

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра машиновикористання та сервісу технологічних систем

Кваліфікаційна робота  
на правах рукопису

**ГОЛОЩУК ВАДИМ ОЛЕКСАНДРОВИЧ**

**УДК 631.356.4**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ  
НАДІЙНОСТІ ДОЩУВАЛЬНИХ МАШИН**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр

кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

\_\_\_\_\_ В.О. Голощук

**Керівник роботи**

Савченко В.М.

к.т.н., доцент

**Житомир – 2020**

## АНОТАЦІЯ

**Голощук Вадим Олександрович. Підвищення експлуатаційної надійності дощувальних машин. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.**

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2020.

В магістерській роботі визначено характеристики насадок дощувальних машин, які забезпечують підвищення надійності та покращення якості роботи. Дощувальні насадки з циліндричною частиною довжиною  $l_H = (2...3)d_H$  перед дефлектором-відбивачем утворюють краще розпилення, ніж конусні насадки довжиною  $l_k = (3...4)d_H$ , за якими струмина ділиться на окремі частини, спричиняючи додаткову нерівномірність дощу. Такі насадки володіють підвищеними показниками надійності. Дощувальні насадки з інтенсивністю дощу  $J_{\max} = 1,5...2 \text{ мм/хв}$  можна використати для зрошення піщаних та супіщаних ґрунтів, з інтенсивністю дощу  $J_{\max} = 0,8...1,4 \text{ мм/хв}$  - для зрошення легких суглинків, а з інтенсивністю дощу  $J_{\max} = 0,65...0,75 \text{ мм/хв}$  - для середніх суглинків.

Середня інтенсивність дощу на площі сектора, де відношення  $J_{\max}/J_{\min} = 1,5...1,6$  є у 2 рази більшою, ніж середня інтенсивність дощу, яка обчислюється як відношення витрати дощувальної насадки до площі сектора, що відповідає значенню центрального кута сектора  $\beta_{\max}$ . Тому розрахунки тривалості зрошення за середньою інтенсивністю дощу, що відповідає куту  $\beta_{\max}$ , призводить до перезволоження на площі, яка дорівнює приблизно 30% площі сектора дощу.

*Ключові слова: дощувальна машина, надійність, насадка, інтенсивність дощу.*

## ANNOTATION

**Goloshchuk Vadim Alexandrovich. Improving the operational reliability of sprinklers.** – Qualification work on the rights of the manuscript.

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissya National University, Zhytomyr, 2020.

The master's thesis defines the characteristics of the nozzles of sprinklers, which provide increased reliability and improve the quality of work. Sprinklers with a cylindrical part length  $l_H = (2...3)d_H$  in front of the reflector-reflector form a better spray than conical nozzles in length  $l_k = (3...4)d_H$  according to which the jet divides into separate parts, causing additional unevenness of rain. Such nozzles have high reliability. Sprinklers with rain intensity  $J_{\max} = 1,5...2\text{MM}/x\text{B}$  can be used for irrigation of sandy and loamy soils, with rain intensity  $J_{\max} = 0,8...1,4\text{MM}/x\text{B}$  - for irrigation of light loams, and with intensity of rain - for medium loams.

The average rainfall intensity in the area of the sector where the ratio  $J_{\max}/J_{\min} = 1,5...1,6$  is 2 times greater than the average rain intensity, which is calculated as the ratio of the flow of the sprinkler nozzle to the area of the sector, which corresponds to the value of the central angle of the sector  $\beta_{\max}$ . Therefore, calculations of the duration of irrigation on the average intensity of rain, which corresponds to the angle  $\beta_{\max}$  leads to waterlogging in an area equal to approximately 30% of the area of the rain sector.

*Key words: sprinkler, reliability, nozzle, rain intensity.*

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ І НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ ПОЛИВНОЇ ТЕХНІКИ.....	7
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ ІНТЕНСИВНОСТІ ДОЩУ ТА НАДІЙНОСТІ ДОЩУВАЛЬНИХ МАШИН.....	15
РОЗДІЛ 3. ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ДОЩУВАЛЬНИХ НАСАДОК ТА СХЕМ ЇХ РОЗМІЩЕННЯ НА РОЗПОДІЛЬЧОМУ ТРУБОПРОВОДІ ЗА ПОКАЗНИКАМИ НАДІЙНОСТІ.....	25
ВИСНОВКИ.....	36
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	37

## ВСТУП

Підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва в сучасних умовах господарювання в Україні на сільськогосподарських землях не можливе без розвиненої системи поливу. Станом на 2020 рік Україні потрібно 21870 дощувальних машин з сезонною площею зрошення 73-100га на одну машину та 2430 мобільних дощувальних машин з сезонною площею зрошення 64га на одну машину. Модернізацію зрошувальних систем і поливної техніки та їх розвиток потрібно здійснювати з урахуванням охорони довкілля, економії енергетичних та матеріальних ресурсів, створення нових зрошуваних площ.

**Мета і задачі досліджень.** Мета дослідження – підвищити рівень надійності та покращити якість роботи дощувальних машин.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні задачі:

- Проаналізувати основні принципи і напрямки розвитку поливної техніки;
- Оптимізувати параметри дощувальних насадок та схем їх розміщення на розподільчому трубопроводі за показниками надійності.

**Об'єкт дослідження:** процес функціонування дощувальних машин з підвищеною надійністю.

**Предмет дослідження:** закономірності впливу геометричних параметрів насадок дощувальних машин на якість виконання операції та показники надійності.

**Методи дослідження.** Дослідження виконано з використанням загальнонаукових методів пізнання, методів гідравліки, механіки та прикладної фізики. Обробку експериментальних даних виконано з використанням методів математичної статистики.

### **Перелік публікацій за темою роботи:**

1. **Голощук В. О.** Сучасний стан зрошувальних систем в Україні. Збірник тез V-ї Всеукраїнської науково-практичної конференції *«Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»*. 28-29 березня 2019 року м. Житомир. ЖАТК. С. 283.

2. **Голощук В. О.** Основні принципи і напрямки розвитку поливної техніки. Збірник тез VI-ї всеукраїнської науково-практичної конференції *«Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»* 9-10 квітня 2020 року. Житомир : ЖАТК. С. 194-195.

3. **Голощук В. О.** Аналіз існуючих залежностей для гідравлічних розрахунків розподільчих трубопроводів. IX Міжнародної науково-технічної конференції *«Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві»*, 5-24 жовтня 2020 року, смт. Глеваха Київської області, Національний науковий центр «ІМЕСГ» НААН України. м. Київ, Національний університет біоресурсів і природокористування України. Видавничий центр НУБіП України, 2020.

**Практичне значення одержаних результатів.** Результати роботи можуть бути впроваджені в сільськогосподарських підприємствах, які здійснюють свою діяльність в зонах з посушливим кліматом.

**Структура та обсяг роботи.** Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 14 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 38 сторінок комп'ютерного тексту, містить 1 таблицю і 10 рисунків.

## РОЗДІЛ 1

### ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ І НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ ПОЛИВНОЇ ТЕХНІКИ

За будь-яких форм господарювання оптимізація параметрів поливної техніки повинна розглядатись у складі зрошувального комплексу або модуля, який створюється за принципом економії матеріалів, енергії, води на полив, збереження земельних ресурсів. Очевидно, що всі ці питання між собою взаємозв'язані і вивчались вони в кожній країні. Наприклад, у США економія енергії на полив здійснюється за рахунок зниження робочого тиску у зрошувальних системах, вибором оптимальних діаметрів труб та підбором насосного обладнання, дотриманням планових ремонтів насосного обладнання, запланованим зменшенням поливних норм при вирощуванні засухостійких культур [3-8].

Однією з дуже важливих проблем штучного дощування є інтенсивність штучного дощу, його рівномірність, величина поливної норми, технологічна тривалість її подачі.

