ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет
Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

Пояснювальна записка

до дипломної роботи
освітнього ступеня "Магістр"
на тему:

Обґрунтування параметрів та режимів роботи дощувальної машини

Виконав: студент 2 курсу, групи МгАІз-1-23
за спеціальністю 208 "Агроінженерія"

_____ Віктор ЧОРНИЙ

Керівник _____ Наталія ПОНОМАРЕНКО

Рецензент_____
(підпис, прізвище та ініціали)

Дніпро 2024

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

Освітній ступінь: «Магістр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
ТСГМ .
(назва кафедри)
доцент .
(вчене звання)
_____ Теслюк Г.В.
(підпис)
(прізвище, ініціали)
«____» _____ 2024 р.

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Чорний Віктор Валерійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

керівник роботи Пономаренко Наталія Олександрівна, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від
«__» _____ 2024 року № _____

2. Строк подання студентом роботи 27.11.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи Огляд стану питання в галузі машинобудування та існуючих дощувальних машин . Патентний пошук, аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної тематики.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Особливості сучасного стану зрошення. Обґрунтування напрямів удосконалення дощувального агрегата ДДА-100МА та методика досліджень. Дослідження конструктивних параметрів та витратних характеристик дощувальних насадок секторної дії. Випробування удосконаленого дощувального агрегата ДДА-100МА у виробничих умовах. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Економічна ефективність

впровадження дощувальної машини. Загальні висновки. Список використаної літератури.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1,2. Мета і задачі досліджень. 3. Блок-схема класифікації дощувальних апаратів та насадок. 4. Типи робочих органів на водопровідному трубопроводі дощувальних машин. 5. Блок-схема напрямів підвищення рівномірності та якості дощу агрегата ДДА-100МА-16. 6. Залежність витрат води від інтенсивності дощу при різній довжині смуги дощу. 7 Залежність інтенсивності дощу від тривалості дощування з врахуванням водопроникної спроможності ґрунту, діаметр крапель дощу D = 1,5 ММ. 8. Методика проведення досліджень. 9. Залежність H/R = F (H/D) для секторних насадок нової конструкції. 10. Результати випробування удосконаленого дощувального агрегата ДДА-100МА-1. 11. Висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	Завдання прийняв
1	Пономаренко Н.О	30.03.2024 р.	
2	Пономаренко Н.О	10.05.2024 р.	
3	Пономаренко Н.О	29.07.2024 р.	
4	Пономаренко Н.О	15.08.2024 р.	
5	Пономаренко Н.О	22.09.2024 р.	
6	Пономаренко Н.О	24.10.2024 р.	
Нормоконтроль			

7. **Дата видачі завдання**: 20.09.2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№п/п	Назва етапів дипломного Проекту	Строк виконання етапів роботи	***Примітка***
1	Аналітичний (оглядовий)	до 30.09.2024 р.	
2	Теоретичний	до 10.10.2024 р.	
3	Експериментальний	до 29.10.2024 р.	
4	Охорона праці	до 15.11.2024 р.	
5	Економічний	до 22.11.2024 р.	
6	Демонстраційна частина	до 24.11.2024 р.	

Студент _____ Чорний В.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Пономаренко Н.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

№	Формат	Позначення	Найменування	К-ть аркушів	Номер аркуша	Примітка
1	А4	52 ДР.000.000.000.ПЗ	Пояснювальна записка			
2	А4	Microsoft PowerPoint	Презентаційні матеріали			

Зміст

Анотація…….. 6
Вступ…… 8
1. Особливості сучасного стану зрошення…… 9
1.1. Сучасний стан та аналіз досліджень показників якості поливу дощувальних машин фронтальної дії…… 9
1.2. Схеми розміщення і типи робочих органів на водопровідному трубопроводі дощувальних машин…… 13
1.3. Висновки до розділу…… 21
2. Обґрунтування напрямів удосконалення дощувального агрегата ДДА-100МА та методика досліджень…… 22
2.1. Напрями удосконалення та обґрунтування нових модифікацій агрегата ДДА-100МА…….. 22
2.2. Методичні основи розрахунку оптимальних параметрів ДДА-100МА……. 31
2.3. Методика проведення досліджень…… 38
2.4. Висновки до розділу…… 47
3. Дослідження конструктивних параметрів та витратних характеристик дощувальних насадок секторної дії…… 48
3.1. Вибір типу, конструктивних параметрів та раціональних схем розміщення робочих органів дощувальних машин……. 48
3.2. Визначення витратних характеристик дощувальних насадок та їх зносостійкість…… 55
3.3. Висновки до розділу…… 61
4. Випробування удосконаленого дощувального агрегата ДДА-100МА у виробничих умовах……. 62
5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях……..... 73
6. Економічна ефективність впровадження дощувальної машини…… 84
Загальні висновки…….. 87
Список використаної літератури…… 89

Анотація

Дослідження техніко-експлуатаційних параметрів дощувальної машини.

Магістерська робота складається зі вступу, 5 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 54 найменувань. Основна частина роботи викладена на 80 сторінках машинописного тексту, містить 30 рисунків і 10 таблиць.

Метою магістерської роботи є підвищення рівномірності поливу та якості дощу двоконсольних дощувальних агрегатів.

Для досягнення мети вирішувалися такі задачі:

- розробка нових конструкцій водорозподільних вузлів і дощувальних насадок для використання на водопровідному трубопроводі двоконсольних дощувальних агрегатів;

- визначення витратних характеристик і показників якості дощу розроблених дощувальних насадок різних типорозмірів;

- оптимізація схем розміщення дощувальних насадок та їхніх типорозмірів уздовж водопровідного трубопроводу агрегата ДДА-100МА;

- проведення порівняльних випробувань існуючого дощувального агрегата ДДА-100МА та його нових модифікацій;

- оцінка ефективності використання розроблених модифікацій дощувального агрегата ДДА-100МА.

Ключові слова: дощування, меліорація, агрегат, зрошування, машина.

Annotation

Research of technical and operational parameters of the sprinkler machine.

The master's work consists of an introduction, 5 chapters, general conclusions, a list of sources used from 54 titles. The main part of the work is presented on 80 pages of typewritten text, containing 30 figures and 10 tables.

The aim of the master's work is to improve the uniformity of irrigation and the rain quality of double-cantilever sprinkler units. To achieve the goal, the following tasks were solved:

- development of new designs of water distribution units and sprinkler nozzles for use on the water pipeline of two-cantilever sprinkler units;

- determination of consumption characteristics and indicators of rain quality of developed sprinkler nozzles of different standard sizes;

- optimization of the layout of sprinkler nozzles and standard sizes along the water pipeline of the DDA-100MA unit;

- carrying out comparative tests of the existing sprinkler unit DDA-100MA and its new modifications;

- evaluation of the efficiency of using the developed modifications of the sprinkler DDA-100MA.

Key words: sprinkling, reclamation, unit, irrigation, machine.

Вступ

Реформування агропромислового комплексу України викликало створення великої кількості фермерських та інших за формою власності господарств, які мають земельні площі від 20 до 200 га. Існуюча дощувальна техніка за своїми технічними параметрами не може бути ефективно застосована для поливу таких невеликих площ, оскільки вона створювалась для господарств, які мають площу зрошення більше 1000 га. Це вимагає приймати рішення, які спрямовані на удосконалення існуючої в експлуатації та створення нової мобільної невисокої вартості двоконсольної дощувальної техніки з високими показниками штучного дощу. Сучасний екологічний рівень ґрунтів зрошувальних систем з існуючими в експлуатації двоконсольними агрегатами ДДА-100МА показує, що в багатьох випадках, особливо на ґрунтах в зоні Степу, зрошення супроводжується іригаційною ерозією і деградацією ґрунтів. Причиною цього є висока інтенсивність, незадовільна структура та рівномірність розподілу дощу, який утворює агрегат ДДА-100МА. Висока інтенсивність та розмір крапель дощу також підвищує небезпеку полягання зернових культур на останніх фазах їх розвитку. В той же час, відсутність методичних основ розрахунку оптимальних параметрів дощувальних насадок та оптимізації схем їх розміщення уздовж водопровідного трубопроводу з урахуванням заданої структури дощу не дозволяє впроваджувати ґрунтозахисну технологію поливу та створювати нові модифікації двоконсольних агрегатів з різними витратами води та шириною захвату.

Отже, удосконалення показників якості та структури дощу ДДА-100МА є актуальним і необхідним для збереження родючого шару ґрунту від ерозії та попередження поверхневого стоку. Використання зазначених розробок дасть можливість створювати двоконсольні дощувальні агрегати фронтальної дії нового покоління, які будуть забезпечувати раціональне використання води з високою якістю та рівномірністю поливу на різних за водопроникністю типах ґрунту.

1. Особливості сучасного стану зрошення

1.1. Сучасний стан та аналіз досліджень показників якості поливу дощувальних машин фронтальної дії

Зрошення земель є вирішальною умовою сталого, гарантованого виробництва сільськогосподарської продукції. В Україні після 1965 року, коли темпи іригаційного будівництва з кожним роком збільшувались, площі зрошувальних систем зросли майже у чотири рази і на 2001 рік досягли 2,5 млн.га. Сьогодні 96% площі поливних земель зрошуються дощуванням, як одним з найбільш ефективних способом поливу [32].

Значного поширення набули зрошувальні системи з дощувальними машинами фронтальної дії - ДДА-100МА(672 тис. га), “Дніпро”(376 тис. га), “Волжанка”(294 тис.га), “Кубань” (70 тис.га). На цих системах працюють відповідно 6, 1,4, 4, 3,0,0,5 тисяч машин. Практика їх експлуатації показала, що найбільш надійними і довговічними виявились дощувальні агрегати ДДА-100МА. Висока мобільність і продуктивність, простота в експлуатації, невеликі капітальні вкладення в зрошувальну систему з ДДА-100МА та незначна вартість поливу цим агрегатом дозволило йому стати найбільш поширеним в зрошенні. Так, вже до 1980 року кількість агрегатів становила більше 11 тисяч, якими зволожується біля 50% загальної поливної площі. З кожними наступним роком кількість агрегатів поступово зменшується і на 2001 рік досягла 6 тисяч, якими зволожується понад 30% загальної поливної площі. Зменшення кількості використання агрегатів ДДА-100МА пояснюється інтенсивним будівництвом і реконструкцією існуючих зрошувальних систем, на яких впроваджувались в експлуатацію нові типи багатоопорних широкозахватних механізованих та автоматизованих дощувальних машин. Широке розповсюдження зрошувальних систем з різними типами дощувальних машин вимагало проведення досліджень з метою ефективного їх використання.

Зниження енергоємності процесу поливу досягається за рахунок

застосування низьконапірних технологій розподілення води. Так, незначний напір на короткоструминних насадках секторної дії (0,14 МПа) дозволяє дощувальній машині “Кубань” створювати однорідну дрібнокраплинну структуру вітростійкого дощу в поєднанні з високим коефіцієнтом рівномірності поливу. Висока якість поливу тут досягається одночасно із значним зниженням витрат енергії [37].

Ефективна робота зрошувальних систем з дощувальною технікою тісно пов’язана з економним використанням енергії і витрат води на полив. Однак, забезпечення механізованого процесу поливу та його ефективного і надійного застосування на великих зрошувальних масивах, особливо із складними геоморфологічними умовами, вимагає значних витрат енергетичних, матеріальних і водних ресурсів на подачу води та розподілення її на полі.

За кордоном проблему ефективності використання енергії і води при зрошенні вирішують шляхом застосування водозберігаючих технологій і засобів автоматизації поливу [43]. Багато досліджень в цьому напрямку проведено в США, де вирішено проблему використання низьконапірних дощувальних машин в залежності від типу і стану поверхневого шару ґрунту, інтенсивності та енергії удару крапель дощу [20]. На основі цих досліджень проведено районування використання дощувальної техніки, що дозволяє зменшити витрати енергії при подачі води на полив та економити водні ресурси за рахунок запланованих недоповивів рослин. Останнім часом в США застосовують більш досконалі системи водорозподілу, низьконапірні дощувальні системи з приземними насадками-дощувачами, автоматизовані станції погоди, які видають оптимальні режими поливу [35].

Наукові основи ґрунтозберігаючої технології поливу дощуванням розроблено академіком Костяковим А.Н. [32], який підкреслював, що при штучному дощуванні необхідно виключити можливість утворення стоку і не допускати руйнування ґрунтової структури. Особливо важливо, підкреслює Ковда В.А., додержуватись цієї вимоги при зрошенні чорноземів [28]. В цьому напрямку необхідно відмітити роботу Ахтирцева Б.П. і Лепиліна Л.О. [4], які

досліджували вплив інтенсивності штучного дощу різних типів дощувальної техніки на фізичні властивості чорнозему. В результаті досліджень встановлено, що використання ДДА-100МА з інтенсивністю дощу 2,5 мм/хв на типових середньосуглинкових чорноземах протягом 4 років призвело до значного руйнування структури, щільності верхнього шару ґрунту, зниженню загальної пористості, водопроникності, швидкості вбирання води порівняно з машинами “Фрегат” і “Волжанка”. В багатьох дослідженнях [6] було визначено, що використання ДДА-100МА з інтенсивністю дощу 2÷5 мм/хв на типових чорноземах призводить до зменшення змісту ґрунтових агрегатів розміром 10…1 мм і збільшення змісту фракцій 1…0,25 мм. Поряд з руйнуванням агрономічно-цінних ґрунтових агрегатів також спостерігалося зниження коефіцієнта структурності у шарі 0…5 см в 1,5-2,5 рази. Одночасно, цими дослідженнями було встановлено, що із збільшенням тривалості дощування негативні наслідки його збільшуються. Так, тривале зрошення чорноземів звичайних середньосуглинкових і чорноземів південних дощувальним агрегатом ДДА-100МА призводить до додаткового ущільнення шару ґрунту на глибині 0…20 см від 6, 4 до 23% [4]. Збільшення ущільнення ґрунту зменшує його водопроникність, внаслідок чого, показник швидкості вбирання ґрунту погіршується, а його поверхня представляє собою дуже щільну кірку товщиною 4…5 мм [2]. Це призводить до нерівномірного розподілу поливної води по площі і глибині всмоктування, що викликає виникнення інтенсивного поверхневого стоку. При використанні ДДА-100МА на тяжкосуглинкових чорноземах півдня України величина стоку може досягти 25 - 35% поливної норми [3]. Так, разом з виникненням поверхневого стоку на каштанових супісчаних та легкосуглинкових ґрунтах при поливі ДДА-100МА спостерігалися значні ерозійні процеси, особливо на ділянках, де вирощувалися овочеві культури [34]. Значний вплив на прояви поверхневого стоку та процес іригаційного змиву верхнього шару гумусового горизонту при використанні ДДА-100МА виявляє похил місцевості і ступінь захищеності її рослинами [51]. Якщо мати на увазі, що основну частину зрошувальних земель України,

особливо в зоні Степу, зволожують за допомогою ДДА-100МА, то при існуючій якості поливу цим агрегатом, небезпека виникнення іригаційної ерозії дуже велика. Дослідження [25] показують, що при поливі овочів агрегатом ДДА-100МА на полі з похилом 0,006 спостерігається не тільки перерозподілення ґрунту по площі, но і поверхневий змив верхнього шару ґрунту за його межі. Навіть на рівнинних ділянках (i = 0,0005) при поливі ДДА-100МА з інтенсивністю дощу 3,6 мм/хв на легкосуглинкових ґрунтах величина змиву ґрунту за один полив може дорівнювати 0,9 т/га [19].

