

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко – технологічний факультет

УДК 631.347:02.

ПОГОДЖЕНО

Декан механіко-технологічного факультету

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

Сільськогосподарських машин та
системостехніки ім. акад. П.М. Василенка
(назва кафедри)
доцент, к.т.н.

Братішко В.В.

(підпис)

(ПІБ)

Гуменюк Ю.О.

(підпис)

(ПІБ)

2023 р.

2023 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему Обґрунтування параметрів та режимів роботи дошувальної
машини

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

(код і назва)

Освітня програма «Агроінженерія»

(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-наукова

(освітньо-професійна, або освітньо-наукова)

Гарант освітньої програми

доктор технічних наук.

(науковий ступінь та вчене звання)

Братішко В.В.

(підпис)

(ПІБ)

Керівники магістерської кваліфікаційної роботи

к.т.н. доц. каф.

(науковий ступінь та вчене звання)

Гуменюк Ю.О.

(підпис)

(ПІБ)

Виконав

Архинос Владислав Олександрович

(підпис)

(ПІБ)

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. Гуменюк Ю.О.
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ПІБ)

« » 2023 р.

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

Архиносу Владиславу Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

(код і назва)

Освітня програма «Агроінженерія»

(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-наукова

(освітньо-професійна, або освітньо-наукова)

Тема магістерської кваліфікаційної роботи: Обґрунтування параметрів та режимів роботи дощувальної машини.

затверджена наказом ректора НУБіП України від «21» грудня 2021 р. № 2218 «С».

Термін подання завершеної роботи на кафедру: 2023.05.16

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи: Наукові напрацювання у сфері фізичних властивостей рідин, науково-технічна, нормативно – методична література

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Машини для поливу
2. Моделювання процесу дощування стаціонарними системами та машинами позиційної дії
3. Моделювання розподілу води машинами та апаратами безперервного поступального руху
4. Методика досліджень насадок секторної дії
5. Експериментальні дослідження
6. Охорона праці

Перелік графічного матеріалу Електронна презентація на 19 слайдах

Дата видачі завдання «10» лютого 2022 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

к.т.н., доц. каф.
(науковий ступінь та вчене звання)

Гуменюк Ю.О.
(ПІБ)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

Архинос В.О.

(ПІБ)

РЕФЕРАТ

Магістерська кваліфікаційна робота складається з 85 сторінок пояснювальної записки формату А4, 5 розділів, 50 рисунків, 4 таблиць.

Тема даної магістерської кваліфікаційної роботи: «Обґрунтування параметрів та режимів роботи дощувальної машини».

Мета роботи – підвищення ефективності поливу агрокультур, шляхом попереднього математичного моделювання.

Для досягнення поставленої мети було розглянуто наступні задачі:

- ❖ аналіз літератури, наукових досліджень та передового наукового досвіду, патентів, теоретичних і практичних досліджень процесів дощування;
 - ❖ розглянути способи дощування;
 - ❖ провести моделювання процесу дождювання стаціонарними системами;
 - ❖ провести моделювання розподілу води машинами і апарати непреривного руху;
 - ❖ провести моделювання розподілу розподілу води машинами кругової дії;
 - ❖ розробити заходи по покращенню охорони праці, приведенні польових робіт з використанням обприскувачів;
 - ❖ запровадити раціональне розміщення насадок на трубопроводі для різномірного розподілення води та забезпечення максимального ККД.
- Об'єкт дослідження.** Технологічний процес розподілу води під час дощування.

Предмет досліджень. Дощувальні машини представлені на ринку України.

Ключові слова: полив, моделювання, обприскування, експеримент, дождювання, стандарт, охорона праці, навколишнє середовище, розрахунок.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 МАШИНИ ДЛЯ ПОЛИВУ	9
1.1. Методи поливу.....	9
1.2. Основні елементи дощувальних систем.....	11
1.3. Дощувальні установки та машини.....	18
1.4. Машини для поверхневого поливу.....	28
1.5. Системи крапельного поливу.....	30
1.6. Машини для внутрішньогрунтового поливу.....	31
1.7. Ринок техніки для поливу в Україні.....	32
1.8. Вимоги до машин та енергосміцність поливу.....	32
РОЗДІЛ 2 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ДОЩУВАННЯ СТАЦІОНАРНИМИ СИСТЕМАМИ ТА МАШИНАМИ ПОЗИЦІЙНОЇ ДІЇ	35
2.1. Моделювання процесу дощування струменевими апаратами при роботі по колу.....	35
2.2. Моделювання процесу дощування дальнобудувальними апаратами під час роботи по сектору.....	45
2.3. Висновки по процесу моделювання.....	50
РОЗДІЛ 3 МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОДІЛУ ВОДИ МАШИНАМИ ТА АПАРАТАМИ БЕЗПЕРЕРВНОГО ПОСТУПАЛЬНОГО РУХУ	51
3.1. Моделювання розподілу води машинами з апаратами кругової дії.....	51
3.2. Моделювання розподілу води машинами з насадками секторної дії.....	55
РОЗДІЛ 4 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ НАСАДОК СЕКТОРНОЇ ДІЇ	61
4.1. Моделювання розподілу води машинами з насадками секторної дії.....	61
4.2. Опис експериментальної установки.....	61
4.3. Методика лабораторних досліджень.....	63
4.4. Програма дослідів.....	66
РОЗДІЛ 5 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	67
5.1. Розподіл води секторними насадками за радіусами зони дощування.....	67

5.2. Розподіл води по секторах дефлекторними насадками дощувальних машин...

НУБІП України 72

5.3. Оптимізація розміщення насадок на трубопроводі 76

ВИСНОВКИ.....80

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....81

ДОДАТКИ..... 86
НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ВСТУП

В агротехніці використовуються найрізноманітніші рідини. Найбільшу частину серед яких займає вода. Вода використовується як для зрошення так і як розчинник для пестицидів і мінеральних добрив. Вода є найважливішим природним ресурсом. Споживання прісної води з кожним роком зростає, а її запаси обмежені.

З цієї причини на перший план виходить економне використання води для промисловості та сільського господарства.

На думку міжнародних експертів проблема дефіциту прісної води стане однією з найгостріших до середини XXI століття. За прогнозами вчених до 2025 року 3,2 млн жителів нашої планети будуть страждати від нестачі води, дефіцит прісної води до цього часу збільшиться до 1,3 – 2,0 трлн м³ на рік. За даними ООН, вже сьогодні її дефіцит, включаючи сільськогосподарські і промислові потреби, оцінюється в 230 млрд м³.

Так, на окремих річках України, забір перевищує середній багаторічний стік, а стік весняних водопіль, які становлять головну частину річного об'єму стоку річок, суттєво зменшується, а на півдні може сягати до 30-50%. Це призведе не тільки до посилення забруднення та втрат природних екосистем, а й до загострення конкуренції за воду між секторами економіки.

Дощування – найбільш перспективний спосіб поливу, який дозволяє максимально його механізувати та автоматизувати. Досягається висока продуктивність під час дощування, зменшуються втрати води за рахунок гнучкого керування зрошенням і забезпечується відносно рівномірний розподіл води.

Ізолінії, які на кліматичних картах України відображають середньорічну кількість опадів (ізогіети), мають приблизно такий самий напрямок простягання, як й ізотерми. Середня річна кількість опадів на території України зменшується від 650 – 550 мм на півночі до 450 – 350 мм на Чорноморсько-Азовському узбережжі та від 750 – 700 мм на заході до 500 – 450 мм на сході. Найбільша

кількість опадів за рік випадає в гірських районах – у високогір'ях Карпат (понад 1 500 мм). На Закарпатті середня річна кількість опадів становить 600–650 мм. На всій території максимум опадів припадає на літо.

Однак спостерігаючи тенденцію останніх п'яти років збільшення середньоденної температури та кількості опадів призводять не тільки до значних фінансових втрат, а й в загальному до зменшення темпів розвитку аграрного сектору України.

Згідно з оглядом, накопичення продуктивних вологозапасів у ґрунті під сівбу озимих культур урожаю 2022 р. в більшості днів відбувалося незадовільно через дефіцит опадів. На багатьох площах, де 0-10 см шар ґрунту був повністю сухий, а в орному шарі містилося 1-5 мм продуктивної вологи, складалися критично несприятливі умови зволоження для сівби озимини [1].

Тому зрошення є одним із основних видів діяльності, що сприяє стабільному врожаю сільськогосподарських культур. Зрошення регулює водний і тепловий режим ґрунту, дозволяє вносити розчини добрив, видаляти з ґрунту надлишки солей, знищувати шкідників. Врожайність на зрошуваних землях у 3-5 разів вища, ніж на незрошуваних.

Дощування – найпоширеніший спосіб поливу рослин. Підвищення ефективності та якості зрошення шляхом підвищення рівномірності водорозподілу є найважливішою науковою проблемою.

За допомогою математичне моделювання і залежностей можна описувати функціонування технічного об'єкта в певному середовищі, визначати вихідні параметри і властивості, одержувати оцінку показників ефективності та якості, шукати оптимальну структуру і параметри для пошуку об'єкт. Застосування математичного моделювання в проектуванні, в більшості випадків, дозволяє обійтися без фізичного моделювання, значно скоротити обсяги випробувальних робіт, забезпечити створення інженерних об'єктів з високими показниками ефективності і якості. Одним із основних компонентів системи проектування в цьому випадку є математична модель.

Математична модель - це сукупність математичних об'єктів і зв'язків між ними, які адекватно відображають фізичні властивості створеного інженерного об'єкта. Математичними об'єктами виступають числа, змінні, множини, вектори, матриці тощо. У практиці проектування під математичним моделюванням зазвичай розуміють процес побудови математичної моделі, а дослідження моделі в процесі проектування називають комп'ютерним експериментуванням. Такий поділ є зручним для проектувальників і функціонально цілком виправданим, тому надалі будемо дотримуватись такої термінології [2, 3, 4].

Проведення експерименту на реальних об'єктах або на фізичних моделях - трудомістке, тому прагнуть розробити математичні моделі, використовуючи результати більш простих експериментів. На основі матриці інтенсивності поливу будуються ізогети, моделюється робота сусідніх пристроїв, підсумовуються інтенсивності та вибирається оптимальне розташування пристроїв. Виконання цих операцій вручну не тільки клопітно, але й призводить виникнення значної похибки.

Більш простим і ефективним рішенням є радіальний метод випробування апарату. При цьому опадоміри розташовують по радіусу в зоні зрошення, з якої визначають кількість води. Крім того, всі операції виконуються методом математичного моделювання. Отримано інтерполяційну залежність інтенсивності поливання від радіуса. Імітуючи роботи сусідніх пристроїв. Створюється матриця координат та інтенсивностей імітаційних дощомірів за схемою натурального випробування. Змоделюючи суму інтенсивностей у зоні перекриття можна розрахувати показники рівномірності поливу.

У даному дипломному проекті містяться програми для моделювання роботи пристроїв, випробуваних радіальним методом на стаціонарних системах, на машинах з безперервним поступальним і обертальним рухом.

Методика створення та дослідження математичних моделей розподілу рідини може бути використана для моделювання та оптимізації процесів розподілу рідких пестицидів і добрив.

РОЗДІЛ 1 МАШИНИ ДЛЯ ПОЛИВУ

НУБІП України

1.1. Методи поливу

Зрошення регулює водний і тепловий режим ґрунту, вносить розчини добрив, видаляє з ґрунту надлишки солей, знищує шкідників рослин і гризунів шляхом затоплення ділянок.

Для подачі води на поля будують зрошувальну систему (рис. 1.1), яка включає джерело водопостачання, водозабірну споруду з насосною установкою, транспортні, розподільні та робочі канали або трубопроводи. На полях будують закриті або відкриті зрошувальні мережі. У замкнутій мережі вода під тиском направляєтся по трубопроводах і гідрантах до зрошувальних машин або систем [5]. Відкрита мережа прокладається у вигляді тимчасових трубопроводів, каналів або лотків, з яких вода перекачується в спринклерні установки і зрошувальні

машини. Водопостачання ґрунту здійснюється шляхом дощування, поверхневого, підґрунтового та краплинного зрошення.

Дощування: вода розбивається на краплі та розподіляється по зрошуваній площі у вигляді дощу. Розмір крапель не повинен перевищувати 1...2 мм.

Інтенсивність дощу не повинна бути більше 0,1...0,2 мм/хв на важких ґрунтах, 0,2...0,3 мм/хв на середньоглинистих, 0,5...0,8 мм/хв на легких. За таких умов краплі дощу не пошкоджують рослини, менше ущільнюють ґрунт і не руйнують

грудки ґрунту, вода встигає просочитися в ґрунт, на поверхні ґрунту не утворюються капозжі. Важливо рівномірно розподілити воду по зрошуваному полю та забезпечити задану норму поливу. Добрива вносять одночасно з поливом.

Поверхневий полив: подача води здійснюється по борознах, смугах або шляхом затоплення всієї зрошуваної площі [29].

Підґрунтовий полив: воду в ґрунт подають по трубопроводах з отворами або через кротовини на глибині 40...50 см. Через ґрунтові капіляри вода піднімається у верхні шари ґрунту.

Крапельний полив: вода подається безпосередньо до рослин по трубах і випускається по краплинах. Такий спосіб поливу забезпечує значну економію води.

Мікрозрошення: полив імпульсним зрошенням [6] здійснюється шляхом періодичного розбризкування невеликими порціями води за допомогою спеціальних зрошувачів різної конструкції. Вихід води через імпульсний пристрій чергується з паузами, коли вона накопичується в гідроаккумуляторі з тривалістю паузи в 5-10 разів перевищує тривалість викиду води.

При проектуванні пристроїв для синхронного імпульсного зрошення тривалість накопичення води в 50-200 разів перевищує час обприскування. Значні перебої в подачі невеликих порцій води дозволяють знизити середню інтенсивність дощу до 0,01...0,002 мм/хв. Це дозволяє використовувати імпульсне зрошення на ґрунтах будь-якої водопроникності та на великих схилах з невеликим стоком або без нього.

Перспективним методом оптимізації водно-теплового режиму рослин за високих плюсових температур є аерозольний полив (зволоження) або дрібне дощування [7].

Аерозольний полив або зрошення тонким дощуванням – це розпилення дрібнодисперсної води для поліпшення мікроклімату в приземному шарі повітря, регулювання температурного режиму і поліпшення водного живлення рослин.

Дрібнорозподільне дощування супроводжується підвищенням відносної вологості повітря, зменшує витрати вологи на випаровування і транспірацію, захищає рослини від негативного впливу високих температур у жарку погоду. Оптимізація умов росту і розвитку рослин за допомогою дрібнодисперсного зрошення сприяє активізації процесу фотосинтезу та підвищенню продуктивності рослин.

Різновидом аерозольного поливу є підґрунтовий полив, переважно садових і citrusових культур, мікророзпилювачами, які дозволяють підвищити вологість до 7% і знизити температуру на 1-3 °С при невеликих витратах води.

Дрібнорозподілене дощування та підкронневе ефективного зменшення витрат води на полив, меншою енерговитратою порівняно з традиційними способами зрошення [31].

1.2. Основні елементи дощувальних систем

Спринклерні системи складаються з насосних станцій, трубопроводів, гідравлічних живильників і пристроїв для розподілу води по зрошуваному полю.

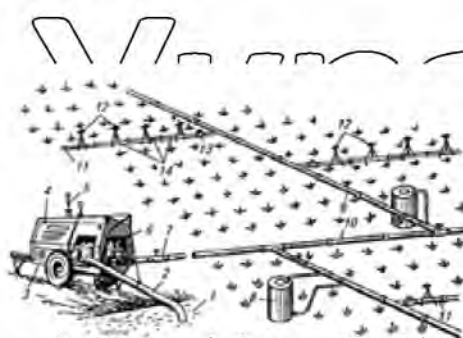
Для подачі води на поля зрошення (рисунок 1.1) або водопровідну мережу використовують насосні станції. Насосні станції бувають стаціонарні і мобільні.

Плаваючі станції використовуються для забору води із заболоченими берегами та сильно мінливим рівнем води.

Для роботи з поливними та зрошувальними машинами широко використовуються пересувні та навісні станції. Найбільш маневреними є навісні станції з приводом від ВВП трактора [32].

Насос 6, двигун 4, всмоктувальний і нагнітальний трубопроводи, кран 7 і пульт управління пересувної насосної станції СНП-50/80 встановлені на одновісному причепі трактора, а навісна станція СНП-25/60 змонтована на рамі.

встановлений на трактор.



1 - джерело води; 2, 9, 10, 11 - всмоктувальна, розподільна, магістральна і робоча лінії відповідно; 3 - насосна станція; 4 - двигун; 5 - ежектор; 6 - насос;

7 - кран; 8 - гідравлічна подача; 12 - спринклер; 13 - труба з гідрантом;

14 - прохідні труби

Рисунок 1.1 – Схема зрошувальної системи з лініями швидкого роз'єднання

Відцентровий насос (рисунок 1.2 а) складається з корпусу 2 і робочого колеса 1 з лопатями. Коли колесо обертається, вода переноситься лопатями

обертальним рухом. Під дією відцентрової сили вода рухається по лопатям від центру до периферії. У центрі колеса створюється розрідження, і вода із всмоктуючого патрубку 4, живильного каналу 3, надходить у корпус насоса. Колесо з великою швидкістю викидає воду в зливний канал 6, де кінетична енергія перетворюється в статичний тиск, що забезпечує рух води в зливній трубі.

Розрізняють насоси з двосторонньою подачею води в корпус (клас Д) і односторонньою подачею води (клас К).

На станціях СНП-50/80, СНП-75/100 та ін. встановлені двоколісні насоси (рисунок 1.2 б, в), режим роботи яких можна змінювати на послідовний (рисунок 1.2 б) і паралельний (рисунок 1.2 в). У послідовному режимі витрата зменшується, а тиск збільшується в 2 рази в порівнянні з паралельним режимом.

Перед пуском всмоктуючий трубопровід і насос заповнюють водою через кран 7 (рисунок 1.2 а) або за допомогою газового жиклера 3 (рисунок 1.1), встановленого на випускній трубі двигуна.



а – відцентрового одноколісного; б, в – двоколісні послідовного та

паралельного режимів роботи; г - осьового пропелерного; 1 – колесо;

2 – корпус; 3 – канал, що підводить; 4 – всмоктуючий трубопровід; 5 – фільтр із клапаном; 6 – відвідний канал; 7 – кран; 8 – клапан; 9 – золотник; 10 - вирівнюючий апарат; 11 – напрямні лопаті

Рисунок 1.2 – Схеми насосів

Аксiально-пропелерний насос (рисунок 1.2г) складається з корпусу 2, робочого колеса 1 із гвинтовими лопатями та вирівнювального пристрою 10. Лопаті 11 вирівнювального пристрою кріпляться до нерухомої втулки. При повороті лопаті колеса 1 переміщують воду вздовж осі тіла. На станціях низького

тиску використовуються пропелерні насоси. Вони забезпечують великі подачі при низькому тиску (0,02 ... 0,10 МПа).

Поршневі і плунжерні насоси використовують для забору води з глибоких колодязів і перекачування її на велику висоту. Воду в них переміщує поршень, який здійснює зворотно-поступальний рух. Продуктивність поршневих насосів не залежить від встановленого тиску. За характером процесу утворення дощів їх поділяють на дві групи: віялові та струминні [33].

Перші утворюють широкий віялоподібний потік води у вигляді тонкої плівки, яка при опорі повітря розпадається на окремі краплі. Вони нерухомі по відношенню до машини або установки і при цьому поливають всю прилеглу до позиції територію в зоні попадання крапель, відрізняються простотою пристрою і називаються спринклерними форсунками.

Останні створюють потік води у вигляді осесиметричних струменів, які при русі під дією опору повітря розпадаються на окремі краплі. Одночасно поливають територію, прилеглу до позиції в зоні струменя у вигляді сектора. Для зрошення круглої площі вони встановлюються в обертальний рух (кутовий рух) відносно машини або системи. Струменеві робочі органи з поворотними пристроями складніші за вентиляторні, їх називають спринклерами.

Апарати поділяють на короткоструминні (тиск 0,05...0,15 МПа, дальність падіння 5...8 м), середньоструминні (тиск 0,15...0,5 МПа, дальність падіння до 35 м) і довгоструменеві (тиск над 0,5 МПа, відстань польоту краплі до 60 м).

Короткоструменеві робочі органи зазвичай виконуються у вигляді спринклерних форсунок. Використовуються ударні, половинні, щілинні та відцентрові розпилювачі.

Найбільшого поширення набули ударні насадки (рисунки 1.3а). Корпус 2 насадки нагвинчений на вертикальний стояк. Струмień води, що виходить під тиском з отвору, обтікає дефлектор 1, в результаті чого утворює воронкоподібну плівку, яка при подальшому русі розпадається на краплі і зрошує прилеглу до сопла круглу ділянку. Фольга відходить від дефлектора під кутом 30° до горизонту, що забезпечує максимальну дальність польоту утворених з неї

крапель. До переваг ударних насадок можна віднести порівняно невеликий розмір крапель (0,9...1,1 мм) і низькі витрати енергії на їх формування. Проте краплі неоднорідні за розміром, інтенсивність їх розподілу по площі зрошення також нерівномірна. Зі збільшенням відстані від сопла розмір крапель збільшується, а інтенсивність дощу спочатку збільшується, а потім зменшується.

Через високу інтенсивність дощу (0,75...1,1 мм/хв) їх застосування в машинах і системах з ефектами позионування дуже обмежене. Зі збільшенням тиску води та вихідного діаметра сопла збільшується швидкість потоку та діапазон розбризкування води[34].

При необхідності одностороннього зрошення використовуються половинні (рис. 1.3 б) і щільні насадки (рис. 1.3 в).



Рисунок 1.3 - Схеми короткоструменних сопел

У напівнасадці (рисунок 1.3 б) дефлектор 1 має форму напівконуса і приварений до вигнутої пластини, яка перекриває вихідний отвір у корпусі 2 навпіл. Напівнасадка працює так само, як і кругла.

Щільна насадка (рисунок 1.3 в) виходить розпилюванням труби. Вода, що витікає з щільни, має форму плоскої віялоподібної півки. Її розпад на

краплі відбувається менш інтенсивно, ніж при ударній набивці, яка створює незволожену зону біля набивки.

Відцентрована насадка (рисунок 1.3г). Вода надходить через

тангенціальний канал тіла 2, внаслідок чого воно інтенсивно закручується і бере участь у вихровому русі. На виході з центрального отвору верхньої кришки 3

утворюється кільцевий потік із вільним простором посередині. Після виходу з отвору потік води розширюється за рахунок тангенціальних складових швидкості і утворює тонку воронкоподібну плівку, яка через опір повітря втрачає стійкість і розпадається на краплі[35].

Короткі струминні форсунки (рисунок 1.4а) утворюють дрібний дощ (розмір крапель 0,8 ... 1,1 мм). Витрата води через форсунки (0,34 ... 3,8 л/с) регулюється зміною діаметра форсунки і тиску в трубопроводі.

Середньоструминний апарат «Роза-3» (рисунок 1.4б) оснащений корпусом 4 з трьома водопровідними каналами, механізмом повороту гойдалки та механізмом секторного зрошення. Патрубок 13 вкручується в зрошувальну лінію. Стакан 12 вдавлюється в корпус і обертається всередині сопла. Коромисло

6, що обертається навколо осі, оснащено ділянкою лопаткою 8 і поворотною пружиною 5. Вода надходить з трубопроводу по трьох каналах зі змінними патрубками 7, 9 і 11. Струмінь, що виходить з верхнього патрубка, вдаряється об коромисло і повертає його проти годинникової стрілки на кут 30 ... 90°, при

цьому поворотна пружина 5 обертається під кутом 2...3° (у напрямку годинникової стрілки). Потім промінь знову потрапляє на лезо, минаючи роздільник, і цикл повторюється. Один оборот прилад здійснює за 2 ... 4 хв. Швидкість регулюється поворотом поворотної пружини.

Для поливу в одному секторі пристрій оснащений механізмом, що забезпечує зворотно-поступальний обертальний рух корпусу по частині периметра. Можна змінювати кут сектора поливу (в межах 45...360°) і його напрямок. Робочий тиск 0,2...0,6 МПа, витрата води 2,5...9,5 л/с, радіус зрошення 23...35 м.

Апарат «Роза-2» має схожу будову з апаратом «Роза-3». Зрошує по колу та сектору радіусом 15...28 м, витрата води 1...3,4 л/с. Одностовільний апарат «Роза-1» поливає тільки по колу радіусом 13...21 м, витрата води 0,45...1,25 л/с. Спринклер далекобійний ДД-30 (рисунок 1.4 в) оснащений робочим колесом 14, лопаті якого частково вставлені в струмінь води.

При поглинанні води робоче колесо обертається з частотою до 5000 об/хв і переміщує бонку 10 по колу через черв'ячні передачі 15, вал 16 і механізм 17. Швидкість обертання циліндра регулюється зміною величина входу лопаток турбіни в струмінь. Лопаті відсікають частину струменя при її виході з сопла 9, забезпечуючи більш рівномірний розподіл дощу вздовж струменя. Апарат можна перемикаєти на секторний полив з упорами, які перемиканням змінюють кут повороту стовбура.

Для зміни витрати води в межах 15 ... 30 л/с апарат оснащений змінними форсунками діаметром 26, 30 і 34 мм. Робочий тиск апарата 0,5...0,7 МПа, радіус поливу 40...60 м.



а – короткоструминний; б - середньоструминний "Роза-3";

в – далекоструминний ДД-30; 1 – труба; 2, 7, 9, 11 – сопла; 3-дефлектор; 4 – корпус; 5 – пружина; 6 – коромисло; 8 -лопатка-розсікач; 10 - ствол; 12 – склянка; 13 – патрубок; 14 – турбінка; 15 – передача; 16 - вал; 17 – механізм повороту

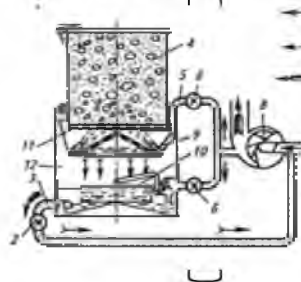
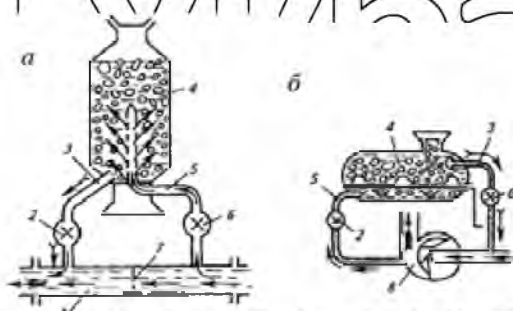
Рисунок 1.4 – Типи дощувальних апаратів

Апарат ДД-15 на відміну від ДД-30 має менші діаметри стовбура та змінних сопел (14, 20 та 26 мм). Витрата води 5...15 л/с, тиск 0,5...0,7 МПа, радіус дії 30...50 м-коду.

Апарати ДД-50 та ДД-80 забезпечені додатковим соплом для приводу турбінки. У апарату ДД-50 витрата води 38...55 л/с, тиск 0,5...0,6 МПа, радіус дії 44...56 м; у апарату ДД-80 відповідно 55...85 л/с, 0,5...0,7 МПа та 58...60 м. Апарати ДД-15, ДД-30, ДД-50 та ДД-80 встановлюють на дрантах закритих зрошувальних мереж.