У зв'язку з цим, коротко розглянемо основні дослідження, на базі яких розроблялась вітчизняна поливна техніка для зрошення значних площ (600-1200га) з різним рельєфом місцевості.

Ахтирцев Б.П. і Лепілін Л.О. [3] встановили, що зі збільшенням тривалості дощування та збільшенням крапель дощу зростає щільність верхнього шару ґрунту. Разом з цим встановлено, що зрошення чорноземів дощувальними машинами з малою інтенсивністю дощу дозволяє зберегти структуру ґрунту.

Для запобігання негативного впливу зрошення на властивості чорноземів Болдирєв А.П. [5] пропонує використовувати дощувальні машини з низькою інтенсивністю дощу та практикувати перерви дощування.

Довготривалі польові дослідження впливу дощування на структуру ґрунту виконували Єрхов М.С. і Кантор О.В. [6-9]. На основі своїх досліджень вони встановили, що зменшуючи діаметр крапель дощу можна підвищити допустиму

інтенсивність дощу. Також встановлено, що інтенсивність дощу потрібно зменшувати зі збільшенням питомої маси ґрунту. Наприклад, при використанні дощувальних машин «Фрегат» для зрошення суглинистих ґрунтів з об'ємною масою  $\gamma_r = 1100 \text{ кг/м}^3$  інтенсивність дощу може бути  $0,59 \text{ мм/хв}$ , а при  $\gamma_r = 1400 \text{ кг/м}^3$  інтенсивність дощу всього  $0,14 \text{ мм/хв}$ .

Вивчаючи основні закономірності формування і трансформації штучного дощу Гаврилиця А.О. [10] запропонував комплексний показник, що характеризує якість поливу, який представимо в наступному вигляді:

$$KП = E_D \cdot K_E \cdot D_H \cdot P_D \cdot K_V \cdot E_B \cdot E_3, \quad (1.1)$$

де  $KП$  - інтегральний (комплексний) показник якості поливу;

$E_D$  - параметр енергії дощу;

$K_E$  - параметр, що характеризує краплинну ерозію ґрунту та збереження його родючості;

$D_H$  - параметр достовірної поливної норми;

$P_D$  - параметр рівномірності дощу;

$K_V$  - параметр врожайності;

$E_B$  - параметр економії поливної води;

$E_3$  - параметр енерговитрат.

На основі досліджень [10] розроблені технічні рішення та екологічне удосконалення дощувальних машин «Фрегат», «Дніпро», ДМУ-Ау.

Враховуючи необхідність екологічної надійності зрошувальних систем, зниження витрат енергетичних та матеріальних ресурсів [13] розроблені природоохоронні, ресурсозберігаючі, експлуатаційні та економічні показники дощувальних машин.

*Природоохоронні показники:* середня інтенсивність дощу; середній діаметр крапель дощу; енергетична дія дощу на ґрунт; коефіцієнт ефективного поливу; питомий тиск коліс машини на ґрунт; мінімальна поливна норма машини.



*Ресурсозберігаючі показники:* енергоємність поливу; питомі витрати металу на систему та дощувальну машину; витрати бетону на будівництво каналів; витрати палива для роботи дощувальних машин; коефіцієнт земельного використання.

*Експлуатаційні показники:* витрати праці на полив; надійність технологічного процесу машини; коефіцієнт використання експлуатаційного часу; середнє напрацювання дощувальної машини на відмову; витрати на обслуговування каналів, трубопроводів дощувальних машин; допустимий похил місцевості.

*Економічні показники:* капіталовкладення в систему; вартість поливу; коефіцієнт урожайності (прибуток).

Узагальнений комплексний показник кожної дощувальної машини визначався як сума природоохоронних, ресурсозберігаючих, експлуатаційних та економічних показників.

На основі оптимізації комплексних показників встановивлено, що найкращі ресурсозберігаючі показники на той час мали дощувальні машини ДДА-100МА і ДМУ-Б<sub>НМ</sub> «Фрегат». Найкращі природоохоронні показники мали машини «Кубань-ЛК», «Кубань-Л». У результаті аналізу комплексних показників дощувальних машин «Фрегат», «Дніпро», ДДА-100МА було доведено, що для удосконалення цих машин необхідно:

- підвищити якість поливу цими машинами;
- знизити енергоємність поливу машин «Фрегат»;
- підвищити надійність експлуатації машин «Дніпро» і «Кубань».

Для підвищення екологічної надійності дощувальних машин ДДА-100МА необхідно зменшити інтенсивність дощу та діаметр крапель дощу, а у машинах «Дніпро» збільшити коефіцієнт ефективного поливу, зменшити діаметр крапель дощу, зменшити вплив вітру на зміну інтенсивності дощу.

У роботі [3] для підвищення рівномірності та якості дощу, що утворився дощувальними машинами «Фрегат» і ДДА-100МА досліджувались три

комбіновані схеми розміщення дощувальних апаратів та короткоструминних дощувальних насадок. У результаті виконаних досліджень інтенсивності дощу при вітрі 1,5-3,5м/с в [3] було зроблено висновок, що для підвищення рівномірності та якості дощу машин «Фрегат» і ДДА-100МА необхідно оптимізувати схеми розміщення і параметри дощувальних насадок, робочий тиск та витрати дощувальних машин.

Враховуючи сучасний стан зрошувальних систем і поливної техніки в Україні, у новій Концепції розвитку поливної техніки [7] передбачається, що розвиток поливної техніки в Україні повинен базуватися на принципах, які відповідають сучасним тенденціям зрошення у розвинених країнах світу. Серед цих принципів виділені наступні:

1. Підвищення рівня використання земельних ресурсів шляхом впровадження самохідних фронтальних дощувальних машин із забором води із закритих зрошувачів.

2. Зменшення капіталовкладень завдяки багатофункціональному використанню розподільної мережі і поливної техніки, оптимізації параметрів поливних модулів на основі мінімізації енергетичних і матеріальних ресурсів.

3. Оптимізація режимів зрошення за заданою нормою прибутку з урахуванням агротехнічних показників дощувальних машин, які гарантують екологічну безпеку ґрунту.

4. При проектуванні і експлуатації зрошувальних систем, розробці нових засобів поливу необхідно застосовувати системний підхід, уніфіковані збірні одиниці техніки, які утворюють типові поливні модулі.

5. Проектування зрошувальних систем повинно розроблятися з урахуванням охорони довкілля, економії енергетичних та матеріальних ресурсів, використанням новітніх еколого безпечних технологій і техніки поливу.

У відповідності з Концепцією [7] розвиток зрошення з використанням поливної техніки планується здійснювати у три етапи.

**Перший етап** враховує сучасний стан зрошувальних систем і поливної техніки. Цей етап характеризується обмеженістю державних коштів та інвестицій. Тому, для отримання позитивних ефектів необхідно провести організаційно-технічні, енерго- і водозберігаючі заходи, які не потребують значних коштів та матеріальних витрат на їх впровадження і швидко окупуються. На цьому етапі пропонується виконати наступне:

1. Провести паспортизацію існуючих зрошувальних систем.
2. Здійснити ремонт та технічне обслуговування водозабірних споруд, насосів, допоміжного силового обладнання та вимірювальних приладів на насосних станціях підкачки.
3. Здійснити на внутрішньогосподарській зрошувальній мережі ремонт та поточне технічне обслуговування запірно-регулюючої арматури.
4. Здійснити переобладнання високонапірних дощувальних машин «Фрегат» у низьконапірні модифікації з одночасною заміною високонапірних насосів на низьконапірні або їх переобладнанням шляхом обточки робочих коліс.
5. Визначити оптимальні режими роботи насосних агрегатів і дощувальних машин та схем розміщення, які дозволяють зменшити енерговитрати.
6. Розробити і впровадити нормування витрат електроенергії, запровадити систему матеріального заохочення за раціональне використання та економію електроенергії, впровадити систему управління режимами електроспоживання.