В сучасних умовах, з появою незначних за площею фермерських та орендних господарств, в яких як правило неможливо застосовувати стаціонарну широкозахватну дощувальну техніку перспективним є використання мобільних двоконсольних агрегатів. Прикладом такої техніки може бути дощувальний агрегат ДДА-100МА при умові його удосконалення з урахуванням ресурсозберігаючих технологій та екологічно безпечних параметрів штучного дощу, а також оптимізації параметрів дизель-насосного агрегата. Удосконалення двоконсольного дощувального агрегата ДДА-100МА на основі підвищення якості та рівномірності поливу уздовж водопровідного трубопроводу створить умови для поліпшення меліоративного стану систем зрошення і збільшення урожайності сільськогосподарських культур та дасть можливість створювати двоконсольні дощувальні агрегати нового покоління, які будуть забезпечувати раціональне використання води та енергії на ділянках зрошення з різною водопроникністю ґрунту.

Таким чином, проведений аналіз результатів досліджень роботи зрошувальних систем з дощувальними агрегатами ДДА-100МА дозволяє зробити висновки, що потенційні можливості агрегата ще не вичерпані. Тому актуальним є удосконалення показників якості та структури дощу агрегата ДДА-100МА. Завдяки конструктивним удосконаленням можна змінити структуру штучного дощу і в першу чергу зменшити його інтенсивність та крупність крапель, що дозволить знизити енергетичний рівень дощу і відповідно збільшити ерозійно-допустиму поливну норму.

1.2. Схеми розміщення і типи робочих органів на водопровідному трубопроводі дощувальних машин

Рівномірність дощу, який створює дощувальна машина в значній мірі залежить від схем розміщення дощувальних апаратів та насадок на водопровідному трубопроводі машини. В сучасних самохідних моделях дощувальних машин “Кубань”, “Фрегат” найбільш поширеною є схема розміщення дощувальних насадок в одну лінію. При цьому, насадки можуть розміщуватися з направленням факелу дощу в одному напрямку так і в різних напрямках, а відстань між насадками залежить від радіусу смуги дощу. Для всіх випадків розміщення насадок грає важливу роль, так як з цим пов’язано якість поливу.

Найбільш розповсюдженою схемою розміщення апаратів і насадок є прямокутна та трикутна. Дослідження по схемам розміщення дощувальних апаратів і насадок проводилися як в нашій країні, так і за кордоном [15]. Наприклад, в роботі С. Друпки [15] визначено, що для згущеної прямокутної схеми зрошення апаратами з радіусом поливу (R) до 20 м, відстань між ними на водопровідному трубопроводі (а) повинна складати 0,8-1,2R, а сама відстань між трубопроводами (в) - 1,7-1,4R; при зрошенні апаратами з радіусом поливу 20-30 м відповідно a = 1,0-1,2R, в = 1,6-1,4R. При зрошенні цими апаратами для згущеної квадратної схеми а = в = 1,2-1,3R. Середньо- струминні (R = 30-40 м) та далекоструминні (R = 40 м) апарати доцільно розміщувати по трикутній схемі при a = 1,5-1,6R; в = 1,3-1,4R.

Відома також схема розміщення дощувальних насадок на водопровідному трубопроводі у дві лінії. Ця схема застосовується у дощувальному агрегаті ДДА-100МА. При цьому, дощувальні насадки розміщуються по квадратній схемі. Дослідження Козакова С.П. [24] показують, що раціональне розміщення насадок по прямокутнику дає можливість отримувати найліпшу структуру дощу при квадратній схемі розміщення. Отже, розсуваючи насадки у ряду необхідно збільшувати довжину ряду або кількість

рядів, а розсуваючи ряди насадок необхідно насадки у ряду розміщувати ближче одну до одної. Існуюча на агрегаті ДДА-100МА схема розміщення насадок у дві лінії має певну перевагу порівняно з однолінійною, що дає можливість до різноманітного комбінування дощувальними насадками та створювати різні схеми їх розміщення.

Аналіз типів і конструкцій дощувальних апаратів, які використовуються сьогодні на дощувальних машинах показує, що вони мають велику різноманітність і типорозміри [29]. Їх вивчення дозволяє простежити за тенденцією в їх розвитку і удосконаленням, оцінити відповідність тої або іншої конструкції агротехнічним вимогам по інтенсивності, розміру крапель, шару опадів і рівномірності розподілу дощу по зрошуваній площі. Необхідно відзначити, що найбільша кількість винаходів струминних апаратів та дощувальних насадок приходиться на роки, які були пов’язані з інтенсивним розвитком автоматизованих дощувальних систем, установок і широкозахватних дощувальних машин. Технічні рішення цих винаходів направлені на спрощення конструкції, зниження металоємності і енергоємності та поліпшення інших показників і параметрів, що дозволяє проводити якісний полив.

Дощувальні апарати та насадки різняться принципом дії та конструктивним виконанням. Їх класифікація може бути проведена по ряду признаків. Існує класифікація дощувальних пристроїв по дальності польоту струмини, тому що радіус захвату визначає відстань між зрошувальними трубопроводами і позиціями дощувальних машин, тобто впливає на схеми розташування їх робочих органів. За такою класифікацією їх можна поділити на струминні апарати та короткоструминні насадки. Короткоструминні насадки характеризуються наявністю пристрою, який сприяє розбризкуванню води по сектору. В струминних апаратах важливим елементом є механізм їх приводу. Аналіз нових типів дощувальних насадок і апаратів дозволив доповнити існуючу класифікацію і представити її схемою, показаною на Рис. 1.1. Як бачимо, робочі органи дощувальних машин можуть створювати і розподіляти дощ як по колу, так і по заданому сектору.

Сучасні умови розвитку дощування спрямовані на економію водних і енергетичних ресурсів, що зобов'язує розробляти та застосовувати водозберігаючі і ресурсозберігаючі технології, які відповідають природо-охоронним і екологічним умовам. В зв'язку з цим, заслуговує на увагу дрібнокраплинне дощування при незначному напорі, що досягається коротко-струминними насадками. Тому в останні роки спостерігається тенденція переходу від струминних апаратів до короткоструминних насадок, які забезпечують зниження енергоємності дощувальних машин і одночасно поліпшують рівномірність розподілення шару опадів по площі поливу. Крім того, короткоструминні насадки дозволяють знизити напір на вході в машину і збільшити загальні витрати води.

Щілинні насадки не знайшли широкого практичного застосування на дощувальних машинах, тому що малий діаметр їх прохідного отвору часто забивається сміттям, яке поступає разом з поливною водою. Крім того, вони мало надійні в експлуатації. Розподілення дощу ними по площі поливу набагато гірше, ніж у дефлекторних насадок і вони мають більш високу енергоємність порівняно з ними [50].

На практиці використовують також відцентрові насадки (рис. 1.2), які забезпечують більшу рівномірність дощу порівняно з дефлекторними та щілинними [26]. В той же час, необхідно відмітити її нетехнологічність та трудоємність у виготовленні в серійному виробництві. Крім того, відцентрові насадки мають більшу енергоємність ніж дефлекторні та щілинні [50]. Враховуючи, що діаметр прохідного отвору таких насадок значно перевищує діаметр отвору існуючих типів насадок, вони не забиваються сміттям, залишками рослин та водоростями. Це дозволяє використовувати їх для дощування тваринницькими стоками і водою, яка вміщує тверді включення до 5 мм та волокнисті до 20 мм. Авторами [52] було запропоновано використати такий тип насадки в якості робочих органів на ДДА-100МА замість дефлекторних насадок кругової дії. Однак, проведені дослідження показали, що значний діаметр отвору відцентрової насадки призводить до зниження якості

дощу та порушенню рівномірності його розподілення по площі. Відцентрові насадки знайшли своє використання тільки при поливі та зволоженню ґрунту у парниках і квітниках [12]. Таким чином, за існуючими недоліками по якості і рівномірності поливу, а також внаслідок нетехнологічності та трудоємкості їх виготовлення відцентрові насадки не знайшли широкого застосування в якості робочих органів на водопровідному трубопроводі ДДА-100МА.

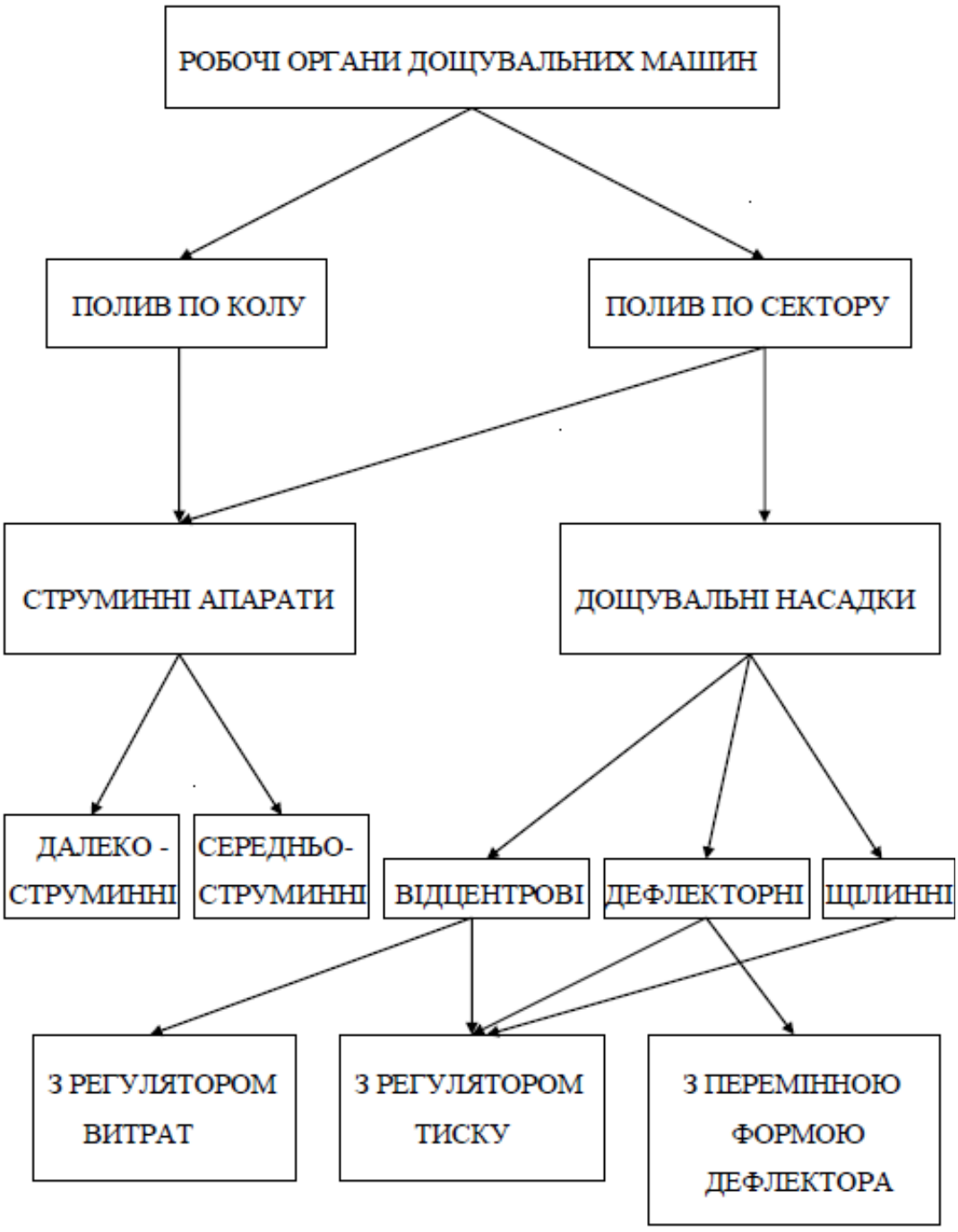


Рис. 1.1. Блок-схема класифікації дощувальних апаратів та насадок.

