягом другого сезону призвело до нижчого відсотка перевищення площі покриття, у середньому на 6,2%. Статистичний аналіз використовував двобічний тест ЛСД, щоб визначити, чи було зменшення надмірного застосування значним. Відмінності між обробками (ручний контроль з п'яти секцій проти автоматичного контролю з семи секцій) вважалися значущими при значенні альфа 0,05.

Результати статистичного аналізу показали, що це справді значне зменшення надмірного застосування між першим і другим сезонами. Більша частина середнього зменшення повторного внесення на 6,2% швидше за все була пов'язана з додаванням автоматичного контролю секції штанги; однак, як обговорювалося вище і показано на рис. 5, внесок двох додаткових контрольних секцій у це загальне зниження не можна повністю ігнорувати.

Таблиця 1 - Підсумкові площі поля та відсоток повторного внесення для всіх досліджуваних полів із п'ятисекційною ручною та семисекційною автоматичною системами керування штангою

Поле	Площа поля, га	Надмірне внесення, %		Зменшення повторного внесення за допомогою автоматичного керування штангою, %
		П'ятисекційна штанга керована вручну	Семисекційна автоматично керована штанга	
1	101,0	6,02	4,41	1,61
2	10,5	14,17	7,75	6,42
3	28,8	8,85	2,55	6,30
4	21,0	21,38	6,42	14,96
5	4,1	13,80	4,91	8,89
6	13,4	14,96	5,96	9,0
7	6,8	10,43	7,31	3,12
8	3,1	12,17	7,94	4,23
9	65,0	7,39	6,07	1,32
10	18,8	12,1	8,08	4,02
11	44,2	4,03	1,95	2,08
12	14,7	6,5	2,81	3,69
13	40,0	18,73	4,99	13,74
14	16,5	13,55	6,03	7,52
15	33,0	9,23	8,67	0,56
16	3,6	30,39	9,72	20,68
17	40,6	11,93	6,4	5,53
18	66,1	6,96	5,48	1,48
19	33,5	5,71	4,43	1,28
20	5,3	20,87	8,28	12,59
21	8,6	12,81	8,97	3,84

Межі полів 1, 11, 13 і 16 з їхньою відповідною площею (га), співвідношенням П/П (м1) і надмірним внесенням від ручного та автоматичного керування секціями штанги підсумовано на рисунку 3. Поле 16 містило 3,57 га і мав найвищий коефіцієнт П/П 0,031 m1. З 21 досліджуваного поля поле 16 мало максимальне надмірне внесення з ручним і автоматичним керуванням секціями штанги та представляло найбільше зменшення повторного внесення після додавання автоматичної системи керування (20,68%).