**Другий етап** може бути реалізований за наявності державних інвестицій, вітчизняних та іноземних інвесторів для проведення реконструкції і модернізації зрошувальної мережі. Основні завдання цього етапу плануються такі:

1. Здійснити модернізацію зрошувальної мережі дощувальних машин «Дніпро» для роботи більш економічних і дешевих низьконапірних машин «Фрегат».

2. Модернізація насосних станцій підкачки і зрошувальної мережі машин «Фрегат» і «Дніпро» для їхньої сумісної роботи з мобільними дощувальними машинами.

3. Модернізація існуючої зрошувальної мережі машин «Дніпро» для роботи мобільних дощувальних машин.

4. Заміна і модернізація регулювальної, захисної і запірної арматури, яка відповідає сучасним вимогам щодо збереження енергії, точності і надійності.

5. Модернізація роботоспроможних дощувальних машин «Фрегат» і ДДА-100МА з метою розширення їхніх робочих характеристик, підвищення рівномірності та якості поливу, зменшення витрат електроенергії та дизельного палива, розробка екологічно безпечних технологій.

*Третій етап* передбачає будівництво нових зрошувальних систем за рахунок державних інвестицій та коштів великих сільськогосподарських виробництв, інших інвесторів. На третьому етапі передбачається:

1. Відновлення виробництва та модернізації існуючих дощувальних машин «Фрегат», «Дніпро», ДДА-100МА, МДШ-30/275, розширення їх робочих характеристик.

2. Створення нових мобільних дощувальних машин і поливного обладнання.

3. На зрошувальних системах, що будуються, передбачається два напрями використання різнотипної поливної техніки. Перший напрям – на неподільній площі зрошення 30-70га використовуються модернізовані широкозахватні дощувальні машини: низьконапірні «Фрегат», «Дніпро», МДШ-30/275, колісні дощувальні трубопроводи. Другий напрям – на неподільній площі 5-20га використовуються мобільні дощувальні машини, а також іригаційне обладнання для поверхневого поливу.

Загальна блок-схема розвитку поливної техніки в Україні у відповідності з Концепцією [7] зображена на рис.1.1, а схема її використання на рис.1.2.





## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ ІНТЕНСИВНОСТІ ДОЩУ ТА НАДІЙНОСТІ ДОЩУВАЛЬНИХ МАШИН

Розглянемо методики визначення рівномірності поливу, які пропонуються у нормативних документах [2, 4].

За нормами [4] для дощувальних машин, які працюють фронтально у русі і шлангобарабанних з дощувальними апаратами, які переміщуються, дощоміри розташовують двома рядами уздовж усієї ширини поливу. Відстань між центрами дощомірів у ряду слід приймати не більше 2м, а між рядами не більше 4-8м. Кількість дощомірів повинна бути такою, щоб забезпечити уловлення крайніх крапель дощу і оцінити з достатньою достовірністю рівномірність розподілу дощу на зрошувальній площі.

Для машин, працюючих по колу, дощоміри розміщуються по радіусу на всій ширині без перекриття. Відстань між дощомірами не більше 2м. Вимірювання виконують на двох радіусах, розташованих один від одного на відстані 4-8м.

У дослідах з дощомірами визначають такі показники якості машини: ширину і довжину захвату або радіус поливу, площу поливу з однієї позиції, інтенсивність дощу та шар опадів за один прохід, розміри контурів поливу. Інтенсивність дощу та шар опадів визначають як з перекриттям контурів, так і без перекриття.

Для визначення показників якості поливу у відповідності з нормами [4] будують частотний графік розподілу шару дощу рис. 4.1, на якому зазначають середнє значення інтенсивності дощу  $h_c$  та відхилення від нього  $\pm 0,25h_c$ .

Використовуючи графік (рис.4.1) визначають коефіцієнти якості поливу:

$$K_{ef} = \frac{S_{ef}}{S}; \quad K_{ned} = \frac{S_{ned}}{S}; \quad K_{nad} = \frac{S_{nad}}{S}, \quad (2.1)$$

Де  $S_{ef}$ ,  $S_{нед}$ ,  $S_{над}$ ,  $S$  - відповідно, площі ефективного, недостатнього, надмірного поливу і загальна поливна площа.

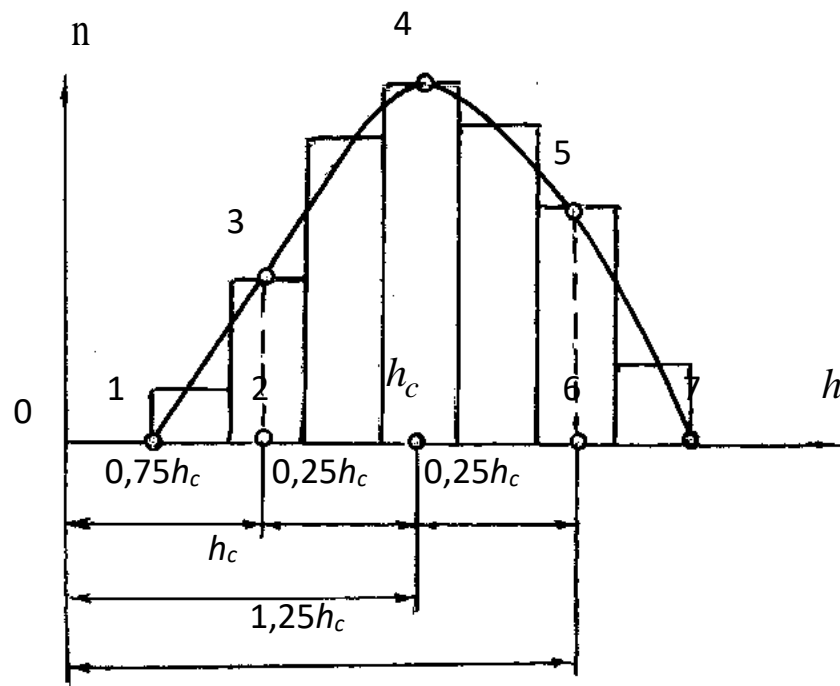


Рис. 2.1. Схема розподілу шару дощу

На рис.4.1  $n$  - частота шару дощу, величина якої дорівнює  $h$ .

Згідно [4]  $S_{ef}$  - це площа фігури 23456;  $S_{нед}$  - площа фігури 123 і  $S_{над}$  - площа фігури 567 (рис. 2.1). Відповідно норм [4] ефективність роботи дощувальної машини можна вважати достатньою, якщо коефіцієнт ефективності поливу

$$K_{ef} = \frac{S_{ef}}{S} \geq 0,70. \quad (2.2)$$

Коефіцієнт рівномірності поливу за відомчими нормами [4] та державним стандартом України [5] для дощувальних машин фронтальної дії визначається за формулою Кристіансена, яку представимо у вигляді :

$$K_p = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N |h_i - h_c|}{\sum_{i=1}^N h_i}, \quad (2.3)$$

або



$$C_u = 100 \cdot K_p, \quad (2.4)$$

де  $C_u$  - коефіцієнт рівномірності Кристіансена, %;

$N$  - загальна кількість дощомірів, використаних для аналізу;

$h_i$  - водяний шар;

$h_c$  - середнє.

$$h_c = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N h_i. \quad (2.5)$$

Стосовно правил обчислення коефіцієнтів  $K_{ef}$ ,  $K_{ned}$ ,  $K_{nad}$ , що наведені у нормах [4], то вони недостатньо відповідають назві цих коефіцієнтів. Наприклад, якщо на осі ординат рис. 4.1 відкласти відносні частоти  $p_i = n_i/N$  ( $N$  - загальна кількість спостережень), то площі фігур 23456; 123; 567 – це будуть імовірності:

$$P_{ef} = P(0,75h_c \leq h_c \leq 1,25h_c); \quad (2.6)$$

$$P_{ned} = P(0 < h \leq 0,75h_c); \quad (2.7)$$

$$P_{nad} = 1 - (P_{ef} + P_{ned}). \quad (2.8)$$

Отже

$$K_{ef} = P_{ef}; \quad (2.9)$$

$$K_{ned} = P_{ned}; \quad (2.10)$$

$$K_{nad} = 1 - (P_{ef} + P_{ned}). \quad (2.11)$$

Використовуючи правила теорії ймовірностей [8], ймовірності  $P_{ef}$  і  $P_{ned}$  дорівнюють:

$$P_{ef} = F(h_2) - F(h_1) = F(1,25h_c) - F(0,75h_c); \quad (2.12)$$

$$P_{ned} = F(0,75h_c) - F(0), \quad (2.13)$$

де  $F(h)$  - функція розподілу випадкової величини  $h$ .