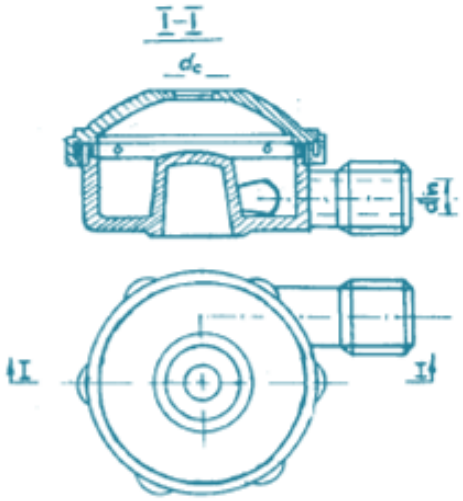


Рис. 1.2. Відцентрова насадка конструкції ВНПО «Радуга».

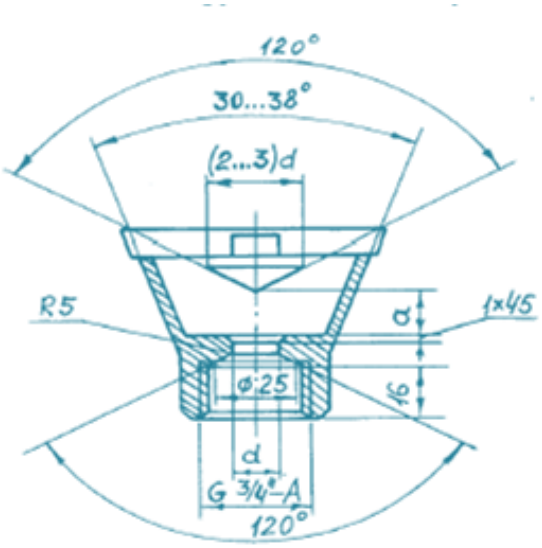


Рис. 1.3. Серійна дефлекторна насадка кругової дії.

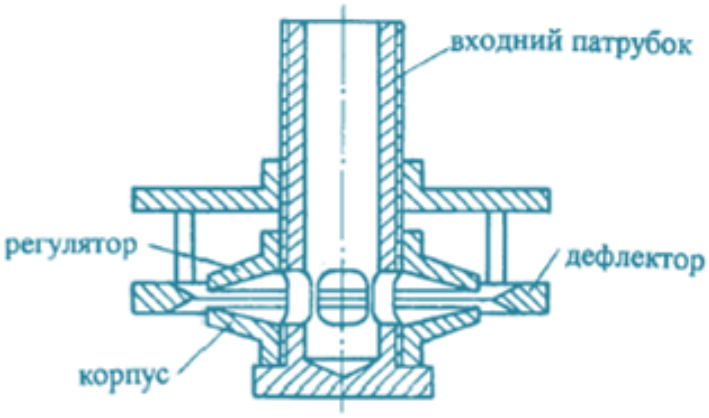


Рис. 1.4. Схема кільцевої дефлекторної насадки.

На дощувальних машинах за кордоном в якості робочих органів застосовують насадки із стабілізатором (регулятором) витрат і тиску [50]. Це дозволяє зберегти постійний тиск перед насадками при зміні тиску у трубопроводі машини, який виникає у результаті зміни ухилу місцевості, втрат напору на тертя в трубопроводі, несталої роботи помпи і зрошувальної мережі, що значно розширює межу застосування дощувальних машин. Однак, необхідно відзначити, що конструкція стабілізатора достатньо складна, точність регулювання залежить від допусків і якості виготовлення його деталей. Крім того, для виготовлення такого стабілізатора потрібні високоякісні полімерні матеріали і високий технічний рівень виробництва.

Як відомо, на водопровідному трубопроводі ДДА-100МА набули застосування дефлекторні насадки кругової дії (рис. 1.3). Основним недоліком такої насадки при утворенні дощу є невеликий радіус поливу.

Так, на півдні України на протязі одного поливного сезону замінюється приблизно половина усіх насадок [33]. Крім поломок самих насадок, їх отвори після одного-двох років експлуатації агрегата, як правило, збільшуються, що веде до збільшення витрат води та погіршення якості та рівномірності поливу. В той же час заміна зношених деталей насадки ускладнюється через не роз’ємність з’єднання дефлектора і планки. Враховуючи, що корпус насадки виконано із алюмінієвого сплаву, а коліно- подібний відкрилок із сталі, дуже часто виникає прикіпання корпусу насадки до сталевого коліна і таким чином заміна насадки без додаткових зусиль та ускладнень неможлива. Таким чином, конструктивні і технологічні недоліки дефлекторних насадок кругової дії не дозволяють агрегату ДДА-100МА забезпечувати рівномірне та якісне розподілення штучного дощу.

Порівняно із відомими дефлекторними і відцентровими насадками, кільцевий дефлекторний насадок (рис. 1.4) потребує для створення рівноцінного дощу у 2-3 рази менше енерговитрат [27].

Найбільш поширеного розповсюдження в якості робочих органів дощувальних машин набули короткоструминні дефлекторні насадки секторної

дії з діаметром отвору в межах 2,0 ÷ 8, 0 мм. Нині вони широко застосовуються на дощувальних машинах «Кубань» і на низьконапірних «Фрегат». Насадка ЕДМФ-07.000 («Кубань») складається із двох ділянок: вхідного, виконаного у вигляді конфузора з кутом при вершині α = 30° та вихідного у вигляді циліндричного сопла діаметром d і довжиною $L_ц$ = 2,5 d (рис. 1.5 а).

Враховуючи, що така конструкція водопровідного канала призводить до значних гідравлічних втрат авторами [5] було запропоновано змінити форму профіля сопла насадки. У насадці нового типу «Таврія» кут при вершині конфузора був зменшений до 13...15°, а довжина циліндричного сопла стала дорівнювати (0,1...0,3) d (рис. 1.5 б). Дослідження характеристик і параметрів дощу насадок показали, що зміна профіля сопла дозволила збільшити коефіцієнт витрат α на 1,8...5, 8%, площу поливу F на 6,84...8,9%, а середній діаметр крапель $d_к$ зменшити на 1,6...18,6%. Як бачимо, за рахунок незначних конструктивних удосконалень можливо суттєво поліпшити агротехнічні показники дощувальних насадок, від яких залежить якість поливу дощувальних машин.

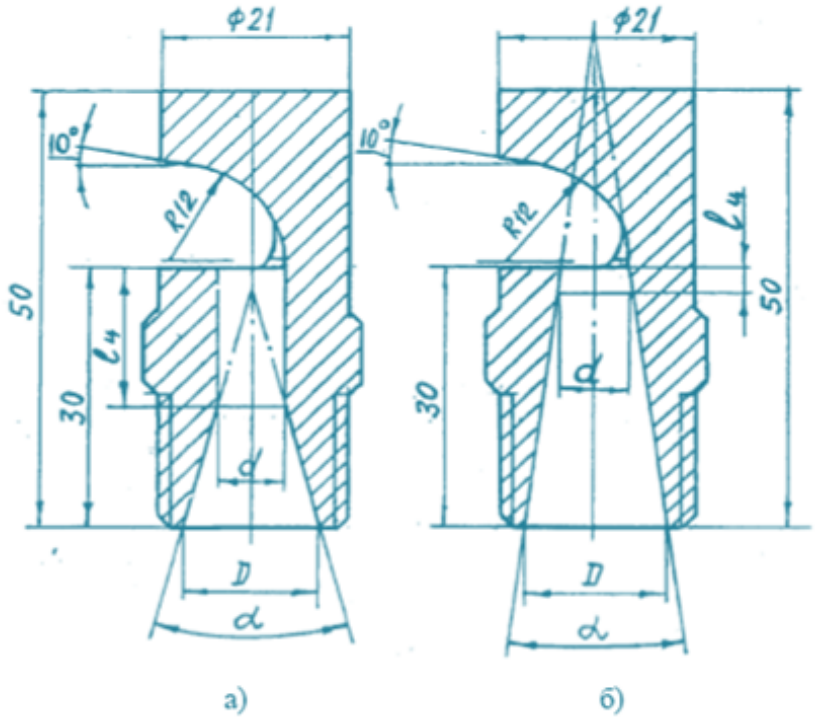


Рис. 1.5. Дефлекторна насадка секторної дії «Кубань» (а) та «Таврія» (б).

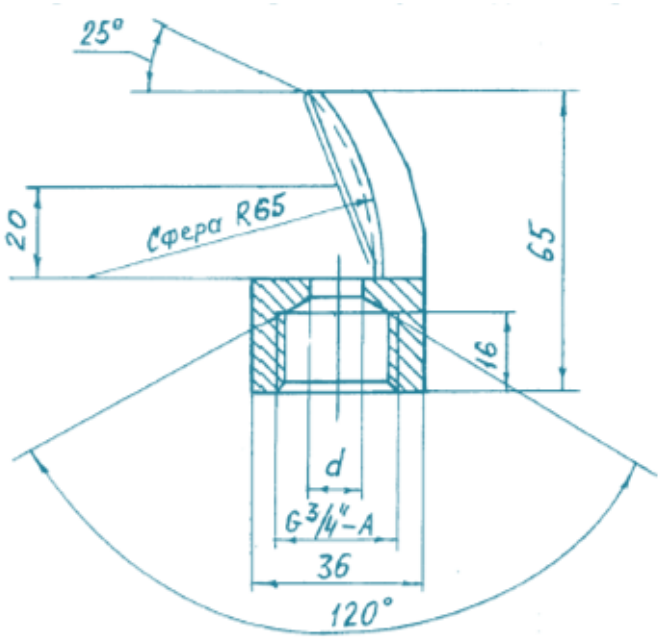


Рис. 1.6. Дефлекторна насадка секторної дії конструкції ВНПО «Радуга».

Для збільшення кількості типорозмірів насадок в СРСР була розроблена дефлекторна насадка секторної дії, яка визначається простою конструкцією і складається із корпусу та дефлектора (рис. 1.6) [30]. Конструкція насадки визначає основні її характеристики, до яких відноситься витрата води, форма епюри розподілення дощу, дальність дії насадки і крупність крапель дощу. Тому, з метою визначення цих характеристик в НВО “Радуга” були проведені дослідження таких насадок [13].

Отже, якість поливу агрегата ДДА-100МА осталася незадовільною. Автори, які займалися спробою покращення якості поливу ДДА-100МА, не враховували значні втрати напору уздовж водопровідного трубопроводу ДДА-100МА та створення при цьому незадовільної структуру крапель дощу [13], що характеризується відношенням (H/d) [36]. Крім того, цими авторами не було проведено оптимізацію схем розміщення насадок та їх типорозмірів уздовж водопровідного трубопроводу ДДА-100МА на основі забезпечення заданої точності витрат води, підвищення рівномірності розподілу шару та структури дощу і зменшення його енергетичної дії на ґрунт. Все це не дозволило вище вказаним авторам досягти поліпшення якості поливу агрегата ДДА-100МА.

Таким чином, великі втрати напору уздовж водопровідного трубопроводу

ДДА-100МА, високий розмір крапель та інтенсивність дощу не дозволяють агрегату ДДА-100МА проводити полив якісно і рівномірно. Усунення цього недоліка можливо за рахунок удосконалення методики розрахунку оптимальних параметрів дощувальних насадок та схем їх розміщення уздовж водопровідного трубопроводу ДДА-100МА, що дозволить зменшити непродуктивні витрати води та підвищити екологічну безпеку зрошення.

1.3. Висновки до розділу

1. В Україні широке використання мають дощувальні агрегати ДДА-100МА, які найбільш надійні та довговічні в експлуатації і обслуговують понад 30% від загальної площі зрошуваних земель.

2. Визначено, що перспективним напрямом удосконалення дощувальних агрегатів ДДА-100МА є розробка нових конструкцій з меншими витратами води, високою якістю та рівномірністю поливу із заданою та регульованою інтенсивністю дощу.

3. Аналіз існуючих схем розміщення і конструктивних параметрів дощувальних апаратів та насадок показує, що для дощувальних машин типу ДДА-100МА найбільш перспективною є схема у дві лінії з використанням дощувальних насадок секторної дії.

4. На основі аналізу існуючого стану досліджень зрошувальних систем з дощувальними агрегатами ДДА-100МА і перспектив розвитку зрошення з малогабаритними мобільними двоконсольними агрегатами фронтальної дії нового покоління визначені мета і задачі досліджень, які необхідно вирішити для раціонального використання води з високою якістю та рівномірністю поливу на різних за водопроникністю типах ґрунту.

2. Обґрунтування напрямів удосконалення дощувального агрегата ДДА-100МА та методика досліджень

2.1. Напрями удосконалення та обґрунтування нових модифікацій агрегата ДДА-100МА

Аналіз існуючих досліджень і практика експлуатації ДДА-100МА показують, що основними їх недоліками є: недостатня рівномірність та якість дощу; значні витрати палива; незадовільні умови праці машиніста - оператора. Усунути ці недоліки можна удосконаленням агрегата ДДА-100МА. Напрями удосконалення, які нами пропонуються, представлено блок-схемою на рис. 2.1, де підвищення якості дощу досягається зменшенням інтенсивності та діаметра крапель дощу, а рівномірність дощу забезпечується рівномірним розподілом шару і структури дощу уздовж водопровідного трубопроводу агрегата.