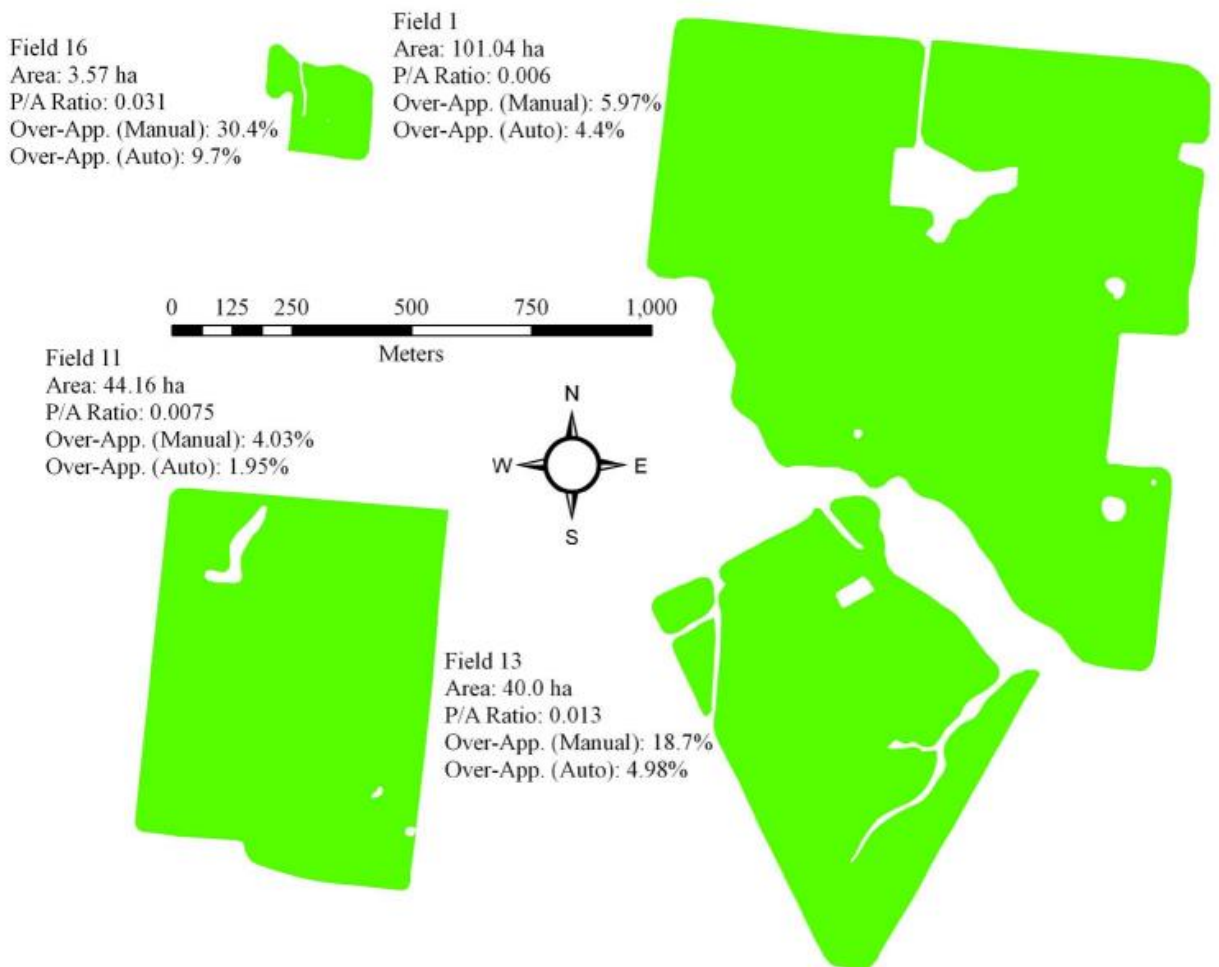


Рис. 6 – Межі полів 1, 11, 13 і 16 із площею поля (га), коефіцієнтом периметр/площа (m^{-1}) і надлишковим внесенням (%), отриманим в результаті ручного та автоматичного керування секціями штанги

Поле 1 було найбільшим полем (101 га) з найнижчим співвідношенням П/П ($0,006 m^{-1}$), що, ймовірно, сприяло меншому надмірному застосуванню (5,97% вручну проти 4,4% автоматично). Зв'язок між надмірним внесенням і коефіцієнтом П/П показано на рис. 7. Результати як для ручної (п'ять секцій), так і для автоматичної (сім секцій) систем керування штангою демонструють позитивну кореляцію між співвідношенням П/П та надмірним внесенням.

Однак із збільшенням співвідношення П/П надмірне внесення збільшувалося з більшою швидкістю при ручному керуванні секціями штанги порівняно з автоматичною системою керування. Це свідчить про те, що система автоматичного керування може усунути більше помилок

накладення, оскільки кількість перешкод у полі збільшується. Також важливо відзначити, що значення повторного внесення для ручного та автоматичного керування на рис. 7 є набагато ближчими при нижчих значеннях П/П.

Швидше за все, це сприяло тому, що поле 11 мало найменше надмірне внесення як для ручного, так і для автоматичного керування секцією штанги. Поле 13 мало високе співвідношення П/П через численні водні шляхи та включення в межах поля (рис. 6). У цьому полі спостерігалось дуже велике скорочення повторного внесення (13,7%) з додаванням автоматичного контролю секції штанги.