За імовірнісним змістом коефіцієнт  $K_{ef}$  - це ймовірність того, що випадкова величина  $h$  знаходиться в інтервалі

$$I_h = (0,75h_c; 1,25h_c). \quad (2.14)$$

Доведемо це за допомогою залежностей, що наведені у [54] та прикладу, який поданий у нормах [54]. За даними цього прикладу ми обчислили значення функції розподілу шару дощу  $F(h)$  табл. 2.1.

За даними табл. 4.1 на рис. 4.2 побудовано графік функції розподілу шару дощу  $F(h) = f(h)$

Таблиця 2.1 Значення функцій розподілу шару дощу  $h, мм$  для прикладу норм.

Розряди $h, мм$	Частота $n_i$	Накопичена частота, $A_i$	$F(h) = A_i / N$
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
12-15	1	1	0,0167
15-18	3	4	0,0667
18-21	4	8	0,133
21-24	12	20	0,333
24-27	16	36	0,600
27-30	14	50	0,833
30-33	5	55	0,917
33-36	4	59	0,983
36-39	1	60	1,00
	$N = 60$	$A_{\max} = N$	

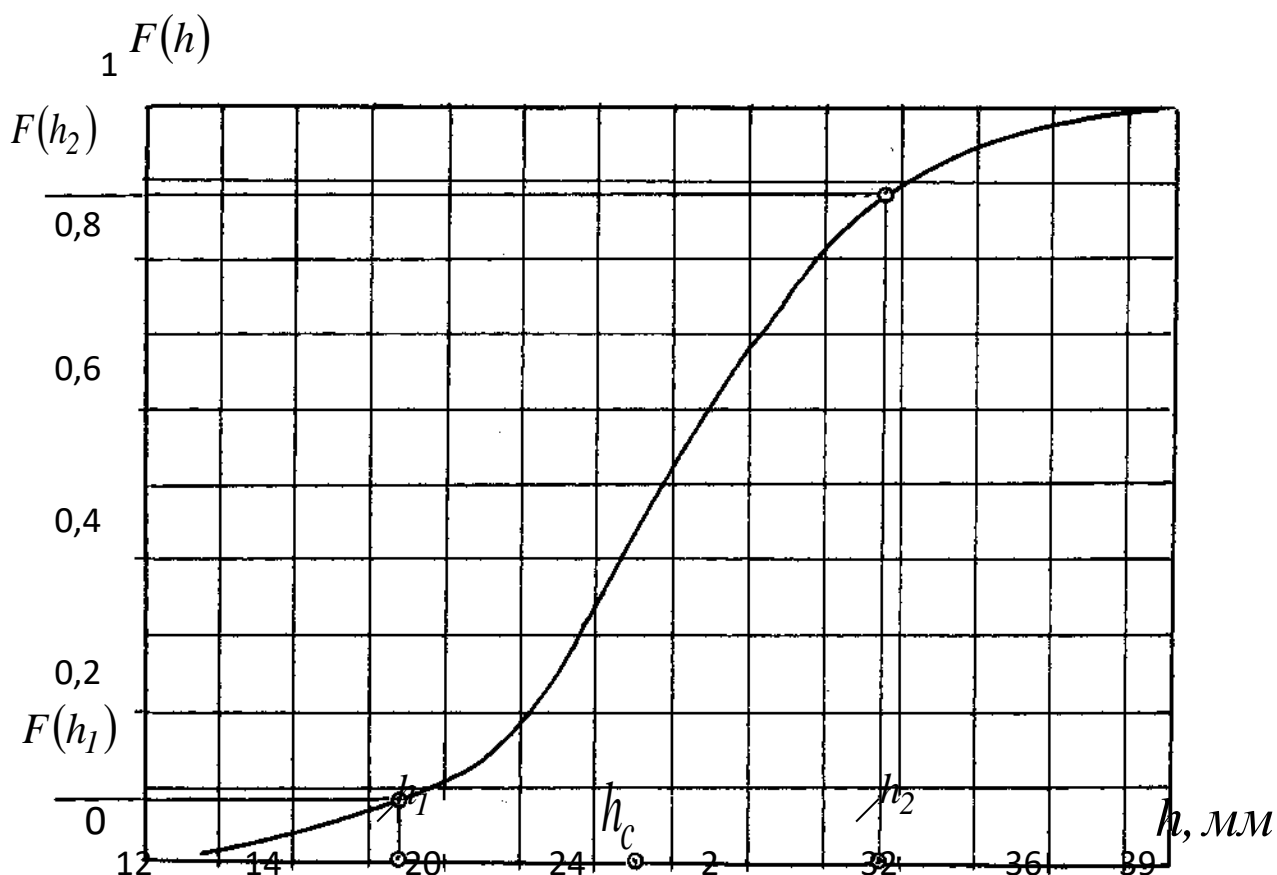


Рис.2 .2. Графік функції розподілу шару дощу  $F(h) = f(h)$  :

$$h_c = 25 \text{ мм}; \quad h_1 = 0,75h_c; \quad h_2 = 1,25h_c$$

Використовуючи графік рис. 2.2 та формули (2.9)-(2.13), знаходимо:

$$K_{\text{еф}} = P_{\text{еф}} = 0,88 - 0,08 = 0,80;$$

$$K_{\text{нед}} = P_{\text{нед}} = 0,08;$$

$$K_{\text{над}} = P_{\text{над}} = 1 - (P_{\text{еф}} + P_{\text{нед}}) = 1 - (0,80 + 0,08) = 0,12.$$

За більш громіздкими розрахунками, що наведені у [4], отримано:

$$K_{\text{еф}} = 0,798 \approx 0,8; \quad K_{\text{нед}} = 0,08; \quad K_{\text{над}} = 0,13.$$

Отже, дійсно  $K_{\text{еф}}$  дорівнює імовірності потрапляння шару дощу або інтенсивності дощу в інтервал

$$I_h = [(h_c - 0,25h_c); (h_c + 0,25h_c)] = (0,75h_c; 1,25h_c) \quad (2.15)$$

або

$$I_p = (0,75J_c; 1,25J_c), \quad (2.16)$$

де  $J_C$  - середня інтенсивність дощу.

Слід зазначити, що залежності для визначення коефіцієнтів ефективності поливу  $K_{ef}$  та рівномірності поливу  $K_p$  для дощувальної машини не дають відповіді на те, наскільки якісно формується факел дощу окремою дощувальною насадкою. Очевидно, що маючи такі дані, можна більш раціонально розрахувати віддалі між дощувальними насадками та визначити їх геометричні і гідравлічні параметри.

У нормах [4] немає відомостей про те, яким повинно бути значення коефіцієнта  $K_p$  для того, щоб можна було вважати рівномірність достатньою, а зрошення якісним.