Гідропідгодівник ГПД-50 з проточно-напірною системою включають у магістраль розподільного трубопроводу 9 (рисунок 1.1) за допомогою труби 1 (рисунок 1.5 а) з діафрагмою 7. Трубу з'єднують з баком 4, що підводить 5 і відвідним 3 рукавами, що перекриваються регулювальними вентилями 2 і 6.

Добрива засипають в бак 4 через горловину, що закривається кришкою. Вода по рукаву 5 надходить у бак і розчиняє добрива.



а – проточно-напірний; б - всмоктувально-нагнітальний;

в – розмивачем; 1 – труба; 2, 6 – вентилі; 3, 5 – рукави; 4 – бак;

7 – діафрагма; 8 – насос; 9 – розпилювачі; 10 – поплавець;

11 – сітчасте дно; 12 – бак-змішувач

Рисунок 1.5 – Схеми гідропідгодівників

Розчин з ємності виходить через відповідний рукав 3 в розподільну лінію і змішується з водою. Подачу розчину регулюють вентилями 2 і 6. Ємність бака 65 л. Маса завантаженого добрива 70 кг. Гідроживильник використовується з дощувальними установками КИ-25, КИ-50 і ДКШ-64 «Волжанка».

Гідравлічний живильник із системою всмоктування/скидання (рис. 1.5 б) використовується в спринклерних системах великої дії. З лінії нагнітання частина потоку води надходить через рукав 5 у бак 4. Вода розчиняє налиті в бак добрива і утворює матковий розчин. Розчин через відповідний рукав 3 надходить до насоса 8, змішується з основним потоком води і далі розбризкувачами розподіляється по зрошуваній площі. Ємність бака 107 л.

На спринклерних установках ДДА-100МА встановлений гідравлічний живильник (рисунок 1.5 в). Добрива засипають у верхній резервуар 4 з ситовим днищем 11. Вода під тиском надходить через рукав 5 до розпилувачів 9 і розмиває нижній шар добрив. Отриманий розчин стікає в нижню змішувальну ємність 12, змішується з чистою водою і через рукав 3 надходить у всмоктувальну лінію насоса 8. Тут розчин додатково змішується з водою і подається в напірну лінію установки. Рівень води змішувальній ємності 12 підтримується поплавцем 10 із запірною арматурою. Ємність бака 120 л. [36]

1.3. Дощувальні установки та машини

Полив дощуванням виконують шланговими дощувальними установками, машинами та агрегатами [8].

Дощувач шланговий ДШ-1 (рисунок 1.6) призначений для поливу овочевих культур і ягідників на ділянці площею до 1 га. Складається з рами з полозами, барабана, гідроприводу, карусельного зрошувача і шланга довжиною до 30 м. Дощувач живиться від зрошувальної мережі або побутового насоса, який подає воду в шланг під тиском 0,2-0,35 МПа. Машина може працювати в двох режимах: позиційному або в русі.



Рисунок 1.6 Загальний вигляд ДШ-1

Таблиця 1.1.

Технічна характеристика дощувача ДШ-1

Тиск на гідранті	МПа 0,3
Витрати води	л/с 1,0
Площа зрошення з однієї позиції	л/с 1,0
Ширина міжряддя	м 0,7...0,8
Маса дощувача без шлангу	кг 19

Перед поливом спринклер відводять на 30 м від гідранта (або насоса), розмотують шланг і приєднують його кінець до гідранта. Вода надходить до спринклера та гідромотора, який обертає барабан і переміщує каретку зі швидкістю до 0,1 м/хв. Спринклер розподіляє воду на ширину 15...20 м. Витрата води 0,4...0,8 л/с.

Дождуювальна машина шлангово-барабанного типу Opti Rain 110TG300

Модель ST-50 (табл. 1.2) призначена для зрошення дощування сільськогосподарських культур, у тому числі садів і виноградників.

Полив сільськогосподарських культур проводять на ходу, з гідрантів замкнутої зрошувальної мережі. Основні вузли конструкції дощувальної машини: рама, котушка з армованим шлангом і поворотним пристроєм, приводна гідравлічна турбіна, навантажувач, шланг, механізм кріплення машини, рукав, візок з дождювальним апаратом [37].

З гідранту зрошувальної мережі, на яку встановлена через приєднувальний рукав, вода подається через гідротурбіну в шланг, з'єднаний з фермою дощувального апарату. Через дощувальні дефлекторні насадки секторної дії або сопло дощувального апарату вода розподіляється по зрошувальному масиву.

Проходячи через гідротурбіну, вода обертає вал робочого колеса турбіни, який, у свою чергу, за допомогою ремічної передачі передає обертальний момент до вхідного валу коробки передач. Вихідний вал коробки через шестерню обертає барабан дощувальної машини [38].

Таблиця 1.2

Технічна характеристика зрошувальної машини Орті

Rain 110TG300 моделі ST-5

Тип машини	Дощувальна машина шлангово- барабанного типу
Привод пересування	Гидротурбина, за рахунок намотки шланга на барабан
Витрата води, л/с	8,23
Тиск води, Мпа:	
- на вході	0,17
- на виході	0,14
Продуктивність виконання технологічного процесу 215 м ³ /га за годину, га:	
- основного	0,14
- перемісного	0,13
Режим пересування	Непреривний
Робоча швидкість, м/год:	
- мінімальна	8
- максимальна	60
Межі регулювання, м ³ /га:	
- мінімальна	105
- максимальна	770
Робоча ширина захвату, м	47,6
Шар дощу за прохід при швидкості 0,5 м/хв, мм	20,3
Коефіцієнт розподілу шару води:	
- ефективного поливу	0,8
- недостатнього	0,15
- надлишкового	0,05
Средній діаметр капель, мм	1,5

Габаритні розміри в робочому стані, м:	
- довжина	304,1
- ширина	3,8
- висота	3,2
Довжина водопровідного шлангу, м	300
Діаметр шлангу, мм	110

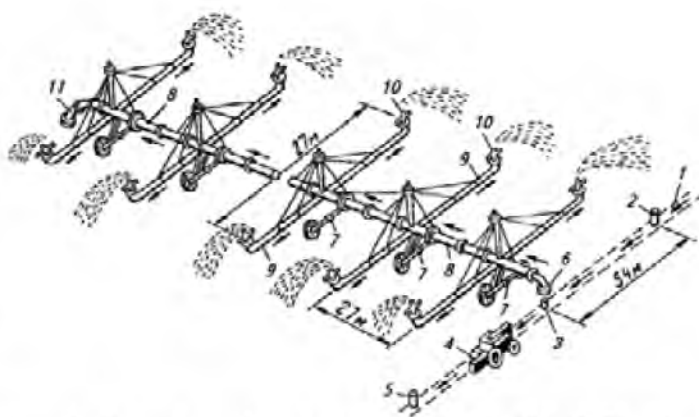
Шланг намотується на барабан і пересуває візок по зрошувальному масиву, забезпечуючи тим рух дощової ферми або апарату. При досягненні візком кінцевої точки він натискає на ричаг, що перекриває подачу води до гідротурбіни, рух барабана припиняється.

Швидкість руху візка з дощовою фермою контролюється спідометром, шкала якого градуїрована з урахуванням змін діаметра барабана при намотуванні на нього шлангу. За результатами випробувань Opti Rain 110 TG300 моделі ST5 можна дійти певтішого висновку, що за показниками якості виконання технологічного процесу машина відповідає технології зрошення сільськогосподарських культур.

Доцільно поодинокі використання машини на дрібноконтурних полях та полях неправильної конфігурації. Ефективність машини можна підвищити за рахунок групового використання. Для експлуатації дощувальних машин від місцевих джерел зрошення як додаткова комплектація поставляються насосні станції різної продуктивності, як з приводом від БВП трактора, які забезпечують роботу відразу п'яти машин.

Дощувальна машина ДФ-120 «Дніпро» призначена для поливу всіх сільськогосподарських культур, лук і пасовищ з висотою рослин не більше 2 м. Полив проводять позиційно від гідрантів 2, 3 і 5 (рисунок 1.7) закритої зрошувальної мережі, розташованих на відстані 54 м [9]. Машина забезпечена самохідними візками-опорами 7, на які спирається водопровідний трубопровід 8 з відкрілками 9, середньоструминними дощувальними апаратами 10 і забірними пристроями 6 і 11. Відкрілки та ланки трубопроводу мають стабілізуючі тросові розкоси та роззави.

НУБІ



НИ

НУБІ

НИ

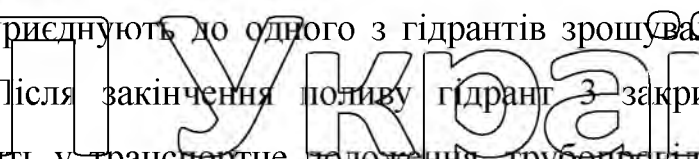
1, 8 – трубопроводи; 2, 3, 5 – гідранти; 4 – електростанція; 6, 11 –

парканні пристрої; 7 – візок-опора; 9 – відкритки; 10 – дощувальні апарати

Рисунок 1.7 – Схема дощувальної машини ДФ-120 «Дніпро»

Для приводу коліс на візках змонтовано електродвигуни із пусковою апаратурою. Живлення електродвигуни отримують від електростанції 4 (трактор з навісним генератором).

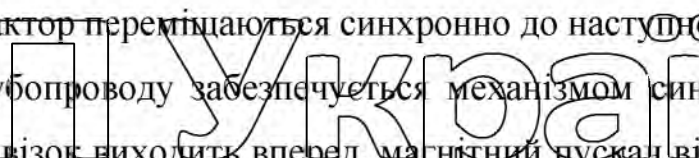
НУБІ



НИ

Трубопровід приєднують до одного з гідрантів зрошувальної мережі та проводять полив. Після закінчення поливу гідрант 3 закривають, забірні пристрій 6 переводять у транспортне положення, трубопровід звільняють від води і роз'єми кабелів живлення візків підключають до електростанції.

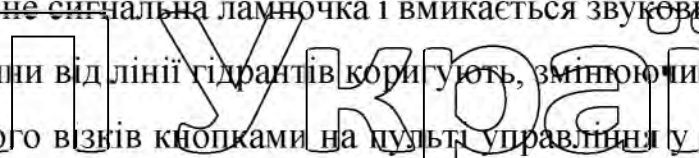
НУБІ



НИ

Машина та трактор переміщуються синхронно до наступного гідранта. Прямолінійність трубопроводу забезпечується механізмом синхронізації руху візків. Якщо якийсь візок виходить вперед, магнітний пускач відключає мотор-редуктор і візок зупиняється. При неприпустимому згинанні трубопроводу на пульті керування гасне сигнальна лампочка і вмикається звуковий сигнал.

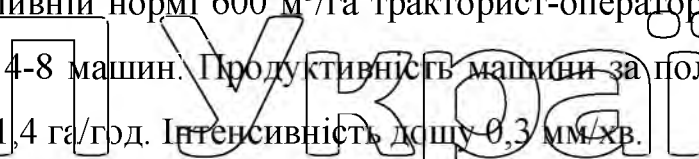
НУБІ



НИ

Відстань машини від лінії гідрантів коригують, змінюючи швидкість руху першого та останнього візків кнопками на пульті управління у кабіні трактора.

НУБІ



НИ

Для транспортування машини з одного поля на інше колеса візків розгортають на кут 90° . При поливній нормі $600 \text{ м}^3/\text{га}$ тракторист-оператор обслуговує 1-4 машини, електрик - 4-8 машин. Продуктивність машини за поливною нормою $300 \text{ м}^3/\text{га}$ становить 1,4 га/год. Інтенсивність дощу $0,3 \text{ мм/хв}$.

Двоконсольний дощувальний агрегат ДДА-100ВХ виробництва ВАТ «Херсонські комбайни» застосовують для поливу овочевих, технічних та

зернових культур. Агрегат, рухаючись уздовж зрошувального каналу, розподіляє воду за шириною захоплення у вигляді дощу. Його навішують на трактор ДТ-75М, з ходоуменьшителем.

Відцентровий насос 12 (рисунок 1.8 б) засмоктує воду через плавучий клапан 2 і подає її в трубопровід поворотного кола 11 (рисунок 1.8 а) і нижній трубопровід 3 ферми 10. Звідси вода по відкриткам 8 надходить у п'ятдесят дві короткострумінні та дві кінцеві 9 насадки. Для внесення розчинів добрив до агрегату підключають гідропідгодівник 4.

Відцентровий насос 8К-12, змонтований на картері заднього моста трактора, з'єднаний із приводом. Ферма 10, складена з поворотного кола 11, виконаного у вигляді труби і двох консолей, спирається на роликові опори рами 5. До труби кола приєднують зворотний клапан 1 напірну лінію від насоса.

Клапан запобігає попаданню повітря з трубопроводу 3 у насос під час роботи ежектора. Вода надходить із труби кола в трубопровід 3 через чотири патрубки. На трубопроводах 3 встановлені зливні клапани та відкритки 8 с короткострумінними насадками.

Насадки розташовані симетрично щодо поздовжньої консолю очі з відставиною 4 м за довжиною ферми. На панелях з першої до сьомої (вважаючи від кола) насадки мають діаметр сопла 12 мм (всього 28 насадок), з восьмий по одинадцяті – 13 мм (16 насадок), на дванадцятій та тринадцятій панелях – 14 мм (8 насадок). Цим забезпечується однакова витрата води (2,3 л/с) кожною насадкою та рівномірний розподіл її по зрошуваній площі.

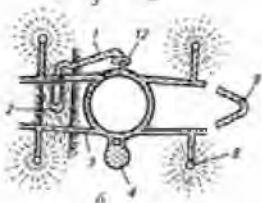
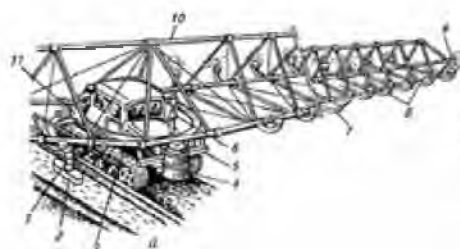
Кінцеві струменеві насадки діаметром 22 мм та з витратою 5 л/с мають розсікач, переміщенням якого регулюють дальність розбризкування.

Для контролю режиму роботи насоса під час поливу на агрегаті встановлено манометр та вакуумметр. При нормальній роботі агрегату стрілка манометра встановлюється на позначці 0,3 МПа, а вакуумметра – 0,03...0,04 МПа. Насос вмикається з кабіни трактора.

Плавучий клапан 2 встановлений на трубі, що всмоктує, 1, складеної із двох колін з шарнірними сполучними муфтами. Для герметизації з'єднань

використані гумові прокладки. Клапан піднімають у транспортне положення та опускають у робоче положення гідроциліндром. Поплавець клапана має сітку і полозок, що утримує сітку над дном каналу відстані не менше 10 см. Нормальна глибина занурення сітки 10...15 см, тому наповнення зрошувача водою при поливі має бути не менше 0,4м.

На всмоктувальному трубопроводі встановлено вимір. Перед пуском агрегату в роботу повітря з магістралі, що всмоктує, і насоса відкачують ежектор б, встановленим на випускній трубі трактора. Ширина захоплення агрегату 120м.



а – загальний вигляд; б – схема руху води у фермі;

1 – всмоктувальна труба; 2 – плавучий клапан; 3 – трубопровід ферми;
4 – гідропідгодівник; 5 – рама; 6 – газострумний ежектор; 7 – опорна дуга; 8 – відкрilки з насадками; 9 – кінцева насадка; 10 – ферма;

11 – поворотний круг; 12 – насос

Рисунок 1.8 Дошувальний агрегат ДДА-100ВХ

Для використання ДДА-100ВХ нарізають мережу зрошувальних каналів довжиною від 200 до 1200 м. Поливи проводять по ділянках завдовжки від 100 до 300 м. Ділянки одночасного поливу (б'єфи) поділяють перемичками. Шар опадів за один прохід агрегату залежить від його робочої швидкості. Якщо за один прохід агрегату випадає 5 мм опадів (50 м³ на 1 га), то за поливнці норми 200 м³/га агрегат повинен зробити чотири проходи, при 300 м³/га – шість і т.д.

Полив доцільно розпочинати з головної ділянки. На наступний ділянку агрегат можна перевозити у робочому положенні. Якщо зустрічаються перешкоди, ферму мають уздовж поздовжньої осі трактора.

Звільнивши коло від з'єднань з насосом та опорами, а також від кріплень до штоків гідроциліндрів, ферму повертають при нерухомому тракторі або повертають трактор, утримуючи ферму за дуги.

Для поливу в нічний час на верхньому поясі ферми встановлюють дві фари, що висвітлюють опорні дуги консолей. Дорога для агрегату має бути передбачена вздовж зрошувача з правого боку за течією. Продуктивність агрегату при поливній нормі $300 \text{ м}^3/\text{га}$ складає $1,6 \text{ га/год}$. Інтенсивність дощу $4\text{--}6 \text{ мм/хв}$.

Дальноструминний навісний дощувач ДДН-70 застосовують для зрошення овочевих та технічних культур, лісових та садових розсадників.

Дощувач навішують на трактор тягового класу 3. На рамі дощувача встановлені відцентровий насос 15 (рисунк 1.9 а) з редуктором 17, всмоктуючий трубопровід 14, стовбур 6, механізм повороту 9, гідропіддівник 3 та механізм приводу.

Перед поливом на відстані 100 м один від одного нарізають тимчасові зрошувальні канали, з яких відцентровий насос 15 подає воду у обертовий стовбур 6 з основним 5 і малим 4 струминними соплами. Струміння, що виходить з основного сопла, зрошує зовнішню частину кола, з малого – внутрішню.

Для підвищення інтенсивності розпаду струменя та рівномірності поливу поблизу дощувача мале сопло забезпечене лопаткою, що розбризкує. Інтенсивність дощу регулюють, встановлюючи змінні насадки основного сопла з діаметром вихідних отворів $55, 45$ та 35 мм . Діаметр малого сопла 16 мм .

Механізм повороту ствола включає в себе черв'ячний редуктор 16, шарнірний валик 10, ексцентрик та важіль. На плечі важеля закріплена вісь з собачкою та перемикачем. Собачка взаємодіє з храповим колесом напресованим на склянку, до якої прикріплений ствол 6. При обертанні валика 10 важіль здійснює коливальний рух.

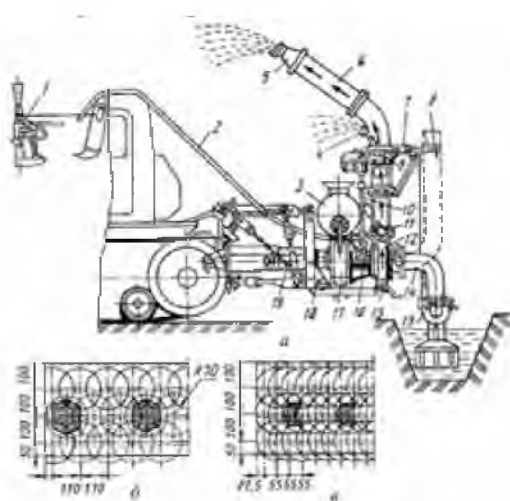
Собачка періодично упирається в зуб храпового колеса і повертає ствол.

При зворотному ході собачки ствол фіксується гальмом 7 з фрикційною накладкою. Повний оборот ствола здійснює за 4,5 хв.

Полив можна виконувати по колу (рисунок 1.9 б) та по сектору (рисунок

1.9 в). Для поливу по сектору (рисунок 1.9 в) в отвори фланця стовбура вставляють два упори, що натискають на перемикач, який повертає собачку, і стовбур обертається у зворотний бік. Переставляючи упори в отворах фланця, змінюють кут сектора кожні 20° в межах $0...360^\circ$. Всмоктуючий трубопровід 14

переводять у транспортне положення лебідкою 13 і закріплюють хомутом 8.



а – загальний вигляд, б – полив по колу, в – полив по сектору;
1 – ежектор; 2 – трубопровід ежектора; 3 – гідроциліндр; 4, 5 – сошла;
б – ствол; 7 – гальмо; 8 – хомут; 9 – механізм повороту; 10 – валик;

11 – вентиль; 12, 14 – трубопроводи; 13 – лебідка; 15 – насос;

16, 17 – редуктори; 18 – рама; 19 – ланцюг

Рисунок 1.9 – Дальноструминний дощувач ДЛН-70

У робочому положенні дощувач фіксують ланцюгами 19. Перед пуском з насоса повітря відсмоктують ежектором 1, з'єднаним трубопроводом 2 із насосом. Далі в канал опускають всмоктуючий трубопровід, відкривають вентиль трубопроводу ежектора, закривають відкидні хлопашки сопел і включають ежектор. Заповнивши насос водою, дощувач приводять у рух плавним включенням зчеплення на малій частоті обертання колінчастого валу.

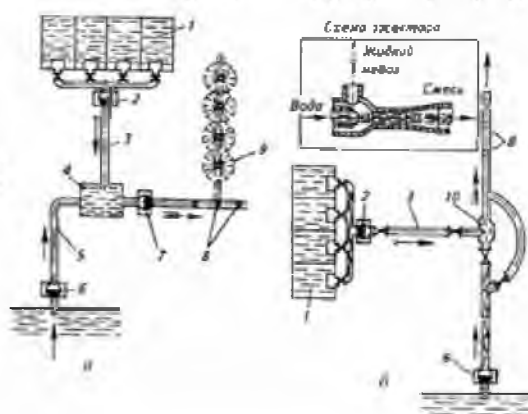
Бак гідропідгодівника повідомляється з напірним і всмоктуючими каналами насоса трубопроводами з вентилями 7, якими регулюють кількість води, що надходить і відсмоктується. Полив проводять позиційно.

При поливі по колу (рисунок 1.9 б) відстань між стоянками приймають 110 м. Якщо швидкість вітру перевищує 1,5 м/с, то площу поливають по сектору з відстанню між стоянками 55 м. Працювати починають з голови каналу за течією води. Для створення необхідної глибини води в каналі та усунення її скидання встановлюють переносні перемички: одну поблизу водозабірника, іншу біля наступної стоянки дощувача.

Час стоянки на одній позиції залежить від поливної норми та діаметру сопла. Продуктивність агрегату 0,67 га/год. Його обслуговують тракторист і робітник.

Внесення рідкого гною дощувальними машинами почали використовувати з розвитком тваринницьких комплексів. Рідкий гній вводять у поливну воду через магістраль, що всмоктує або напірну, насосної станції, що обслуговує зрошувальну мережу. У першому випадку фекальною насосною станцією 2 (рисунок 1.10 а) рідкий гній з накопичувача 1 подають у змішувальну ємність 4 де він змішується з водою, що надходить від насосної станції 6, а потім приготовлена суміш насосною станцією 7 нагнітається в розподільний трубопровід дощувальної машини 9. У другому випадку рідкий гній змішується з водою ежектор 10 (рисунок 1.10 б), вмонтованому в розподільчий трубопровід.

Насосна станція 6 нагнітає в ежектор чисту воду, а насосна станція 2 – рідкий гній.



а – у всмоктуючий трубопровід; б – у напірний трубопровід;
 1 – накопичувач; 2, 6, 7 – насосні станції; 3, 5 – трубопроводи;
 4 – змішувальна ємність; 8 – гідрант; 9 – дощувальна машина;
 10 – ежектор

Рисунок 1.10 – Схема введення рідкого гною

Тваринницькі стоки розподіляють за площею зрошення машинами ДКН-80, ДФС-120 та агрегатом ДДН-100С.

1.4. Машини для поверхневого поливу

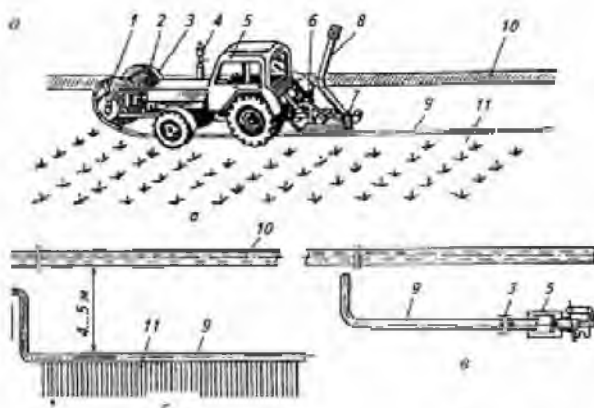
При поверхневому поливі воду в поливну мережу подають і розподіляють площею трубками-сифонами, а також гнучкими шлангами з водовипусками та поливальними машинами.

Сифони – це вигнуті трубки, якими воду переливають з зрошувача на поля, розташовані нижче рівня зрошувача. Вигнуту частину трубки (коліно) зазвичай монтує вище рівня води в зрошувачі. Перед пуском у роботу сифони заповнюють водою і вручну розкладають уздовж зрошувача. Промисловість випускає сифони-водовипуски діаметром 150 і 250 мм з регульованою витратою води в межах 10,5–42 л/с, сифони СНН і СНК, що не розряджаються, з витратою води 0,08–0,98 л/с і поліетиленові трубки-сифони діаметром 20, 25, 32, 40 та 50 мм. Один робочий поливальщик управляє роботою 50–120 сифонів.

Поливальний пересувний агрегат ППА-165У призначений для поливу зрошуваних культур по борознах із забором води з тимчасових зрошувальних каналів або лотків, розташованих паралельно або перпендикулярно до поливних борознів.

Поливальник складається із складальних одиниць, змонтованих на тракторі Т-40. Насосна станція, що включає насос 7 (рисунок 1.11 а), редуктор 6, що всмоктує 8 і напірний трубопровід 9, навішується на трактор позаду. Насос призначений для подачі води з вододжерел до поливних трубопроводів. Всмоктуючий поворотний трубопровід 8 із сітчастою забірною коробкою на кінці опускають у робоче положення та піднімають гідропідйомником у

транспортне. До напірного патрубку насоса приєднано клапанну коробку зі зворотним клапаном. На випускній трубі трактора встановлений ежектор 4, з'єднаний шлангом з всмоктуючим трубопроводом. Барабан 3, лебідка 1 та механізм приводу змонтовані на рамці, закріпленій на поздовжніх балках трактора. На барабан 3 намотують гнучкий трубопровід 9, барабан лебідки 1 – трос. Механізм приводу служить для обертання барабана та лебідки при розкладанні та збиранні трубопроводу 9. Він включає черв'ячний редуктор і гідромотор 2, що працює від гідросистеми трактора [38].



а – розкладка трубопроводу; б – полив; в – збирання трубопроводу;

1 – лебідка; 2 – гідромотор; 3 – барабан; 4 – ежектор; 5 – трактор;

6 – редуктор; 7 – насос; 8, 9 – всмоктуючий та гнучкий напірний трубопровід; 10 – зрошувач; 11 – борозни

Рисунок 1.11 – Схема робочого процесу поливу машиною ТПА-165У

Після заповнення всмоктувальної магістралі та насоса водою відключають ежектор, що включають вал відбору потужності трактора. Насос починає подавати воду в трубопровід. Вода з відкритих водовипусків надходить у борозни і розподіляється по ділянці, що зрошується. Після видачі поливної норми збирають трубопровід та переїжджають на іншу позицію.

Витрата води 150...200 л/с, тиск 0,04...0,05 МПа, ширина захвату 300 м, продуктивність при поливній нормі 600 м³/га становить 1,1 га/год. Поливальник обслуговують тракторист та робітник.