Зв'язок між надмірним внесенням і коефіцієнтом П/П показано на рис. 7. Результати як для ручної (п'ять секцій), так і для автоматичної (сім секцій) систем керування штангою демонструють позитивну кореляцію між співвідношенням П/П та надмірним внесенням. Однак із збільшенням співвідношення П/П надмірне внесення збільшувалося з більшою швидкістю при ручному керуванні секціями штанги порівняно з автоматичною системою керування. Це свідчить про те, що система автоматичного керування може усунути більше помилок накладення, оскільки кількість перешкод у полі збільшується.

Важливо також відзначити, що значення надмірного застосування для ручного та автоматичного керування на рис. 7 набагато ближчі за нижчих значень П/П.

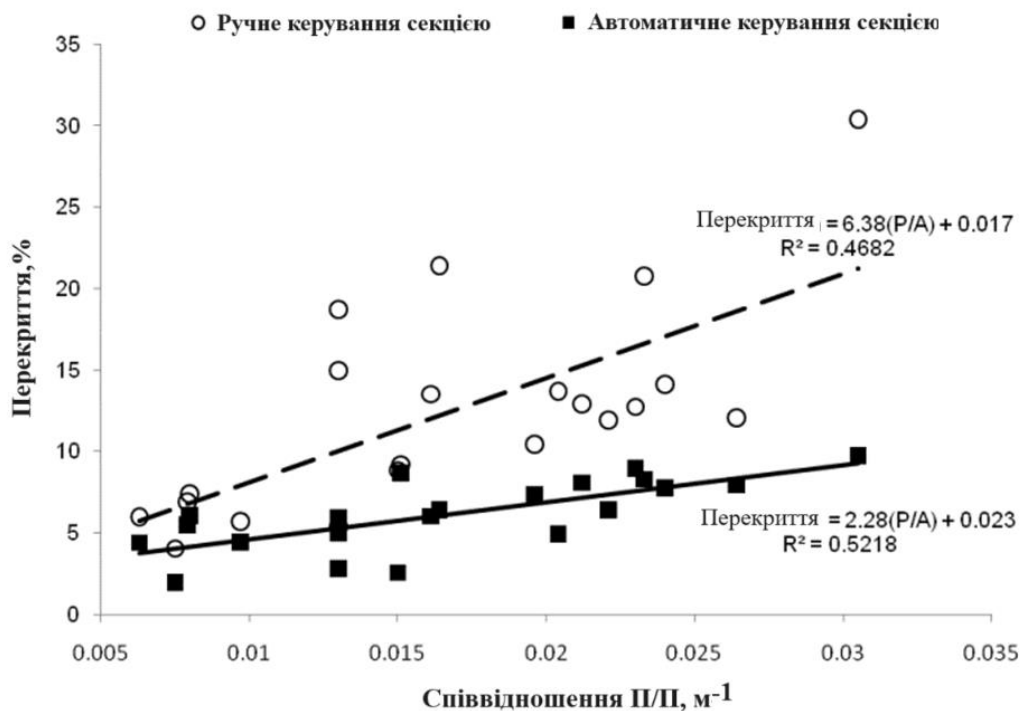


Рис. 7 - Надмірне застосування для ручного та автоматичного керування секціями штанги порівняно з співвідношенням П/П для досліджуваних полів