Для визначення допустимих меж інтенсивності дощу, який утворюється дощувальними насадками секторної дії, використаємо залежності, які пропонуються в розрахунках поливних норм [59]:

$$m_H = 10 \cdot \gamma \cdot h_G (W_{HB} - W_{KP}), \quad (2.17)$$

де  $m_H$  - поливна норма, мм;

$\gamma$  - питома маса ґрунту, т/м<sup>3</sup>;

$h_G$  - розрахункова глибина зволоження ґрунту, м;

$W_{HB}$  - вологість ґрунту, яка відповідає найменшій вологоємкості, % маси сухого ґрунту [9];

$W_{KP}$  - допустима межа висихання ґрунту, % маси сухого ґрунту [4]

$$W_{KP} = 0,5(W_{HB} + W_{CB}), \quad (2.18)$$

де  $W_{CB}$  - вологість ґрунту, що відповідає стійкому в'яненню рослин, % маси ґрунту.

Якщо немає дослідних даних про величини  $W_{CB}$ , то передполивну вологість  $W_{KP}$  можна брати як частину від  $W_{HB}$  [4]:

пісчані та супісчані ґрунти

$$W_{KP} = (0,55 \dots 0,65)W_{HB}; \quad (2.19)$$

легкі та середні суглинки

$$W_{KP} = (0,65...0,75)W_{HB}; \quad (2.20)$$

важкі суглинки і глини

$$W_{KP} = (0,75...0,80)W_{HB}; \quad (2.21)$$

Підставляючи вирази (2.19) – (2.21) у формулу (2.17), отримуємо залежності для оцінки можливих меж поливних норм на різних ґрунтах:

пісчані та супісчані ґрунти

$$m_H = 10 \cdot \gamma \cdot h_{\Gamma} (0,45...0,35)W_{HB}; \quad (2.22)$$

легкі та середні суглинки

$$m_H = 10 \cdot \gamma \cdot h_{\Gamma} (0,35...0,25)W_{HB}; \quad (2.23)$$

важкі суглинки і глини

$$m_H = 10 \cdot \gamma \cdot h_{\Gamma} (0,25...0,20)W_{HB}; \quad (2.24)$$

Із залежностей (4.22) – (4.24) отримуємо наступне співвідношення:

$$K_m = \frac{m_{HB}}{m_{HM}} = 1,25...1,30, \quad (2.25)$$

де  $m_{HB}$ ;  $m_{HM}$  - більше та менше значення поливних норм, які є допустимими.

Ймовірно, що при збереженні ідентичності всіх факторів, які впливають на поливні норми, їх більші значення  $m_{HB}$  можна забезпечити більшою інтенсивністю дощу  $J_B$ , а менші значення  $m_{HM}$  - меншою інтенсивністю дощу  $J_M$ . У цьому разі одержимо допустиме співвідношення

$$K_m = \frac{m_{HB}}{m_{HM}} = \frac{J_B}{J_M} = 1,25...1,3. \quad (2.26)$$

Враховуючи гідромеліоративний зміст співвідношення (2.26), можна запропонувати можливі межі значень коефіцієнтів ефективної рівномірності дощу або ефективного зрошення:

$$K_{e.зр} = \frac{1}{K_m} = 0,77...0,80. \quad (2.27)$$

Для оцінки величини норми  $m_D$  в [5] пропонується формула Н.С.Єрхова

$$m_D = k_V / \sqrt{J} e^{-0.5d}, \quad (2.28)$$

де  $m_D$  - ерозійно допустима поливна норма, мм;

$k_V$  - коефіцієнт, що враховує водопоглинаючу здатність ґрунту;

$J$  - інтенсивність дощу, мм/хв;

$d$  - середній діаметр крапель дощу, мм.

Відомо, що будь-яку поливну норму при дощуванні можна подати двома способами: 1 – дощувальна машина рухається безперервно; 2 – дощувальна машина працює позиційно.

Оскільки у формулі (2.27) відсутня тривалість зрошення, то її застосування для визначення ерозійно допустимих поливних норм є проблематичним.

Очевидно, якщо якість штучного дощу для відповідних рослин забезпечена, то ерозія ґрунту не виникне за умови, коли

$$J < V_{II}, \quad (2.29)$$

де  $J$  - інтенсивність дощу, мм/хв;

$V_{II}$  - водовбирна швидкість ґрунту упродовж усього періоду подачі поливної норми, мм/хв.

Для визначення граничних значень величин інтенсивності дощу  $J$  скористаємось даними про водовбирні швидкості ґрунтів  $V_{II}$ , що наведені в [9].

Скориставшись орієнтовними значеннями водовбирних швидкостей  $V_{II}$ , що наведені у табл. 2.2, можна зробити висновок, що максимальні інтенсивності штучного дощу можна взяти в межах, що наведені в табл.4.3.

Дослідження інтенсивності дощу, що утворюється секторними дощувальними насадками при напорах  $H=10;15м$  проводили на експериментальній установці ( рис. 2.3).

Тривалість дощування у дослідах становила 30 - 35 хв. Шар дощу накопичувався у циліндричних колекторах (ємностях) з діаметрами 85; 95мм. Зазначимо, що за нормами [4] діаметр дощомірів-ємностей повинен бути не

менше 60мм. Отже, у наших дослідах ця умова виконана. Колектори розміщували на віддальх  $R$  (рис. 2.3).

Таблиця 2.2 – Орієнтовні значення водовбирних швидкостей  $V_{II}$  та вологоємності  $W_{HB}$  для різних ґрунтів

Тип ґрунту	Водовбирна швидкість ґрунту $V_{II}$ , мм/хв упродовж першої години дощування	Вологоємність $W_{HB}$ , %
Пісчані та супісчані	>2,5	4...12
Легкі суглинки	2,5...0,85	12...18
Середні суглинки	0,85...0,83	18...25
Важкі суглинки, глини	<0,80	25...30

Таблиця 4.3 – Орієнтовні межі інтенсивності дощу, які відповідають співвідношенню

Тип ґрунту	Пісчані та супісчані	Легкі суглинки	Середні суглинки	Важкі суглинки, глини
$J$ , мм/хв	2...2,5	0,80...2	0,75...0,80	0,2...0,4

За допомогою градуйованого маркера та спеціальних рейок мірні колектори точно розміщували на віддальх  $R$  від центра сектора дощу та кутах  $\alpha$ , які відміряли вліво і вправо від осі сектора. Для центральної осі сектора кут  $\alpha^0 = 0$ .

Центральні кути секторів дощу дорівнювали:

$$\beta_i = 2\alpha_i. \quad (2.30)$$

Швидкість вітру на висоті 1,8...2 м від поверхні землі визначали чашечним анемометром.

Після закінчення дощування мірні колектори переносили в лабораторію і шар дощу в кожному колекторі заміряли тестером з точністю 0,1мм.