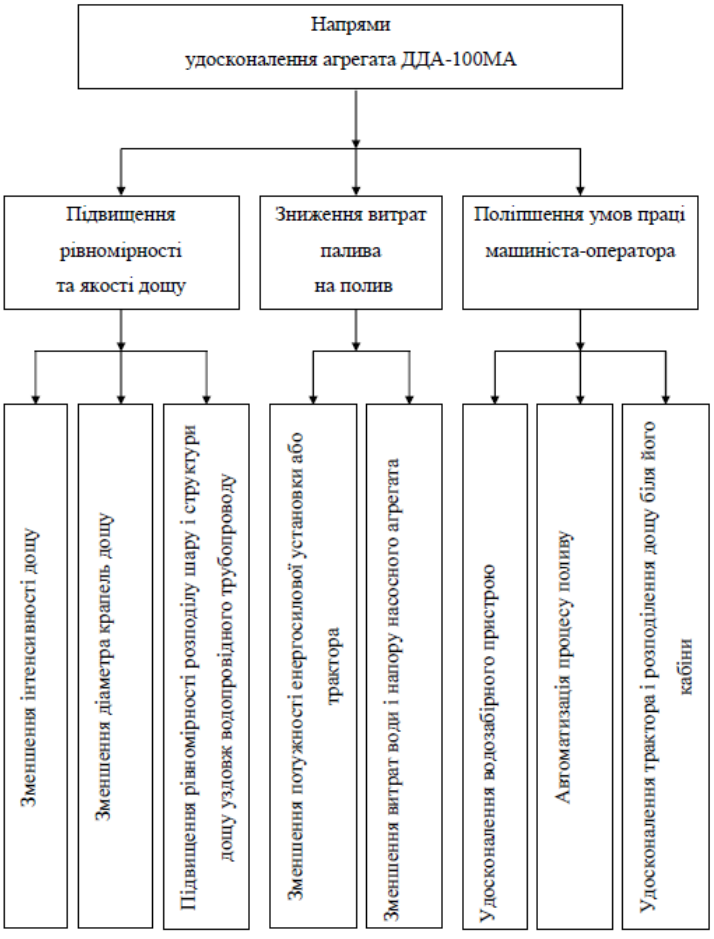


Рис. 2.1 Блок-схема напрямів удосконалення агрегата ДДА-100МА.

Зниження витрат палива можна досягти використанням трактора меншої потужності або енерго-силової установки з відповідно меншими витратами палива. Крім цього, можна вибрати насосний агрегат з меншими витратами і напором води, оптимальними для дощувальних насадок, що забезпечуватимуть високу якість поливу. Поліпшити умови праці машиніста-оператора можна шляхом удосконалення кабіни трактора, яка повинна забезпечувати добру видимість при поливі та захист оператора від дощу. Необхідно також дощувальні насадки розмістити таким чином, щоб дощ не зносився вітром на кабіну трактора і не перезволожував шлях руху ДДА-100МА. Важливим напрямом поліпшення умов праці машиніста-оператора є автоматизація процесу поливу. Це дозволить автоматизувати процеси руху трактора в робочому режимі уздовж тимчасового зрошувача та зупинки його в кінці гону. Враховуючи те, що зниження витрат палива і поліпшення умов праці машиніста-оператора вимагають значних капітальних вкладень на заміну трактора або його насосно - силового обладнання і додаткового спеціального обладнання для автоматизації поливу, доцільно перш за все здійснити удосконалення дощувального агрегата за рахунок підвищення рівномірності та якості дощу. Це дасть змогу з мінімальними капітальними витратами удосконалити існуючі дощувальні агрегати ДДА-100МА і забезпечити зрошення відповідно до сучасних вимог, які не допускають негативної дії на сільськогосподарські культури та ґрунт. На рис. 2.2 представлено блок-схему запропонованих нами напрямів підвищення рівномірності та якості дощу. Згідно з цією блок-схемою підвищення якості дощу здійснюється за допомогою зменшення інтенсивності та діаметра крапель дощу. Зменшення інтенсивності дощу можна досягти шляхом зменшення витрат води і використанням таких схем розміщення дощувальних насадок і апаратів, за яких довжина смуги дощу збільшується. Зменшення діаметра крапель дощу досягається використанням нових типів дощувальних насадок і схем їхнього розміщення уздовж водопровідного трубопроводу. Підвищення рівномірності дощу забезпечується за допомогою рівномірного розподілу його шару і структури уздовж

трубопроводу ДДА-100МА. Для цього необхідно використати нові типи дощувальних насадок, визначити їх гідравлічні характеристики, а потім, враховуючи їхні конструктивні та гідравлічні параметри, провести оптимізацію схем їхнього розміщення і відповідних витрат води.

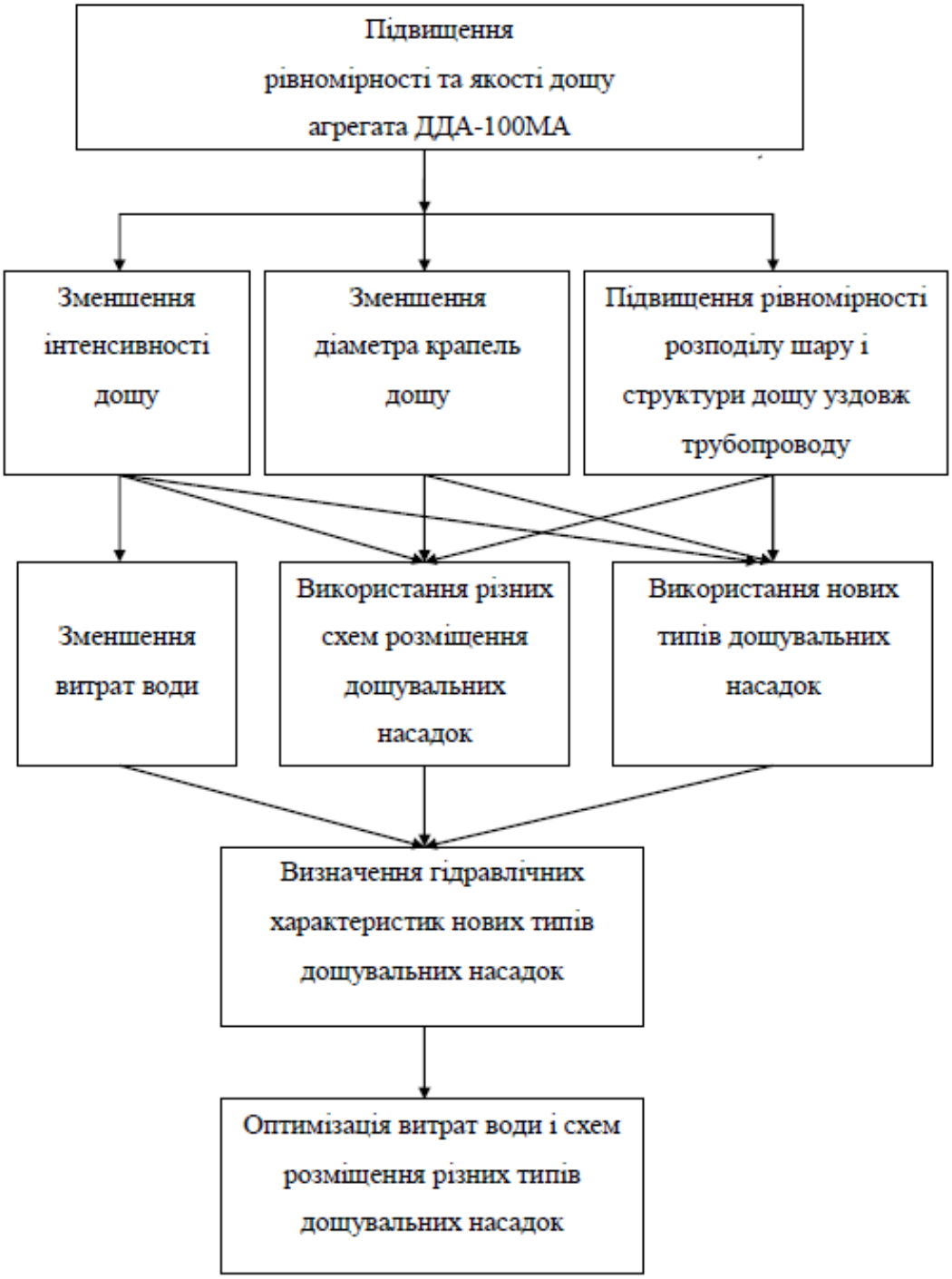


Рис. 2.2 Блок-схема напрямів підвищення рівномірності та якості дощу агрегата ДДА-100МА.

Зупинимося більш детально на питаннях вибору оптимальних витрат води агрегата ДДА-100МА, інтенсивності та діаметра крапель дощу, що дозволяє забезпечувати зрошення без стоку на ґрунтах з різною водопроникністю.

Застосування дощування без врахування водопроникної спроможності ґрунту призводить до погіршення меліоративного стану земель, ерозії ґрунту, малої глибини та нерівномірності зволожування у вигляді стоку і як наслідок до зниження урожайності сільськогосподарських культур.

Дослідниками багатьох країн світу було визнано, що головною проблемою ефективного застосування дощування є встановлення відповідності між необхідною нормою поливу, інтенсивністю дощу та тривалістю поливу без створення стоку. Час дощування до створення стоку ($t_{доп}$) визначається за формулою:

$$t_{доп} = \frac{m_{доп}}{i},\ хв., \tag{2.1}$$

де $m_{доп}$ - допустима норма поливу до стоку, мм;

i - інтенсивність дощу, мм/хв.

Інтенсивність дощу та час безперервного дощування до стоку при постійному діаметрі крапель пов’язані між собою степеневою функцією:

$$i^a = t_{доп} = C = \text{const}, \tag{2.2}$$

де a - показник, який характеризує вбираючу спроможність ґрунту;

C - постійна водопроникна спроможність ґрунту, яка визначається в кожному випадку для конкретного ґрунту;

$t_{доп}$ - час безперервного дощування до створення стоку при постійному діаметрі крапель, хвилин.

Узагальнюючи дослідження різних авторів Колесник Ф.І. [31] побудував залежності постійної водопроникної спроможності для різних типів ґрунту. При цьому він врахував діаметр крапель ($d_к$) в межах від 0,5 до 3,0 мм та водопроникну спроможність ґрунту, для якого зробив таку класифікацію: a = 1,25 - легкі ґрунти; a = 1,5 - перші середні; a = 1,75 - другі середні; a = 2,0 -

перші важкі; a = 2,25 - другі важкі; a = 2,5 - треті важкі; a = 2,75 - перші дуже важкі; a = 3,0 - другі дуже важкі ґрунти. Необхідно відзначити, що зазначені типи ґрунту характерні для Європейської частини країн СНД.

Використовуючи формулу (2.2) нами проведено розрахунки і побудовано графіки інтенсивності дощу $i = f(t)$ (рис. 2.3) з врахуванням водопроникної спроможності різних типів ґрунту при діаметрі крапель $d_к$ = 1,5 мм. Такий розмір крапель дощу найбільш характерний для дощувального агрегата ДДА-100МА.

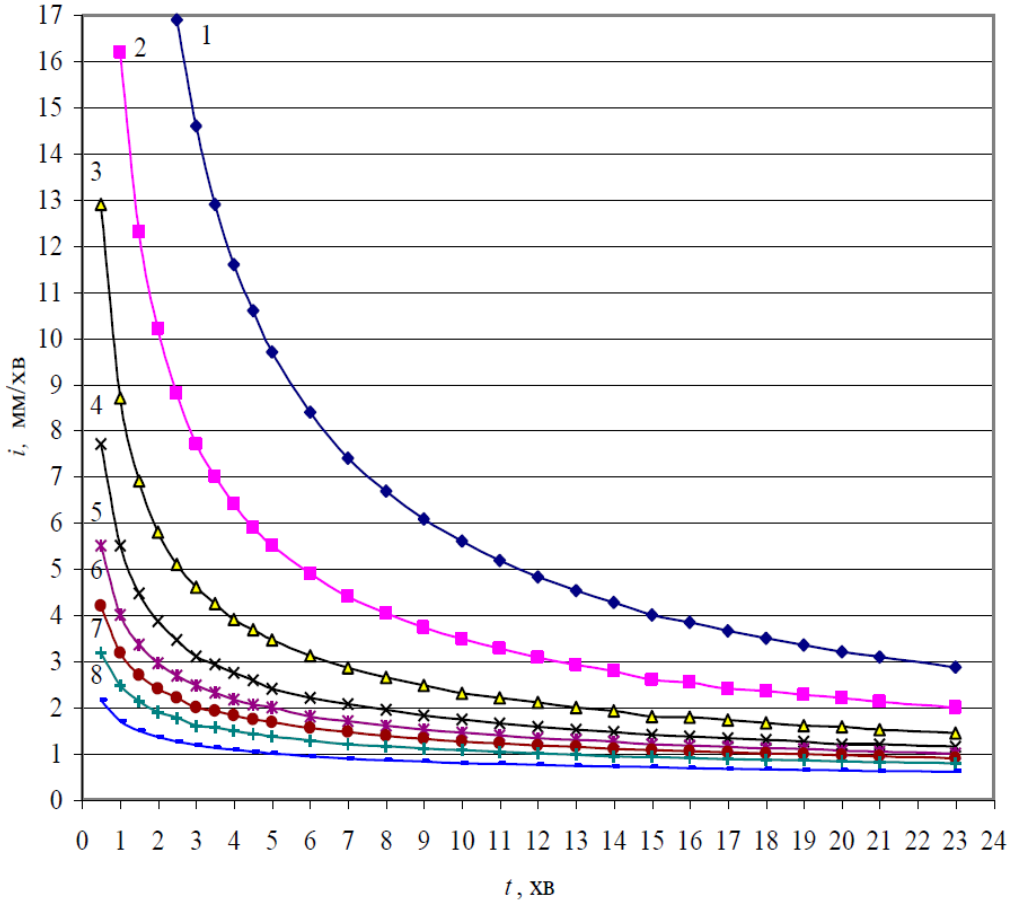


Рис. 2.3 Залежність інтенсивності дощу (i, мм/хв) від тривалості дощування (t, хв) з врахуванням водопроникної спроможності ґрунту (a = 1,25…3,0), діаметр крапель дощу d = 1,5 мм:

1 - легкі ґрунти, a = 1,25; 2 - перші середні ґрунти, a = 1,5; 3 - другі середні ґрунти, a = 1,75; 4 - перші важкі ґрунти, a = 2,0; 5 - другі важкі ґрунти, a = 2,25; 6 - треті важкі ґрунти, a = 2,5; 7 - перші дуже важкі ґрунти, a = 2,75; 8 - другі дуже важкі ґрунти, a = 3,0.