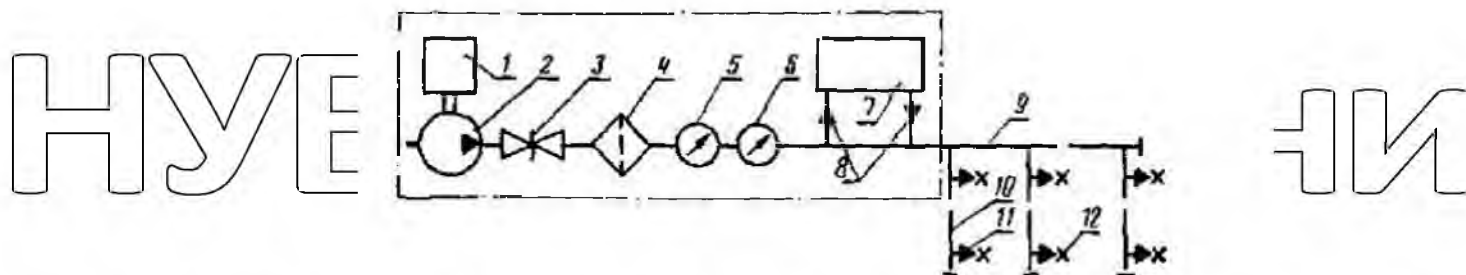
1.5. Системи крапельного поливу

Системи дають ще більше розосередження поливного струму, оскільки дозволяють локально підводити воду до кожної рослини у вигляді окремих крапель за допомогою точкових мікрородовищусків-крапельниць. До системи крапельного зрошення (рисунок 1.22) входять: контрольно-розподільчий блок 1.. 8, магістральний трубопровід 9, розподільні трубопроводи 10, крапельниці 11. Контрольно-розподільчий блок, як правило, включає в себе мотор 1, насос 2, засувку 3, фільтр 4, водомір 5, манометр 6, бак-змішувач 7 та інжектор 8.

Системи крапельного зрошення проектують зазвичай із тиском 0,07 ... 0,28 МПа. Низьконапірні системи вважаються кращими, так як у них можна застосовувати більш дешеві труби та крапельниці більшого діаметра, що зменшує ймовірність їх забивання. Для створення необхідного напору використовують насоси невеликої потужності та продуктивності, водонапірні вежі, а іноді й просто перепад позначок між джерелом водопостачання та зрошуваною площею (самотечні системи).

Магістральний 9 та розподільні 10 трубопроводи монтують, як правило, з поліетиленових труб обов'язково чорного кольору (для запобігання розвитку водної рослинності), перші – діаметром 38...51 мм, другі – від 6 до 19 мм. Трубопроводи в низьконапірних системах монтують без сполучних муфт, вставляючи труби одна в іншу. Відстань між розподільчими трубопроводами від 0,8 м для польових культур до 6 м для плодово-ягідних і відповідає ширині міжрядь.

Випливаючи краплями, вода зволожує ґрунт у вигляді зони еліпсоподібної форми глибиною близько 1 м і шириною до 2,6 м з виходом на поверхню біля основи стовбура дерева. При цьому ґрунт у міжряддях підтримується в сухому стані, що створює несприятливі умови зростання бур'янів.



1 – двигун; 2 – насос; 3 – засувка; 4 – фільтр; 5 – водомір; 6 – манометр;
7 – бак-змішувач; 8 – інжектор; 9 – магістральний трубопровід;
10 – розподільний трубопровід; 11 – крапельниця; 12 – рослина

Рисунок 1.12 – Схема системи краплинного зрошення

Зменшення об'єму зволоженого ґрунту дозволяє заощаджувати воду та призводить до формування менш розгалуженої кореневої системи, що дає можливість ущільнити посадки та підвищити продуктивність.

Якість та надійність поливу залежать від конструкції крапельниць 19.

Вони можуть бути виконані у вигляді поліетиленових мікротрубок діаметром 0,3...2 мм і нарізних пробок, а також діафрагмовими, мембранними та поплавцевими. Застосування крапельного зрошення особливо перспективне в районах з обмеженими водними ресурсами, а також на ділянках з порізаним рельєфом та крутими схилами з великими перепадами висот (до 60 м).

1.6. Машини для внутрішньогрунтового поливу

Вода за допомогою труб зволожувачів або спеціальних розпушувальних робочих органів вводиться безпосередньо в коренежитній шар ґрунту. Системи з використанням труб зволожувачів можуть бути безнапірними та напірними. У першому випадку система діє без машин, у другому використовуються насосні установки загального призначення.

Машинний спосіб заснований на застосуванні розпушувальних робочих органів з водопровідними каналами, через які вода потрапляє у міжряддя на глибину розпушування, що відповідає глибині розташування кореневої системи рослин. За способом підведення води такі машини поділяють на два типи: з прохідним та намотуваним трубопроводами.

У першому випадку гнучкий трубопровід, з пружинними водовипускними клапанами, укладають уздовж шляху машини і пропускають через водоприймальний натискний, змонтований на машині пристрій. У процесі руху машини за допомогою останнього відкривають пружинні клапани і вода надходить спочатку в бак, а потім через робочі органи коренежитній шар ґрунту.

У другому випадку трубопровід, один кінець якого приєднаний до гідранту, а інший до приймальної колонки машини, намотується на барабан з реверсивним приводом або змотується з нього залежно від напрямку руху[30].

1.7. Ринок техніки для поливу в Україні

Українські та європейські виробники техніки для поливу пропонують велику різноманітність типів та моделей машин та установок.

Завод ЗАТ «Фрегат» у м. Миколаєві пропонує 20 модифікацій ДМУ «Фрегат» із довжиною трубопроводу від 199 до 572 метрів. Завод виробляє машину «Фрегат-ДМЕ» з електричним приводом візків та можливістю фронтального переміщення. Витрата води 75...150 л/с, довжина трубопроводу 400...450 метрів.

Херсонський машинобудівний завод виробляє дощувальні агрегати ДДА-100МА-1 та ДДА-100В.

Фірма Beinlich Agrarpumpen und maschinen GmbH (Німеччина) пропонує струменеві дощувачі різних типорозмірів: Monsun 1; Monsun 2; Monsun 2 Super; Primus 1800; Primus 2000; Primus 2500; Primus 2700; Quattro 1; Quattro 2. Довжина трубопроводу досягає 750 метрів.

1.8. Вимоги до машин та енергоємність поливу

До дощувальних машин та установок пред'являють агробіологічні, екологічні та техніко-економічні вимоги [10]. До агробіологічних слід віднести вимоги, що забезпечують оптимальні (раціональні) умови постачання рослин водою, екологічним – збереження ґрунтів та їх родючості та техніко-економічним – підвищення продуктивності, зниження енергоємності тощо.

Агробіологічні вимоги полягають у наступному [11]. Для досягнення малоінтенсивного (безстресового) впливу процесу зрошення на рослини відношення інтенсивності водоподачі до інтенсивності водоспоживання повинно бути в межах 1...50. Рівномірність розподілу води на полі повинна відповідати

таким вимогам: коефіцієнт ефективності поливу – $K_{\text{еф.пол.}} \geq 0,7$ коефіцієнти недостатнього та надлишкового поливу – $K_{\text{нед.пол.}} \leq 0,15$, $K_{\text{над.пол.}} \geq 0,15$.

Відхилення від середнього шару дощу, що випав, не повинно перевищувати $\pm 25\%$ для машин з коротко- і середньоструминними і $\pm 30\%$ – з далекоструминними апаратами. Для збереження рослин від механічних пошкоджень коефіцієнт їх ушкодження повинен бути 0,5...2,0%.

Екологічні вимоги полягають у збереженні структури та воміщності ґрунтових агрегатів, активної життєдіяльності мікроорганізмів у

ґрунтоутворювальному процесі та підвищення родючості ґрунтів вміст вологи в порах ґрунту має перебувати в межах 70...90%, повітря – 10...30%, з відхиленням $\pm 5\%$. Для попередження водної ерозії ґрунту швидкість руху потоку води в поливному борозні має бути меншою критично допустимого з умов

нерозмивання ґрунту, а для запобігання калюжеутворенню та стоку середня інтенсивність дощу повинна бути меншою або дорівнює швидкості вбирання води в ґрунт. Щоб унеможливити руйнування ґрунтових агрегатів під дією ударів крапель дощу, їх діаметр не повинен перевищувати 1,5 мм для коротко- та середньоструминних і 1,8 мм для подальших струминних апаратів.

Техніко-економічні вимоги включають велику кількість показників [12]. Однак до найважливіших з них належать ефективне використання землі, продуктивність машин та енергоємність виконуваного ними процесу.

Теоретично можлива продуктивність будь-якої дощувальної машини або установки при заданій нормі поливу m , $\text{м}^3/\text{га}$, можливо визначено за формулою,

$$W = \frac{Q}{m}, \quad (11)$$

де W – годинна продуктивність, га/год;

Q – об'ємна подача води насосом, $\text{м}^3/\text{год}$;

m – задана норма поливу, м³/га.

Дійсна продуктивність дощувальних машин, що працюють у русі, як і будь-яких інших мобільних засобів, залежить від ширини захвату, швидкості руху та коефіцієнта використання робочого часу [39].

Різниця полягає лише в тому, що щоб уникнути утворення калюж на грунтах з невеликою поплинаючою здатністю поливати можна не за один, а за кілька проходів. У таких випадках необхідна кількість проходів $n = m/h$, де m – норма поливу, мм; h – шар води, вилитий за один прохід, мм. Продуктивність машин, що працюють позиційно, залежить від розміру площі S , зрошеної з однієї позиції, та числа позицій z зміну, тобто $\Pi = S/z$. За тривалість зміни T число позицій $z = kT/t$ де k – коефіцієнт використання робочого часу; t – тривалість поливу з однієї позиції.

Потужність струменя, що є витрати енергії в одиницю часу,

$$N = p \cdot Q_n / \eta, \quad 1.2$$

Де N - Потужність, необхідна для роботи машини, кВт;

p - робочий тиск, МПа;

Q_n - Об'ємний витрата, л/с;

η – коефіцієнт корисної дії машини.

Характеристика енергоємності дощувальної машини або встановлення вважатимуться витрата енергії на одиницю продуктивності.

Розділивши вираз (1.2) на (1.1) і погодивши розмірності одиниць, отримаємо, що питома витрата енергії пропорційна робочому тиску і нормі поливу. Таким чином, найменш енергоємними слід вважати дощувальні машини та установки з короткоструминними насадками, а найбільш енергоємними машини, обладнані далекоструминними апаратами.

РОЗДІЛ 2 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ДОЩУВАННЯ СТАЦІОНАРНИМИ СИСТЕМАМИ ТА МАШИНАМИ ПОЗИЦІЙНОЇ

дії

2.1. Моделювання процесу дощування струменевими апаратами при роботі по колу

Проектування, випробування і налаштування дощувальних машин пов'язані зі значними витратами трудових і матеріальних ресурсів, займають багато часу. Застосування систем автоматизованого проектування для цих цілей дає змогу прискорити розробку машин, знизити витрати. У цьому розділі запропоновано програми для математичного моделювання процесів розподілу води стаціонарними дощувальними апаратами або встановленими на машині позиційної дії [28].

Обертання апарата вважаємо рівномірним, якщо за один цикл імпульсного руху переміщення значно менше за розмір зони дощування. Апарат працює по колу або по сектору. Дефлекторні насадки працюють за малих тисків, чим досягається зниження енергоємності процесу розподілу рідини по полю, крім того, вони можуть давати більш рівномірний розподіл води [13, 14].

Недоліком секторних насадок є зниження розмірів зони дощування і, отже, підвищення інтенсивності дощу. Якщо ґрунт має малу всмоктувальну здатність, то доводиться збільшувати швидкість руху машини або зменшувати подачу води в машину. Останнє призводить до зменшення продуктивності машини, що небажано. Оптимізація процесу роботи машин за критеріями рівномірності розподілу рідин дає змогу знизити матеріальні та енергетичні витрати, підвищити ймовірність якісної роботи при зміні умов експлуатації, наприклад, рельєфу поля або вітру. Оптимізацію пропонується виконати на основі математичного моделювання процесу [14]. Рівномірність розподілу рідини по площі спочатку оцінюємо коефіцієнтом варіації доз σ_F . Коефіцієнт варіації дози пов'язаний із коефіцієнтом ефективного поливу функціонально залежністю,

якщо відомий закон розподілу відхилень дози як випадкової величини. Зручність коефіцієнта варіації полягає в наявності стандартних функцій для його обчислення практично у всіх системах автоматизованого проектування і в стандартних програмах комп'ютерів[40].

Дощувальні машини ДШК-64А "Волжанка" і ДФ-120 "Дніпро" працюють позиційно. Колісний трубопровід ДШК-64А забезпечений середньоструменевими апаратами, укомплектованими соплами 7 і 8 мм. Апарати розташовані на трубопроводі в один ряд. Відстань між позиціями, залежно від залежно від діаметра сопел у апаратів, може бути 18 або 24 метри. Дощувальна машина ДФ-120 працює від гідрантів, розташованих на відстані 54 метри. Трубопровід забезпечений відводами завдовжки 27 метрів, на кінцях яких встановлено середньоструменеві дощувальні апарати. Схему розташування апаратів під час дощування можна зобразити прямокутником розмірами $A \cdot B$, де A - відстань між апаратами на трубопроводі; B - відстань між позиціями або відкрілками.

Стационарні дощувальні системи мають таку саму схему розміщення апаратів, тому моделювання розподілу води такими системами можна виконувати за програмами, складеними для машин позиційної дії. Для роботи програм достатньо мати експериментальні дані про розподіл води за радіусами зони поливу, інші характеристики обчислюються методом моделювання. Моделювання виконуємо за припущення про рівномірне обертання апаратів. За один цикл імпульсного руху переміщення значно менше за розмір зони дощування, тому після накладення зон дощування розподіл води виходить таким, як і за рівномірного безперервного обертання апарата. Апарати таких машин зазвичай працюють по колу. Дощувальні апарати створюють віяло дощу, яке зрошує коло на полі. Площу, зрошувану одним апаратом, називаємо зоною дощування. Побудуємо математичну модель процесу за таких припущень: розподіл дощу за кутом віяла або кола відомий і заданий щільністю ймовірностей кута $f(\alpha)$ і витратою Q так, що щільність потоку води, що припадає на одиницю кута, дорівнює $q_\alpha = Q \cdot f(\alpha)$; розподіл дальності польоту крапель за радіусами

відомий і заданий частотою ймовірностей дальностей $f(\rho)$; витрата Q вважається постійною, швидкість вітру дорівнює нулю, висота установки апаратів постійна; поверхня поля горизонтальна; рівномірність розподілу рідини по площі оцінюємо такими показниками: коефіцієнтом варіації доз F_q ,

коефіцієнтом ефективного поливу, коефіцієнтом недостатнього поливу, коефіцієнтом надлишкового поливу.

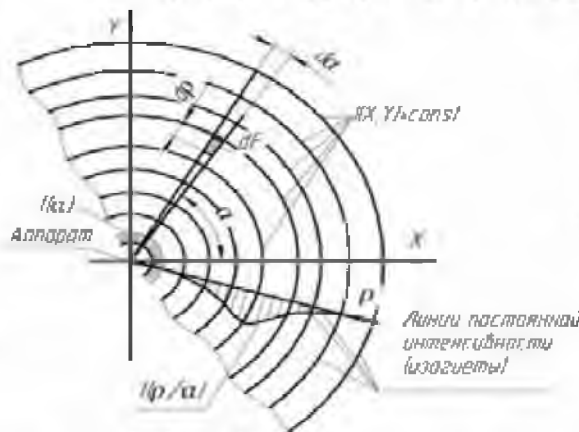


Рисунок 2.1 - Схема моделювання розподілу води дощувальним апаратом

Нехай апарат перебуває в центрі системи координат XOY (рисунок 2.1) і працює по колу. Положення майданчика dF задаємо в прямокутних і в полярних координатах. Необхідність мати радіус, а рівномірність дощу необхідно визначати за площею в прямокутних координатах. Імовірність потрапляння рідини на елементарну площадку dF , виділену в зоні дощування двома радіусами з кутом між ними $d\alpha$ і двома колами з приростом радіуса $d\rho$, визначиться як добуток імовірностей потрапляння в діапазон кута $d\alpha$ і радіуса $d\rho$, тобто:

$$P\{dF\} = f(\alpha) \cdot d\alpha \cdot f(\rho) d\rho$$

Інтенсивність дощу на майданчику дорівнює кількості води, що потрапила на нього в одиницю часу, поділеній на його площу. При незалежних ρ і α маємо:

$$I = \frac{Q \cdot f(\alpha) \cdot d\alpha \cdot f(\rho) \cdot d\rho}{\rho \cdot d\alpha \cdot d\rho} = \frac{Q \cdot f(\alpha) \cdot f(\rho)}{\rho} \quad (2.1)$$

У системі СІ інтенсивність дощування вимірюється $\text{кг}/\text{м}^2 \cdot \text{с}$, що рівноцінно звичному для меліораторів - міліметрів шару опадів за секунду.

Норма поливу будь-якого майданчика стаціонарним апаратом визначається добутком інтенсивності на час роботи T , тобто:

$$q_F = I \cdot T, \text{ кг/м}^2 \quad (2.1)$$

Прямокутні координати майданчика dF пов'язані з полярними

співвідношеннями:

$$\begin{cases} X = \rho \cdot \cos \alpha \\ Y = \rho \cdot \sin \alpha \end{cases} \quad (2.2)$$

Струменевий апарат під час роботи по колу обертається рівномірно, отже, всі значення кута рівноймовірні й щільність імовірності кута визначається формулою:

$$f(\alpha) = \frac{1}{2 \cdot \pi} \quad (2.4)$$

Щільність імовірностей дальності польоту крапель в апарата з одним соплом, типу "Роса-1", апроксимується нормальним законом розподілу

$$f(\rho) = \frac{1}{\sigma_\rho \sqrt{2 \cdot \pi}} \exp\left(-\frac{(\rho - M_\rho)^2}{2 \cdot \sigma_\rho^2}\right), \quad (2.5)$$

де ρ - дальність польоту крапель;

M_ρ, σ_ρ - числові характеристики дальностей польоту крапель.

Щільність імовірностей дальності польоту крапель в апарата з двома соплами визначається за формулою:

$$f(\rho) = \frac{C_1}{\sigma_{\rho 1} \sqrt{2 \cdot \pi}} \exp\left(-\frac{(\rho - M_{\rho 1})^2}{2 \cdot \sigma_{\rho 1}^2}\right) + \frac{C_2}{\sigma_{\rho 2} \sqrt{2 \cdot \pi}} \exp\left(-\frac{(\rho - M_{\rho 2})^2}{2 \cdot \sigma_{\rho 2}^2}\right), \quad (2.6)$$

Де C_1, C_2 - вагові коефіцієнти;

$M_{\rho 1}, \sigma_{\rho 1}$ - числові характеристики дальностей польоту від першого сопла;

$M_{\rho 2}, \sigma_{\rho 2}$ - числові характеристики дальностей польоту від другого сопла.

Вагові коефіцієнти та числові характеристики дальностей польоту крапель підбирають під час моделювання за умовою найбільш рівномірного розподілу води за радіусами або за площею дощування.

Покажемо приклад моделювання розподілу води дощувальними апаратами типу "Роса-1" (рисунок 2.2). За технічними характеристиками апарата приймаємо $M_p = 11\text{ м}$; $\sigma_p = 3,2\text{ м}$; $Q = 1,2\text{ л/с}$.

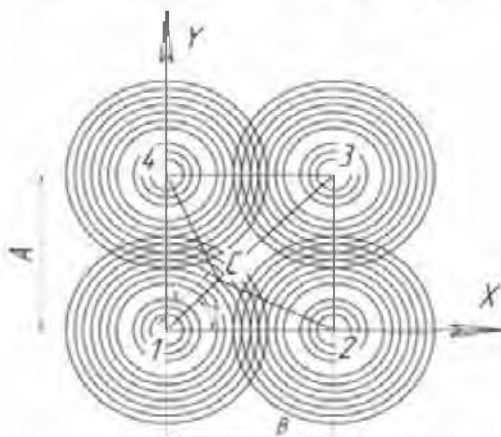


Рисунок 2.2 - Схема розташування апаратів

Перший апарат розташований на початку координат XOY , другий зміщений по осі X на відстань B , третій має координати (B, A) , четвертий - $(0, A)$. Для наочності моделювання задаємо розміри загальної зони дощування та обчислюємо дозу поливу всіма чотирма апаратами [15]. Для цього координати точки $C(X, Y)$ задаємо у вигляді матриці з кроком в один метр. Змінюючи відстані між апаратами, намагаємося вибрати їх за умовою більш рівномірного розподілу води. Однак це завдання виявилось досить складним. Кількісну оцінку рівномірності на площі прямокутника з розмірами A і B виконали за матрицею доз зрошення. Межі зміни координат X, Y задаємо так, щоб площа квадрата, обмеженого лініями, що з'єднують точки розташування апаратів, розділилася на метрові ділянки. Дози дощування обчислюємо в центрі кожного майданчика (рисунок 2.3). За результатами лічби отримуємо матрицю доз MD з кількістю елементів $A \cdot B$. За матрицею доз обчислювали коефіцієнти варіації, мінімальну, середню та максимальну дози за різних значень A і B . За безвітряної погоди логічно покласти $A = B$. Тільки за секторного поливу ці розміри мають різнитися. Далі обчислювали граничні значення доз ефективного поливу:

$$q_{fmin} = q_{fsr} - 0,25 \cdot q_{fmax} = q_{fsr} + 0,25 \cdot q_{fsr}$$

За матрицями доз було складено варіаційні ряди і обчислено коефіцієнти ефективного, надлишкового і недостатнього поливу (рисунок 2.3). Одну межу варіаційного ряду приймали рівною q_{fsr} . Наступну межу зліва - q_{fmin} , праворуч - q_{fmax} . Далі межі призначали з кроком $q_{fsr} \cdot 0,25$ праворуч до перевищення максимальної дози в матриці, ліворуч - до потрапляння в класовий інтервал мінімальної дози. Середню дозу обчислювали за матрицею і порівнювали її зі значенням

$$q_{fsr} = \frac{Q \cdot T}{A \cdot B}$$

$$\begin{aligned}
 Q &:= 1,2 & M_0 &:= 11 & \sigma_0 &:= 3,2 & l &:= 0,65 & X_1 &:= 1-20,5 \\
 j &:= 0 \dots 65 & Y_j &:= j - 20,25 & B &:= 25 & A &:= 25 & T &:= 2500 \\
 ZD(X, Y) &:= \left(Q \cdot T \cdot \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{\text{dnorm}[\sqrt{X^2 + Y^2}, M_0, \sigma_0]}{\sqrt{X^2 + Y^2}} \right) \dots \\
 &+ Q \cdot T \cdot \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{\text{dnorm}[\sqrt{(B-X)^2 + Y^2}, M_0, \sigma_0]}{\sqrt{(B-X)^2 + Y^2}} \dots \\
 &+ Q \cdot T \cdot \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{\text{dnorm}[\sqrt{(B-X)^2 + (A-Y)^2}, M_0, \sigma_0]}{\sqrt{(B-X)^2 + (A-Y)^2}} \dots \\
 &+ Q \cdot T \cdot \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{\text{dnorm}[\sqrt{X^2 + (A-Y)^2}, M_0, \sigma_0]}{\sqrt{X^2 + (A-Y)^2}} \dots \\
 MD_j &:= ZD(X_i, Y_j)
 \end{aligned}$$

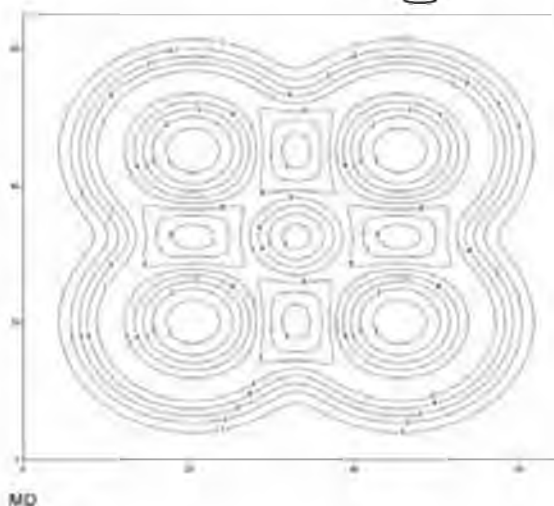


Рисунок 2.3 - Програма та контурний графік доз поливу від чотирьох апаратів

Дослідження показали складність отримання рівномірного розподілу води односопловими стаціонарними апаратами. Коефіцієнт ефективного поливу був набагато меншим за агротехнічну норму. Коефіцієнти надлишкового і недостатнього поливу були вдвічі вищими за агротехнічну норму. За $A = B =$

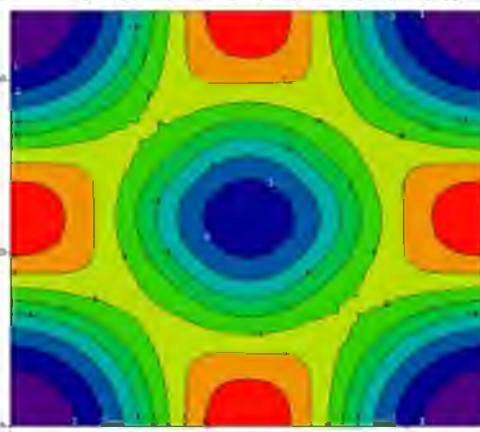
25 м у зоні перекриття спостерігається надлишковий полив (рисунок 2.3). За такої площі поливу середня доза дорівнює $4,8 \text{ кг/м}^2$.

У центрі малюнка і під апаратами спостерігається зона недостатнього поливу, а на лініях, що з'єднують центри апаратів за горизонталлю і по вертикалі, спостерігається надлишковий полив.

Найбільший інтерес представляє рівномірність поливу всередині квадрата, утвореного лініями, що з'єднують центри апаратів (малюнок 2.4).

$$Q_i := 1.2 \quad M_{p_i} := 11 \quad \sigma_{p_i} := 3 \quad i := 0..24 \quad X_i := i + 0.5$$

$$j := 0..24 \quad Y_j := j + 0.5 \quad B := 25 \quad A := 25 \quad T := 2500$$



$$V := \text{stdev}(MD1)$$

$$m := \text{mean}(MD1)$$

$$V = 2.353$$

$$H := \frac{V}{m} \cdot 100$$

$$H = 49.024$$

$$m = 4.799$$

$$\text{Int} := \begin{pmatrix} 0 \\ 1.2 \\ 2.4 \\ 3.6 \\ 4.8 \\ 6.0 \\ 7.2 \\ 8.4 \\ 9.6 \end{pmatrix}$$

$$n := \text{hist}(\text{Int}, MD1) \quad n =$$

$$\begin{pmatrix} 52 \\ 81 \\ 72 \\ 76 \\ 92 \\ 156 \\ 68 \\ 28 \end{pmatrix}$$

$$K_{ef} := \frac{(76 + 92)}{625}$$

$$K_{ef} = 0.269$$

$$K_{nd} := \frac{(52 + 81 + 72)}{625}$$

$$K_{nd} = 0.328$$

$$\sum n = 625$$

$$K_{iz} := \frac{(156 + 68 + 28)}{625}$$

$$K_{iz} = 0.403$$

Рисунок 2.4 - Розрахунок показників рівномірності поливу на площі, зрошуваної чотирма апаратами при $A = B = 25 \text{ м}$

Для оцінки рівномірності поливу на цьому квадраті обчислено матрицю MD3, що складається з двадцяти п'яти рядків і двадцяти п'яти стовпців. Коефіцієнт варіації елементів матриці виявився рівним 49%, що дуже погано. Коефіцієнт надлишкового поливу виявився найвищим (0,403), а коефіцієнт ефективного поливу найменшим (0,269). Збільшення відстані між апаратами до 30 метрів (рисунок 2.5) призвело до незначного підвищення коефіцієнта ефективного поливу, коефіцієнт варіації дози навіть збільшився до 53%.