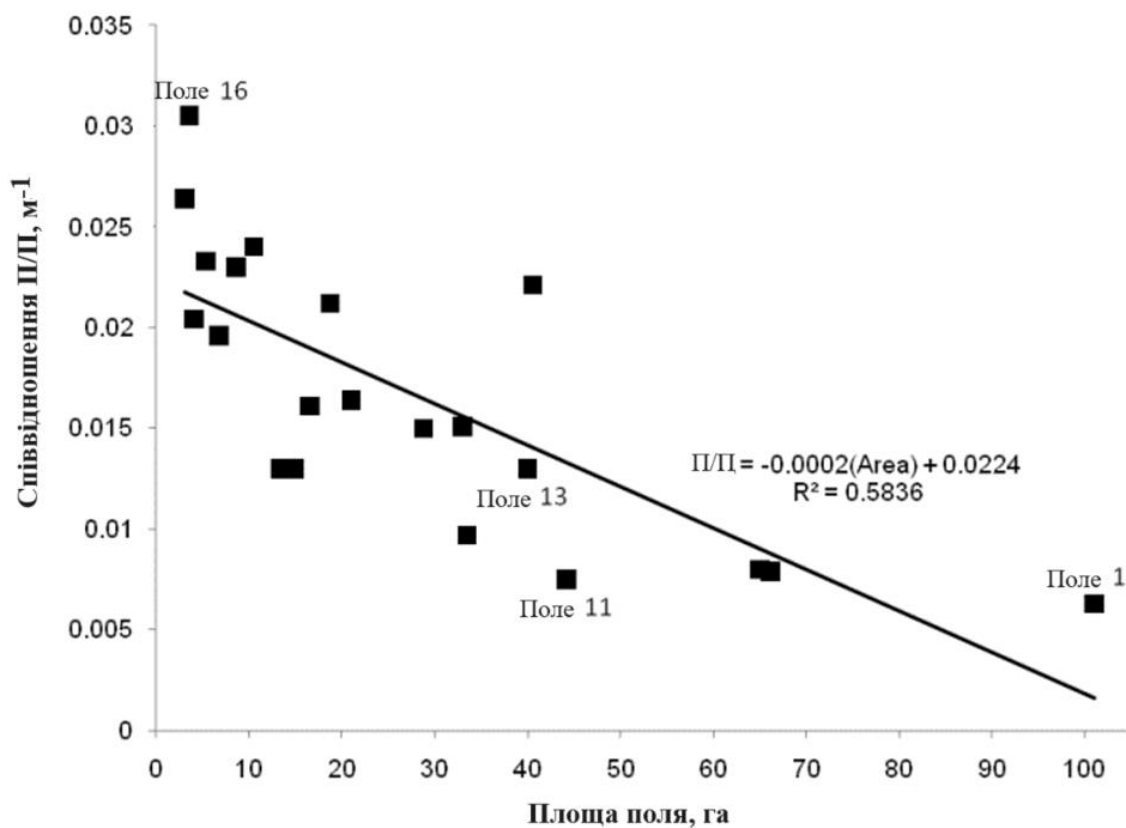


Рисунок 8 – Співвідношення периметр/площа від площі поля для досліджуваних полів

Наслідком цього є те, що оператор, який ефективно керує обприскувачем у ручному режимі, може підтримувати низьке надмірне внесення, подібно до автоматичної системи керування на полях, які мають більш правильну форму та позбавлені водних шляхів та інших перешкод.

На рис. 8 показано співвідношення між співвідношенням П/П і площею поля для 21 поля, включеного в це дослідження. Як і очікувалося, існувала зворотна залежність між складністю форми поля (вище співвідношення П/П зі збільшенням складності) і розміром поля. Цю тенденцію можна побачити в регресійному аналізі цих даних, представлених на рис. 8. Точки даних для чотирьох полів, показаних на рис. 3, також позначені на рис. 8. Це було зроблено просто для ілюстрації того, що менші поля (поле 16) зазвичай мали вищі співвідношення П/П, тоді як більші поля (поле 1) мали нижчі співвідношення П/П. Також цікаво відзначити, що поля з подібними площами (поля 11 і 13) можуть мати різні співвідношення П/П через кількість включень поля, які можна побачити на рисунках 6 і 8. Хоча це виходить за рамки цього вступного дослідження Досліджуючи вплив факторів форми поля на надмірне внесення з ручних і автоматичних систем керування секціями штанги, майбутні аналізи можуть виявити, що комбінація цих факторів (таких як співвідношення П/П у поєднанні з площею поля) може дати більш точні оцінки, ніж будь-який окремих фактор.