Із графіка на рис. 2.3 визначено, що для середнього діаметра крапель $d_к$ = 1,5 мм та інтенсивності дощу i = 3,82 мм/хв час дії такого дощу без створення стоку на ґрунтах з показником a = 2...1,25 відповідно змінюється від 2 до 16 хв. На ґрунтах з показником a = 2,25 час дії такого дощу не повинен перевищувати 1,12 хв. На ґрунтах з показником a = 2,5…3 0 полив дощуванням за допомогою існуючого ДДА-100МА без створення стоку на поверхні ґрунту неможливо, тому що в цьому випадку час дії дощу не повинен перевищувати 0,6…0,1 хв, а при максимальній швидкості агрегата (17,8 м/хв) мінімальний час дії дощу до створення стоку дорівнює 1,05 хв після початку дощування.

Таким чином, для забезпечення зрошення без стоку за допомогою ДДА-100МА на важких ґрунтах (a = 2,5…3,0) необхідно зменшити час дії дощування, інтенсивність та діаметр крапель дощу. Зменшення часу дії дощування можна досягти збільшенням швидкості руху агрегата при поливі, але це вимагає значних капітальних вкладень на удосконалення ходової частини трактора і неефективно, тому що зменшується поливна норма, а кількість проходів ДДА-100МА уздовж зрошувача збільшується.

Для цього визначаємо можливість зниження інтенсивності дощу двома шляхами. Перший - це зменшення витрат води агрегатом, другий - це збільшення довжини смуги дощу, використовуючи різні схеми розміщення та типи дощувальних насадок. На основі цього зробимо розрахунок для цих варіантів. Зменшення витрати води проведемо з кроком 10 л/с, а середній діаметр крапель і довжину смуги дощу приймаємо, як і в базовому варіанті ДДА-100МА ($d_к$ = 1,5 мм, B = 17 м).

Визначаємо інтенсивність дощу ДДА-100МА при різній витраті води і довжині смуги дощу, використовуючи відому формулу:

$$i = \frac{60 \cdot Q}{B \cdot L},\ мм/хв., \tag{2.3}$$

де Q - витрата води агрегата, л/с;

B - довжина смуги дощу, м;

L - ширина полоси дощу, м.

Результати розрахунків наведено на рис. 2.4, звідки можна визначити, що для агрегата ДДА-100МА при довжині смуги дощу 17 м та витраті води 100 л/с інтенсивність дощу дорівнює 2,94 мм/хв, а при витраті 60 л/с інтенсивність дощу зменшується до 1,76 мм/хв.

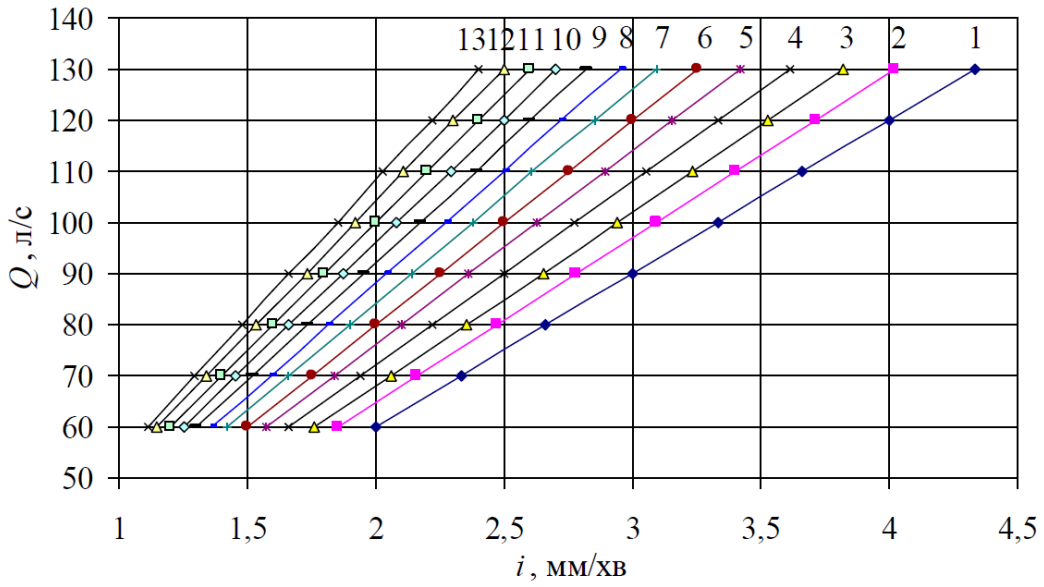


Рис. 2.4 Залежність витрати води (Q, л/с) від інтенсивності дощу (i, мм/хв) при різній довжині смуги дощу:

1 - довжина смуги дощу 15 м; 2 - довжина смуги дощу 16 м; 3 - довжина смуги дощу 17 м; 4 - довжина смуги дощу 18 м; 5 - довжина смуги дощу 19 м; 6 - довжина смуги дощу 20 м; 7 - довжина смуги дощу 21 м; 8 - довжина смуги дощу 22 м; 9 - довжина смуги дощу 23 м; 10 - довжина смуги дощу 24 м; 11 - довжина смуги дощу 25 м; 12 - довжина смуги дощу 26 м; 13 - довжина смуги дощу 27 м

Для збільшення довжини смуги дощу на агрегаті ДДА-100МА необхідно зробити конструктивні удосконалення з використанням різних схем розміщення і типів дощувальних насадок або інших робочих органів розподілення дощу. Розташувавши насадки на відкрилках, довжину смуги дощу можна збільшити без великих капітальних витрат до 22 м, що дасть змогу зменшити інтенсивність дощу до 3 мм/хв при витраті води 130 л/с.

Дослідженнями академіка Костякова А.Н. та інших авторів [32] визначено, що оптимальний діаметр крапель дощу для більшості сільськогосподарських культур знаходиться в межах 0,8…1,2 мм. Тому для ДДА-100МА з різними витратами води доцільно визначити величину інтенсивності дощу з таким розміром крапель, при якому стік води з поверхні ґрунту буде відсутній. Для цього, за формулою (2.2) нами проведено розрахунки і побудовано залежності інтенсивності дощу від тривалості дощування з врахуванням водопроникної спроможності різних типів ґрунту при діаметрі крапель дощу $d_к$ = 1,25 мм (рис. 2.5) та при діаметрі крапель дощу $d_к$ = 1,0 мм (рис. 2.6).

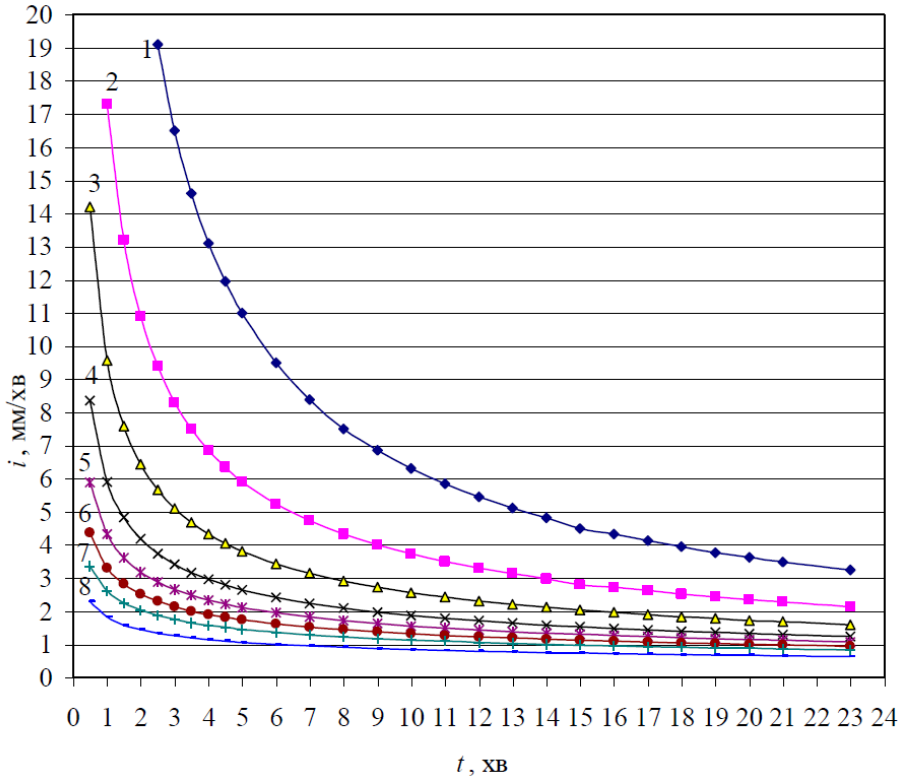


Рис. 2.5. Залежність інтенсивності дощу (i, мм/хв) від тривалості дощування (t, хв) з врахуванням водопроникної спроможності ґрунту(a = 1,25…3,0), діаметр крапель дощу d = 1,25 мм:

1 - легкі ґрунти, a = 1,25; 2 - перші середні ґрунти, a = 1,5; 3 - другі середні ґрунти, a = 1,75; 4 - перші тяжкі ґрунти, a = 2,0; 5 - другі тяжкі ґрунти, a = 2,25; 6 - треті тяжкі ґрунти, a = 2,5; 7 - перші дуже тяжкі ґрунти, a = 2,75; 8 - другі дуже тяжкі ґрунти, a = 3,0.

Із графіка на рис. 2.5 можна визначити, що для ДДА-100МА при діаметрі крапель $d_к$ = 1,25 мм та інтенсивності дощу i = 3,82 мм/хв, час дії такого дощу без створення стоку на ґрунтах з показником a = 2,0…1,25 знаходиться в межах 2,5…19 хв. На ґрунтах з показником a = 2,25 час дії такого дощу не повинен перевищувати 1,3 хв.

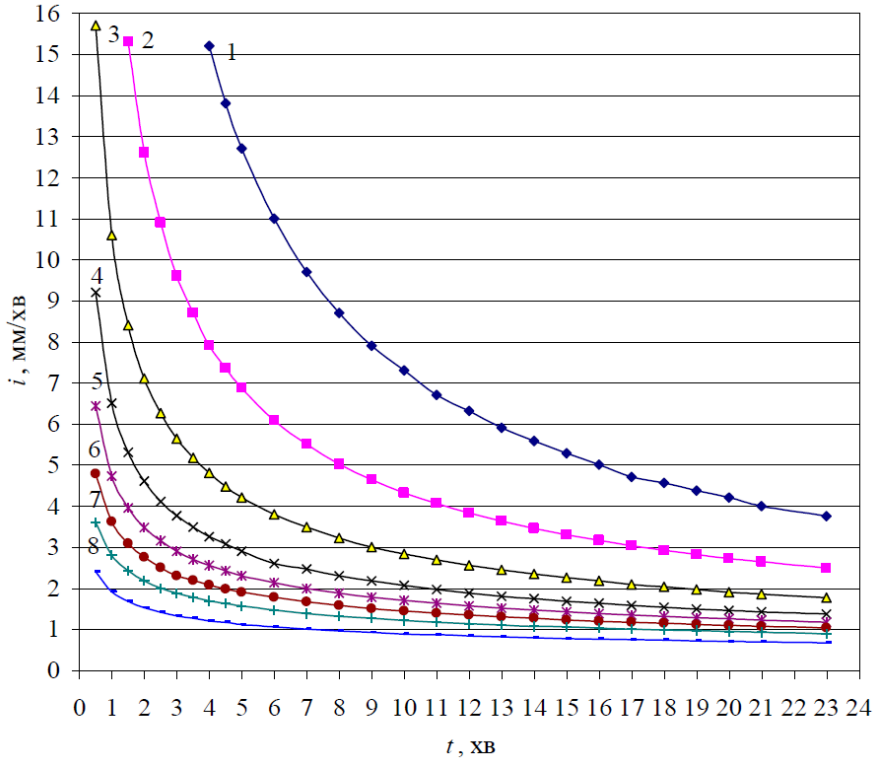


Рис. 2.6. Залежність інтенсивності дощу (i, мм/хв) від тривалості дощування (t, хв) з врахуванням водопроникної спроможності ґрунту (a = 1,25…3,0), діаметр крапель дощу d = 1,0 мм:

1 - легкі ґрунти, a = 1,25; 2 - перші середні ґрунти, a = 1,5; 3 - другі середні ґрунти, a = 1,75; 4 - перші важкі ґрунти, a = 2,0; 5 - другі важкі ґрунти, a = 2,25; 6 - треті важкі ґрунти, a = 2,5; 7 - перші дуже важкі ґрунти, a = 2,75; 8 - другі дуже важкі ґрунти, a = 3,0.

Із графіка на рис. 2.6 можна визначити, що при $d_к$ = 1,0 мм та інтенсивності дощу i = 3,82 мм/хв, час дії такого дощу без створення стоку на ґрунтах з показником a = 2,0…1,25 знаходиться в межах від 3 до 22 хв. На ґрунтах з показником a = 2,25 час дії дощу не повинен перевищувати 1,6 хв. На

ґрунтах з показником a = 2,5…3,0 при діаметрі крапель $d_к$ = 1,25…1,0 мм та інтенсивності дощу i = 3,82 мм/хв час дії такого дощу без створення стоку відповідно дорівнює 0,7…0,11 хв та 0,9…0,125 хв. Тому, в цих випадках, навіть при максимальній швидкості ДДА-100МА полив дощуванням без створення стоку неможливо.

Як бачимо, зменшення діаметра крапель дощу з 1,5 до 1,0 мм дає змогу збільшити час дії дощуванням без створення стоку на легких ґрунтах з показником a = 1,25 від 16 до 22 хв, на середніх ґрунтах з показником a = 1,5 від 9 до 12 хв, а на важких ґрунтах з показником a = 2,25 відповідно від 1,1 до 1,6 хв.