Інтуїтивний підбір перекриття між зонами зрошення апаратів трудомісткий і дає слабкі результати, тому потрібне розроблення програми оптимізації відстаней між апаратами.

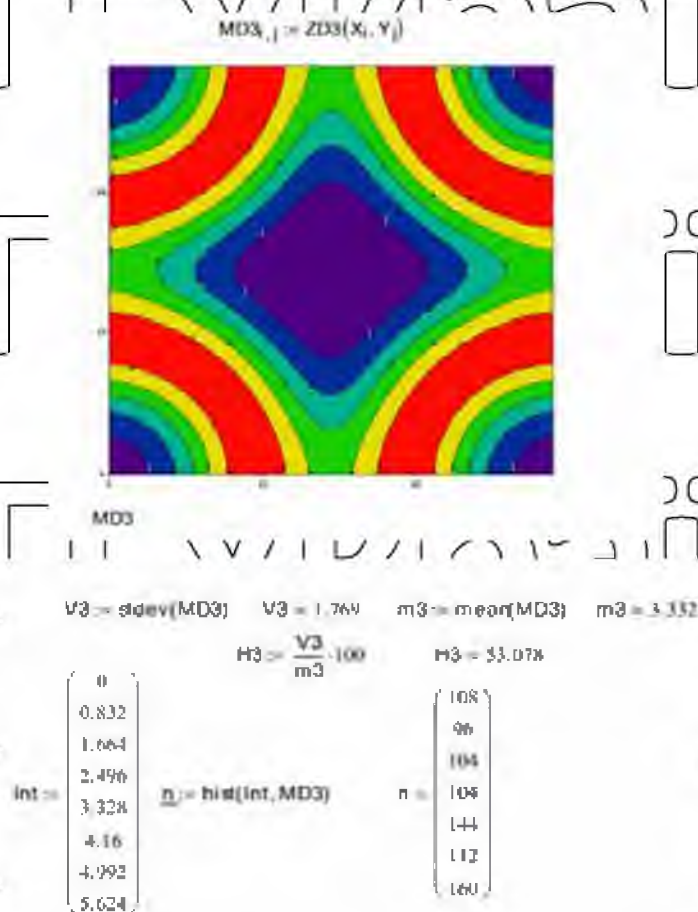


Рисунок 2.5 - Розрахунок показників рівномірності поливу на площі, зрошуваної чотирма апаратами при $A = B = 30$ м

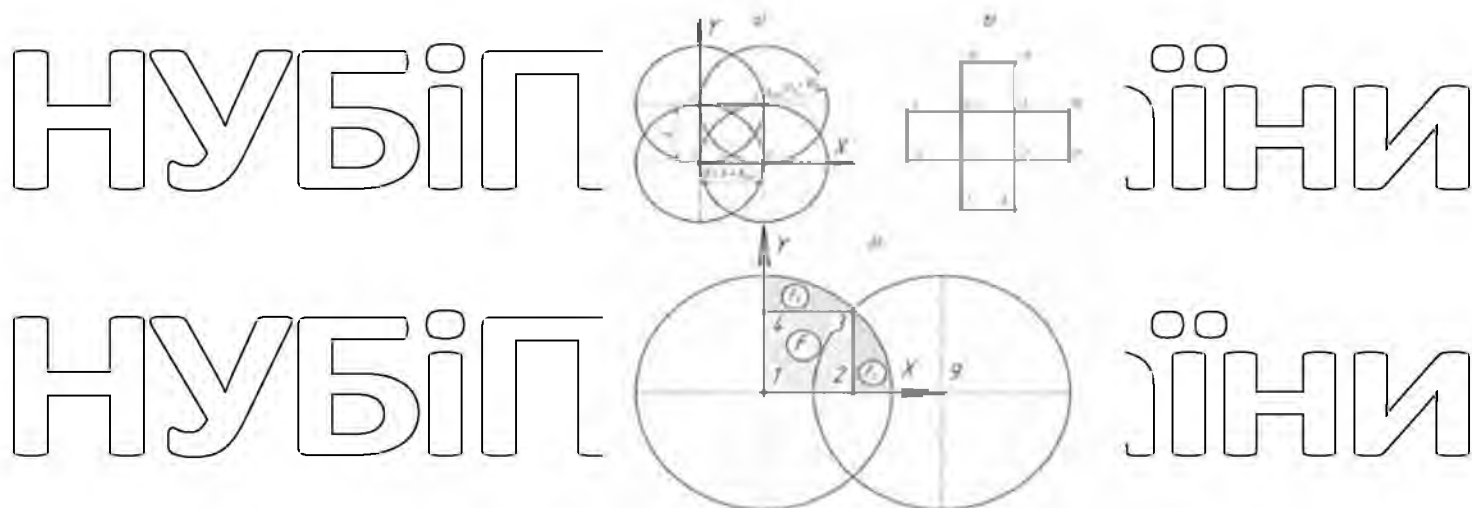


Рисунок 2.6 - Схеми побудови моделей дощування

Для виконання оптимізації розроблено програми обчислення дози на квадратах, обмежених лініями, що з'єднують точки розташування апаратів (рисунок 2.6). Розглянемо чотири апарати. Якщо відстань між позиціями A більша або дорівнює (рисунок 2.6 а) максимальному радіусу дощування, то на майданчик F , обмежений лініями, що з'єднують точки 1, 2, 3, 4 розташування апаратів, потрапляє вода тільки від чотирьох апаратів. Кількість її дорівнює добутку витрати через один апарат на час дощування. На майданчик F кожен апарат видає четверту частину витрати, інші апарати в дощуванні майданчика участі не беруть. Моделі для розрахунку дози дощування виходять порівняно простими, оцінка рівномірності поливу всього поля така, як і залікового майданчика F . Однак, як показали розрахунки, отримати розподіл односплосним апаратом у межах допусків не вдається [41].

У разі зменшення відстані між позиціями (рисунок 2.6 б) зона дощування апарата виходить за межі залікової площадки. У першого апарата з'являються майданчики $F1$ і $F2$ вода на яких доповнює полив суміжних майданчиків, що зрошуються з четвертої та дев'ятої позицій (рисунок 2.6 в). Точну оцінку рівномірності дощування залікового майданчика в цьому випадку необхідно виконувати з урахуванням роботи дванадцяти апаратів за малюнком 2.6 в. Попередню оцінку можна виконувати за чотирма апаратами, але обчислювати коефіцієнт повноти обліку K_y , що дорівнює відношенню суми доз на заліковому

майданчику до добутку витрати через один апарат на час поливу. Чим менше одиниць цей коефіцієнт, тим менш надійна оцінка рівномірності.

Програма $MD(A)$ [16] (додаток А) призначена для обчислення дози поливу чотирма односпловими апаратами, встановленими в кутах квадрата $A \times A$.

Виведення результатів рахунку у вигляді матриці показано на рисунку 2.7.

$$MD(10) = \begin{pmatrix} 21.824 & 22.937 & 23.589 & 23.807 & 23.826 & 23.826 & 23.807 & 23.589 & 22.937 & 21.824 \\ 22.937 & 24.56 & 25.58 & 26.079 & 26.249 & 26.249 & 26.079 & 25.58 & 24.56 & 22.937 \\ 23.589 & 25.58 & 26.955 & 27.725 & 28.042 & 28.042 & 27.725 & 26.955 & 25.58 & 23.589 \\ 23.807 & 26.079 & 27.725 & 28.703 & 29.131 & 29.131 & 28.703 & 27.725 & 26.079 & 23.807 \\ 23.826 & 26.249 & 28.042 & 29.131 & 29.619 & 29.619 & 29.131 & 28.042 & 26.249 & 23.826 \\ 23.826 & 26.249 & 28.042 & 29.131 & 29.619 & 29.619 & 29.131 & 28.042 & 26.249 & 23.826 \\ 23.807 & 26.079 & 27.725 & 28.703 & 29.131 & 29.131 & 28.703 & 27.725 & 26.079 & 23.807 \\ 23.589 & 25.58 & 26.955 & 27.725 & 28.042 & 28.042 & 27.725 & 26.955 & 25.58 & 23.589 \\ 22.937 & 24.56 & 25.58 & 26.079 & 26.249 & 26.249 & 26.079 & 25.58 & 24.56 & 22.937 \\ 21.824 & 22.937 & 23.589 & 23.807 & 23.826 & 23.826 & 23.807 & 23.589 & 22.937 & 21.824 \end{pmatrix}$$

Рисунок 2.7 - Матриця результатів підрахунку дози при $A = 10$

З матриці видно, що розподіл дуже рівномірний, хоча перекриття велике.

Програма $Kv(A)$ (додаток Б) обчислює за матрицею доз коефіцієнт варіації

Програма $Ke(A)$ [15] (додаток В) обчислює коефіцієнт ефективного поливу за матрицею доз.

Програма $Ke1(A)$ (додаток Г) призначена для обчислення коефіцієнтів недостатнього, ефективного і надлишкового поливу. Програму доповнено циклом зміни відстані між позиціями. Виведення результатів обчислення у вигляді матриці та малюнка дає змогу вибрати оптимальну відстань між позиціями апаратів

З рисунка 2.8 видно, що односпловий апарат розподіляє поливну воду відповідно до агротехнічних вимог тільки за відстані між позиціями менше ніж

12,4 м. Обчислення виконано за математичного очікування дальностей польоту крапель 10 м і середнього квадратичного відхилення дальностей 3 м. Недостатній полив під апаратами усунуто тим, що максимальна інтенсивність суміжного апарата збігається з точкою розташування сусіднього. За відстані між апаратами

менше 10 м дози поливу на всіх метрових майданчиках у зоні перекриття входять в агротехнічний допуск $M(1 \pm 0.25)$.

Можна відзначити можливість рівномірного поливу за допомогою односоплових дощувальних апаратів.

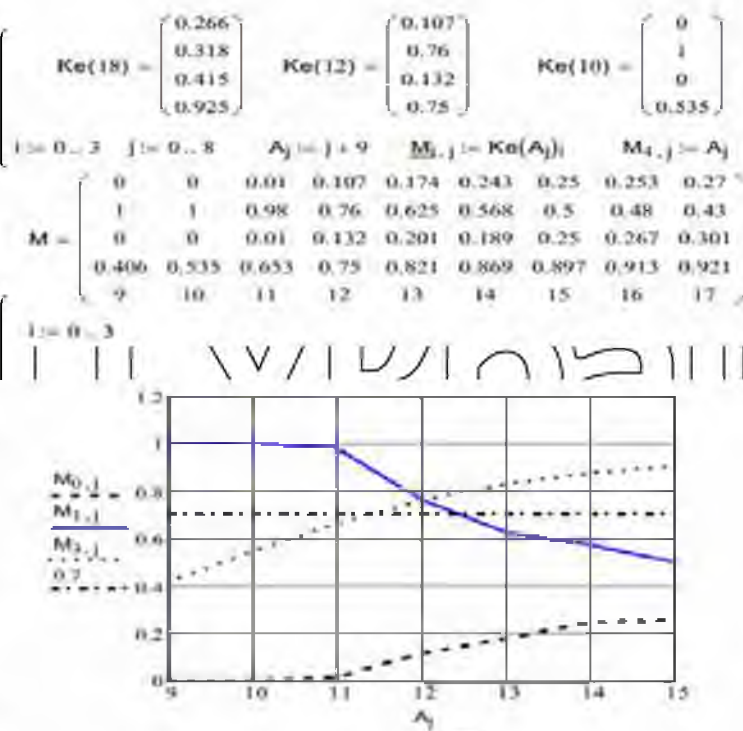


Рисунок 2.8 - Залежність коефіцієнтів якості поливу від відстані між позиціями односоплового апарата

Позначення на малюнку 2.8:

$M_{0,j}$ - коефіцієнт недополиву;

$M_{1,j}$ - коефіцієнт ефективного поливу;

$M_{3,j}$ - коефіцієнт повноти обліку;

0,7 - агротехнічний допуск якості поливу

2.2. Моделювання процесу дощування далекоструйними апаратами під час роботи по сектору

Моделювання виконуємо за припущення про рівномірне обертання апаратів у межах заданого сектора. За один цикл імпульсного руху переміщення значно менше за розмір зони дощування, тому після накладення зон дощування

розподіл води виходить таким, як і за рівномірного безперервного обертання апарата.

Побудуємо математичну модель процесу за таких припущень: розподіл дощу за кутом сектора відомий і заданий частотою ймовірностей кута $f(a)$ та витратою Q так, що сила потоку води, яка припадає на одиницю кута, дорівнює $q_a = Q \cdot f(a)$; розподіл дальності польоту крапель за радіусами відомий і заданий частотою ймовірностей дальностей $f(\rho)$; витрату Q вважають постійною, швидкість вітру дорівнює нулю; висота встановлення апаратів постійна; поверхня поля горизонтальна[42].

Нехай апарат перебуває в центрі системи координат XOY (рисунок 2.8) і працює по сектору. Положення майданчика dF , як і раніше, задано в прямокутних і в полярних координатах. Імовірність потрапляння рідини на елементарну площадку dF , виділену в зоні дощування двома радіусами з кутом між ними da і двома колами з приростом радіусу $d\rho$, визначиться як добуток ймовірностей потрапляння в діапазон кута da і радіуса $d\rho$, тобто.

$$P\{dF\} = f(a) \cdot da \cdot f(\rho) d\rho$$

Інтенсивність дощу на майданчику дорівнює кількості води, що потрапляє на нього за одиницю часу, поділений на його площу, що визначаємо за формулою (2.1). Доза поливу будь-якого майданчика стаціонарним апаратом визначається добутком інтенсивності на час роботи за формулою (2.2).

Прямокутні координати майданчика dF пов'язані з полярними співвідношеннями (2.3). Струмінь води в польоті зазнає збурливих впливів з боку повітря. Це призводить до розкиду дальностей польоту крапель, у радіальному і в тангенціальному напрямках. У середніх положеннях тангенціальний розкид дальностей дальностей згладжується. Врахувати тангенціальний розкид можна композицією рівномірного і нормального законів розподілу (рисунок 2.9).

$$-A\alpha \leq \alpha_2 \leq A\alpha \quad M_{\alpha 1} = 0 \quad \sigma_{\alpha 1} = 0.4 \quad A\alpha = 1.2 \quad i = 0.1, 30 \quad n_1 = i \cdot 0.1 = 1.5$$

$$f(\alpha) = \frac{1}{2 \cdot A\alpha} \left(\text{pnorm} \left(\frac{A\alpha - \alpha + M_{\alpha 1}}{\sigma_{\alpha 1}}, M_{\alpha 1}, \sigma_{\alpha 1} \right) - \text{pnorm} \left(\frac{-A\alpha - \alpha + M_{\alpha 1}}{\sigma_{\alpha 1}}, M_{\alpha 1}, \sigma_{\alpha 1} \right) \right)$$

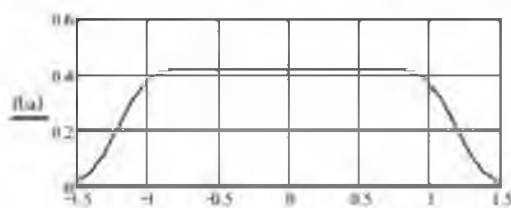


Рисунок 2.9 - Моделювання частоти ймовірностей кута розташування струменя у вигляді композиції законів розподілу

Кут розташування струменя представлений у вигляді суми двох векторів.

Перший має нормальний розподіл із числовими характеристиками $M_{\alpha 1} = 0; \sigma_{\alpha 1}$.

Другий – розподілений рівномірно в межах кута від мінус $A\alpha$ до плюс $A\alpha$.
 Слє $A\alpha$ – амплітуда коливань кута. Струменевий апарат під час роботи по сектору обертається рівномірно, отже, всі значення кута рівноімовірні і щільність ймовірностей другого кута визначається формулою:

$$f(\alpha_2) = \frac{1}{2 \cdot A\alpha} \quad (2.7)$$

Композиція законів рівномірного і нормального розподілів задана формулою (2.8). Розподіл характеризується трьома параметрами: одностороннім інтервалом $A\alpha$ рівномірного розподілу, математичним очікуванням $M_{\alpha 1}$ вектора випадкового розсіювання, що приймається рівним нулю, і середнім квадратичним відхиленням $\sigma_{\alpha 1}$ цього вектора

$$f(\alpha) = \frac{1}{2 \cdot A\alpha} \left(\text{pnorm} \left(\frac{A\alpha - \alpha + M_{\alpha 1}}{\sigma_{\alpha 1}}, M_{\alpha 1}, \sigma_{\alpha 1} \right) - \text{pnorm} \left(\frac{-A\alpha - \alpha + M_{\alpha 1}}{\sigma_{\alpha 1}}, M_{\alpha 1}, \sigma_{\alpha 1} \right) \right)$$

де pnorm – стандартна функція нормального розподілу. (2.8)

У середній частині результат додавання двох векторів (рисунок 2.9) не призводить до відхилення від рівномірного розподілу. Плавний спад щільності ймовірностей $f(\alpha)$ на краях сектора залежить від середнього квадратичного відхилення $\sigma_{\alpha 1}$, що приймається за результатами дослідів.

Щільність ймовірностей дальностей польоту крапель від апарата з одним соплом апроксимується нормальним законом розподілу.

$$f(\rho) = \frac{1}{\sigma_{\rho}\sqrt{2\cdot\pi}} \exp\left(-\frac{(\rho-M_{\rho})^2}{2\cdot\sigma_{\rho}^2}\right), \quad (2.9)$$

де $f(\rho)$ - щільність польоту крапель, M_{ρ} , σ_{ρ} - числові характеристики дальностей польоту крапель.

Щільність імовірностей дальностей польоту крапель від апарата з двома соплами визначається за формулою.

$$f(\rho) = \frac{C_1}{\sigma_{\rho_1}\sqrt{2\cdot\pi}} \exp\left(-\frac{(\rho-M_{\rho_1})^2}{2\cdot\sigma_{\rho_1}^2}\right) + \frac{C_2}{\sigma_{\rho_2}\sqrt{2\cdot\pi}} \exp\left(-\frac{(\rho-M_{\rho_2})^2}{2\cdot\sigma_{\rho_2}^2}\right) \quad (2.10)$$

де C_1 , C_2 - вагові коефіцієнти; M_{ρ_1} , σ_{ρ_1} - числові характеристики дальностей польоту від першого сопла; M_{ρ_2} , σ_{ρ_2} - числові характеристики дальностей від другого сопла. Вагові коефіцієнти та числові характеристики дальностей польоту крапель підбираються під час моделювання за умовою найбільш

рівномірного розподілу води за радіусами або за площею дощування. За

формулами (2.2)–(2.10) складено програму Z4(X, Y) (додаток Д) обчислення дози дощування після роботи апарата на чотирьох позиціях. За технічною характеристикою апарата ДД-30 прийнято такі вихідні дані:

$$M_{\rho_1} = 30\text{м}; \sigma_{\rho_1} = 10\text{м}; M_{\rho_2} = 5\text{м}; \sigma_{\rho_2} = 1,6\text{м}; C_1 = 0,85;$$

$$C_2 = 0,15; Q = \frac{30\text{л}}{\text{с}}; \alpha_{\min} = -1,2\text{рад}; \alpha_{\max} = 1,2\text{рад}$$

Для перевірки роботи програми моделювання розподілу води з чотирьох позицій відстані ($A = 90$ м і $B = 50$ м) обрано більшими за розміри зони дощування. Тоді ізогіети від окремих позицій не перекриваються (рисунок 2.10).

Моделювання перекриття зон дощування виконано шляхом зміни відстаней між позиціями. Лінії рівнів доз поливу від окремих позицій підсумовуються й отримано загальний розподіл, який виявився більш рівномірним (рисунок 2.11).

Для оцінки рівномірності поливу виділили площу розмірами A і B в зоні перекриття і обчислили дози на метрових ділянках. За матрицею обчислено середнє квадратичне відхилення, середню дозу і коефіцієнт варіації доз, який виявився на прийнятному рівні - 21,1%.

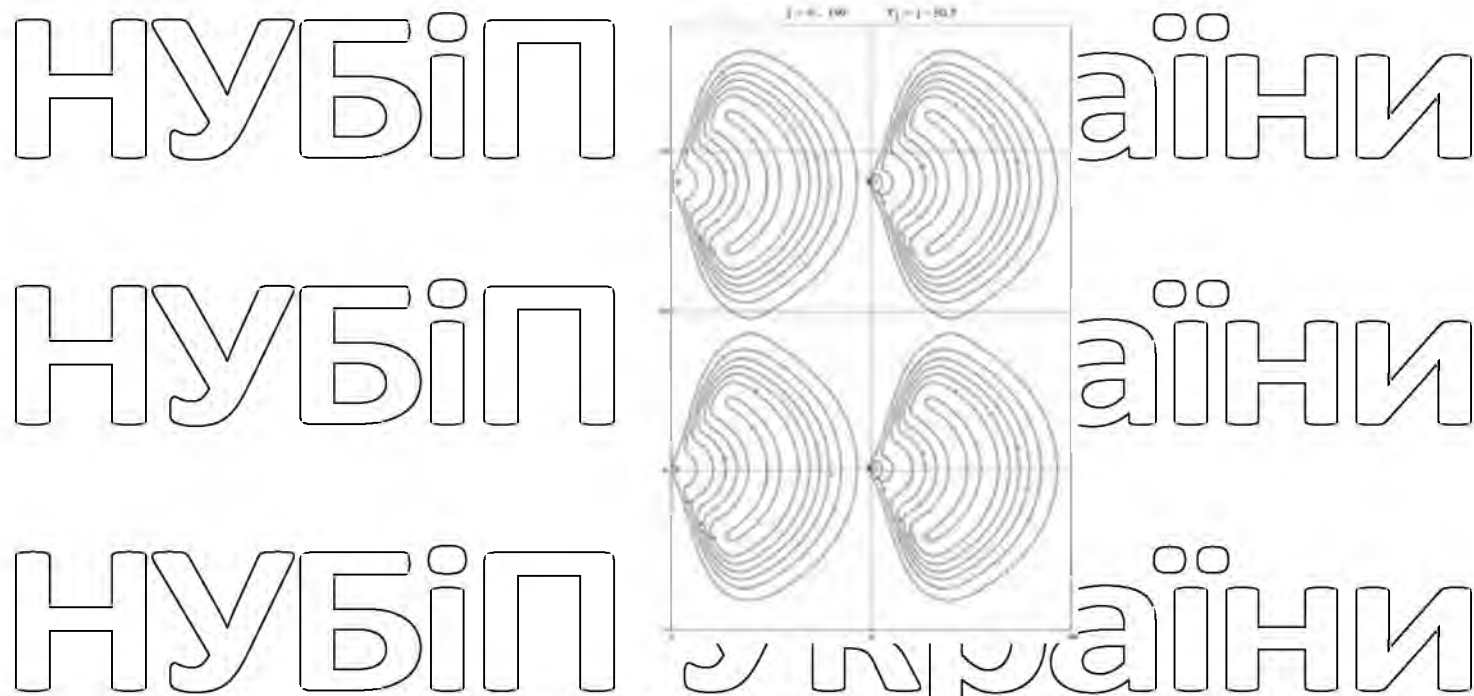


Рисунок 2.10 - Моделювання розподілу води далекоструменевим

апаратом з чотирьох позицій при $A = 90$ м; $B = 50$ м при роботі по сектору

Далі обчислено граничні дози області ефективного поливу. Межі класів розраховані починаючи від середньої дози. Зона ефективного поливу обмежена межами $qFsr \pm 0,25 \cdot qFsr$. Класові проміжки обрано рівними

$0,25qFsr$. Частоту класів обчислили за стандартною програмою *Mathcad* –

hist. Два верхні класи характеризують зону недостатнього поливу, два наступні – зону ефективного поливу, і останній клас – зону надлишкового поливу.

Показники рівномірності виявилися прийнятними. Коефіцієнт ефективного

поливу має бути не меншим за 0,7, фактично отримано - 0,758.

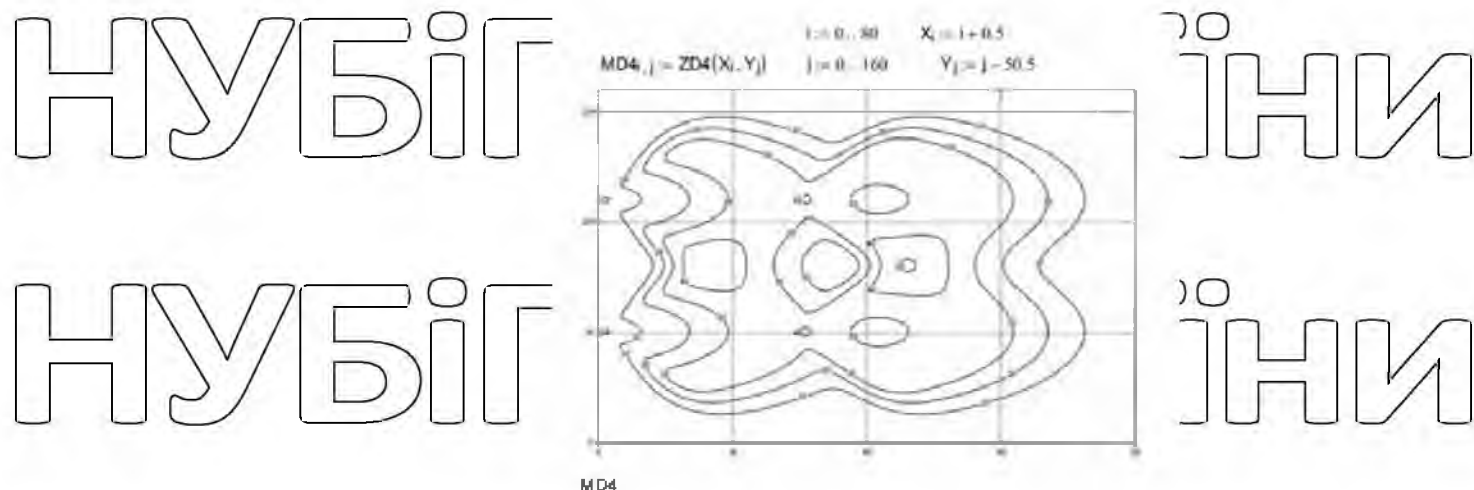


Рисунок 2.11 - Моделювання перекриття зон дощування при $A = 60$ м; $B = 30$ м

У центрі рисунка 2.11 спостерігається зона надлишкового поливу. Її можна зменшити збільшенням відстані A , але зліва при цьому збільшиться недополив, який можна усунути допоміжним соплом.

2.3. Висновки по процесу моделювання

Моделювання розподілу води середньоструменевими і далекоструменевими апаратами кругової дії показало, що найважливішою умовою рівномірного розподілу є перекриття зон поливу від суміжних апаратів [17, 18]. Інтуїтивно підібрати оптимальне перекриття важко, скоріше навіть неможливо. Виконання оптимізації можливе тільки під час розроблення спеціальних процедур пошуку мінімуму або максимуму.