Аналіз гіпотетичних сільськогосподарських полів, проведений раніше [16], стверджує, що економія в результаті використання технології точного внесення може бути значною. Однак дослідження був проведено лише з трьома полями, усі з яких були дуже неправильної форми, а обприскувач використовував 30 контрольних секцій. Навпаки, це дослідження було проведено на 21 полі загальною площею 578 га, і скорочення повторного внесення пестицидів може бути більш репрезентативним щодо того, що можуть відчути типові виробники через широкий діапазон аналізованих форм і розмірів полів.

ВИСНОВКИ

Це дослідження демонструє здатність автоматичного керування секцією штанги з вищою роздільною здатністю для зменшення повторного внесення пестицидів під час операцій обприскування поля.

Шейп-файли зони покриття були вивчені на 21 полі різної форми та розміру загальною площею 578 га. Результати статистичного аналізу показали, що середнє надмірне внесення значно зменшилося з 12,4% до 6,2% завдяки додаванню автоматичного керування секціями штанги до обприскувача (спочатку з ручним керуванням до п'яти секцій штанги) разом із додаванням двох секцій керування. (всього сім контрольних блоків).

Була виявлена позитивна кореляція при надмірному внесенні з використанням ручного та автоматичного керування секціями штанги, оскільки співвідношення П/П збільшилося для досліджуваних полів. Надмірне внесення зростало з більшою швидкістю завдяки ручному контролю секції штанги, що вказувало на те, що коли межі поля ставали складнішими з водними шляхами чи іншими перешкодами, автоматичне керування секціями штанги краще контролювало надмірне внесення. Ці висновки підтверджують аргумент, що автоматичне керування секціями штанги може призвести до значної економії для виробників.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. [USDA-NASS]. United States Department of Agriculture-National Agricultural Statistics Service. 2021 Agricultural Chemical Use Highlights. 2022. Available online: https://www.nass.usda.gov/Surveys/Guide_to_NASS_Surveys/Chemical_Use/ (accessed on 13 November 2022).
2. Virk, S.; Meena, R. Pulse Width Modulation Technology for Agricultural Sprayers. University of Georgia Cooperative Extension, Athens, GA. Circular 1277; 2022; pp. 1–8. Available online: <https://extension.uga.edu/publications/detail.html?number=C1277> (accessed on 14 February 2023).
3. Carroll, J. The Effects of Sprayer Speed and Droplet Size on Herbicide Burndown Efficacy. Master's Thesis, University of Arkansas, Fayetteville, AK, USA, 2017. Available online: <https://scholarworks.uark.edu/etd/2435> (accessed on 11 November 2022).
4. ASABE S572.3; Spray Nozzle Classification by Droplet Spectra. American Society of Agricultural Biological Engineers: St. Joseph, MI, USA, 2020.
5. ASABE S592.1; Best Management Practices for Boom Spraying. American Society of Agricultural Biological Engineers: St. Joseph, MI, USA, 2020.
6. Virk, S.; Prostko, E.; Kemerait, R.; Abney, M.; Rains, G.; Powell, C.; Carlson, D.; Jacobs, J.; Tyson, W. On-Farm Evaluation of Nozzle Types for Peanut Pest Management Using Commercial Sprayers. *Peanut Sci.* 2021, 48, 87–96.
7. Przywara, A.; Santoro, F.; Kraszkievicz, A.; Pecyna, A.; Pascuzzi, S. Experimental study of disc fertilizer spreader performance. *Agriculture* 2020, 10, 467.
8. Shan, C.; Wang, G.; Wang, H.; Xie, Y.; Wang, H.; Wang, S.; Chen, S.; Lan, Y. Effects of Droplet Size and Spray Volume Parameters on Droplet

Deposition of Wheat Herbicide Application by Using Uav. *Int. J. Agric. Biol. Eng.* 2021, 14, 74–81.