Враховуючи наведені розрахунки визначимо попередньо чотири додаткові модифікації ДДА-100МА, які мають такі витрати води та інтенсивність дощу: Q = 130 л/с, i = 3,20 мм/хв; Q = 100 л/с, i = 2,5 мм/хв; Q = 80 л/с, i = 2,0 мм/хв; Q = 60 л/с, i = 1,5 мм/хв.

Таким чином, зниження інтенсивності дощу ДДА-100МА дозволяє збільшити діапазон часу зрошення без стоку на землях, які мають низьку водопроникність ґрунту. Це дає змогу підвищити екологічну надійність зрошення на важких ґрунтах, виключити виникнення іригаційної ерозії та деградації ґрунту.

2.2. Методичні основи розрахунку оптимальних параметрів ДДА-100МА

В розділі 2.1 нами було визначено, що одним із напрямів удосконалення двоконсольних дощувальних агрегатів ДДА-100МА є підвищення якості та рівномірності поливу. Останні залежать в основному від правильного розрахунку типів і розмірів дощувальних насадок, а також схем їхнього розміщення на водопровідному трубопроводі. Вибір оптимальних параметрів ДДА-100МА виконувався за умови забезпечення однакової рівномірності та якості дощу уздовж водопровідного трубопроводу.

Запропоновано алгоритм цих розрахунків, однак при цьому не було враховано зміну напору на початку водопровідного трубопроводу, а показники структури крапель дощу розраховувались за класифікацією, що відповідає далекоструминним дощувальним апаратам. Ця класифікація була нами скоригована для короткоструминних дощувальних насадок і тому необхідно визначити залежності показників структури крапель дощу різних типорозмірів цих насадок від величини робочого напору при заданих витратах води. Для цього вирішувалися задачі визначення оптимальних величин діаметрів дюз ($d_д$) та дощувальних насадок ($d_н$) шляхом розробки і дослідження математичної моделі, яка забезпечує рівномірний розподіл води через дощувальні насадки уздовж водопровідного трубопроводу ДДА-100МА. Відомо, що водопровідний трубопровід ДДА-100МА має дві симетричні консолі, кожна з яких складається з двох однакових за довжиною трубопроводів різного діаметра. Це дає можливість спростити розрахункову схему до одного трубопроводу з витратою води $Q_ф = Q/4$, де Q - загальна витрата води агрегата, а $Q_ф$ - витрата води, що є однаковою для кожного з чотирьох трубопроводів ферми агрегата. На рис. 2.7 показано елемент розрахункової схеми водопровідного трубопроводу агрегата ДДА-100МА з дощувальними насадками.

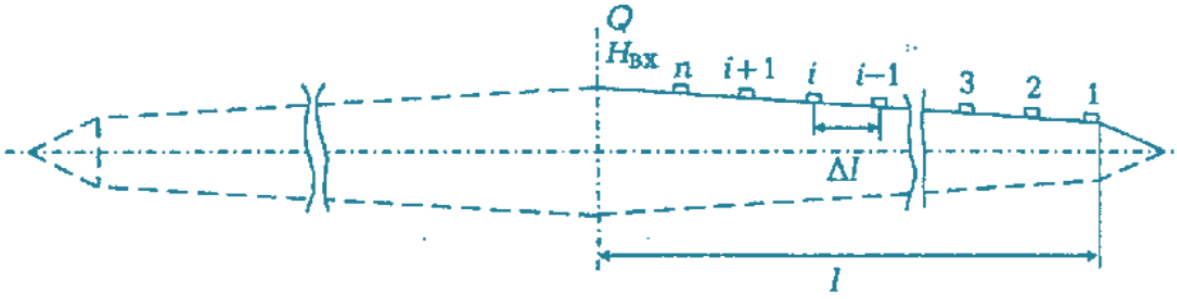


Рис. 2.7 Розрахункова схема водопровідного трубопроводу ДДА-100МА з дощувальними насадками.

Для забезпечення максимального зниження енергоємності поливу, підвищення рівномірності розподілу шару і структури штучного дощу уздовж водопровідного трубопроводу ДДА-100МА необхідно розглянути різні схеми розміщення короткоструминних насадок секторної дії замість насадок кругової

дії. При цьому, нами визначалися можливі варіанти застосування насадок та дюз (каліброваних отворів) різних діаметрів. Ці схеми можуть відрізнятися числом насадок, а також відстанями між ними на кожній із консолей, довжина якої постійна і дорівнює 54 м.

Для кожного із варіантів розміщення насадок визначаємо найбільш оптимальний напір на вході консолі та проводимо оптимізацію діаметрів дюз і насадок. При визначенні оптимальних розмірів діаметрів дюз ($d_д$) і насадок ($d_н$) приймаємо такі обмеження:

- сума відхилень фактичних витрат води крізь насадки і теоретичних витрат ~~не~~ повинна відрізнятися більш як на 5 %;

- відношення H/d, яке характеризує структуру дощу повинно знаходитися в межах 1700-2400,що задовольняє оптимальним умовам енергетичної дії дощу на ґрунт та розвитку рослин.

Перша умова забезпечує рівномірний розподіл шару дощу уздовж водопровідного трубопроводу. Друга умова дозволяє забезпечити оптимальну структуру дощу при зрошенні, що виключає ущільнення ґрунту і пошкодження сільськогосподарських культур.

Розрахункова витрата води крізь кожну насадку визначається в залежності від модифікацій агрегата і загальної кількості насадок, які розміщені уздовж трубопроводу, за формулою:

$$Q_i = \frac{Q \diagup 4}{i} = \frac{Q}{i}, \tag{2.4}$$

де Q_i - витрата води кожної насадки;

i - кількість насадок на кожному з чотирьох трубопроводів, штук.

Необхідно відзначити, що показники якості та рівномірності дощу двох кінцевих насадок розраховуються окремо. Це пояснюється тим, що конструкція цих насадок відрізняється від конструкції насадок, які розміщені уздовж водопровідного трубопроводу і головне їх призначення це збільшення загальної ширини контуру зволоження дощем та промивка трубопроводу агрегата.

В свою чергу, витрата води насадки (Q_i) визначається з відомої формули:

$$Q_i = \mu\omega\sqrt{2gH}, \quad (2.5)$$

де H - манометричний напір;

μ - коефіцієнт витрат води насадки визначається експериментальним шляхом;

g - прискорення сили тяжіння;

ω - площа отвору насадки.

Необхідно відзначити, що якість структури і рівномірність шару дощу уздовж трубопроводу дощувальних машин залежить від напору перед насадкою і витрат води крізь неї. Для цього необхідно підтримувати однаковий напір і витрату води на кожній насадці. Втрати напору води по довжині вирівнюються при допомозі дюз.

Особливо це необхідно робити на початку трубопроводу, де запас напору завжди великий.

У кінцевій частині трубопроводу запас напору відсутній і тому для забезпечення однакових витрат води крізь насадки необхідно збільшувати їх діаметр.

При цьому дюзи не використовуються внаслідок створення ними додаткових втрат напору. Виходячи з цього, в першу чергу визначаємо втрати напору по довжині трубопроводу, використовуючи відому формулу Дарсі-Вейсбаха:

$$h_e = \lambda \frac{l}{d_{mp}} \cdot \frac{V^2}{2g}, \quad (2.6)$$

де λ - коефіцієнт опору по довжині, який залежить від числа Рейнольдса R_e та відносної шорсткості труб (k_e/d_{mp}), $\lambda = f(\mathrm{Re}, k_e/d_{mp})$;

l - довжина консолі ферми агрегата ДДА-100МА;

V - швидкість води в трубопроводі;

d_{mp} - діаметр трубопроводу.

Оскільки водопровідний трубопровід агрегата ДДА-100МА працює в області шорстких труб, де витрати води пропорційні квадрату швидкості, а опір не залежить від числа Рейнольдса, то цю область можна віднести до квадратичної [1]. Для визначення коефіцієнта Дарсі (λ) використаємо формулу Б.Л. Шифринсона, додержуючись умови $R_e>500\ d/k_e$:

$$\lambda = 0{,}11\left(\frac{k_e}{d_{mp}}\right)^{0{,}25}, \tag{2.7}$$

Враховуючи формулу (2.6) і (2.7) визначаємо втрати напору (ΔH_i) на ділянці трубопроводу в діапазоні від i-1 до i-ої насадок:

$$\Delta H_i = \frac{0{,}88}{g\pi^2 d_{mp}}\left(\frac{k_e}{d_{mp}}\right)^{0{,}25} \cdot Q_i^2\left(l_i - l_{i-1}\right), \tag{2.8}$$

де d_{mp} - діаметр трубопроводу, який змінюється по довжині;

k_e - коефіцієнт шорсткості для сталевих труб;

Q_i - витрата води, яка змінюється по довжині трубопроводу;

l_{i-1}, l_i - відповідно відстані від початку трубопроводу до i-1 та i-ої насадки, або відстані між сусідніми отворами, які відрізняються в залежності від схем розміщення по довжині трубопроводу.

Загальні втрати напору по довжині трубопроводу агрегата ΣH_i повинні визначатися за формулою:

$$\Sigma H_i \le H_{вх} - H_{\min}, \tag{2.9}$$

де $H_{вх}$ - напір на вході трубопроводу агрегата;

$H_{\min}$ - мінімальний напір, який допускається на насадці даного типорозміру за умови H/d = 1700 - 2400.

При використанні дюз по довжині трубопроводу також необхідно визначати втрати напору. Величина втрат напору на дюзі (Δh) визначається за формулою:

$$\Delta h_{iд} = H_{iд} - H_{iн}, \tag{2.10}$$

де $H_{iд}$ - напір перед дюзою i - ої насадки;

$H_{iн}$ - напір після дюзи i-ої насадки або перед i-ою насадкою.

Для забезпечення оптимального напору ($H_{ін}$) перед кожною насадкою, втрата його буде визначатися підбором відповідного діаметра дюзи з урахуванням витрати води через неї за формулою:

$$d_{iд} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_i}{\mu_{iд} \cdot \pi \cdot \sqrt{2g\left(H_{iд} - H_{ін}\right)}}}, \tag{2.11}$$

де $d_{iд}$ - діаметр дюзи;

Q_i - витрата води через дюзу, що дорівнює витраті води через насадку;

$\mu_{iд}$ - коефіцієнт витрати дюзи, діаметр якої змінюється через кожні 0,5 мм, визначається експериментальним шляхом.

Витрата води через насадку визначається за формулою:

$$Q_i = \mu_{iд} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d_н^2 \cdot \sqrt{2gH_{ін}}, \tag{2.12}$$

де $H_{ін}$ - манометричний напір перед i-ою насадкою;

$\mu_{ін}$ - коефіцієнт витрат насадки, діаметр якої змінюється через 1мм, визначається експериментальним шляхом.

Із формули (2.12) одержуємо формулу (2.13) для визначення діаметра насадки, який забезпечує задану витрату води і структуру дощу:

$$d_{ін} = \frac{4 \cdot Q_i}{\mu_{iд} \cdot \pi \cdot \sqrt{2gH_{ін}}}. \tag{2.13}$$

Якщо одержаний діаметр не забезпечує співвідношення $H_{ін}/d_{ін}$ = 1700-2400 і не відповідає розрахунковому напору на насосі агрегата ($H_{вх}$) , то в цьому випадку розрахунок ведеться повторно з підбором інших параметрів дюзи ($d_{iд}$, $\Delta h_{iд}$) і напору перед насадкою $H_{ін}$. При задовільному співвідношенні $H_{ін}/d_{ін}$ та $H_{вх}$ визначаємо фактичну витрату води через насадку за формулою (2.12), яка не повинна мати відхилення більше 5% від заданої за формулою (2.4).

На рис. 2.8 наведено блок-схему алгоритму розрахунку оптимальних діаметрів дюз і насадок з урахуванням втрат напору по шляху уздовж водопровідного трубопроводу ДДА-100МА.

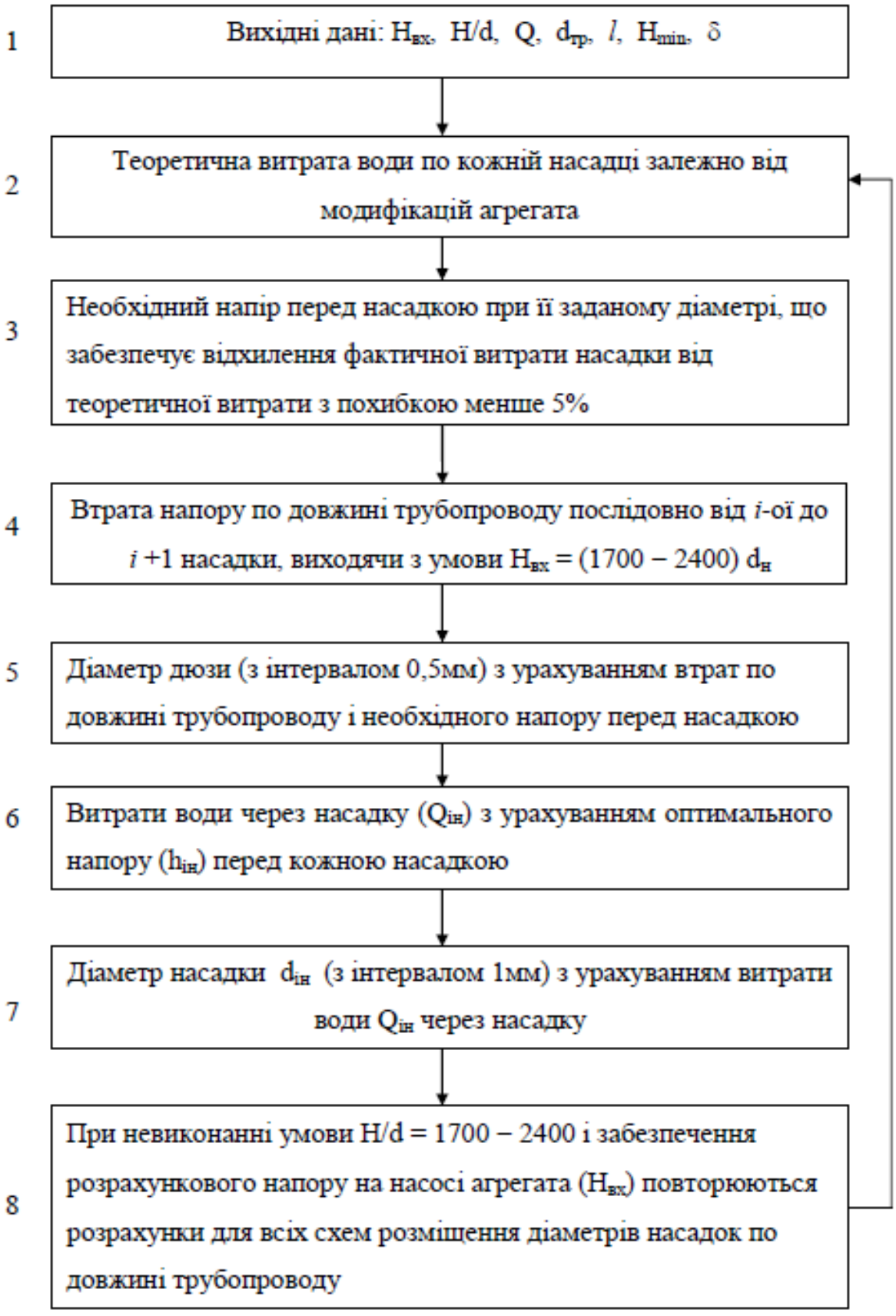


Рис. 2.8. Блок-схема алгоритму розрахунку оптимальних діаметрів дюз і насадок уздовж водопровідного трубопроводу ДДА-100МА

Таким чином, розроблена блок-схема дозволяє визначати оптимальні типорозміри дощувальних насадок і дюз, які при заданому напорі ($H_{вх}$) та витраті води (Q_i) на вході в агрегат забезпечують уздовж водопровідного трубопроводу рівномірний шар дощу з необхідною структурою його крапель.