Односопловий апарат у стаціонарних системах і на машинах позиційної дії може забезпечити розподіл води по площі поливу, що відповідає агротехнічним вимогам, тільки за великого перекриття зон дощування сусідніх апаратів. Ефективна відстань між позиціями в 1,2 раза більша за математичне очікування дальностей польоту крапель [43].

Секторний спосіб роботи апаратів застосовують для роботи далекоструменевих апаратів для кінцевих апаратів машин кругової дії. За рівномірністю поливу цей спосіб менш ефективний порівняно з роботою по колу. Можна зазначити, що машини безперервного руху також можуть забезпечити більш рівномірний розподіл поливної води по площі за рахунок зменшення недополиву під апаратами.

РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОДІЛУ ВОДИ МАШИНАМИ ТА АПАРАТАМИ БЕЗПЕРЕРВНОГО ПОСТУПАЛЬНОГО РУХУ

3.1. Моделювання розподілу води машинами з апаратами кругової дії

Моделі зони дощування апаратів на стаціонарі такі самі, як отримані в другому розділі. Імітація руху машини виконується інтегруванням інтенсивностей по лінії, паралельній осі Y або вектору швидкості машини. У формулі (2.1) необхідно виконати заміну полярних координат на прямокутні.

Струменевий апарат здійснює імпульсне обертання навколо своєї осі. Приріст кута за один імпульс малий порівняно з кутовим розміром зони дощування за нерухомого апарату, тому відбувається багаторазове накладення зон дощування і можна вважати всі кутові координати апарату рівноймовірними

[9,20,21]. Щільність імовірності кута вважаємо рівною $f(\alpha) = 1/2\pi$.

Розглянемо рух апарата разом із машиною відносно нерухомих майданчиків поля. Доза поливу при цьому визначається інтегруванням інтенсивності за часом. Зміна інтенсивності в часі визначається траєкторією відносного руху зони поливу і майданчика. Оскільки $dt = dS/V_M$ то дозу поливу можна визначити як криволінійний інтеграл першого типу:

$$q_F = \frac{1}{V_M} \int_K I(x, y) dS, \quad (3.1)$$

де K - крива відносної траєкторії майданчика і зони поливу.

Нехай рух машини йде вздовж осі Y . Позитивний відлік кутів ведемо від осі Y проти годинникової стрілки. Прямокутні координати майданчика dF пов'язані з полярними співвідношеннями (2.3). Інтегрування ведемо за лінією

L , паралельною до осі Y , що відстоїть від неї на відстані X . Тоді:

$$q_F = \frac{1}{V_M} \int_K I(x, y) dy, \quad (3.2)$$

Програма (рисунок 3.1) рахує дозу зрошення одним дощувальним апаратом у заданому діапазоні координати X з кроком $0,5$ м, який можна задати іншим.

```

Q(Mp,ap) -
n ← 80
Qa ← 2
Vm ← 1
for i ← 0..n
  X ← i * 0.5 - 20.25
  Mb,i ← X
  tn ← -20
  tk ← 20
  f ← ∫tntk  $\frac{Qa - 1}{Vm} \frac{dnorm(\sqrt{X^2 + t^2}, Mp, ap)}{\sqrt{X^2 + t^2}} dt$ 
  Mb,i ← f
  
```

Рисунок 3.1 – Програма розрахунку дози зрошення струменевим апаратом з одним соплом

Графіки розподілу води за шириною мають дві вершини (рисунок 3.2). Висота вершин більша за купчастого розподілу води за радіусами. Друге сріпю у струневих апаратів застосовують для підвищення рівномірності поливу в середині смуги дощування.

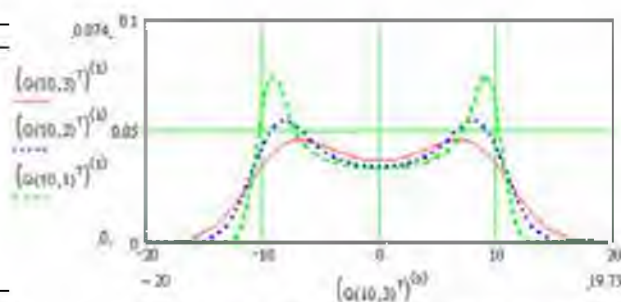


Рисунок 3.2 - Графіки розподілу води по ширині смуги дощування струменевим апаратом з одним соплом

Програма (рисунок 3.3) рахує дозу дощування струменевим апаратом із двома соплами. Співвідношення витрат води через апарати задано відношенням $K = Q_a / Q_1$, де Q_a - витрата через основне сопло. Відношення витрат введено в число аргументів функції дози. Його можна оптимізувати за критерієм мінімуму

коефіцієнта варіації доз. Графіки зміни дози за шириною смуги дощування вирівнюються (рисунком 3.4). Візуально найкращим є відношення подачі $K = 6$.

```

Q(Mp,σp,M1p,σ1p,K) :=
n ← 80
Qa ← 1
Q1 ←  $\frac{Qa}{K}$ 
Vm ← 0.01
for i ∈ 0..n
  X ← i·0.5 - 20.25
  M0,i ← X
  tn ← -20
  tk ← 20
  f ←  $\int_{tn}^{tk} \frac{1}{Vm} \cdot \frac{1}{2\pi} \left( Qa \cdot \frac{\text{dnorm}(\sqrt{X^2+t^2}, Mp, \sigma p)}{\sqrt{X^2+t^2}} + Q1 \cdot \frac{\text{dnorm}(\sqrt{X^2+t^2}, M1p, \sigma 1p)}{\sqrt{X^2+t^2}} \right) dt$ 
  M0,i ← f
M
  
```

Рисунок 3.3 - Програма розрахунку дози зрошення як функції

параметрів зони дощування та відношення витрат

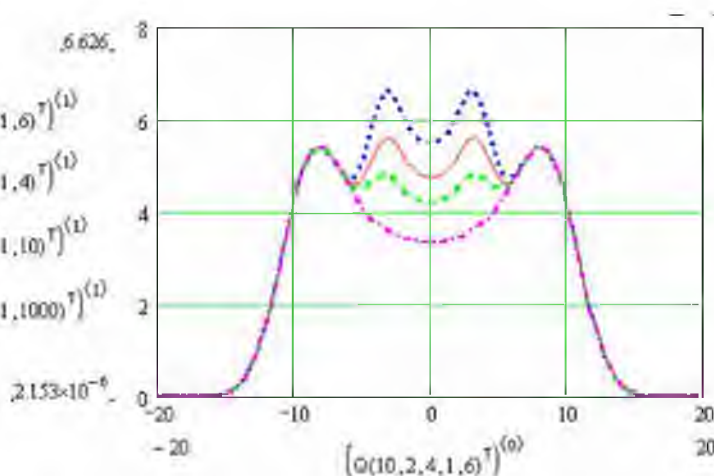


Рисунок 3.4 - Графіки зміни дози за шириною смуги дощування при різних співвідношеннях витрат

Рівномірність з урачуванням перекриття оцінює програма (рисунком 3.5). За допомогою функції *min* знаходиться найменше значення коефіцієнта варіації.

Значення ширини, коефіцієнта варіації та середньої дози виводяться на друку вручну.

```

V(Mp,σp,M1p,σ1p,K) = Bmax ← 28
Bmin ← trunc( (Bmax) / 2 )
j ← 0, Bmax
for j ← 0, Bmax
  B ← j 0.5 + Bmin
  V0,j ← B
  Qj ← n - B/2 - 1
  Qa ← 1
  Q1 ← Qa / K
  Vm ← 0.01
  for i ← 0, n
    X ← 1 0.5 + 0.25
    tn ← -20
    tk ← 20
    f ← [ ∫tntk ( Qa dnorm(√(X²+t²), Mp,σp) / (2 √m π √(X²+t²)) dt + ∫tntk ( Q1 dnorm(√(X²+t²), M1p,σ1p) / (2 √m π √(X²+t²)) dt )
    + [ ∫tntk ( Qa dnorm(√((X-B)²+t²), Mp,σp) / (2 √m π √((X-B)²+t²)) dt + ∫tntk ( Q1 dnorm(√((X-B)²+t²), M1p,σ1p) / (2 √m π √((X-B)²+t²)) dt ) ]
    zj ← f
  end for
  Mj ← mean(Qj)
  Dj ← Var(Qj)
  Sigj ← √Var(Qj)
  V1,j ← Sigj / Mj * 100
  V2,j ← Mj
end for

```

Рисунок 3.5 - Програма оптимізації відстані

між струменевими апаратами з двома соплами

Нерівномірність $V=6,2\%$ отримано за ширини $21,5$ м і $K=6$. Співвідношення $K=6$ було найкращим при $\sigma_p=2$. Збільшення цього параметра до трьох (рисунок 3.6) призвело до зменшення мінімуму нерівномірності до $3,721\%$ при $K=10$. Інші

значення K призводять до підвищення нерівномірності. Діапазон ширини ΔB , за

якого $V < 10\%$, у струминного апарата характеризує стійкість машини до зміни тиску в трубопроводі, тобто до зміни числових характеристик, тобто до зміни числових характеристик дальності польоту крапель дощу

НУБІП України

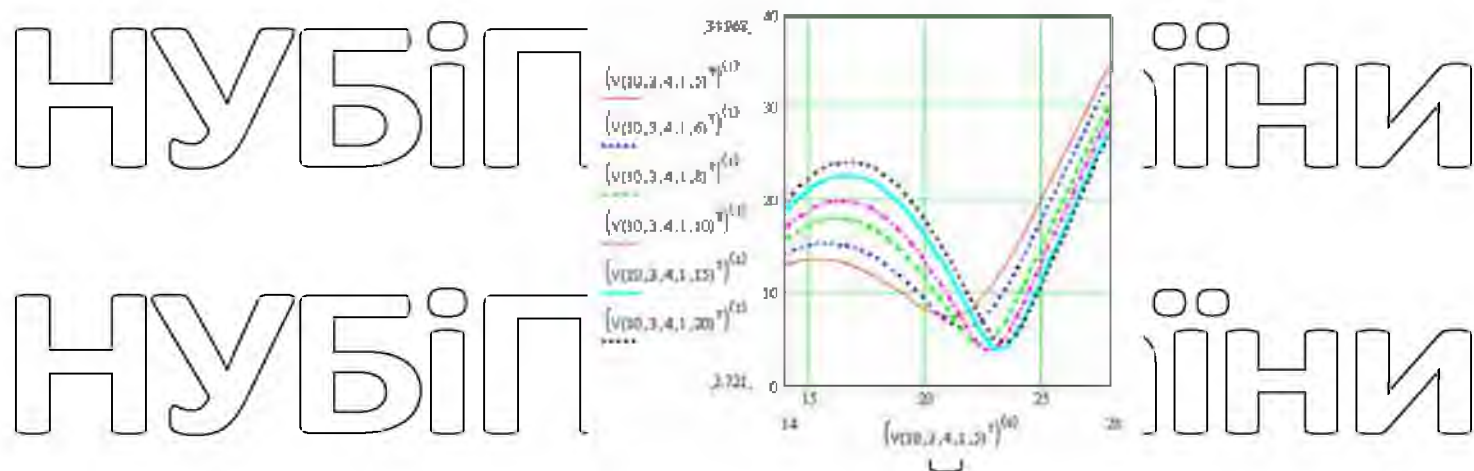


Рисунок 3.6 –Графіки нерівномірності розподілу води

струменевим апаратом із двома соплами при відношеннях між витратами

$$K = 5; 6; 8; 10; 15; 20$$

Мінімальна нерівномірність та інтервал кроку встановлення апаратів на трубопроводі з нерівномірністю менше 10% можуть слугувати непрямыми критеріями стійкості розподілу. Можна припустити, що чим вищою є теоретична рівномірність, тим більшою є різниця між допустимою і теоретичною нерівномірністю, тим більшими мають бути збурювальні впливи для виведення процесу в діапазон браку.

3.2. Моделювання розподілу води машинами з насадками секторної дії

Нині на машинах фронтального переміщення застосовують дефлекторні насадки секторної дії та середньоструменеві дощувальні апарати [20]. Дефлекторні насадки працюють при малих тисках, чим досягається зниження енергоємності процесу розподілу рідини по полем, крім того, вони можуть давати більш рівномірний розподіл води.

Недоліком секторних насадок є зниження розмірів зони дощування і, отже, підвищення інтенсивності дощу. Якщо ґрунт має малу всмоктувальну здатність, то доводиться збільшувати швидкість руху машини або зменшувати подачу води

в машину. Останнє призводить до зменшення продуктивності машини, що небажано.

Оптимізації процесу роботи машин за критеріями рівномірності розподілу рідин дає змогу знизити матеріальні та енергетичні витрати, підвищити ймовірність якісної роботи при зміні умов експлуатації, наприклад, рельєфу поля або вітру. Дощувальні насадки створюють віяло дощу, яке зростає сектор на полі [14]. Площу, зрошувану одним апаратом, називаємо зоною дощування.

Попередньо оцінюємо рівномірність дози коефіцієнтом варіації, який пов'язаний із коефіцієнтом ефективного поливу функціональною залежністю, якщо відомий закон розподілу відхилень дози як випадкової величини.

Інтенсивність дощу на майданчику визначається формулою (2.1). Програми моделювання розподілу води дощувальними насадками складено в системі *MathCAD* [22]. Наведемо позначення величин, які використовувалися

під час програмування в *MathCad* (рисунок 3.7).

Q_a, Q_1	Витрата води апаратом або одним соплом, л/с.
V_m	Швидкість машини, м/с.
M_a	Математичне очікування кута зони поливу, рад.
σ	Середнє квадратичне відхилення кута зони поливу, рад.
M_p	Математичне очікування дальність польоту капель, м.
σ_p	Середнє квадратичне відхилення дальності польоту капель, м.
$Q(M_a, \sigma_a, M_p, \sigma_p, X)$	Функція дози поливу від ширини X і параметрів зони дощування, л/м ² .
$V(M_a, \sigma_a, M_p, \sigma_p)$	Коефіцієнт варіації дози, як функція параметрів зони дощування.

Рисунок 3.7 - Позначення величин у системі *MathCAD*

Експериментальні результати дослідження характеристик випадкових величин: дальності польоту крапель густини потоку за кутом дощування показали допустимість застосування припущення про нормальний розподіл цих величин під час моделювання роботи секторних насадок.

Програма (рисунок 3.8) обчислює дозу як функцію від параметрів зони дощування з циклом по X .

Результати роботи програми представлені на малюнку 3.9.

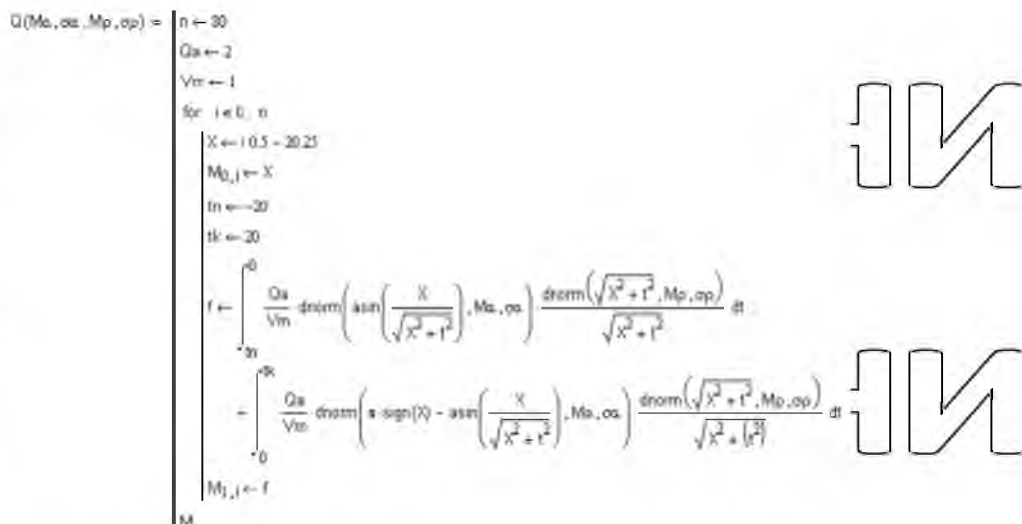


Рисунок 3.8 - Програма розрахунку дози зрошення секторною насадкою

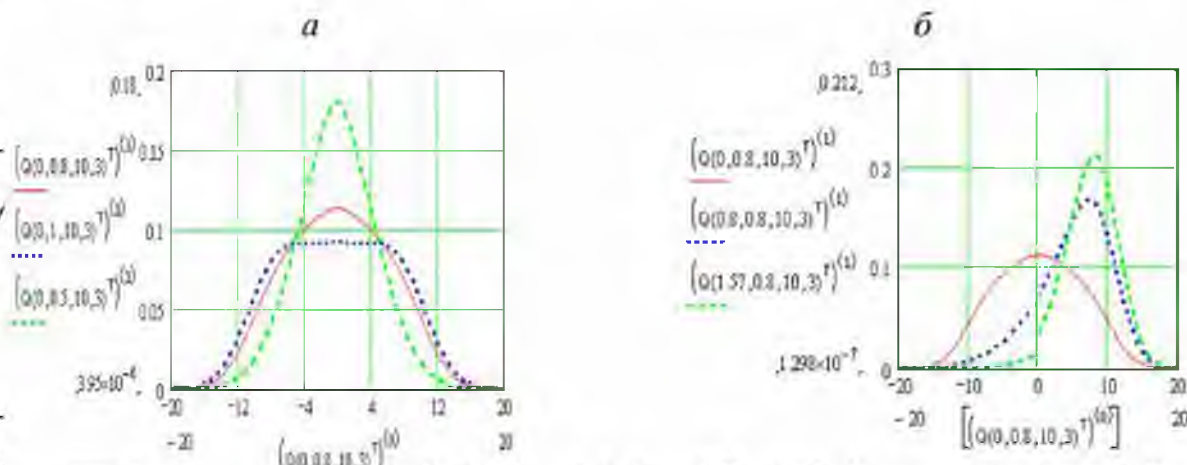


Рисунок 3.9 - Графіки розподілу води по ширині смуги дощування дефлекторною насадкою секторної дії

Вибором оптимального перекриття зон дощування сусідніх насадок можна отримати дуже рівномірний розподіл води. Програма (рисунок 3.10) моделює перекриття зон дощування та видає результат підрахунку у вигляді вигляді матриці (рисунок 3.11) або графіка (рисунок 3.12).


```

Q(Ms,os,Ms,op,B) =
n ← 159
Qs ← 1
Vm ← 0.01
for i ← 0..n
  X ← 10.3 - 20.25
  M0,i ← X
  fs ← -20
  fh ← 20
  f ← ∫fsfh [  $\frac{Qs}{Vm} \operatorname{dnorm}\left(\operatorname{asin}\left(\frac{X}{\sqrt{X^2+1^2}}\right), Ms, os\right) \frac{\operatorname{dnorm}\left(\sqrt{X^2+1^2}, Mp, op\right)}{\sqrt{X^2+1^2}} dt$ 
    +  $\frac{Qs}{Vm} \operatorname{dnorm}\left(+ \operatorname{sign}(X) - \operatorname{asin}\left(\frac{X}{\sqrt{X^2+1^2}}\right), Ms, os\right) \frac{\operatorname{dnorm}\left(\sqrt{X^2+1^2}, Mp, op\right)}{\sqrt{X^2+1^2}} dt$ 
    +  $\frac{Qs}{Vm} \operatorname{dnorm}\left[\operatorname{asin}\left[\frac{X-B}{\sqrt{(X-B)^2+1^2}}\right], Ms, os\right] \frac{\operatorname{dnorm}\left[\sqrt{(X-B)^2+1^2}, Mp, op\right]}{\sqrt{(X-B)^2+1^2}} dt$ 
    +  $\frac{Qs}{Vm} \operatorname{dnorm}\left[+ \operatorname{sign}(X-B) - \operatorname{asin}\left[\frac{X-B}{\sqrt{(X-B)^2+1^2}}\right], Ms, os\right] \frac{\operatorname{dnorm}\left[\sqrt{(X-B)^2+1^2}, Mp, op\right]}{\sqrt{(X-B)^2+1^2}} dt$  ]
  M1,i ← f
  
```

Рисунок 3.10 - Програма моделювання перекриття зон дощування

$Q(0,0.8,10,3,20) =$

	36	37	38	39	40	41	42
0	-2.25	-1.75	-1.25	-0.75	-0.25	0.25	0.75
1	5.387	5.472	5.548	5.611	5.674	5.676	5.615

Рисунок 3.11 - Матриця результатів рахунку дози

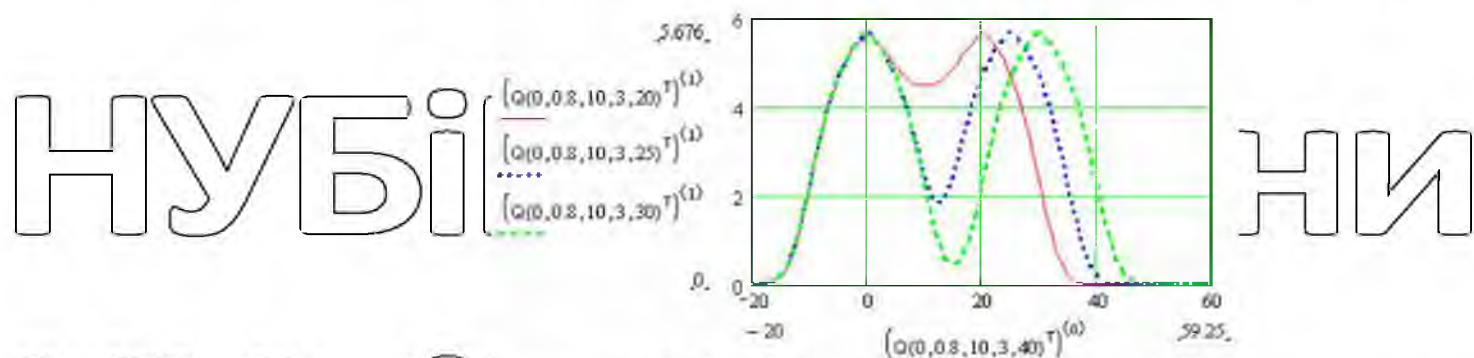


Рисунок 3.12 - Графік зміни дози в зоні перекриття при B= 20, 25 і 30 м

Межі зміни аргументу X задають у програмі числом точок обчислення,

кроком його зміни X і початковим значенням. На малюнку 3.12 число точок $n=159$, крок дорівнює 0.5 м, початок рахунку при $X = -20.25$. Програма не рахує дозу при $X = 0$, тому і X_i і $X_{поч.}$ задані так, щоб для будь-якої з точок X не дорівнювало нулю. Великі матриці *MathCAD* виводить у вигляді таблиць зі смугою прокрутки, що дає можливість перегляду всієї матриці від $i=0$ до $i=159$.

У нульовому рядку таблиці виведено відстань X між насадками, у першому - доза. Аналіз зміни дози в зоні перекриття (рисунок 3.12) дає змогу зазначити, що при $B = 20$ м оптимальне перекриття не досягнуто. Якщо зменшити відстань між насадками, то розподіл стане рівномірнішим.

Оптимальну розстановку насадок розраховує така програма (рисунок 3.13)

[16]

```

V(Ma,os,Mp,op) = Bmax ← 35
Bmin ← trunc( $\frac{Bmax}{2}$ )
j ← 0 Bmax
for j ∈ B Bmax
  B ← j·0.5 + Bmin
  Vg,j ← B
  Qj ← [
    n ← B·2 + 1
    Qa ← 1
    Vm ← 0.02
    for i ∈ B n
      X ← i·0.5 + 0.25
      tn ← -20
      tk ← 20
      f ← [
         $\int_{tn}^{tk} \frac{Qa}{Vm} \cdot dnorm\left(\text{asin}\left(\frac{X}{\sqrt{X^2+t^2}}\right), Ma, os\right) \cdot \frac{dnorm(\sqrt{X^2+t^2}, Mp, op)}{\sqrt{X^2+t^2}} dt$ 
        +
         $\int_{-tk}^{-tn} \frac{Qa}{Vm} \cdot dnorm\left(\pm \text{sign}(X) - \text{asin}\left(\frac{X}{\sqrt{X^2+t^2}}\right), Ma, os\right) \cdot \frac{dnorm(\sqrt{X^2+t^2}, Mp, op)}{\sqrt{X^2+t^2}} dt$ 
        +
         $\int_{tn}^{tk} \frac{Qa}{Vm} \cdot dnorm\left[\text{asin}\left[\frac{B-X}{\sqrt{(B-X)^2+t^2}}\right], Ma, os\right] \cdot \frac{dnorm(\sqrt{(B-X)^2+t^2}, Mp, op)}{\sqrt{(B-X)^2+t^2}} dt$ 
        +
         $\int_{-tk}^{-tn} \frac{Qa}{Vm} \cdot dnorm\left[\pm \text{sign}(B-X) - \text{asin}\left[\frac{B-X}{\sqrt{(B-X)^2+t^2}}\right], Ma, os\right] \cdot \frac{dnorm(\sqrt{(B-X)^2+t^2}, Mp, op)}{\sqrt{(B-X)^2+t^2}} dt$ 
      ]
      zj ← f
    ]
  Mj ← mean(Qj)
  Dj ← Var(Qj)
  Sigj ←  $\sqrt{\text{Var}(Qj)}$ 
  V1,j ←  $\frac{\text{Sigj}}{Mj} \cdot 100$ 
  V2,j ← Mj
  
```

Рисунок 3.13 - Програма оптимізації відстані між насадками

Програма змінює відстань між насадками в межах від $B_{max}/2$ до $B_{max} =$

$2 \cdot (M_p + 3 \cdot \sigma_p)$. Межі можна задати формулами або цифрами. Результат

виводиться у вигляді таблиці EXCEL (рисунок 3.14). У першому рядку - відстань між насадками по ширині смуги дощування, у другому - коефіцієнт варіації дози на ширині B , у третьому - середнє значення дози на цій ширині.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
$V(0,0.8,10,3) =$	0	17	17.5	18	18.5	19	19.5	20	20.5	21	21.5
	1	3.99	2.739	1.856	2.368	3.945	5.907	9.059	10.339	12.709	15.149
	2	5.873	5.707	5.55	5.401	5.259	5.124	4.996	4.874	4.758	4.648

$$M = \min[(V(0,0.8,10,3)^T)^{(1)}] \quad M = \bullet \quad V(0,0.8,10,3)^{(2)} = \bullet$$

Рисунок 3.14 – Результати підрахунку по програмі оптимізації відстані. Стандартна функція *min* знаходить мінімальну нерівномірність. Для виділення рядка V_{ij} з загальної матриці його транспонують і задають номер стовпця. За цим принципом виділяють рядки матриці під час побудови графіків.

Виведення стовпця з мінімальною нерівномірністю виконано вручну. Коефіцієнт варіації дози за оптимальної відстані між насадками отримано рівним 1,87%, що можна вважати відмінним результатом моделювання. Раніше показано, що струменевими апаратами такий результат отримати неможливо або важко.