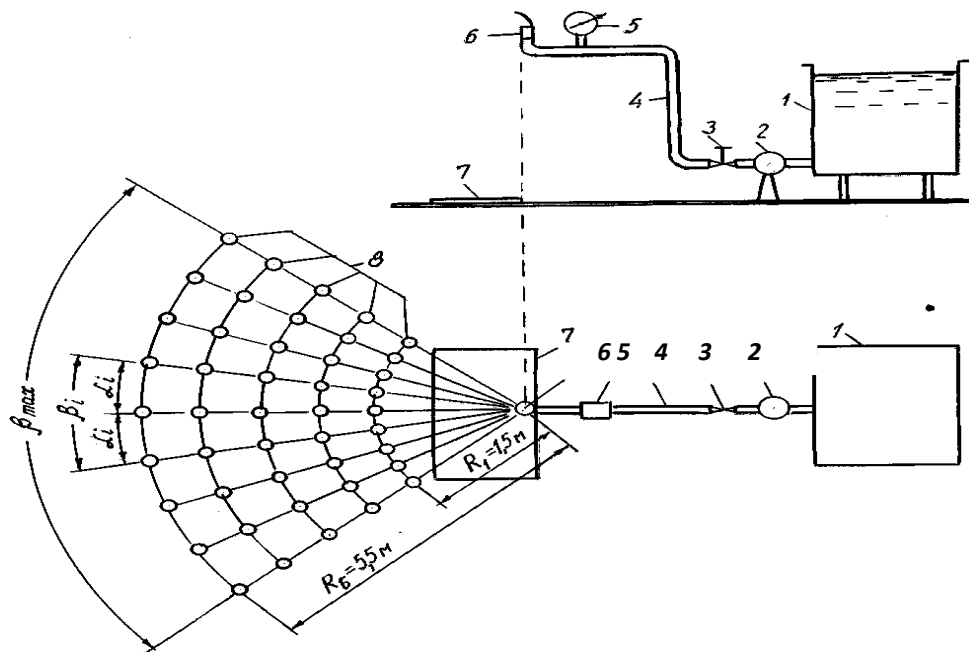


Рис. 2.3 Схема дослідної установки: 1 – ємність з водою; 2 – насосна станція; 3 – кран; 4 – водопровідна труба ; 5 – манометр; 6 – насадка; 7 – маркер; 8 – колектори

## Висновки по розділу 2

В другому розділі магістерської роботи представлено методику проведення досліджень по визначення якості роботи дощувальних машин та показників надійності.



### РОЗДІЛ 3

## ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ДОЩУВАЛЬНИХ НАСАДОК ТА СХЕМ ЇХ РОЗМІЩЕННЯ НА РОЗПОДІЛЬЧОМУ ТРУБОПРОВОДІ ЗА ПОКАЗНИКАМИ НАДІЙНОСТІ

Результати досліджень інтенсивності дощу, аналізували як функцію

$$J = f(H; R; \alpha; h), \quad (3.1)$$

де  $H$  - напір,  $m$ ;

$R$  - відстань точки від насадки,  $m$ ;

$\alpha$  - кут розташування точки на радіусі  $R$ ,  $град.$ ;

$h$  - висота дефлектора-відбивача,  $мм$ .

Результати відобразили у вигляді графіків рис.3.1-3.4.

Аналізуючи графіки рис. 3.1-3.4., бачимо, що інтенсивність дощу на лівій і правій частині сектора дощу за дощувальними насадками рис.3.5,*a* діаметром  $d_H = 7;5мм$  подібні між собою, тобто маємо задовільне формування факела дощу.

Найкраще розширення факела (сектора) дощу має місце за дощувальною насадкою яка виготовлена з бронзи. Зазначимо, що на рівномірність дощу впливає не матеріал, з якого виготовлені дощувальні насадки, а конструкція насадки, форма дефлектора-відбивача і якість його поверхні.

Аналіз графіків функції (3.1) дозволив визначити оптимальні кути секторів дощу  $\beta^0$  та значення радіусів, при яких співвідношення між точковими значеннями інтенсивностей дощу  $J_{max}$  та  $J_{min}$  знаходиться у межах 1,2...1,8. Наприклад, для насадки рис.3.4*a* діаметром  $d_H = 7мм$  при  $R = 1,5 - 4,5м$ ;  $\beta = 120^0$  і  $H = 10м$  маємо  $J_{max}/J_{min} = 1,49...1,64$ , а при  $H = 15м$   $J_{max}/J_{min} = 1,5...2,4$ . Для насадки рис.3.4,*a* діаметром  $d_H = 5мм$  при  $R = 1,5 - 3,5м$ ;  $\beta = 120^0$  і  $H = 10м$  маємо  $J_{max}/J_{min} = 1,20...1,43$ , а при  $H = 15м$  і  $R = 1,5 - 4,5м$









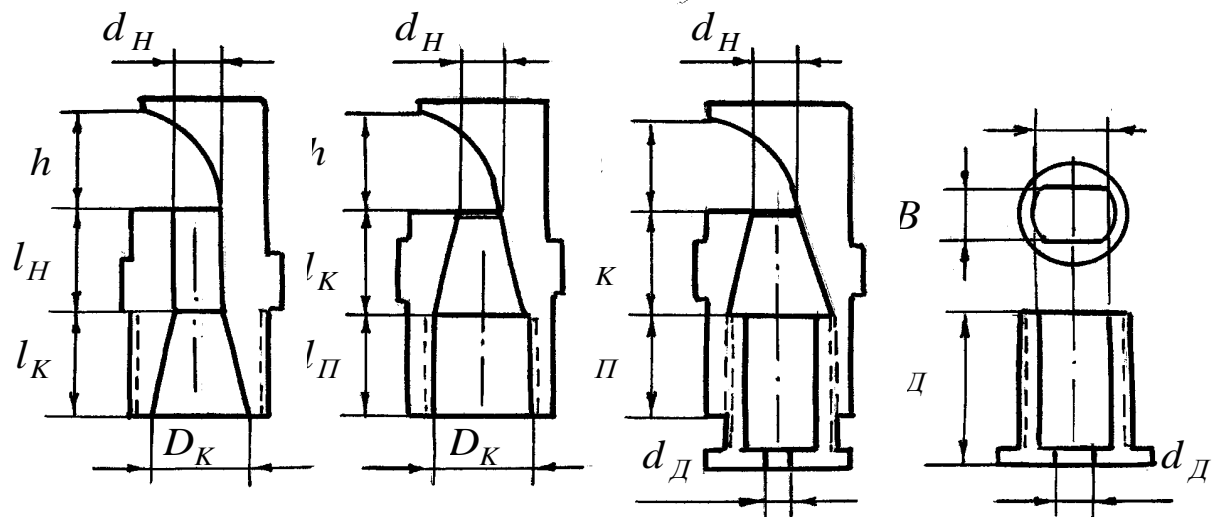


Рис. 3.5. Схеми дощувальних насадок: а – зовнішня різьба 1/2"; б – внутрішня різьба 1/2"; в – насадка; г – дросель.

$J_{\max}/J_{\min} = 1,20 \dots 1,30$ . Для насадок рис.3.4,б діаметром  $d_H = 3;4\text{мм}$  співвідношення  $J_{\max}/J_{\min} = 1,15 - 1,60$  має місце тільки при  $\beta = 60^\circ$  та  $R = 1,5 - 2,5\text{м}$ .

Форми графіків функції для насадок рис.3.5,б діаметром  $d_H = 3;4\text{мм}$  з лівої і правої половин секторів дощу мають суттєві відмінності. Ці відмінності спричинені наступними факторами. Дослідження інтенсивності дощу з насадкою діаметром  $d_H = 4\text{мм}$  (рис.3.5,б) виконувались при періодичному вітрі, максимальна швидкість якого зліва направо при  $H = 10\text{м}$  досягала  $1,8 \dots 2,5\text{м/с}$ , а при  $H = 15\text{м}$  –  $1,7 \dots 1,8\text{м/с}$ . Окрім цього, навіть у безвітряний період, струмина, покидаючи дефлектор-відбивач насадки, ділилась на три факели дощу. Зазначимо, що факел дощу ділився на три частини і з насадкою рис.3.4,б діаметром  $d_H = 3\text{мм}$ . Під час цих дослідів були пориви періодичного вітру швидкістю  $1,9 \dots 2,3\text{м/с}$  проти основного струменя дощу. Це збільшило інтенсивність дощу на віддалі  $R = 1,5\text{м}$ . Дуже дрібні краплі піднімались потоком повітря на висоту  $2,5 \dots 3\text{м}$  і переносились в сторону дощувальної насадки, досягаючи віддалі  $R = -2\text{м}$ , тобто переносились у зворотну сторону основного факела дощу.