Названі експериментальні дослідження можна провести на спеціальних стендах з використанням відомих та нових методик.

2.3. Методика проведення досліджень

Розробка експериментальних зразків водорозподільних вузлів і дощувальних насадок проводилась на основі аналізу існуючих вітчизняних і зарубіжних технічних рішень, а також теоретичних розробок та лабораторно-польових досліджень проведених нами.

Розробка варіанту удосконалення ДДА-100МА, з метою підвищення показників якості дощу та поливу, проводилась на основі аналізу попередніх досліджень і вже існуючих технічних рішень. Програми і розрахунки техніко-експлуатаційних характеристик ДДА-100МА виконувались на комп'ютері типу IBM PC з використанням методів монографічних досліджень, економічного, статистичного і математичного аналізу.

Дослідження показників якості та рівномірності поливу експериментальних зразків робочих органів агрегата ДДА-100МА (водорозподільних вузлів та дощувальних насадок), а потім удосконаленого ДДА-100МА у виробничих умовах, проводилися згідно галузевих нормативних документів [38].

Дослідження і випробування експериментальних зразків дощувальних насадок різних типорозмірів і водорозподільних вузлів проводилися в лабораторно-польових умовах на переносній (ПДУ) (рис. 2.9) та стаціонарній (СДУ) (рис. 2.10) дощувальних установках, які були укомплектовані манометром М 100.0 - 1.0 МПа, клас точності 1.0 ГОСТ 8625-77, анемометром (шкала виміру до 20 м/с), мірним циліндром об'ємом 1000 см^3, ГОСТ 1770-74,

ємностями для виміру шару дощу, штангенциркулем МШ 1-725-0.1,ГОСТ 166-80,ємкістю з об'ємом 100 л для виміру витрат води дощувальних насадок і водорозподільних вузлів.

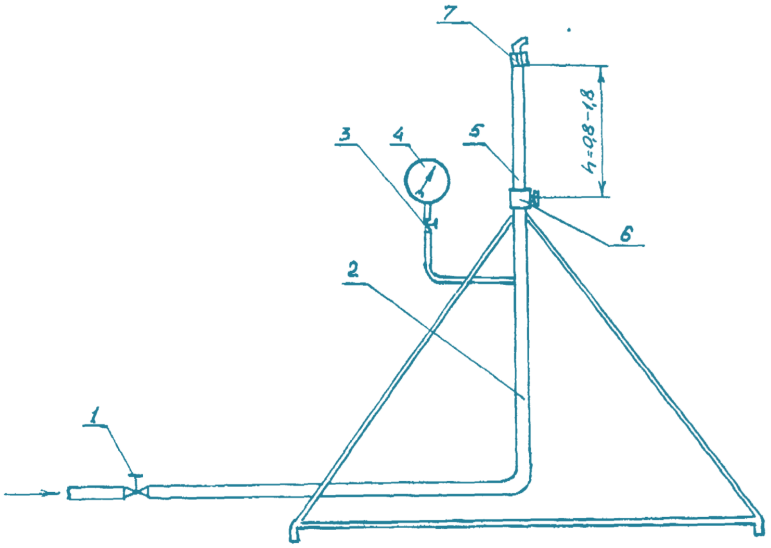


Рис. 2.9. Схема установки для визначення параметрів факелу дощу короткоструминних дощувальних насадок:

1 - запірно-регулюючий кран; 2 - подаючий трубопровід; 3 - кран; 4 - манометр; 5 - телескопічна труба; 6 - затискач; 7 - дощувальна насадка.

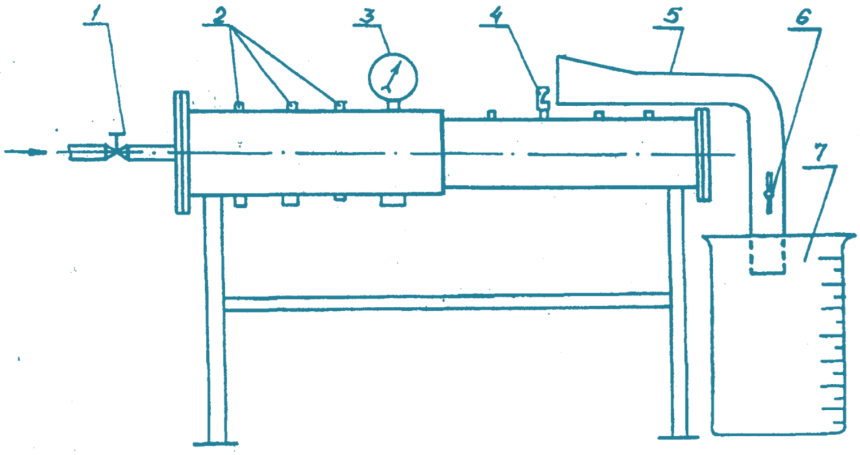


Рис. 2.10. Схема стенду для визначення витрат короткоструминних дощувальних насадок:

1 - запірно-регулюючий кран; 2 - місце розміщення насадок; 3 - манометр; 4 - дощувальна насадка; 5 - приймальна горловина; 6 - відсічний пристрій; 7 - мірна ємкість.

Дослідження експериментальних зразків дощувальних насадок і водорозподільних вузлів на зносостійкість проводилися на спеціальному стенді (рис. 2.11).

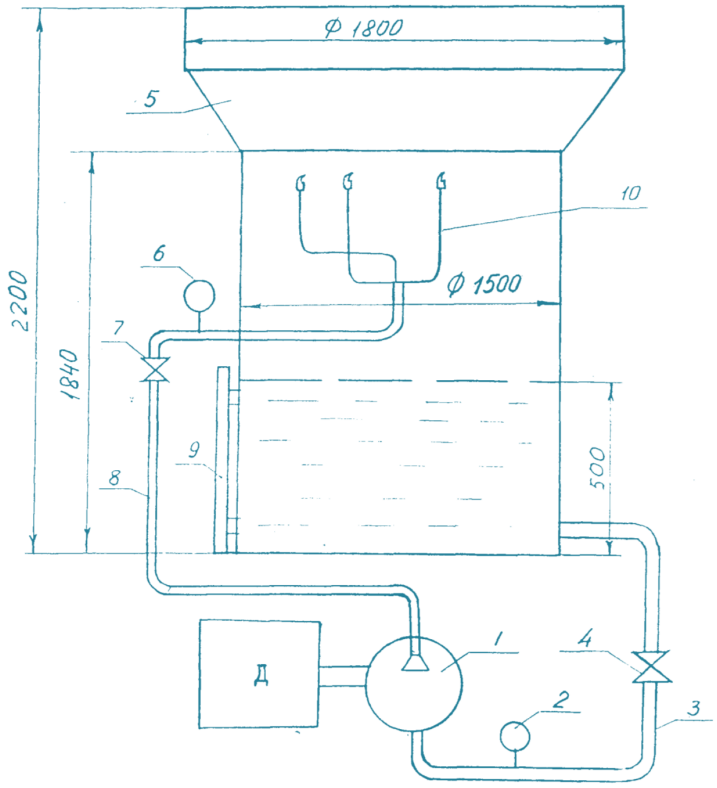


Рис. 2.11. Схема стенду для випробування дощувальних насадок і водорозподільних вузлів на зносостійкість:

1 - насос з електродвигуном; 2 - вакуумметр (ОБВ 1 - 100); 3 - всмоктуючий трубопровід; 4 - вентиль А - 80-10; 5 - ємкість, бак (2,38 м^3); 6 - манометр (ОБМ 1 - 100); 7 - вентиль А - 50-10; 8 - подаючий трубопровід; 9 - показник рівня води; 10 - з'єднувальний трикутник.

Стенд включає ємкість об’ємом 2,38 м^3, манометр (ОБМ 1-100), вакуумметр (ОБВ 1-100), водомірну трубку для контроля за рівнем води в ємкості, два вентилі А-80-10, ГОСТ 11572 і А-250-10, ГОСТ 11571, відцентровий насос 3К6 з електродвигуном А 61-2(М), з’єднувальний трикутник для одночасного дослідження трьох водорозподільних вузлів.

Рівномірність розподілу шару опадів на смузі поливу ПДУ визначалась дощомірами, які розташовувалися по квадратній схемі 0,5 м×0,5 м. При поливі агрегатом ДДА-100МА дощоміри розташовувалися двома рядами вздовж усієї ширини смуги дощу. При цьому відстань між центрами дощомірів у ряду приймали не більш як 2 м, а між рядами 4 м. Кількість дощомірів у дослідах була достатньою, щоб забезпечити попадання крайніх крапель дощу до них і зробити оцінку з достатньою достовірністю рівномірності розподілу дощу на зрошуваній ділянці. Ємкість дощомірів була не менше 0,5 л.

У дослідах з дощомірами визначали такі характеристики дощу, як ширина і довжина смуги дощу або радіус поливу, площа поливу з однієї позиції, інтенсивність та шар опадів. Розміри контурів поливу, інтенсивність дощу та шар опадів визначалось як з перекриттям контурів так і без перекриття, радіус поливу - без перекриття.

Після закінчення досліду за допомогою мірних циліндрів визначались об’єми води в дощомірах. Результати визначення заносились до “Журналу” досліджень. Перерахунок об’єму опадів (см^3) в шар дощу (мм) для кожного дощоміра визначався за формулою:

$$h_i = \frac{10 \cdot V_i}{F_д}, \tag{2.14}$$

де h_i - шар дощу у дощомірі, мм;

V_i - об’єм води у дощомірі, см^3;

$F_д$ - приймальна площа дощоміра, см^2;

10 - перевідний коефіцієнт.

Крім того, одночасно з визначенням шару дощу визначалась також інтенсивність дощу для кожного дощоміра окремо за формулою:

$$i_i = \frac{h_i}{t_д}, \tag{2.15}$$

де i_i - інтенсивність дощу, мм/хв;

h_i - шар дощу, мм;

$t_д$ - тривалість заповнення дощоміра, хвилин.

При проведенні польових досліджень ДДА-100МА шар опадів за один прохід (h_i) у міліметрах в кожному дощомірі обчислювали за формулою:

де V_i - об'єм води в дощомірі, см^3;

$$h_i = \frac{10 \cdot V_i}{F_д \cdot n}, \tag{2.16}$$

$F_д$ - приймальна площа дощоміра, см^2;

n - кількість проходів ДДА-100МА.

Середню інтенсивність дощу в цьому випадку визначали одночасно з визначенням шару опадів за один прохід. Для цього секундоміром визначалась тривалість часу знаходження смуги дощу над дощомірами. Середню інтенсивність дощу $i_{сер}$ в мм/хв обчислювали за формулою:

$$i_{сер} = \frac{h_{сер}}{t}, \tag{2.17}$$

де $h_{сер}$ - середнє значення шару дощу, який випав за час проходження хмарки над дощомірами, мм;

t - тривалість часу проходження хмарки, хвилин.

Середнє значення шару дощу $h_{сер}$, мм, для усіх дощомірів визначали за формулою:

$$h_{сер} = \frac{\sum h_i}{n_д}, \tag{2.18}$$

де Σh_i - сума висот шару дощу для усіх дощомірів, яка визначається за формулою (2.14);

$n_д$ - кількість дощомірів, шт.

Витрату води (Q) визначену за допомогою дощомірів для удосконаленого ДДА-100МА різних модифікацій обчислювали за формулою:

де f - площа поливу, яка припадає на один дощомір, м^2;

$n_д$ - кількість дощомірів, шт.;

$$Q = \frac{f \cdot n_д \cdot h_{сер}}{t}, \tag{2.19}$$

$h_{сер}$ - середнє для усіх дощомірів значення шару дощу, мм, який випав за час тривалості досліду, $t_{сек}$.

Для зменшення похибки вимірів витрат води застосовувався більш точний об'ємний спосіб визначення витрат води водорозподільних вузлів і дощувальних насадок та удосконаленого ДДА-100МА різних модифікацій.