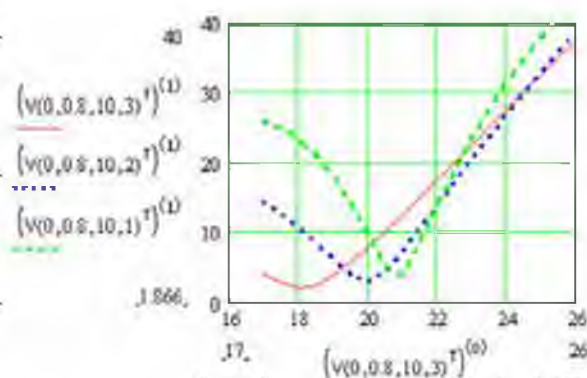


Рисунок 3.15 – Графік залежності коефіцієнта варіації дози від відстані між насадками

Графіки залежності коефіцієнта варіації від відстані між форсунками (рисунок 3.15) побудовані за різної купчастості розпаду струменя. Криві нерівномірності за різної купчастості розподілу води за радіусами відрізняються чисельним значенням мінімуму і величиною інтервалу, в якому V менше заданого допуску. При $\sigma_r = 3$ м досягнуто найвищої рівномірності та найбільшої величини інтервалу ΔV в якому $V = 10\%$. За великої купчастості ($\sigma_r = 1$ м) $V_{\min} = 3,9\%$, а $\Delta V = 1,5$ м. Вплив величини на показники розподілу води секторною насадкою істотно менший, ніж струменевим апаратом.

4. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ НАСАДОК СЕКТОРНОЇ ДІЇ

4.1. Розподіл води машинами з насадками секторної дії

Особливість методики досліджень апаратів та насадок секторної дії полягає в тому, що щільність ймовірності кута викиду частинок води не слідує закону рівномірного розподілу, і за результатами експерименту необхідно визначити характеристики розподілу кута і дальностей польоту частинок [13, 19, 23].

4.2. Опис експериментальної установки

Для проведення експериментальних досліджень використовувалося таке обладнання: насосна станція; дощувальні насадки діаметром сопла 3, 5, 7, 9 мм; анемометр М-63 із пультом; пристрій для уловлювання дощових опадів (дощомір); мензурки 10 та 20 мл для визначення обсягу опадів; манометр зразковий; секундомір; нівелір з нівелірною лінійкою; лінійки, рулетки.

Експериментальна установка складається з рами із встановленим на ній відцентрового насоса 2, увімкненого в носорну мережу (рис. 4.1)

Забір води проходить з резервуара 1. Вода в ємності накопичується з живильника 7. Для підйому води зі свердловини використовується вібраційний насос НВ-1,0 з сітчастим фільтром 6. У напірній гілці трубопроводу встановлений манометр 4 і регулятор тиску 3, за допомогою останнього можна скидати частину води до забірної мережі для регулювання тиску.

Напірна мережа, виготовлена з труб 2, заглиблена на 1,5 м у землю з ухилом від майданчика. На початку напірної мережі є кран для зливу води в зимовий час. У центрі експериментального майданчика трубопровід виведено на поверхню і продовжується вертикальним стояком регульованої висоти, на якому встановлюється дощувальна насадка 8.

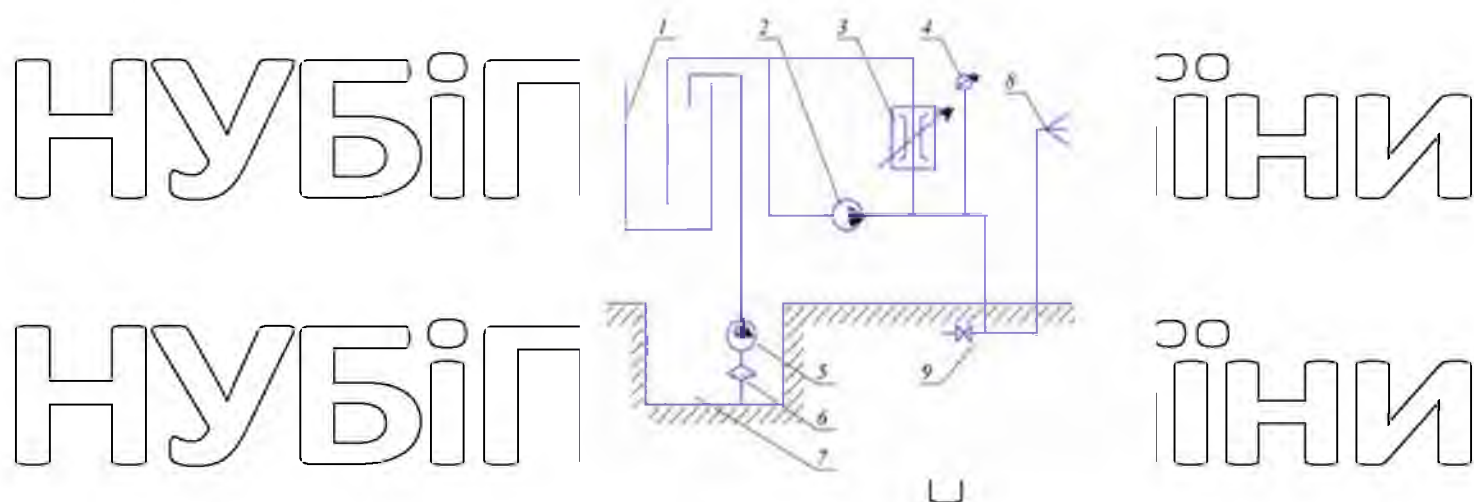


Рисунок 4.1 – Гідравлічна схема експериментальної установки

Анеморумбометр М-63 (рисунок 4.2) складається з пульта управління та датчика. Датчик встановлений на висоті 3 м та винесений для зменшення дії перешкод від будови та лісосмуги у бік майданчика.



а – датчик анеморумбометра (пульт анеморумбометра)

Рис. 4.2 – Анеморумбометр М-63

Пристрій для уловлювання дощових опадів, надалі – дощомір, складається з пластмасового бачка у вигляді усіченого конуса та металевій підставці з пластмасовим огловком (рисунок 4.3), який встановлений вільно на горизонтальній осі та має овальний вушок для самовстановлення дощомірного бачка у вертикальне положення.

Розподільний щит включає в себе пускову та розподільну апаратуру. Насосна станція (рисунок 4.4) крім насоса, дроселя та манометра має ротадійний та об'ємний витратоміри для тарування насадок.



Рис. 4.3 – Пристрій для вловлювання опадів – дощомір



Рис. 4.4 – Насосна станція

4.3. Методика лабораторних досліджень

Для побудови математичної моделі роботи дощувальної машини при фронтальному русі необхідно за допомогою експерименту отримати розподіл опадів однією насадкою (рис. 4.5). Перед початком дослідів готувалась і нівелювалася передбачувана площа поливу. За радіуси, розташовані через 30 градусів, встановлювалися з кроком 0,5 м дощеміри. Шар опадів у точці дощометра визначався за формулою:

$$h = \frac{V}{S_b}$$

де V - обсяг опадів у дощомірі, що випали за час досліду, мм;

S_b - приймальна площа дощеміру, мм².

Інтенсивність у кожній точці визначається за виразом:

$$I = \frac{h}{t} = \frac{V}{S_b \cdot t}$$

де t - тривалість досліду.



Рисунок 4.5 – Дефлекторна насадка секторного типу

Швидкість вітру під час досліду та її напрям у зоні поливу вимірювалися анеморумбометром. Досліди проводилися при швидкостях вітру трохи більше 0,5 м/с, тиск приймався рівним від 0,1 до 0,3 МПа, що відповідає умовам експлуатації машини.

Досліди проводились у наступній послідовності. За показниками анеморумбометра відзначалася швидкість вітру, проводився пробний полив, час якого за допомогою регулятора встановлювали потрібний тиск. Потім на передбачуваній площі поливу розставляють дощоміри. Включаємо в роботу установку, починається відлік середньої швидкості вітру, і протягом 20 хвилин поливається майданчик із дощомірами. Під час досліду при необхідності проводилося коригування тиску.

За час досліду двічі вимірювалася швидкість вітру. Однією із складностей проведення експерименту було те, що при деяких повторних вимірах швидкості вітру вони відрізнялися у 1,2–1,5 рази.

Після закінчення часу досліду за допомогою мензурки визначали по секторах об'єм опадів у кожному дощомірі з точністю до 0,1 мл. За результатами дослідів обчислювалися значення функції частоти ймовірностей величин ρ , α та інтенсивності в точках встановлення дощомірів.

Обчислення функцій $f(\alpha)$ та $f(\rho)$ виконувалося з урахуванням залежності (2.1) та перерахуванням обсягів у дощомірах до однакового кута $\Delta\alpha$ в інтервалі $\alpha = \Delta/6$ при обчисленні $f(\alpha)$

Характеристики зони дощування $f(\alpha)$ та $f(\rho)$ на підставі формули (2.1) знаходимо в такий спосіб.

Дощоміри, розташовані по радіусу, дають змогу обчислити:

$$I = \frac{V_i}{S_d \cdot t}$$

Підставивши I в (2.1), отримаємо:

$$f(\rho_i) = \frac{V_i \cdot \rho_i}{S_d \cdot t \cdot Q \cdot f(\alpha)} = \frac{V_i \cdot \rho_i}{C} \quad (4.1)$$

де C – постійна, яка визначається за умовою нормованості функції $f(\rho)$, тобто

$$\sum f(\rho_i) \Delta \rho = 1$$

Функцію $f(\alpha)$ за результатами експерименту можна визначити перерахуванням обсягів V_i на однаковий кут $\Delta\alpha$. Нехай із першим дощоміром стосуються радіуси, проведені під кутом $\Delta\alpha$ один до одного. Тоді

$$\Delta\alpha \cdot \rho_1 = d,$$

де d – діаметр дощоміру, мм.

Якби всі дощоміри вловлювали опади з кута $\Delta\alpha$, то діаметри дощомірів слід було б збільшувати до величини $d_i = \Delta\alpha \cdot \rho_i$.

Об'єм опадів у кожному дощомірі потрібно піднести до кута $\Delta\alpha$ та інтервалу $\Delta\rho = 0,5$ мм, тобто

$$V_i' = V_i \cdot \frac{\Delta\rho}{d} \cdot \frac{\Delta\alpha_i}{\Delta\alpha_1} = V_i \cdot \frac{\rho_i \cdot \Delta\rho}{\rho_1 \cdot d} \quad (4.2)$$

Сума всіх V_i' на даному радіусі, поділена на об'єм води, вилитої на всю площу зрошення, дає можливість попадання опадів у кут $\Delta\alpha$, а ставлення ймовірності до $\Delta\alpha$ – оцінку функції $f(\alpha)$.

Загальний обсяг опадів на площі зрошення визначається сумою:

$$f(\alpha_i) = \frac{\sum_{n=1}^{12} \sum_{i=1}^{20} V_{in}' \cdot \frac{\pi}{6\Delta\alpha_1}}{\frac{\pi}{6} \sum_{n=1}^{12} \sum_{i=1}^{20} V_{in} \rho_i} \quad (4.3)$$

4.4. Програма дослідів

Програмою дослідів передбачено їхнє проведення у два етапи. Попередні досліді проводили для перевірки вихідних припущень. При цьому визначали вид апроксимуючого закону розподілу для випадкових величин ρ і α .

Другий етап проводився для отримання рівнянь регресії числових характеристик дальності польоту по радіусу m_p и σ_p та середнього квадратичного відхилення кута σ_α від робочого тиску, висоти установки та вихідного отвору насадки, тобто залежностей:

$$m_p = f_2(P, H, d); \sigma_p = f_3(P; H; d); \sigma_\alpha = f_4(P; H; d)$$

Досліді проводились за планом Бокса-Бенксина другого порядку [24, 25] за трьох факторів. План включає три повні факторні експерименти, проведені на трьох рівнях третього фактора (таблиця 4.1). Кодування змінних виконано за відомою методикою. Нульові рівні та інтервал зміни змінних обрані з урахуванням технічних характеристик дощувальної машини «Кубань-М» [49].

Таблиця 4.1 – План експериментів щодо некомпозиційного плану другого порядку

Номер досліду	X1	X2	X3
1	+	+	0
2	+	-	0
3	-	+	0
4	-	-	0
5	0	0	0
6	+	0	+
7	+	0	-
8	-	0	+
9	-	0	-
10	0	0	0
11	0	+	+
12	0	+	-
13	0	-	+
14	0	-	-
15	0	0	0

Таблиця 4.2 - Кодування змінних

Фактор	Позначення		Значення фактора на рівні		
	розмірні	закодовані	Нижній	Нульовий 0	Верхній
Тисв. Па	P	X ₁	0,1	0,2	0,3
Висота, м	H	X ₂	1,6	2,2	2,8
Діаметр, мм	D	X ₃	3	5	7

5. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

5.1. Розподіл води секторними насадками за радіусами зони дощування

Завданнями цього дослідження були перевірка гіпотези про нормальне розподіл дальностей та отримання регресійних залежностей для опис розподілу води насадками по радіусах зони дощування. Залежності необхідні для обґрунтування розташування насадок на трубопроводі методом математичного моделювання [13, 14].

Змінними факторами при дослідженні було прийнято: тиск води перед насадкою, висота встановлення насадки над поверхнею поля, діаметр вихідного отвору насадки. Відповідно до програми досліджень реалізовано не композиційний план другого порядку з варіюванням змінних на трьох рівнях.

Дощоміри встановлювалися через 0,5 м на радіусах, розташованих симетрично щодо середини зони дощування з кроком або кутку 30град. За показаннями дощомерів обчислювали оцінки функції густини ймовірностей радіусів та числових характеристик: математичного очікування дальності m_r та середнього квадратичного відхилення σ_r . Розрахунок оцінок функції густини вели за $V_i \rho_i$, згідно (4.1) та (4.2).

Середні радіуси, обчислені при різному відхиленні від середини зони дощування, зменшуються при зміщенні ряду радіального дощомерів до країв зони дощування. В останніх радіальних рядах обсяг опадів малий, тому їх облік нарівні з іншими рядами давав збільшення помилки середнього значення. Так, якщо математичне очікування m_r обчислювалося за кожним радіальним рядом, а потім результат усереднювався, то середня помилка перевищувала 10%. Якщо m_r обчислювалося за обсягом опадів у дощомірах, розташованих на колах, результати виходили більше стійкими. Помилка m_r , обчислена за трьома повторностями дослідів, не перевищувала 2%, а розподіли по радіусах мало відрізнялися від нормального (рисунок 5.1). Нульова гіпотеза не відкидається при п'ятивідсотковому рівні значимості, тому далі обчислювали числові

характеристики нормального розподілу: математичне очікування дальності – m_ρ та середнє відхилення квадратне σ_ρ [43, 44].

У повному квадратному рівнянні для m_ρ незначними виявилися коефіцієнти при X_2 , при взаємодіях $X_1 X_3$ та $X_2 X_3$ та при X_1^2 , X_2^2 , X_3^2 .

Після відкидання незначних членів та перерахунку коефіцієнтів за способом найменших квадратів отримали адекватне рівняння:

$$m_\rho = 3,4077 + 0,085028 \cdot X_1 + 0,634684 \cdot X_2 - 0,10431 \cdot X_1 \cdot X_2 \quad (5.1)$$

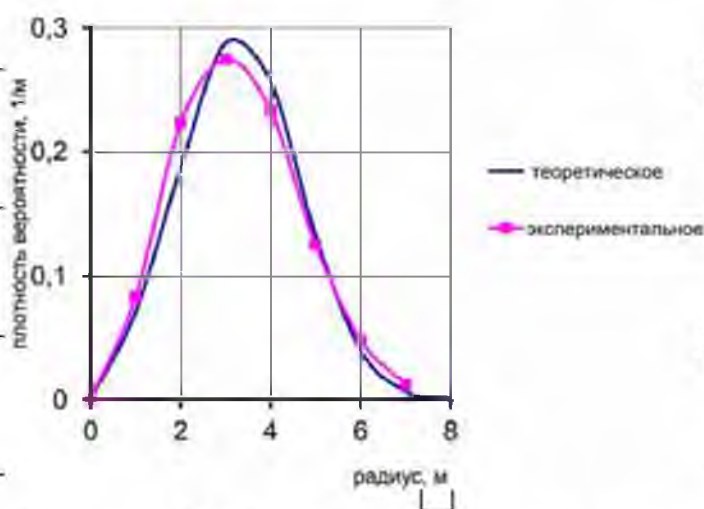


Рисунок 5.1 – Розподіл води за радіусами

Результати дослідів наведено у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 - Результати дослідів щодо визначення характеристик дальності польоту крапель

Номер опыта	X_1	X_2	X_3	m_ρ	σ_ρ
1	+	+	0	3,48315	1,57093
2	+	-	0	3,60845	1,40109
3	-	+	0	3,36552	1,45021
4	-	-	0	3,07356	1,06679
5	0	0	0	3,35620	1,48650
6	+	0	+	4,20362	1,53092
7	+	0	-	2,58847	1,06938
8	-	0	+	4,02263	1,51190
9	-	0	-	2,74175	1,24079
10	0	0	0	3,43650	1,37793
11	0	+	+	4,01597	1,52732
12	0	+	-	3,03174	1,39686
13	0	-	+	4,01452	1,46967
14	0	-	-	2,81732	1,18210
15	0	0	0	3,35647	1,38186

Незначимість X_2 у лінійному члені пояснюється, мабуть, малим інтервалом варіювання фактора, проте впливає у взаємодії з X_1 . Поверхня відгуку (рисунок 5.2), через взаємодію $X_1 X_2$, набуває гвинтоподібність.

Рівняння (5.1) у натуральних змінних має вигляд:

$$m_p = 0,88626 + 4,67498 \cdot P + 0,317342 \cdot d - 0,3477 \cdot H - 1,7385 \cdot P \cdot H$$

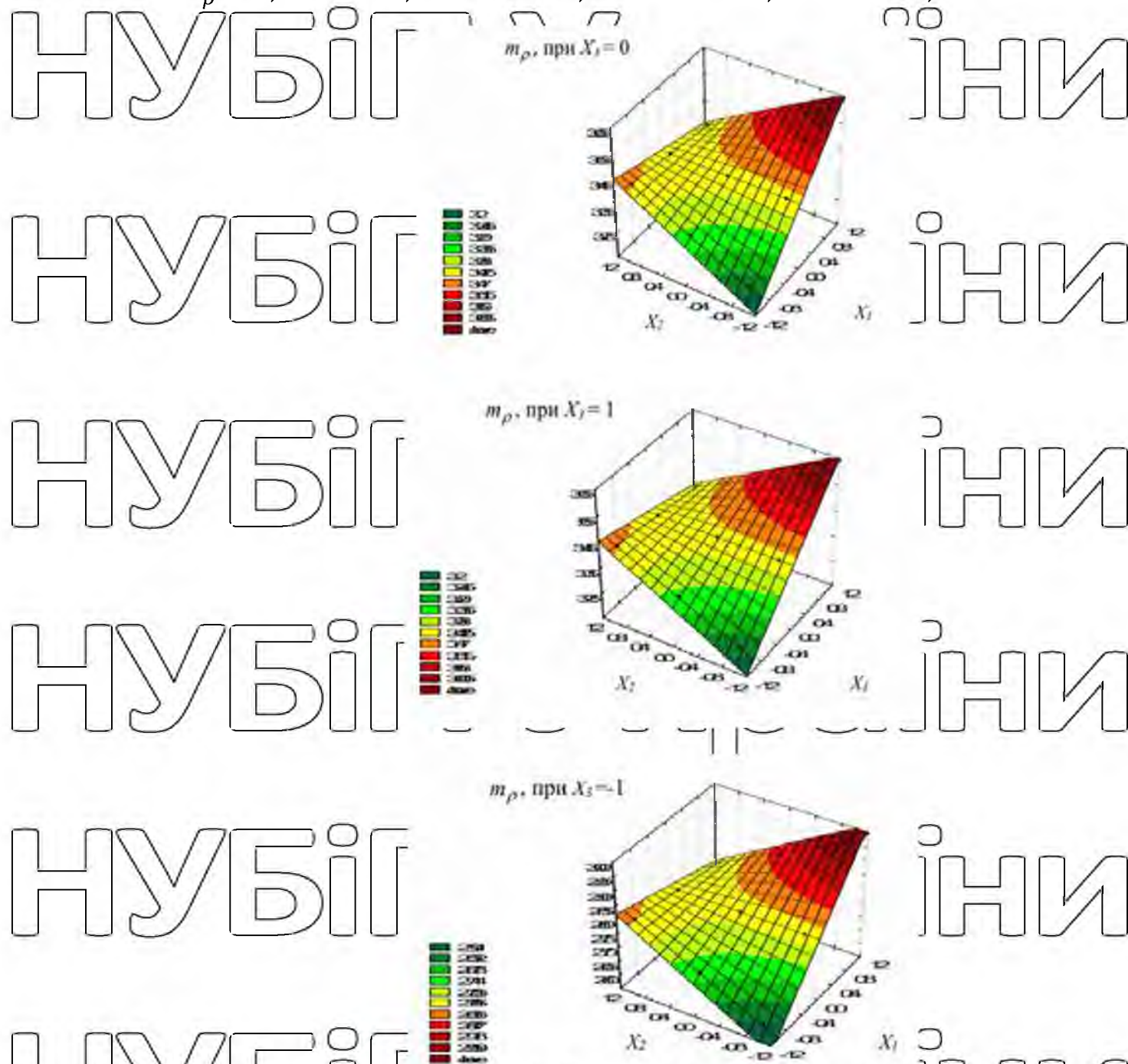
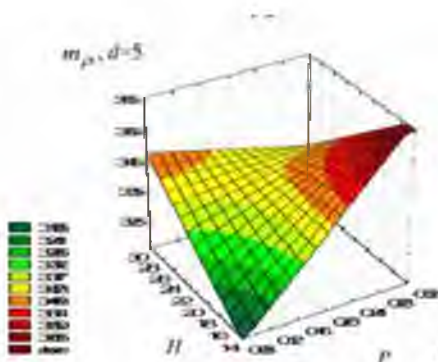


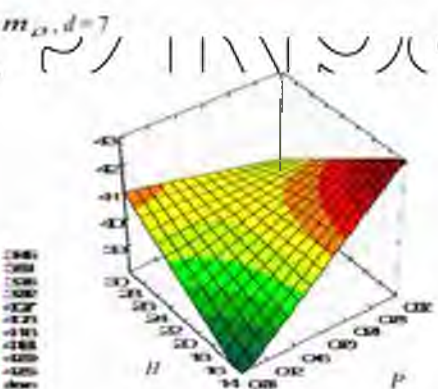
Рисунок 5.2 а – Аналіз рівнянь, що характеризують розподіл води за радіусами при кодованих змінних

НУБІП



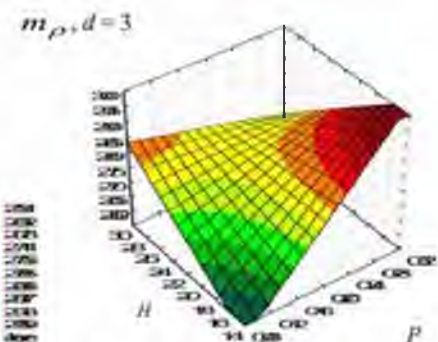
їїни

НУБІП



їїни

НУБІП



їїни

НУБІП



їїни

НУБІП

у України

Рисунок 6.2 б – Аналіз рівняння $m = f(P, H, d)$ у натуральних змінних

Математичне очікування радіусу знижується, якщо X_1 та X_2 мають

однаковий знак і підвищується, якщо X_1 та X_2 знаходяться на протилежних

рівнях. Найбільший приріст дальності виходить при сильному збільшенні X_1 і

$X_1 < X_2$, тобто при від'ємному значенні X_2 . Дальність m_p зростає на 0,5 м при

переході X_1 із нижнього на верхній рівень у всіх насадок (рисунок 5.2 а). На

верхньому рівні X_2 ефекти X_1 і $X_1 < X_2$ мають протилежні знаки і при підвищенні

X_1 дальність m_p знижується приблизно 0,1 м.

Найбільша дальність $m_p = 4,2$ м стримана на верхніх рівнях X_1 та X_3 та на

нижньому X_2 . Найменша дальність $m_p = 1,75$ м отримано на нижньому рівні X_3 ,

тобто при $d = 3$ мм та верхніх рівнях X_1 та X_2 .

НУБІП

у України

При фіксуванні значень X_1 поверхня відгуку стає плоскою, яка за $X_1=0$ паралельна осі X_2 . Зміна X від -1 до +1 наводить до незначного повороту площини проти годинникової стрілки навколо осі X_3 , якщо з боку її позитивного напрямку (рисунок 5.3).

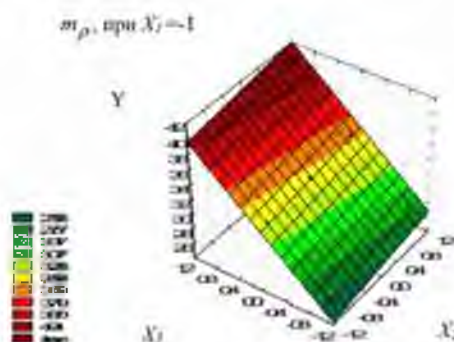


Рисунок 5.3 – Аналіз рівняння, що характеризує розподіл води за радіусами

Розкид значень ρ характеризується середнім квадратичним відхиленням σ_ρ . Значення якого наведені в таблиці 5.1. Найбільше значення $\sigma_\rho=1,57$ м отримано у першому досліді, де перші два фактори знаходяться на верхньому рівні. Найменше значення σ_ρ отримано у чотирнадцятому досліді при нульовому рівні першого фактора та мінімальних рівнях другого та третього факторів.

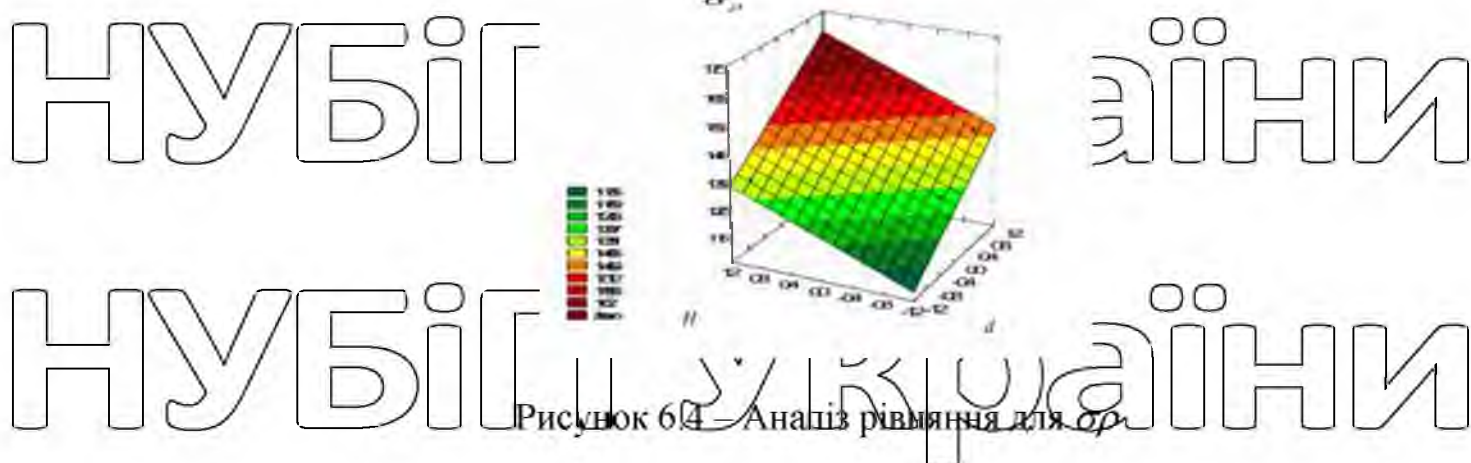
Повне квадратне рівняння, отримане за результатами дослідів, адекватно, але більшість його коефіцієнтів – незначні [48]. Після виключення незначних та перерахунку значущих коефіцієнтів отримали адекватне рівняння із трьома коефіцієнтами:

$$\sigma_\rho = 1,377617 + 0,103211 \cdot X_2 + 0,13836 \cdot X_3 \quad (5.3)$$

У натуральних змінних рівняння (5.3) має вигляд:

$$\sigma_\rho = 0,6528726 + 0,17202 \cdot H + 0,06918 \cdot d \quad (5.4)$$

Рівняння має тільки лінійні члени і поверхня відгуку є площиною (рисунок 5.4)



На величину σ_r не впливає тиск чи інтервал його зміни дуже малий.