У досліджах навели середні значення інтенсивності дощу  $J_c$ , найбільші  $J_{\max}$ , найменші  $J_{\min}$  інтенсивності дощу на віддальх  $R$  від дощувальних насадок, а також відхилення  $\Delta J_1 = J_{\max} - J_c$ ;  $\Delta J_2 = J_{\min} - J_c$ , та їх відносні величини:  $(\Delta J_1 / J_c) \cdot 100\%$ ;  $(\Delta J_2 / J_c) \cdot 100\%$ .

Графіки функції та розрахункові дані, дозволяють визначити площі секторних смуг, на яких існує допустиме співвідношення, або допустиме значення коефіцієнта ефективного зрошення, тобто:

$$K_m = \frac{J_{CB}}{J_{CM}} = 1,25 \dots 1,30; \quad (3.2)$$

$$K_{e.зр} = 0,77 \dots 0,80. \quad (3.3)$$

На основі дослідних даних про середні інтенсивності дощу на відповідних радіусах потрібно побудувати графіки функції

$$J_c = f(R; \beta_{OPT}^0). \quad (3.4)$$

Схема такого графіка зображена на рис. 3.6.

На графіку функції  $J_{CB}$  - найбільша середня інтенсивність дощу на середній секторній смузі при центральному куті сектора  $\beta_{OPT}$ ;  $J_{CM}$  - середня інтенсивність дощу на секторній смузі, яка дорівнює

$$J_{CM} = J_{CB} / K_m, \quad (3.5)$$

де  $K_m = 1,25 \dots 1,3$  - коефіцієнт допустимої зміни меж поливних норм.

Обчисливши значення інтенсивності дощу  $J_{CM}$ , за допомогою графіка функції, визначаємо радіуси  $R_1$  і  $R_2$ .

На площі фігури  $AA_1B_1B$  маємо інтенсивність дощу, яка формується поливні норми, величини знаходяться у межах допуску, тобто  $K_{e.зр} = 0,77 \dots 0,80$ . коефіцієнт ефективності поливу дорівнює:

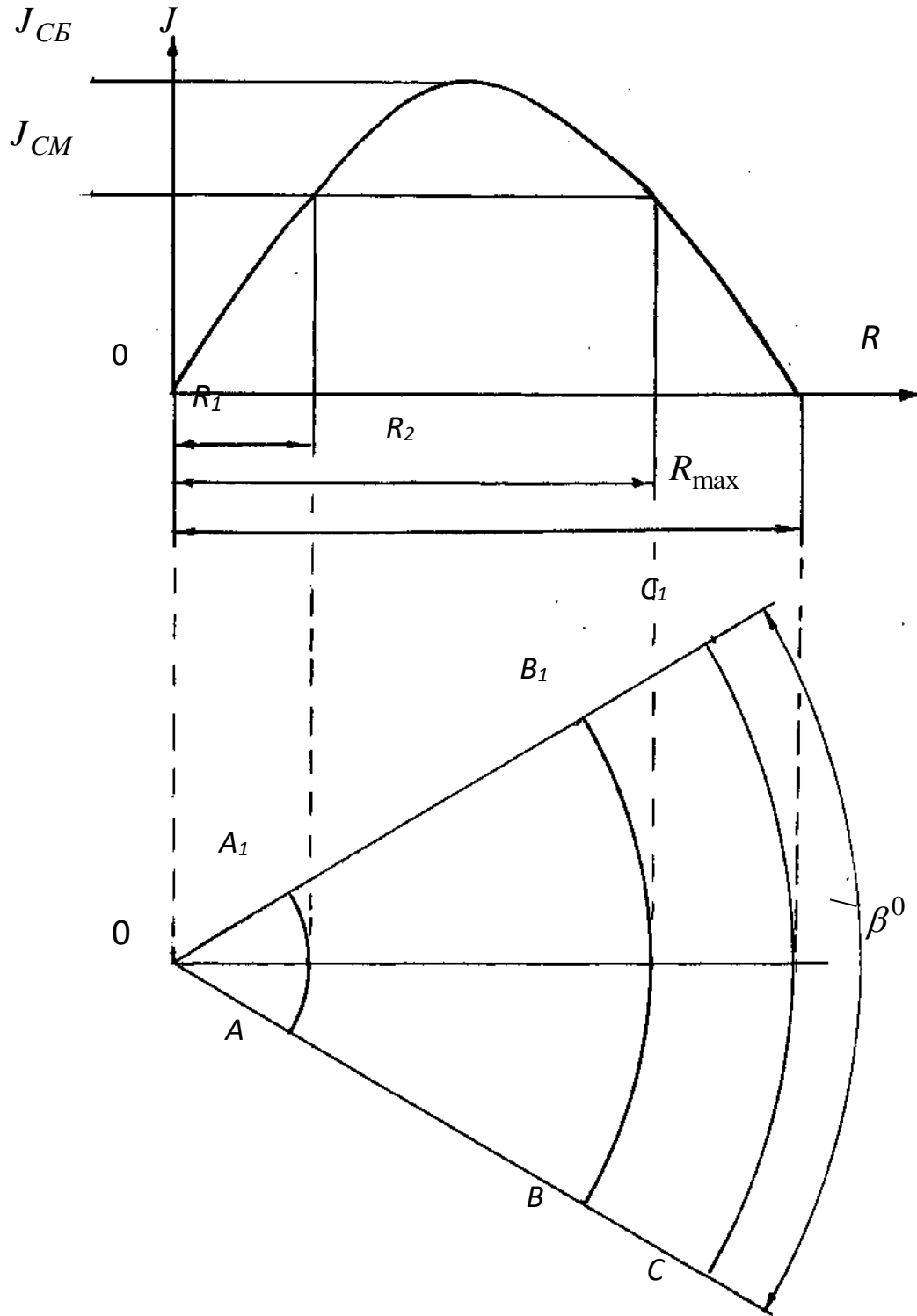


Рис. 3.6. Схема графіка функції для визначення коефіцієнта ефективного зрошення  $K_{ef}$  одиночною дощувальною насадкою секторної дії



$$K_{ef} = \frac{\pi \cdot \beta_{OPT}^0 (R_2^2 - R_1^2)}{360^0} \Big/ \frac{\pi \cdot \beta_{OPT}^0 R_{max}^2}{360^0} = \frac{R_2^2 - R_1^2}{R_{max}^2}. \quad (3.6)$$

Коефіцієнт недостатнього зрошення

$$K_{нед} = \left[ \frac{\pi \cdot \beta_{OPT}^0 R_{max}^2}{360^0} - \frac{\pi \cdot \beta_{OPT}^0 (R_2^2 - R_1^2)}{360^0} \right] \Big/ \left( \frac{\pi \cdot \beta_{OPT}^0 R_{max}^2}{360^0} \right).$$

Звідки отримуємо

$$K_{нед} = 1 - \left( \frac{R_2^2 - R_1^2}{R_{max}^2} \right). \quad (3.7)$$

У формулах (3.6), (3.7)  $\beta_{OPT}^0$  - центральний кут сектора дощу, за якого на крайніх променях (рис.3.6)  $OC$  і  $OC_1$  інтенсивності дощу  $J_i \geq (0,4...0,5)J_{max}$ .

Коефіцієнти  $K_{ef}$ ;  $K_{над}$ ;  $K_{нед}$ ;  $K_p$  пропонуються нормами [4] для оцінки рівномірності зрошення дощувальними машинами. Очевидно, що при збереженні ідентичності всіх факторів, рівномірність зрошення дощувальною машиною залежить від рівномірності розподілу інтенсивності дощу одиночних дощувальних насадок та схем їх розміщення на розподільчому трубопроводі дощувальної машини.