9. Amankulova K., Farmonov N., Mucsi L. Time-series analysis of Sentinel-2 satellite images for sunflower yield estimation, *Smart Agricultural Technology*, Vol. 3, 2023 DOI:10.1016/j.atech.2022.100098.

10. Grella, M.; Gioelli, F.; Marucco, P.; Zwertvaegher, I.; Mozzanini, E.; Mylonas, N.; Nuyttens, D.; Balsari, P. Field Assessment of a Pulse Width Modulation (PWM) Spray System Applying Different Spray Volumes: Duty Cycle and Forward Speed Effects on Vines Spray Coverage. *Precis. Agric.* 2022, 23, 219–252.

11. Kang, J.; Liu, G.; Guo, G. Image Preprocessing and Droplet Parameter Measurement Of-Sensitive Paper Based on ImagePy. *Sci. Technol. Eng.* 2021, 21, 10.

12. Процеси, машини таобладнання АПВ [Текст] : навч. посіб. / М. О. Свірень, В. П. Смірнов, І. М. Осипов та ін. - Кропивницький : Лисенко В. Ф., 2018. - 296 с.

13. Ru Y, Liu Y Y, Qu R J, Patel M K. Experimental study on spraying performance of biological pesticides in aerial rotary cage nozzle. *Int J Agric & Biol Eng*, 2020; 13(6): 1–6.

14. Appah, S., Jia, W., Ou, M., Wang, P., Gong, C. (2019b). Investigation of optimum applied voltage, liquid flow pressure, and spraying height for pesticide application by induction charging. *Appl. Eng. Agric.* 355, 795–804. doi: 10.13031/aea.13358.

15. Appah, S., Wang, P., Ou, M. X., Gong, C., Jia, W. D. (2019a). Review of electrostatic system parameters, charged droplets characteristics and substrate impact behavior from pesticides spraying. *Int. J. Agric. Biol. Eng.* 122, 1–9. doi: 10.25165/j.ijabe.20191202.4673.

16. Ru, Y., Liu, Y. Y., Qu, R. J., Patel, M. K. (2020). Experimental study on spraying performance of biological pesticides in aerial rotary cage nozzle. *Int. J. Agric. Biol. Eng.* 136, 1–6. doi: 10.25165/j.ijabe.20201306.5511

17. Wang, S., Li, X., Zeng, A., Song, J., Xu, T., Lv, X., et al. (2022). Effects of adjuvants on spraying characteristics and control efficacy in unmanned aerial application. *Agriculture* 12, 138. doi: 10.3390/agriculture12020138
18. Shannon D., Clay E., Kitchen N. (2018). *Precision Agriculture Basics*. American Society of Agronomy, Incorporated, 230p.
19. Jupp L. (2018). *Precision Farming From Above*. Writing Matters Publishing, 113 p.
20. Toraman, M.C. Effects of Leaf Surface Energy on Pesticidal Performance. *Tarim Bilim. Derg.* 2019, 25, 174–180.
21. Colaço, A., Bramley, R., 2018. Do crop sensors promote improved nitrogen management in grain crops? *F. Crop. Res.* 218, 126–140. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.01.007>.
22. Збірник методик з використання машин в землеробстві /За ред. Мельника В. І. – Харків: “Промпроект” – 2020, 257 с.
23. Shan, C.; Wang, G.; Wang, H.; Xie, Y.; Wang, H.; Wang, S.; Chen, S.; Lan, Y. Effects of Droplet Size and Spray Volume Parameters on Droplet Deposition of Wheat Herbicide Application by Using Uav. *Int. J. Agric. Biol. Eng.* 2021, 14, 74–81.
24. Paraforos, D.S., Sharipov, G.M., Griepentrog, H.W., 2019. ISO 11783-compatible industrial sensor and control systems and related research: A review. *Comput. Electron. Agric.* 163, 104863. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.104863>.
25. Mendes, W.R., Araújo, F.M.U., Dutta, R., Heeren, D.M., 2019. Fuzzy control system for variable rate irrigation using remote sensing. *Expert Syst. Appl.* 124, 13–24. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.01.043>.

Додатки