Вплив висоти H та діаметра отвору насадки – лінійний. Поверхня відбиття σ_r має лінію найбільшого ската у напрямку діагоналі площини $X_2 X_3$. Найменше значення σ_r отримано на мінімальних рівнях X_2 та X_3 , тобто при мінімальній висоті установки насадки $H = 1,2$ м мінімальний діаметр вихідного отвору $d = 3$ мм.

Отримана залежність функції густини $f(\rho)$ входить до математичних моделей процесу дощування. На основі моделей можна обґрунтувати режими роботи та налаштування дощувальної машини фронтальної дії.

5.2. Розподіл води по секторах дефлекторними насадками дощувальних машин

З метою отримання вихідних даних про розподіл води по секторах для оптимізації процесу дощування за критеріями рівномірності поливу та енергозбереження було проведено трифакторний експеримент з некомпозитного плану другого порядку з варіюванням факторів на трьох рівнях [13].

Змінними факторами згідно з програмою дослідів (таблиця 4.1) прийнято тиск P перед насадкою, висота установки насадки H і діаметр вихідного отвору

Функціями відгуку у дослідях приймаємо числові характеристики нормального закону розподілу води у секторах. Випробування насадок показало, що розподіл води по секторах близько до нормального (рисунок 5.5).

Нульова гіпотеза не відкидається при п'ятивідсотковому рівні значущості, для оцінки розподілу води по секторах користувалися числовою характеристикою кута. Середнім квадратичним відхиленням [47]. У машині фронтальної дії середина сектора дощування має бути орієнтована по лінії руху, тому в дослідях середній ряд збігався з серединою сектора, а за наслідками досвіду обчислювали тільки середнє квадратичне відхилення σ_{α} .

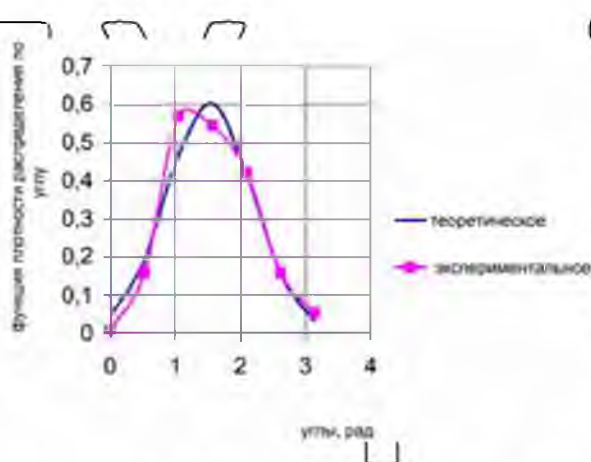


Рисунок 5.5 – Розподіл води за секторами

Результати дослідів наведено у таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 - Результати дослідів щодо визначення характеристик польову крапель по секторах

Номер опыта	X_1	X_2	X_3	σ_{α}
1	+	+	0	0,64416
2	+	-	0	0,69569
3	-	+	0	0,68710
4	-	-	0	0,65385
5	0	0	0	0,69535
6	+	0	+	0,60593
7	+	0	-	0,67544
8	-	0	+	0,62215
9	-	0	-	0,51451
10	0	0	0	0,65640
11	0	+	+	0,65168
12	0	+	-	0,57453
13	0	-	+	0,64212
14	0	-	-	0,59995
15	0	0	0	0,66767

Після завершення дослідів виконано перевірку однорідності вибірки, розраховано коефіцієнти в рівнянні регресії, виконано оцінку його адекватності, проведено регресійний аналіз коефіцієнтів.

У початковому повному квадратному рівнянні незначними виявилися коефіцієнти при X_2 , при взаємодії X_2 та X_3 , при X_1^2 та X_2^2 .

Вплив висоти H на розподіл води по секторах за безвітря можна було заперечувати етап вибору змінних чинників. Проте дослди проводились у природних умовах, де повного безвітря не буває. Ефекти факторів X_1 і X_3 виявилися значущими і приблизно вчетверо більшими, ніж ефект X_2 .

Після виключення незначних коефіцієнтів і перерахунку отриманих адекватне рівняння:

$$\sigma_a = 0,66795 + 0,017264 \cdot X_1 + 0,01971 \cdot X_3 - 0,01982 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,04429 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,05714 \cdot X_3^2 \quad (5.5)$$

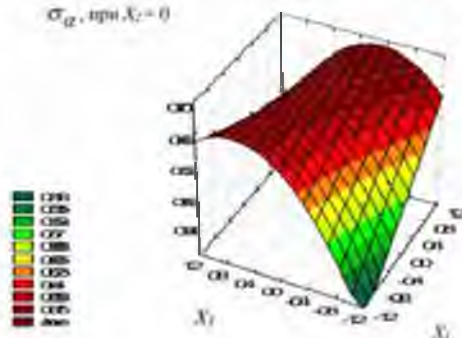
де σ_a – середнє квадратичне відхилення кута зони дощування у радіанах.

Найбільший вплив на величину σ_a надають чинник X_3 , тобто, діаметр отвору насадки, та взаємодія X_1X_3 (рисунок 5.6 а).

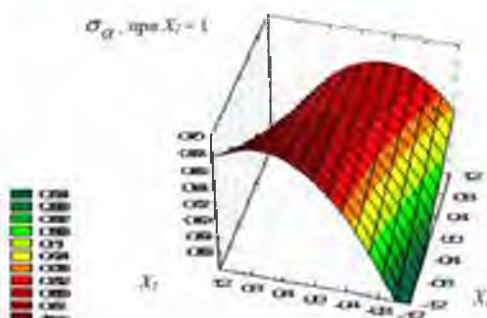
Кодовані значення змінних відповідають таблиці 4.2.

$$\sigma_a = 0,128202 + 0,70926 \cdot P - 0,10595 \cdot P \cdot d + 0,16986 \cdot d - 0,014285 \cdot d^2 \quad (5.6)$$

σ_a , при $X_2 = 0$

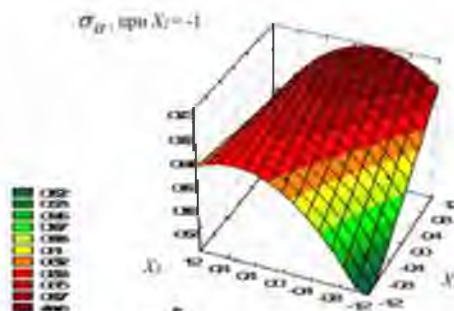


σ_a , при $X_2 = 1$



НУБІП

σ_{α} , при $\lambda_1 = -1$

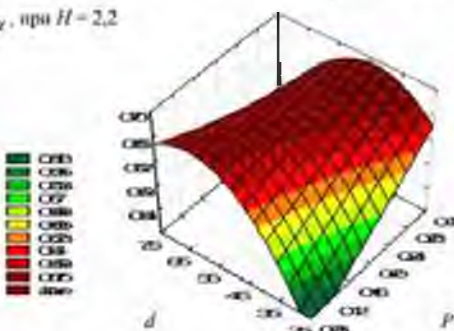


їїни

НУБІП

Рисунок 5.6а – Поверхні функції відгуку середнього квадратичного відхилення кута зони дощування в кодovаних змінних

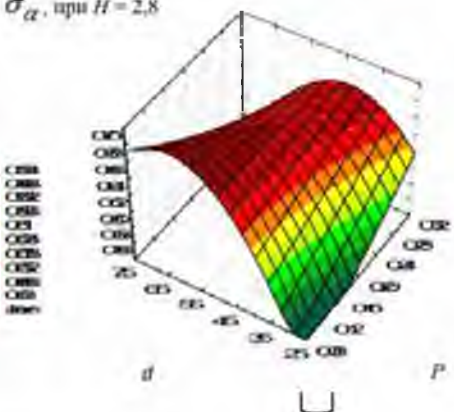
σ_{α} , при $H = 2,2$



їїни

НУБІП

σ_{α} , при $H = 2,8$

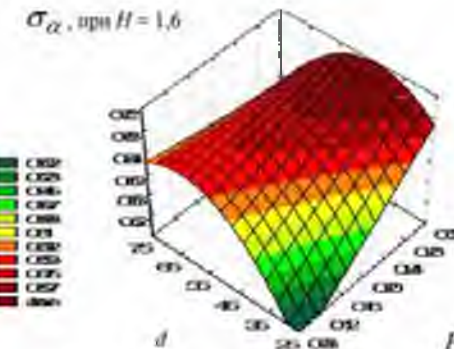


їїни

НУБІП

НУБІП

σ_{α} , при $H = 1,6$



їїни

їїни

НУБІП

НУБІП

Рисунок 5.6 б – Поверхні функції відгуку середнього квадратичного відхилення кута зони дощування в натуральних змінних

їїни

їїни

їїни

Раніше показано необхідність набуття значень $\sigma\alpha = 0,7-0,8$ рад. При таких значеннях $\sigma\alpha$ перекриття зон зрошення від суміжних насадок дає практично рівномірний розподіл води фронтом після проходу машини. Умова рівномірності досягається при мінімальному числі насадок на трубопроводі.

Область $\sigma\alpha \geq 0,7$ при $X_2 = -1$ (рисунок 5.6 а) досить мала і розташована поблизу верхнього рівня X_1 та середнього X_3 . Надійніше такі значення $\sigma\alpha$ виходять при нижньому та нульовому рівнях X_2 . При $X_2 = +1$ область $\sigma\alpha \geq 0,7$ майже відсутня. Це призводить до висновку, що не всі насадки дають достатній кут зони дощування. Найбільш доцільним є метод регулювання норм дощування з цих позицій є регулювання швидкості фронтального переміщення машини.

Регулювання витрати води шляхом зміни робочого тиску або діаметра насадок при незмінності їх розташування на трубопроводі призводить до зміни розмірів зон дощування, погіршення їх перекриття та порушення рівномірності поливу. Найбільш економне витрачання води можна отримати шляхом оптимізації відстані між насадками, їх діаметра та робочого тиску методом моделювання. Для розширення інтервалу зміни норм поливу можна рекомендувати декілька варіантів встановлення насадок на трубопроводі[45].

5.3. Оптимізація розміщення насадок на трубопроводі

Відповідно до алгоритму оптимізації виконано розрахунки перекриття зон дощування для отримання мінімальної нерівномірності [13,46].

Розрахунки виконані за некомпозитивним планом другого порядку за трьох фактори P, H, d (таблиця 6.1). Вихідними даними для розрахунків були експериментальні дані $m_r, \sigma_r, \sigma\alpha$ (таблиці 5.1 та 5.2). Для оцінки адекватності рівняння регресії обчислення Вопп проведені для всіх повторностей та для середніх значень $m_r, \sigma_r, \sigma\alpha$. Усього прораховано шістьдесят варіантів розподілів. У кожному варіанті знайдено оптимальне значення з нерівномірності розподілу перекриттів. Нерівномірність при оптимальному перекритті зазвичай не перевищувала 12% (рис. 5.6).

Вихідні дані, прийняті для розрахунків коефіцієнтів рівняння регресії, наведені у таблиці 5.3. Значення m_p , σ_p , σ_d , $B_{\text{опт}}$, взяті середніми за трьома повторностями. Аналогічні таблиці отримані з кожної повторності. Вони використані в оцінці адекватності рівняння регресії[50].

За результатами моделювання отримано рівняння регресії:

$$B_{\text{опт}} = 7,1492 - 0,08249 \cdot X_1 + 0,5298 \cdot X_2 + 0,7749 \cdot X_3 - 0,0521 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,24998 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,25 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0,2485 \cdot X_1^2 - 0,2485 \cdot X_2^2 + 0,4935 \cdot X_3^2 \quad (5.7)$$

У закодованому вигляді рівняння (5.7) має вигляд:

$$B_{\text{опт}} = 6,795 + 3,447 \cdot P + 4,615 \cdot H + 1,425 \cdot d - 0,868 \cdot P \cdot H - 0,125 \cdot P \cdot d + 0,208 \cdot H \cdot d - 0,249 \cdot P^2 - 0,69 \cdot H^2 - 0,125 \cdot d^2 \quad (5.8)$$

Рівняння адекватно за п'ятивідсоткового рівня значимості, всі коефіцієнти значущі. Графіки рівняння $B_{\text{опт}}$ (рисунок 5.7а) у змінних, кодованих залежностями:

$$(X_1 = \frac{P - 0,2}{0,1}; X_2 = \frac{H - 2,2}{0,6}; X_3 = \frac{d - 5}{2})$$

дозволяє знайти оптимальну установку насадок при будь-яких поєднаннях P , H , та d .

У натуральних змінних графіках наведено на малюнку 5.7 б.

Таблиця 5.3 – Оптимальна відстань між насадками

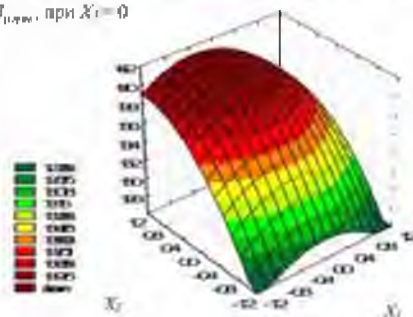
Номер варіанта	Исходные данные			Оптимальное расстояние $B_{\text{опт}}$
	m_p	σ_p	σ_d	
1	3,48315	1,57093	0,64417	7,29730
2	3,60845	1,40109	0,69569	6,09200
3	3,36552	1,45021	0,68710	7,31660
4	3,07356	1,06679	0,65385	5,90270
5	3,35620	1,48650	0,65930	7,90190
6	4,20362	1,53092	0,60593	6,71960
7	2,58847	1,06938	0,67544	5,66980
8	4,02263	1,51190	0,62215	7,63450
9	2,74175	1,24079	0,51451	5,58480
10	3,43650	1,37793	0,65640	6,78590
11	4,01597	1,52732	0,65168	7,83190
12	3,03174	1,39686	0,57453	5,78210
13	4,01452	1,46967	0,64242	6,52220
14	2,81732	1,18210	0,59995	5,47250
15	3,35647	1,38186	0,66767	6,75990

Збільшення діаметра d у всіх випадках призводить до збільшення V_{opt} на 1,2 м та більше. При малій висоті $H = 1,5$ м і $d = 3$ збільшення добре помітне (1,2 м), а при $d = 7$ незначне зростання спостерігається до тиску 2...2,2 МПа.

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП

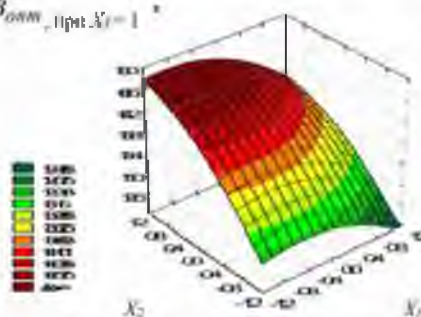
V_{opt} , при $X_1 = 0$



аїни

НУБІП

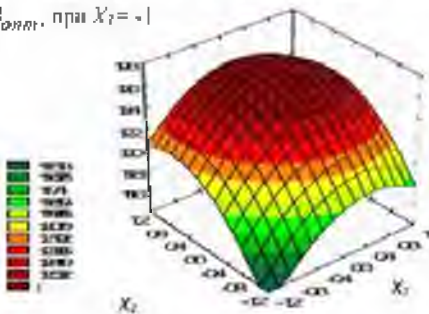
V_{opt} , при $X_1 = 1$



аїни

НУБІП

V_{opt} , при $X_1 = -1$



аїни

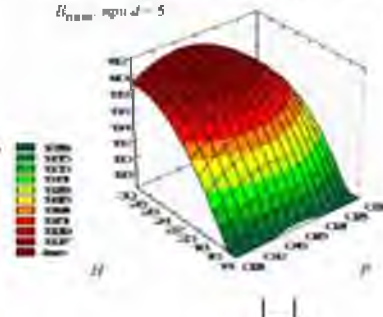
НУБІП

аїни

Рисунок 5.7а – Оптимальна відстань між насадками за умовою мінімуму нерівномірності в кодованих змінних

НУБІП

V_{opt} , при $d = 5$

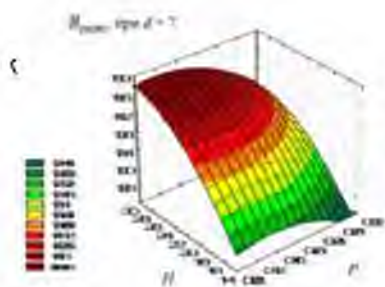


аїни

НУБІП

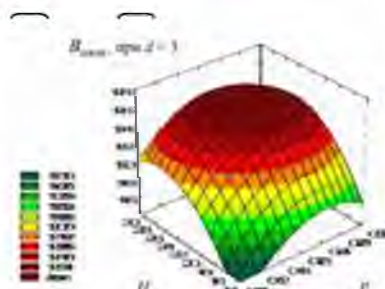
аїни

НУБІП



аїни

НУБІП



аїни

НУБІП



україни

Рисунок 5.7 б – Оптимальна відстань між насадками за мінімуму нерівномірності

При великій висоті $H = 2,8$ м ще помітніше зниження $VoPt$ при зростанні

тиску, рисунок 5.2 б. При $H = 1,4 \dots 1,6$ м помітно значне збільшення tr , а за $H = 3$ м спостерігається його падіння. На рис. 5.7 а максимальне значення $VoPt$ отримано для насадки $d = 3$ мм при $X_1 = 0,8$, $X_2 = 0,4$; для $d = 5$ мм при $X_1 = 0$,

$X_2 = 1,2$; для $d = 7$ мм при $X_1 = -0,4$ $X_2 = 1,2$. Результати дослідження рівняння

регресії наведено у таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 - Максимальні значення $VoPt$ та їх координати

d, мм	Максимум $VoPt$.	Максимум при:	
		P	H
3	12,612	0,22	2,3
5	14,124	0,17	2,8
7	14,876	0,12	3,2

Координати максимуму знайдені рішенням системи рівняння:

$$\begin{cases} \frac{bV}{bP} = 0 \\ \frac{bV}{bH} = 0 \end{cases}$$

при $d = 3, 5$, та 7 мм. Значення максимального $VoPt$ - підстановкою координат на рівняння регресії.

ВИСНОВКИ

1. Залежність середнього квадратичного відхилення дальностей польоту крапель адекватно описана рівнянням (5.4) площини в координатах висоти H установки

насадки її вихідного отвору.

2. Залежність середнього квадратичного відхилення кута зони дощування від тиску, висоти та діаметра отвору адекватно описана поліномом другого порядку (5.6) з шістьма коефіцієнтами, з яких один вільний член, два при X_1 та X_3 , два

при взаємодіях X_1X_2 та X_1X_3 і один при X_3^2 .

3. Максимальне значення середнього квадратичного відхилення $\sigma_\alpha = 0,7$ рад, отримане в дослідах, менше теоретичне оптимального $\sigma_{\alpha \text{ опт}} = 0,8$ рад, тому бажана модернізація насадок для збільшення зони дощування у напрямку,

паралельному трубопроводу.

4. Результати експериментальних досліджень використано при оптимізації методом моделювання відстані між насадками на трубопроводі за критерієм рівномірності зрошення.

5. За умовою рівномірності розподілу води оптимальна відстань між насадками

на трубопроводі адекватно визначається повною квадратним рівнянням регресії (5.7), у якому 10 коефіцієнтів при трьох незалежних змінних P, H, d .

6. Рівномірність дощування машинами фронтального руху пропонується

оцінювати коефіцієнтом варіації доз зрошення, що визначаються після проходу

машини, або математичного моделювання руху. Критерій враховує реальний результат дії машини, більш вимогливий до великих відхилень від заданої дози, уніфікований з показниками, що застосовуються в інших розподільчих системах,

та виконується на стандартних комп'ютерних програмах.

7. Максимальні значення B_{MAX} оптимальної відстані між насадками $d = 3$ мм, що дорівнює 12,612 м, отримано при $P = 0,22$ МПа та $H = 2,3$ м, між насадками $d = 5$ мм, $B_{\text{MAX}} = 14,124$ м отримано при $P = 0,17$ МПа та $H = 2,8$ м між насадками $d =$

7 мм, $B_{\text{MAX}} = 14,876$ м отримано при $P = 0,12$ МПа та $H = 3,2$ м.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Клімат України / За ред. В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченка. — К.: Вид-во Рясв'яного, 2003. — 343 с.
2. МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЫ СТРУЙНЫМ АППАРАТОМ Черноволлов В.А., Бондарев А.А. Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2000. № 7. С. 21.
3. Кравченко, Л.В. Анализ исследований по агротехнической оценке процесса дождевания // Научная молодежь – агропромышленному комплексу: сб. науч. тр. / АЧГАА. – Зерноград: АЧГАА, 2003.
4. Кравченко, Л.В. Совершенствование моделирования процессов дождевания / Л.В. Кравченко, А.М. Крупка // Технологии, техника, засушливого земледелия: исследования, испытания, освоение в производстве: сб. науч. тр. / ВНИПТИМЭСХ. – Зерноград: ВНИПТИМЭСХ, 2003.
5. Исаев, А.П. Гидравлика дождевальных машин / А.П. Исаев. – Москва: Машиностроение, 1973. – 216 с.
6. Карпеко, А.Н., Сельскохозяйственные машины / А.Н. Карпеко, В.М. Хланский. – Москва: ВО «Агропромиздат», 1989.
7. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины / Г.Е. Листопад, Г.Л. Дмидов, Б.Д. Зонов и др.; под общ. ред. Г.Е. Листопада. – Москва: Агропромиздат, 1986.
8. Лебедев, Б.М. Дождевальные машины / Б.М. Лебедев. – Москва: 164 Машиностроение, 1977.
9. Афанасьев, В.Н. Пути качественного развития и классификация многоопорных фронтальных дождевальных машин / В.Н. Афанасьев, В.Г. Луцкий, К.В. Губер // Сб. науч. тр. «Надежность и качество технологического процесса полива». – Москва: ВНИИГиМ, 1988. – С. 38.
10. Губер, К.В. Требования, предъявляемые к дождевальной технике / К.В. Губер, М.Ю. Храбров // Тракторы и сельхозмашины. – 1998. – № 8.
11. Колесник, Ф.И. Агроекономическая эффективность дождевальных машин / Ф.И. Колесник, Н.Ф. Соловьева // Техника в сельском хозяйстве. – 1989. – № 4.

12. Кружилин, И.П. Согласование элементов техники с условиями проведения полива / И.П. Кружилин, П.И. Кузнецов // Степные просторы. 1981. – № 2. – С. 45–47.

13. МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ДОЖДЕВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР МАШИНАМИ ФРОНТАЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ Кравченко Л.В. диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / зерноград, 2003

14. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДОЖДЕВАНИЯ МАШИНАМИ ФРОНТАЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ С СЕКТОРНЫМИ НАСАДКАМИ Черноволов В.А., Кравченко Л.В., Луханин В.А. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2014. № 100. С. 670-680

15. Черноволов, В.А. Расчет показателей эффективности дождевания на площади между четырьмя одноопловыми аппаратами / В.А. Черноволов, Л.В. Кравченко // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014662137 от 24.11.2014.

16. Черноволов, В.А. Оптимизация расстояния между насадками дождевальных машин фронтального действия / В.А. Черноволов, Л.В. Кравченко // Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2014617785 от 04.08.2014.

17. Бондарев, А.А. Моделирование и оптимизация процесса дождевания сельскохозяйственных культур среднеструйными аппаратами для улучшения равномерности полива: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / А.А. Бондарев. – зерноград, 1999 18.

18. Черноволов, В.А., Бондарев А.А. Обоснование параметров ветроустойчивого дождевального аппарата / В.А. Черноволов, А.А. Бондарев; Азово-Черноморская агроинженерная академия. – зерноград, 1998/ Рукопис. деп. в ВИНИТИ 1999, № 729/В 99.

19. МЕТОДИКА ОПТИМИЗАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЖИДКОСТИ. 168

Черноволов В.А., Кравченко Л.В., Крупка А.М. Тракторы и сельхозмашины. 2004. № 1. С. 8.

20. Черноволов, В.А. Оптимизация процесса дождевания сельскохозяйственных культур машинами непрерывного фронтального перемещения / В.А.

Черноволов, Л.В. Кравченко, А.М. Крупка // Известия высших учебных заведений, Северо-Кавказский регион, Приложение № 1. 2004.

21. Бондарев, А.А. Влияние ветра на распределение осадков среднеструйным дождевальным аппаратом / А.А. Бондарев // Совершенствование

технологических процессов, машин и аппаратов в инженерной сфере АПК:

материалы конференции. – Зерноград: АЧГАА, 1999.

22. Макаров, Е.Г. Инженерные расчеты в Mathcad 15. Учебный курс / Е.Г. Макаров. – Санкт-Петербург: Питер, 2011. – 400 с.: ил.

23. Черноволов, В.А. Распределение воды по секторам дефлекторными насадками дождевальных машин // В.А. Черноволов, Л.В. Кравченко //

Разработка технического оснащения производства продукции животноводства. – Зерноград: ВНИИТИМЭСХ, 2003.

24. Vox G.E.P., Behnken D.W. Some Uew Three Level for the Study of Quantitative Variables-Technometrics. – 1960. – V. 2. – № 4.

25. Спиридонов, А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / А.А. Спиридонов. – Москва: Машиностроение, 1981. – 184 с.

26. Гмурман, В.Б. Теория вероятностей и математическая статистика / В.Б. Гмурман. – Москва: Высшая школа, 1977.

27. Колемаев, В.А. Теория вероятностей и математическая статистика / В.А. Колемаев, О.В. Староверов, В.Б. Турундаевский. – Москва: Высшая

школа, 1991. – 400 с.

28. ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ. ПРАКТИКУМ Черноволов В.А. Учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению "Агроинженерия" / Зерноград, 2014.

29. Методичні вказівки «електрифікація та автоматизація сільськогосподарського виробництва» для студентів зі спеціальності 201 "Агрономія"/Сиротинський О.А., Процик Д.І., Рівне: НУВГП, 2017. - 24 с.

30. Войтюк Д.Г., Гаврилук Г.Р. Сельскохозяйственные машины: Учебник. – К., «Каравелла», 2004. – 552 с.

31. Гапоненко В.С., Войтюк Д.Г., Дидейко М.К. Сельскохозяйственные машины и основы эксплуатации машинно-тракторного парка. К., «Высшая школа», 1975.

32. Сиротинский О.А., Дмышук М.Д. Механизация лесного и сельского хозяйства: Лабораторный практикум. (Под редакцией А.А. Сиротинского) Часть

1 (Механизация сельского хозяйства). Учебное пособие. Березно: Надслучанский институт, 2007.- 22 с.: ил. 1

33. Гурин В.А., Степаненко М.Г., Степаненко М.П. 195 Технологія зрошування: Навчальний посібник. НУВГП, 2013. - 382 с. Рівне: НУВГП, 2013. – 382 с.