Зазначимо, що використовуючи залежності для визначення коефіцієнтів  $K_{ef}$ ;  $K_{над}$ ;  $K_{нед}$ ;  $K_p$  одиночних дощувальних насадок потрібно обов'язково визначити оптимальне значення центрального кута сектора дощу  $\beta_{OPT}$  і встановити обмеження на величину  $R_{max}$ . Якщо взяти, що  $R_{max}$  дорівнює радіусу, де  $J=0$ , то отримаємо дуже малі значення коефіцієнтів  $K_{ef}$  та  $K_p$  і великі значення коефіцієнтів  $K_{нед}$  або  $K_{над}$ .

За допомогою графіків, схема яких зображена на рис. 3.6, можна визначити ширину секторних смуг, на яких має місце допустиме значення коефіцієнта ефективної рівномірності зрошення наприклад,  $K_{e.зр} = 0,77$ . За середнім значенням інтенсивності дощу на цій смузі

$$\bar{J}_C = \frac{1}{2}(J_{CB} + J_{CM}) \quad (3.8)$$



Оскільки для насадки  $d_H = 7\text{мм}$   $\beta_{\text{опт}} = 120^\circ$  і  $R = 4,5\text{м}$ , то  $L = 3,9\text{м}$ .  
 Приймаючи, що  $L = 4\text{м}$ , отримуємо інтенсивність дощу у точці  $a$   $J_a = 1,5\text{мм/хв}$ .

При  $L = 4\text{м}$  інтенсивність дощу в точках  $b, k, n, m, f$  відповідно дорівнює:

$$J_b = J_k = J_f = 1,13\text{мм/хв}; \quad J_n = J_m = 1,29\text{мм/хв}.$$

Порівнюючи значення інтенсивностей дощу на площі між лініями  $bnamb$  з середніми значеннями інтенсивностей дощу  $J_c$  на площі між радіусами  $R = 3...4,5\text{м}$  бачимо, що в окремих точках площі  $bnamb$  вони є більшими в 1,2...2 рази. Отже, на цій площі за умови симетричності секторів дощу дощувальних насадок  $B_1$  і  $B_2$  можливе часткове перезволоження.

Приймаючи до уваги значення інтенсивностей дощу дощувальних насадок рис.3.4,*a* діаметром  $d_H = 7\text{мм}$  при  $\beta = 160^\circ$  та інтенсивностей дощу дощувальних насадок рис.3.4,*б*, між насадками  $B_1$  і  $B_2$  можна поставити насадку діаметром  $d_H = 4\text{мм}$ . Тоді вся площа, що знаходиться вище лінії  $B_1a_1a_2B_2$  буде зрошуватись.

### Висновки по розділу 3

При позиційній роботі дощувальної машини її переміщення з позиції на позицію визначається з урахуванням тривалості подачі поливної норми. У всіх випадках інтенсивність дощу не повинна перевищувати допустиму інтенсивність дощу. Встановлено форму насадки, яка забезпечує підвищення якості роботи дощувальної машини та показників надійності.

## ВИСНОВКИ

1. Дощувальні насадки з циліндричною частиною довжиною  $l_H = (2...3)d_H$  перед дефлектором-відбивачем (рис.3.5,*a*) утворюють краще розпилення, ніж конусні насадки довжиною  $l_k = (3...4)d_H$ , рис.3.5,*б*, за якими струмина ділиться на окремі частини, спричиняючи додаткову нерівномірність дощу. Такі насадки володіють підвищеними показниками надійності.

2. Дощувальні насадки з інтенсивністю дощу  $J_{\max} = 1,5...2 \text{ мм/хв}$  можна використати для зрошення пісчаних та супісчаних ґрунтів, з інтенсивністю дощу  $J_{\max} = 0,8...1,4 \text{ мм/хв}$  - для зрошення легких суглинків, а з інтенсивністю дощу  $J_{\max} = 0,65...0,75 \text{ мм/хв}$  - для середніх суглинків.

3. Допустима варіація поливних норм,  $K_m = 1,3$  для дощувальних насадок рис.3.5,*a* діаметром  $d_H = 7 \text{ мм}$  має місце на секторній смузі, яка обмежена центральним кутом сектора  $\beta = 120^\circ$  та радіусами  $R = 2,2...4,8 \text{ м}$  при  $H = 10 \text{ м}$  та  $R = 2,2...5,2 \text{ м}$  при  $H = 15 \text{ м}$ . Для насадки рис.3.5,*a* діаметром  $d_H = 5 \text{ мм}$  значення  $K_m = 1,3$  має місце при куті  $\beta = 120^\circ$  та  $R = 1,7...4,1 \text{ м}$  ( $H = 10 \text{ м}$ ) і  $R = 1,8...4,7 \text{ м}$  ( $H = 15 \text{ м}$ ).

4. Середня інтенсивність дощу на площі сектора, де відношення  $J_{\max}/J_{\min} = 1,5...1,6$  є у 2 рази більшою, ніж середня інтенсивність дощу, яка обчислюється як відношення витрати дощувальної насадки до площі сектора, що відповідає значенню центрального кута сектора  $\beta_{\max}$ . Тому розрахунки тривалості зрошення за середньою інтенсивністю дощу, що відповідає куту  $\beta_{\max}$ , призводить до перезволоження на площі, яка дорівнює приблизно 30% площі сектора дощу.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Адлер Ю.П. Введение в планирование эксперимента. Москва : Металлургия, 1969. 159с.
2. Адлер Ю. П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. - М.: Наука, 1976. – 279с.
3. Гринь Ю.І. Оптимізація дощувальних машин на основі природоохоронних показників. // Меліорація і водне господарство. – Київ. – 1999. -№ 86. – с.113-119.
4. Гринь Ю.И., Кондрашова Н.В. Оптимизация параметров дождевальных насадок агрегата ДДА – 100 МА. // Гідротехніка і меліорація в Україні. Зб. наук. праць. ІГіМ, УААН. – Вип. 3. – с.22-29.
5. Ковальчук П.І., Михальські Т.О., Матяш Т.В., Прудська А.О. Методи і моделі визначення розрахункової водозабезпеченості зрошувальних норм. // Меліорація і водне господарство. К.: Аграрна наука. Вип. 91. 2004. – с.52-62.
6. Косенко В.Ф. К вопросу о рациональной степени рассредоточения тока воды при орошении. // Оптимизация технических средств технологии полива. – Труды ВНИИГиМ. – М.: 1985. – с.3-25.
7. систем. // Автореферат дисертації на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук.- К.: КНУБА.- 2004. – 35с.
8. Кирьянов В.Н. Теоретические основы оценки и оптимизации надежности функционирования гидромелиоративной системы. // Автореферат диссертации на соискание ученой степени докт. техн. наук. М.: МГМИ. 1993.- 49с.
9. Музика О.П. Використання дощувальної техніки в Україні. // Водне господарство України. Держводгосп. Вип. 3-4. с.26-30.
10. Barnet A.P., Rogers I.S. Soil physical properties related to runoff and erosion from artificial rainfall.- Irrigate Assoc., 1980. p. 161-165.

11. 103. Bucks D. Injection of fertilizers and other chemicals for drip irrigation. -Irrigate Assoc., 1980. p. 166-168.
12. 104. Erokhin V.G. and Makhan'ko M.G. Problems on Fundamentals of Hydraulics and Heat Engineering. Mir Publishers, Moscow, 1986. – 285p.
13. 105. Gray A.S. Defining solid set permanent sprinkler systems effectively. // World Irrigate. – 1970. – Vol. 20. - №3. – p.19.
14. 106. Gavazza D. Problemi delle unifomita di distribuzione dell'acqua negli impianti irriqui a piaggial di irrigazione localizzata. – Irrigazione, 1982, 29.3: 10-19.