34. Рекомендації для агроформувань щодо застосування поверхневого поливу в межах діючих зрошувальних систем (світовий та вітчизняний досвід) / за редакцією В. М. Хорєва. Київ, 2002. 43 с. 378.

35. Рекомендації з технології і методів сумісного використання багатоопорних і мобільних дощувальних машин / Ю. І. Гринь, В. В. Бабіцький, В. В. Удовенко та ін. ІГІМ НААНУ. К., 2010. - 78 с.

36. Технічні засоби і обладнання для поливу сільськогосподарських культур. К.: ІГІМ УААН, 2002. - 17 с.

37. Рекомендації з технології і методів сумісного використання багатоопорних і мобільних дощувальних машин / Ю. І. Гринь, В. В. Бабіцький, В. В. Удовенко та ін. ІГІМ НААНУ. – К., 2010. 78 с. 30.

38. Рекомендації з удосконалення існуючих систем подачі води від насосної станції до дощувальної машини. ВНД 33-3.3-08-2003, К. : Держкомводгосп України, ІГІМ УААН, 2003. - 58 с.

39. Агротехнічні вимоги на дощувальну машину для зрошення сільськогосподарських культур. - К. : ІГІМ УААН, 2003. - 4 с

40. Визначення продуктивності сучасних дощувальних машин / Ю. І. Гринь, В. В. Бабітький, А. Г. Вельбік (та ін.). // Меліорація і водне господарство. – 2009. – № 97. – С. 159-166

41. Лімонт А.С. та ін. Практикум із машиновикористання в рослинництві. – К.: Кондор, 2004. – 286 с.

42. Букша І.Ф. Изменение климата и лесное хозяйство Украины // Львів: РВВ НУІТУ України. – 2009. – Вип. 7. – С. 11 – 17.

43. Методичні вказівки (пакет MathCAD) В.А. Бородай, В.Е. Воскобойник. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2003. – 64с.

44. Панкратов В.П., Зайцев А.И. Управления и проектирования с помощью пакетов MS Excel и MathCad. (Методические указания к практическим занятиям студентов Украинской фармацевтической академии).– Х.: УкрФА, 2000.– 40 с.

45. Сільськогосподарські і меліоративні машини: Навчальний посібник / Кошук О. Б., Лузан П. С., Мося І. А., Герлянд Т. М., Романов Л. А. – Х.: ІПТО НАПН України, 2015. – 291 с.

46. Посібник / М. В. Бакум та ін., за ред. М. В. Бакум, Харківський національний технічний ун-т сільського господарства ім. Петра Василенка. – Х. : ХНТУСГ, 2008. – 284 с.

47. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины / Г. Е. Листопад, Г. К. Демидов, Б. Д. Зонов и др. / Под. общ. ред. Г. Е. Листопада. – М.: Агропромиздат, 1986. – 688 с.

48. Методичні вказівки «Основи гідремеліорацій», «Водна інженерія та водні технології» / Кузьменко В.Д., Волощюк С.Г. – Херсон: ВВ ХДАУ, 2019. – 76 с.

49. Краковська С.В., Гнатюк Н.В. Зміни поверхневого річкового стоку в Україні до 2050 р. / С.В. за проектуванням регіональної кліматичної моделі РЕМО. Геоінформатика, 2013, вип. 3. С. 76-81.

50. Національна акціонерна компанія "Укראгролізинг". Огляд ринку дощувальних машин в Україні., Департамент технічної політики м. Київ – 2015р. – 36с.

Додатки

Додаток А

Програма MD(A) – Розрахунок дози дощування одноструминними апаратами

під час роботи на чотирьох позиціях – моделює роботу чотирьох стаціонарних дощувальних апаратів на відстані між позиціями більшим за максимальний радіус зони дощування. Апарати розташовані у кутах квадрата $A \times A$. Дози дощування від чотирьох апаратів на заліковій майданчику підсумовуються так, що кількість води, що потрапляє на неї, дорівнює витрати через один апарат, помножений на час дощування.

Для роботи програми використовуються числові характеристики дальностей польоту крапель: математичне очікування M_r та середнє квадратичне відхилення σ_r отримані експериментально. Крім того, задаються наступні вихідні дані: витрата води через апарат Q , час дощування T . Аргументом у програмі є відстань між апаратами A , яке задається цілим числом. Рекомендується приймати відстань між апаратами більшими за максимальний радіус зони дощування. Програма вважає дозу і при кроці встановлення апаратів меншим за радіус дощування, проте

коєфіцієнт повноти обліку у своїй менше одиниці. Програма ділить площу $A \times A$ на метрові квадрати та обчислює дозу дощування в центрі кожного квадрата. Результат зберігає як матриці доз $M_{i,j}$. Кількість елементів матриці дорівнює добутку $A \times A$.

Програма має два цикли. У першому змінюється координата Y метрового квадрата, у другому – координата X . У центрі кожного квадрата обчислює

інтенсивність дощування від кожного з апаратів, підсумовує інтенсивності, множить результат на час дощування, отримує дозу поливу, $\text{кг}/\text{м}^2$ заповнює матрицю.

Результат виводиться як матриці доз (рисунок А.1)

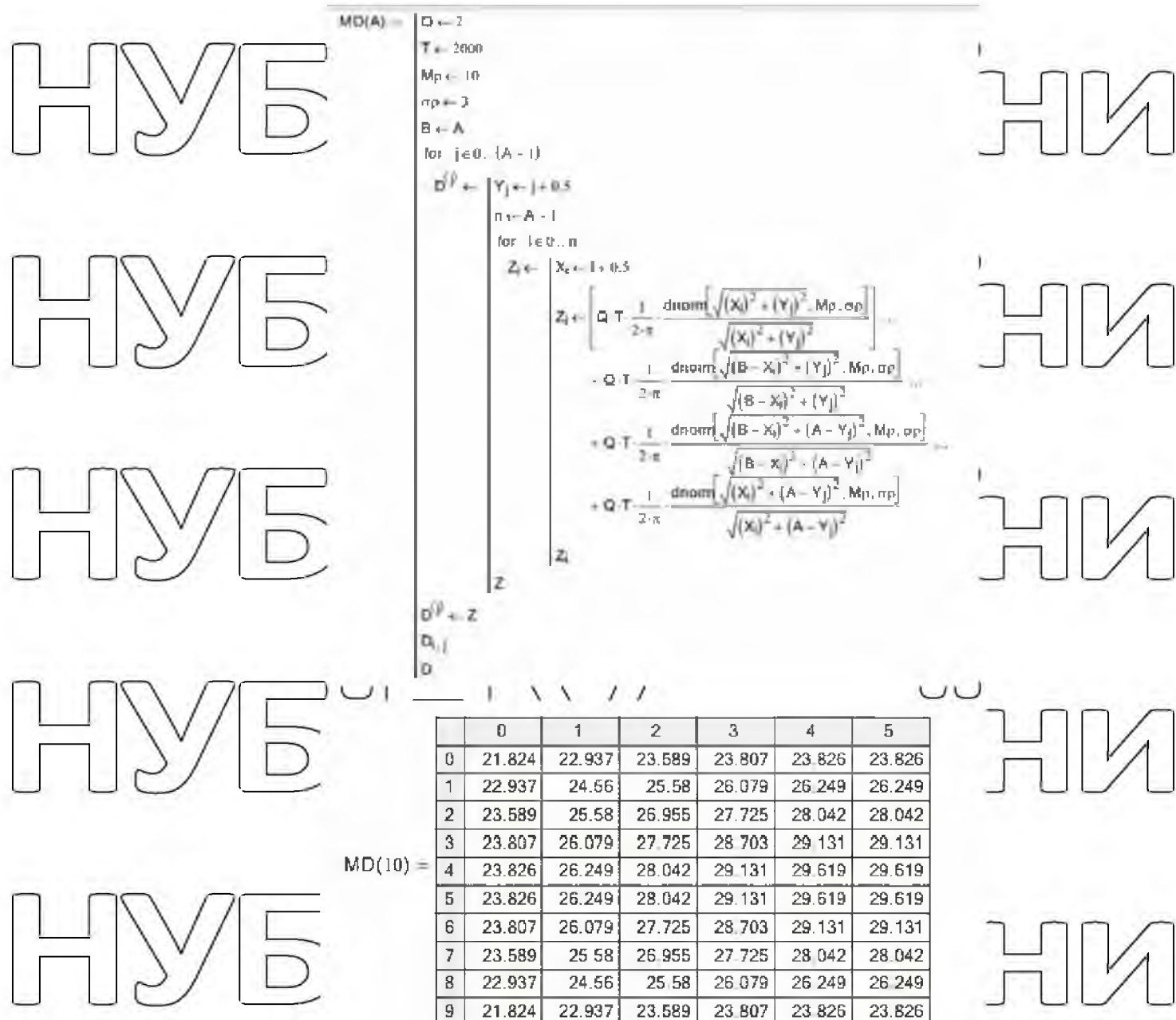


Рисунок А.1 – Програма розрахунку доз зрощення між чотирма стаціонарними апаратами, розміщеними у кутах квадрата $A \times A$.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

Програма Kv(A) – обчислює матрицю доз на обліковому майданчику

A × A та за матрицею доз – коефіцієнт варіації (рисунок Б.1)

```

Kv(A) =
Q ← 2
T ← 2000
Mj ← 10
sp ← 3
B ← A
for j ← 0..(A-1)
  D(j) ← Yj ← j + 0.5
  n ← A - 1
  for l ← 1..n
    Zl ← Xl ← l + 0.5
    Zl ← [ Q·T / (2·π) · 1 / dnorm[√((Xl)² + (Yj)²) · Mp · sp] ]
    + Q·T / (2·π) · 1 / dnorm[√((B-Xl)² + (Yj)²) · Mp · sp]
    + Q·T / (2·π) · 1 / dnorm[√((B-Xl)² + (A-Yj)²) · Mp · sp]
    + Q·T / (2·π) · 1 / dnorm[√((Xl)² + (A-Yj)²) · Mp · sp]
  D(j) ← Zl
D(j) ← Z
Di,j
D
Dis ← var(D)
M ← mean(D)
Kv ← √(Dis) / M
Kv
  
```

i := 0..12 A_i := i + 6

A	0	Kv(A _i)
0	6	46.418
1	7	41.87
2	8	38.064
3	9	35.412
4	10	34.437
5	11	35.313
6	12	37.613
7	13	40.535
8	14	43.327
9	15	45.559
10	16	47.147
11	17	48.21
12	18	48.874

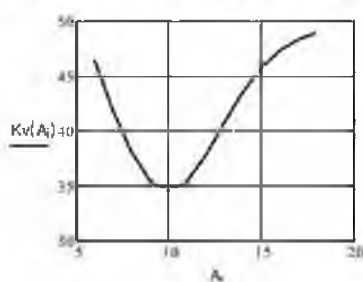


Рисунок Б.1 – Програма обчислення коефіцієнта варіації дози зрошення на площі

НУБІП України

Додаток В

Програма $Ke(A)$ – Розрахунок ефективності дощування однострумінними апаратами під час роботи на чотирьох позиціях – моделює роботу чотирьох стаціонарних дощувальних апаратів на відстані між позиціями, більшими за максимальний радіус зони дощування. Апарати розташовані у кутах квадрата $A \times A$. Дози дощування від чотирьох апаратів заліковому майданчику підсумовуються так, що кількість води, що потрапляє на її, так само витрати через один апарат, помноженому на час дощування.

Для роботи програми використовуються числові характеристики дальностей польоту крапель, математичне очікування $M\rho$ та середнє квадратичне відхилення $\sigma\rho$ отримані експериментально. Крім того, задаються наступні вихідні дані: витрата води через апарат Q , час дощування T . Аргументом у програмі є відстань між апаратами A , яке задається цілим числом. Рекомендується приймати відстань між апаратами більшими за максимальний радіус зони дощування. Програма вважає дозу i при кроці встановлення апаратів меншим за радіус дощування. Проте коефіцієнт повноти обліку у своїй менше одиниці. Програма ділить площу $A \times A$ на метрові квадрати та обчислює дозу дощування у центрі кожного квадрата. Результат зберігає як матриці доз $M_{i,j}$. Кількість елементів матриці дорівнює добутку $A \times A$.

Програма має два цикли. У першому змінюється координата Y -метрового квадрата, у другому – координата X . У центрі кожного квадрата обчислює інтенсивність дощування від кожного з апаратів, підсумовує інтенсивність, множить результат на час дощування, отримує дозу поливу, kg/m^2 , заповнює матрицю.

За матрицею доз програма обчислює середню дозу. Далі обчислює граничні значення дози ефективного поливу та призначає межі варіаційного ряду доз.

Середній клас має межі ефективного поливу. Далі за допомогою стандартної програми *hist* програма знаходить частоту класів. Відношення частоти середнього класу до суми частот класів дає коефіцієнт ефективного поливу.

Результат виводиться як коефіцієнт ефективного поливу.

При заданні зовнішнього циклу на етапі встановлення апаратів виводиться вектор V_{1i} чи графік $Ke(A)$ (рисунок В.1). Програма $Ke1(A)$ додатково обчислює коефіцієнти: недовісного, ефективного, надлишкового подиву та повноти облігу (рисунок Г.4).

```

Ke(A) =
Q ← 2
T ← 2000
Mp ← 10
σp ← 3
R ← A
for j = 0 : (A - 2)
    Dj ← Y1 ← j + 0.5
    n ← A - 2
    for i = 0 : n
        Zi ← Xi ← i + 0.5
        Zi ← [ Q · T ·  $\frac{1}{2\pi} \frac{\text{dnorm}[\sqrt{(X_i)^2 + (Y_j)^2}, M_0, \sigma_p]}{\sqrt{(X_i)^2 + (Y_j)^2}}$ 
            - Q · T ·  $\frac{1}{2\pi} \frac{\text{dnorm}[\sqrt{(B - X_i)^2 + (Y_j)^2}, M_0, \sigma_p]}{\sqrt{(B - X_i)^2 + (Y_j)^2}}$ 
            - Q · T ·  $\frac{1}{2\pi} \frac{\text{dnorm}[\sqrt{(B - X_i)^2 + (A - Y_j)^2}, M_0, \sigma_p]}{\sqrt{(B - X_i)^2 + (A - Y_j)^2}}$ 
            + Q · T ·  $\frac{1}{2\pi} \frac{\text{dnorm}[\sqrt{(X_i)^2 + (A - Y_j)^2}, M_0, \sigma_p]}{\sqrt{(X_i)^2 + (A - Y_j)^2}}$ 
        ]
    end
    Dj ← Z
end
Di,j
M ← max(D)
Δn ← M - 0.25 · M
Δv ← M - 0.25 · M
Mid ← min(D)
Mad ← max(D)
j ← 0 : 7
Intj ← 0
Int1 ← Δn
Int2 ← Δv
Int3 ← 2 · M
Int
n ← Int(Int, D)
Kef ←  $\frac{n_i}{\sum n}$ 
Kef ← Kef
Ke
    
```

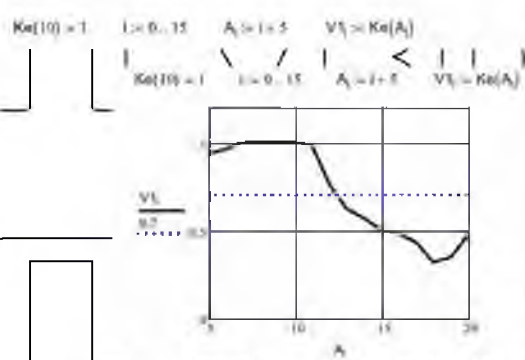


Рисунок В.1 – Програма $Ke(A)$ обчислення коефіцієнта ефективності

зрошення односопловим апаратом на площі $A \times A$

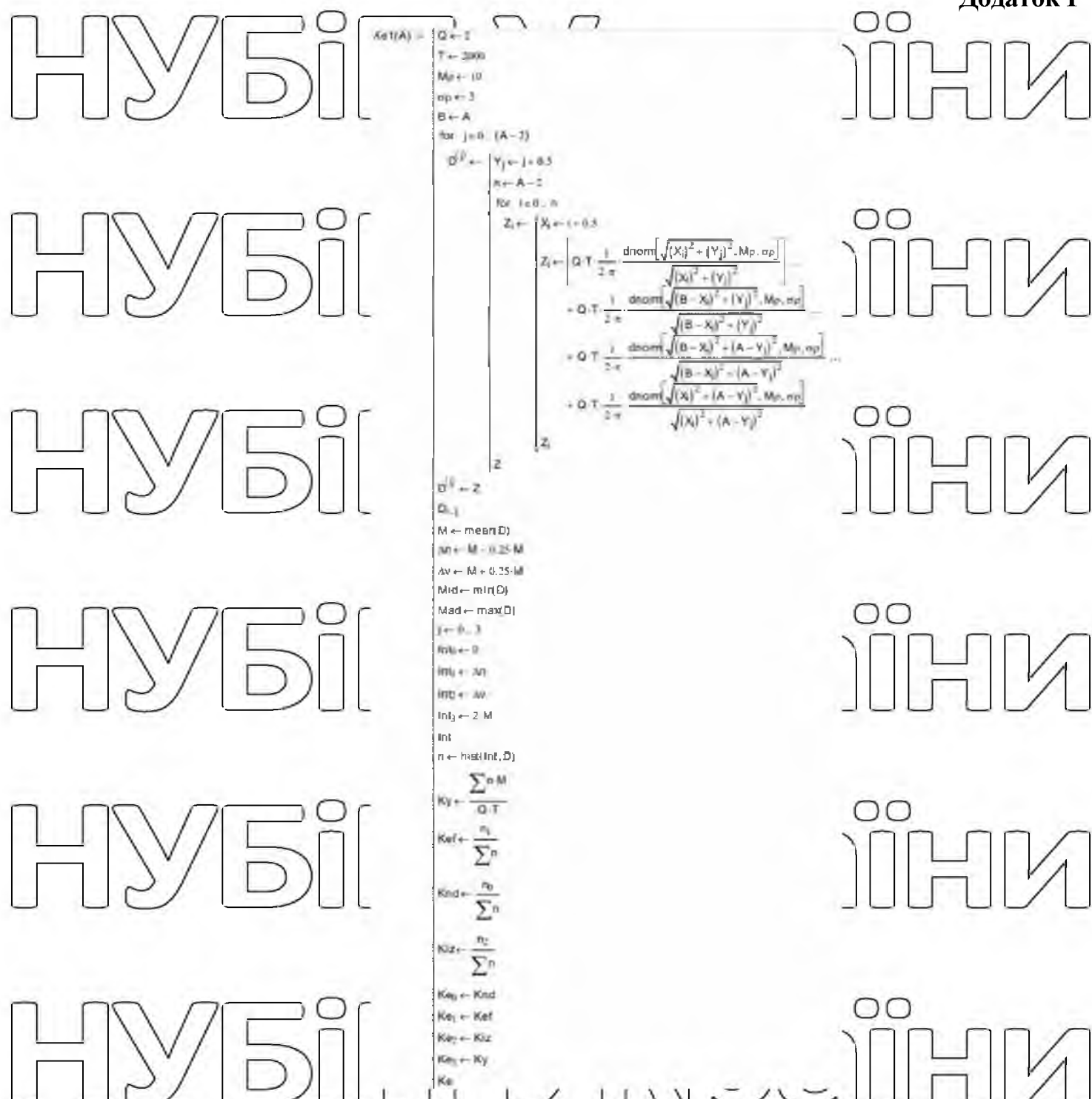


Рисунок Г.1 – Програма обчислення показників ефективності коефіцієнтів

зрошення: недостатнього, ефективного та надлишкового поливу, повноти обліку

НУБІП України

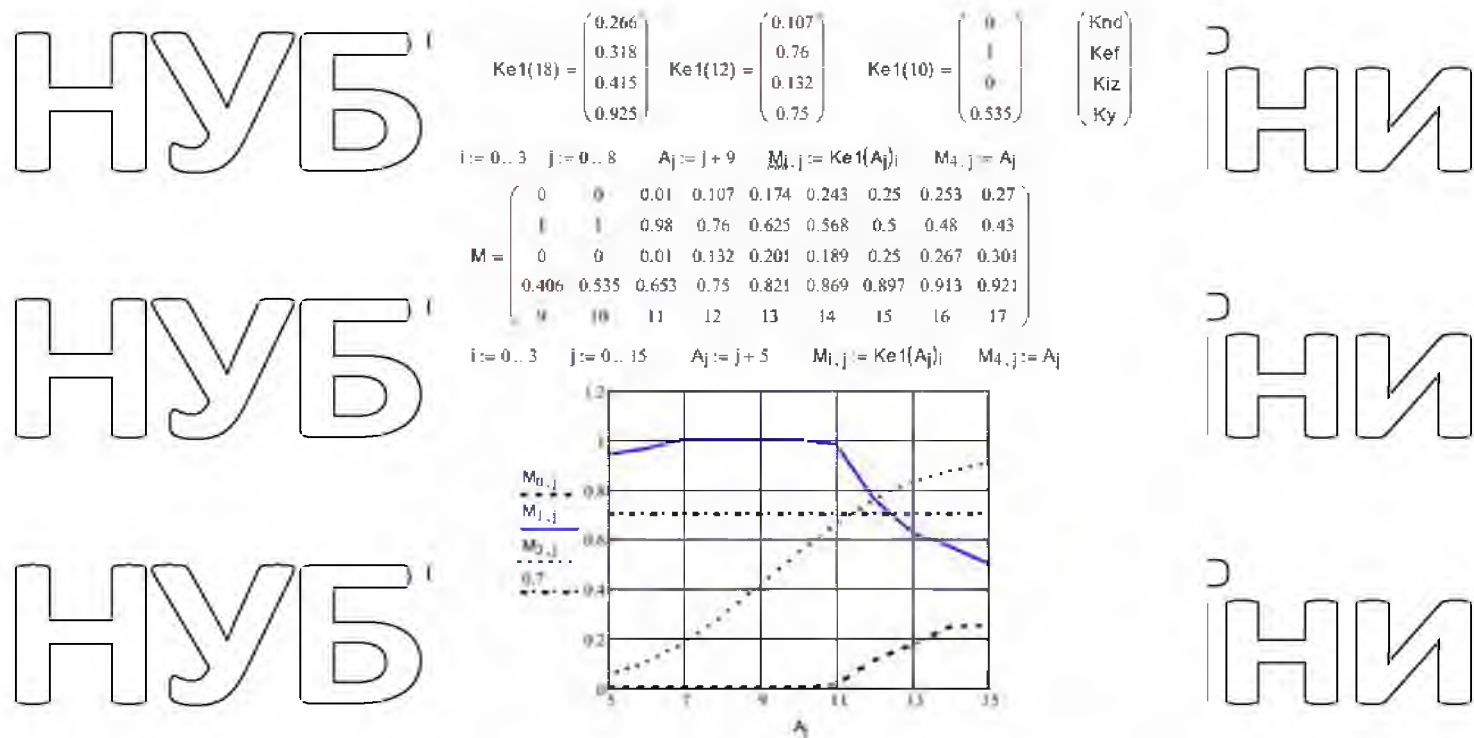


Рисунок Г.2 – Виведення результатів рахунку програмою $Ke1(A)$

обчислення коефіцієнтів, недостатнього, ефективного та надлишкового поливу, повноти обліку чотирма односопловими апаратами

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України



Рисунок Д1 – Програма моделювання розподілу всди одноослрвм далекоструминним апаратом з чотирьох позицій при роботі по сектору

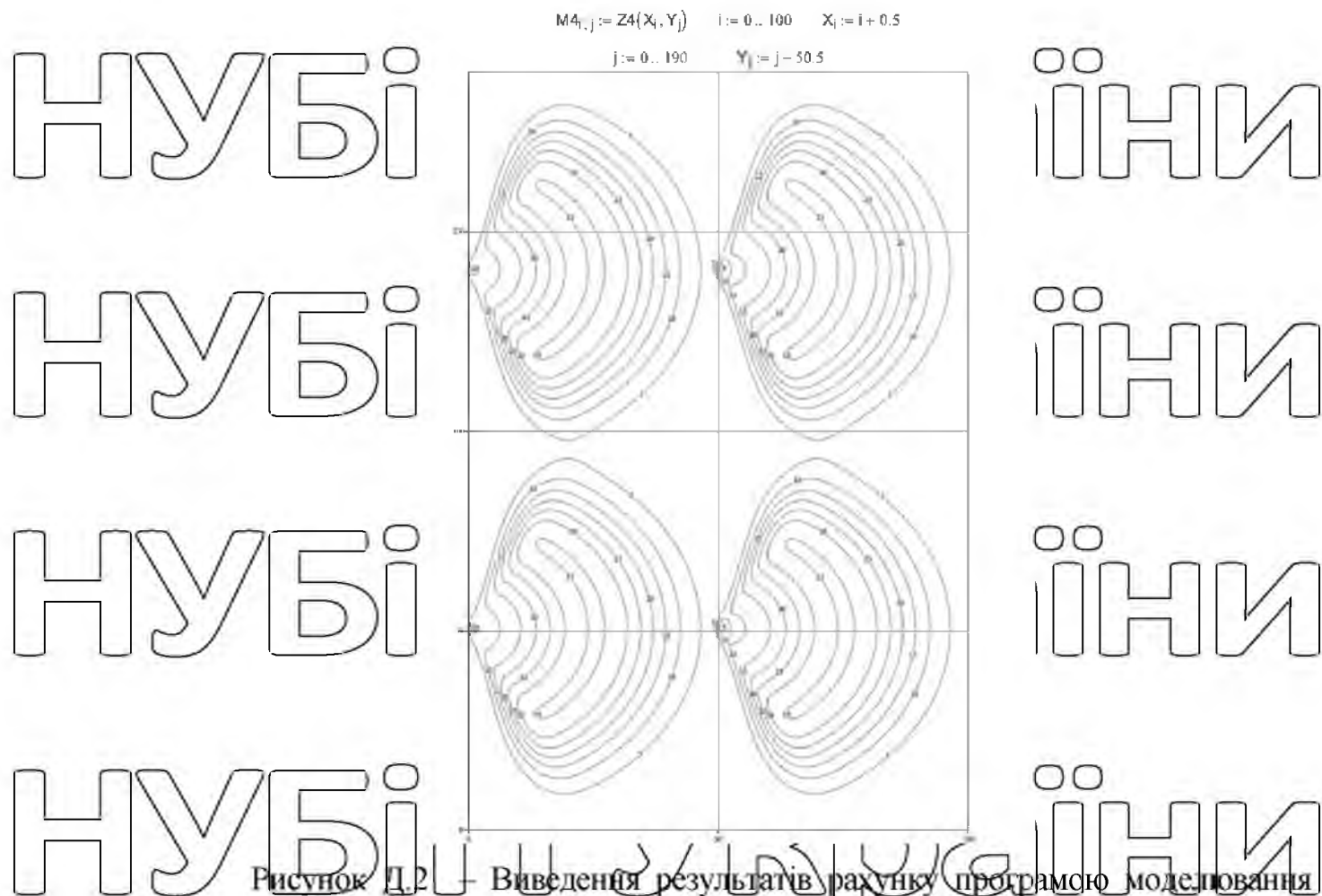


Рисунок Д.2 — Виведення результатів рахунку програмною моделювання розподілу води односопловим далекоструминним апаратом з чотирьох позицій під час роботи по сектору.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України