Дослідження витратних характеристик водорозподільних вузлів і дощувальних насадок проводились на установці (рис. 2.10), де режим роботи по напору установлювався при допомозі крану і контролювався зразковим манометром класу точності не менш 0,5 з межею виміру напору вищою на 30-50% робочого напору установки. Збір води в бак проводився при допомозі приймальної горловини з відповідним патрубком.

Ємкість мірного бака дорівнювала 0,1 м^3. Час заповнення бака вимірювався секундоміром. Бак установлювався у вертикальне положення при допомозі візка. Виміри витратних характеристик водорозподільних вузлів та дощувальних насадок різних заводів - виробників проводилися з трьома повторностями при значеннях робочого напору 10; 15; 20; 25 м. Після остаточного визначення типу та конструктивних параметрів розроблених типорозмірів насадок проводилось уточнення їх витратних характеристик при значеннях робочого напору від 10 до 40 м з інтервалом через 2 м.

Витрати насадок і водорозподільних вузлів (Q_i) визначались об'ємним методом за формулою:

$$Q_i = \frac{V_i}{t_i}, \tag{2.20}$$

де V_i - об'єм води в мірному баку, л;

t_i - час наповнення бака, сек.

Коефіцієнт витрат (μ) визначався за формулою:

$$\mu = \frac{Q_i}{\omega \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}}, \tag{2.21}$$

де Q_i - витрата води, м^3/с;

ω - площа отвору насадки, м^2;

g - прискорення сили тяжіння, м/с^2;

H - напір на вході насадки, м.

Похибка у визначенні напірно-витратної характеристики різних типорозмірів насадок залежить від точності виміру діаметра отвору насадки.

Вимір діаметра отвору насадки було проведено з точністю до 0,01 мм.

Дослідження напірно-витратних характеристик в лабораторних умовах забезпечувались похибкою виміру витрати води і коефіцієнта витрати до 0,5%, діаметра отвору насадок до 0,4%, напору до 0,6%.

Витрату води ДДА-100МА різних модифікацій в польових умовах визначали об'ємним способом шляхом збирання її у мірну ємкість (бак), одночасно визначаючи тривалість досліду і напір на початку, середині та в кінці водопровідного трубопроводу. Збирання води до мірного баку здійснювали за допомогою шлангу, який надівали на водорозподільний вузол або насадку ДДА-100МА. Діаметр шлангу був таким, що забезпечував безнапірний злив води у бак. У дослідах шланг із струменем води спрямовувався у бак або відводився від нього, одночасно вмикаючи і вимикаючи секундомір. Ємкість баку не менш як у 30 разів перевищувала секундну витрату води дощувальної насадки або водорозподільного вузла ДДА-100МА. Мірний бак встановлювали у вертикальне положення. Він мав водомірне скло з прикріпленою поряд металевою лінійкою з поділками через один міліметр, за якою визначали об'єм зібраної води. Досліди проводились у триразовій повторності. Відхилення результатів з кожній повторності не перевищувало 3%, інакше слід було збільшити ємкість мірного бака і відповідно тривалість його наповнення.

Витрати води ДДА-100МА різних модифікацій визначались за формулою:

$$Q = \Sigma Q_i, \text{ л/с}, \qquad (2.22)$$

де ΣQ_i - сумарні витрати води усіх насадок і водорозподільних вузлів, л/с, які визначалися за формулою (2.20).

Для оцінки впливу дощування на ґрунт визначалась миттєва інтенсивність дощу одночасно з визначенням середньої інтенсивності. Для цього в зону дощової смуги вносився закритий кришкою дощомір і на 3□4

секунди відкривали його у момент найбільшої інтенсивності дощу і знову закривали, вимірюючи тривалість часу знаходження дощоміра під дощем. Першу і останні точки визначення миттєвої інтенсивності дощу намічали на відстані 1/6 довжини смуги дощу ДДА-100МА, рахуючи від крайніх крапель дощу без перекриття, а другу точку приймали посередині. Остаточне положення точок відкориговане за результатами візуальних спостережень за силою дощу. Відзначимо, що дослідження проводилися у триразовій повторності, після чого, визначалась максимальна інтенсивність дощу за формулою (2.15).

Використовуючи методи варіаційної статистики [17] визначалися середнє квадратичне відхилення шару опадів (G, мм), коефіцієнт варіації (U, %), середня похибка досліду (m, мм), показник точності досліду (p, %):

$$G = \pm K_p \sqrt{\frac{S_2 - \frac{S_1}{n}}{n-1}}, \quad U = \frac{G}{h_{ср}} \cdot 100\%, \quad m = \pm \frac{G}{\sqrt{n}}, \text{ мм}, \quad p = \frac{U}{\sqrt{n}}, \%,$$

де S_1, S_2 - суми варіаційного ряду, які необхідні для визначення G, U, p;

$h_{ср}$ - шар дощу в дощомірі, мм;

n - кількість дощомірів;

K_p - інтервал шару дощу, мм.

Використовуючи результати обробки будувались частотні графіки розподілу шару опадів по площі захвату. Шляхом планіметрування частотного графіка знаходились відповідні коефіцієнти розподілу дощу:

$$K_{еф} = \frac{F_{еф}}{F_{заг}}, \quad K_{нед} = \frac{F_{нед}}{F_{заг}}, \quad K_{над} = \frac{F_{над}}{F_{заг}},$$

де $F_{заг} = F_{нед} + F_{над} + F_{еф}$;

$F_{заг}$ - загальна площа.

Відповідно з міжнародним стандартом коефіцієнт рівномірності поливу K_p визначався за формулою [53]:

$$K_p = 100 \cdot \left\{ 1 - \frac{\sum |h_м - h_i|}{n \cdot h_м} \right\}, \tag{2.23}$$

де n - кількість вимірів;

$h_м$ - середнє арифметичне значення вимірюваної величини;

h_i - індивідуальне значення кожного виміру;

$\Sigma|h_м-h_i|$ - сума абсолютних величин індивідуальних відхилень від середнього показника.

Структура штучного дощу визначалась шляхом відбору дощових крапель на беззольний фільтрувальний папір, який натирався порошком родаміна, в початковій, середній та в кінцевій частини смуги дощу. Фільтри поміщали в невисоку металеву або пластикову банку і закривали кришкою. Банку вносили у зону дощу, на мить відкривали і закривали кришку. На фільтрі залишаються відбитки крапель у вигляді яскравих п'ятень. Діаметр відбитку кожної краплі визначався як середнє з двох взаємно перпендикулярних вимірів.

Середній діаметр крапель дощу ($Д_{сер}$) у міліметрах визначався за формулою:

$$Д_{сер} = \sqrt[3]{\frac{\sum d^3}{n}}, \tag{2.24}$$

де d - діаметр відбитку на паперовому фільтрі, мм;

n - число вимірювань.

По середньому діаметру відбитку краплі за допомогою тарированої кривої для даного сорту фільтрувального паперу знаходився діаметр крапель.

Силова дія крапель дощу на ґрунт визначалася за формулою:

$$G = \frac{2\gamma \cdot V^2}{3g}, \tag{2.25}$$

де G - питомий тиск крапель дощу, кг/м ^{2};

V - швидкість падіння крапель, м/с;

γ - об'ємна вага води, кг/м^3;

g - прискорення сили тяжіння, g = 9, 8 м/с^2;

Середня питома потужність дощу (N_c, Вт/м^2) визначалася за формулою Швебса Г.І.:

$$N_c = 0{,}085 \cdot \rho \cdot V^2, \tag{2.26}$$

де ρ - середня інтенсивність дощу, мм/хв.

Під час проведення досліджень проводилися супутні спостереження за швидкістю та напрямком вітру відносно розташування ПДУ і водопровідного трубопроводу ДДА-100МА. Швидкість та напрямок вітру визначались анемометром та за допомогою флюгера на висоті 2 м від поверхні ґрунту.

2.4. Висновки до розділу

1. Визначено напрями удосконалення двоконсольного дощувального агрегата ДДА-100МА на основі підвищення якості та рівномірності поливу уздовж водопровідного трубопроводу.

2. Обґрунтовано перспективність використання нових низькоінтенсивних модифікацій ДДА-100МА з витратами води 60,80,100,130 л/с, які дають змогу зменшити енергетичну дію крапель дощу на ґрунт та використовувати їх на ділянках зрошення з різною водопроникністю ґрунту.

3. Розроблено методичні основи та алгоритм розрахунку оптимальних параметрів робочих органів агрегата ДДА-100МА, які передбачають точність витрат води 5% і структуру показника крапель дощу H/d в межах 1700 - 2400.

4. Наводиться методика проведення польових і лабораторних досліджень з посиланням на діючу методику відомчих випробувань і оцінок дощувальних машин, а також на міжнародні стандарти ИСО.

3. Дослідження конструктивних параметрів та витратниххарактеристик дощувальних насадок секторної дії

3.1. Вибір типу, конструктивних параметрів та раціональних схем розміщенняробочих органів дощувальних машин

Аналітичний огляд різних робочих органів дощувальних машин, який проведений нами у розділі 1.2 показує, що перспективними для поліпшення якості поливу працюючих у русі дощувальних машин, можуть бути дефлекторні насадки направленої дії. Аналіз існуючих на Україні виробництв матеріалів і наявність сировини показує, що найбільш придатним для цього можуть бути вироби із пластмаси.

В зв'язку з цим потрібно розробити нові конструкції робочих органів та вибрати такий тип насадки і конструктивні її параметри, які задовольнять умовам проведення якісного і рівномірного поливу агрегатом ДДА-100МА. В той же час, конструкція такого робочого органу повинна дозволити розробити нові низькоінтенсивні модифікації агрегата ДДА-100МА з різними витратами води, а їх виготовлення могло бути проведено на існуючих заводах з найменшими витратами на переобладнання і комплектацію необхідними матеріалами і деталями.

Для цього необхідно провести порівняння конструктивних елементів дощувальних насадок секторної дії, які широко використовуються, з метою визначення необхідних витратних характеристик та параметрів дощу, який вони створюють.

За результатами досліджень були одержані конструктивні елементи та параметри насадок, основні показники яких наведено у таблиці 3.1.

Приведені показники свідчать, що завдяки зміні водопровідного каналу насадки"Кубань" кут при вершині конфузора ϑ був зменшений до 13°…15°. Це дозволило збільшити коефіцієнт витрат (μ) на 1,8...5,8 %, що відповідає зниженню енергетичних витрат для створення дощу на 3,5...10,7 %. Радіус

сфери дефлектора насадки (R = 12 мм) з кутом нахилу площини дефлектора до горизонтальної поверхні (β = 12°) дозволяє створювати дрібні краплі дощу від 0,8 до 1,4 мм.

Таблиця 3.1.

Основні показники та конструктивні параметри насадок секторної дії

Тип дощувальної насадки	Радіус сфери дефлектора, R, мм	Кут при вершині конфузора, ϑ°	Кут нахилу дефлектора до горизонтальної поверхні, β°	Діаметр умовного отвору, D, мм	Витрати води, Q, л/с	Діаметр краплі, $d_к$, мм	Коефіцієнт витрат, μ	З' єднувальний розмір
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Кубань	12	30	10	4…8	0,248 - 1,18	1,27 - 0,99	0,887 - 0,99	1/2"
Таврія	12	13 - 15	10	4…8	0,256 – 1,248	0,88 - 1,40	0,913 - 0,984	1/2"
ВНПО "Радуга"	65	120	25	11…16	0,705 – 3,950	1,7-2,2	0,75	3/4"

Як бачимо з табл. 3.1, показники дощу та параметри насадок "Кубань" і "Таврія" відповідають агротехнічним вимогам зрошуваного землеробства. Однак, через те, що діаметр цих насадок значно малий (d = 4…8 мм), то відповідно витрати води низькі. Тому виходячи із умови забезпечення агрегатом ДДА-100МА пропуску витрати води рівному 130 л/с необхідна велика кількість таких насадок.

Дослідження показали, що використання насадок типу "Кубань" (d = 6…8 мм) в якості робочих органів ДДА-100МА призводить до нерівномірного і

неякісного поливу внаслідок частого засмічення таких насадок. Крім того, розміщення великої кількості насадок уздовж водопровідного трубопроводу веде до значної трудомісткості і матеріаломісткості, що призводить до підвищення ваги ферми агрегата та ускладнює технологічний процес виготовлення такої ферми та проведення технічного обслуговування (ТО).

Застосування в якості робочих органів ДДА-100МА насадки ВНПО “Радуга” діаметром отвору від 11 до 16 мм також не знайшло широкого впровадження.

Завдяки великому куту при вершині конфузора ϑ = 120° коефіцієнт витрат такої насадки невеликий (μ = 0,75), що збільшує енергетичні витрати на створення дощу. Великий радіус сфери дефлектора (R = 65 мм) та великий кут нахилу його площини до горизонтальної поверхні (β = 25°) створюють великі краплі дощу від 1,7 до 2,2 мм, що не відповідає агротехнічним та агроекологічним вимогам дощування.

Проведений аналіз конструктивних елементів та параметрів дощувальних насадок секторної дії показує, що для покращення якості та рівномірності дощу ДДА-100МА необхідно розробити нові конструкції насадок, враховуючи всі недоліки та переваги існуючих.

Виходячи із цих умов нами було розроблено конструкції таких насадок (рис. 3.1). Конструктивно розроблені насадки різняться різним кутом при вершині конфузора, який для однієї насадки дорівнює 60° (рис. 3.1, а, в), а для іншої – 20° (рис. 3.1, б), різним радіусом сфери дефлектора (15-16 мм) та кутом нахилу дефлектора до горизонту 0° та 15°.

За умови простоти виконання та найбільш раціонального використання нами було розроблено водорозподільний вузол (рис. 3.2), який складається із насадки та відкрилка. Відкрилок представляє собою виготовлений з поліаміда кутник з прямим кутом, на одному кінці якого нарізана внутрішня різьба для

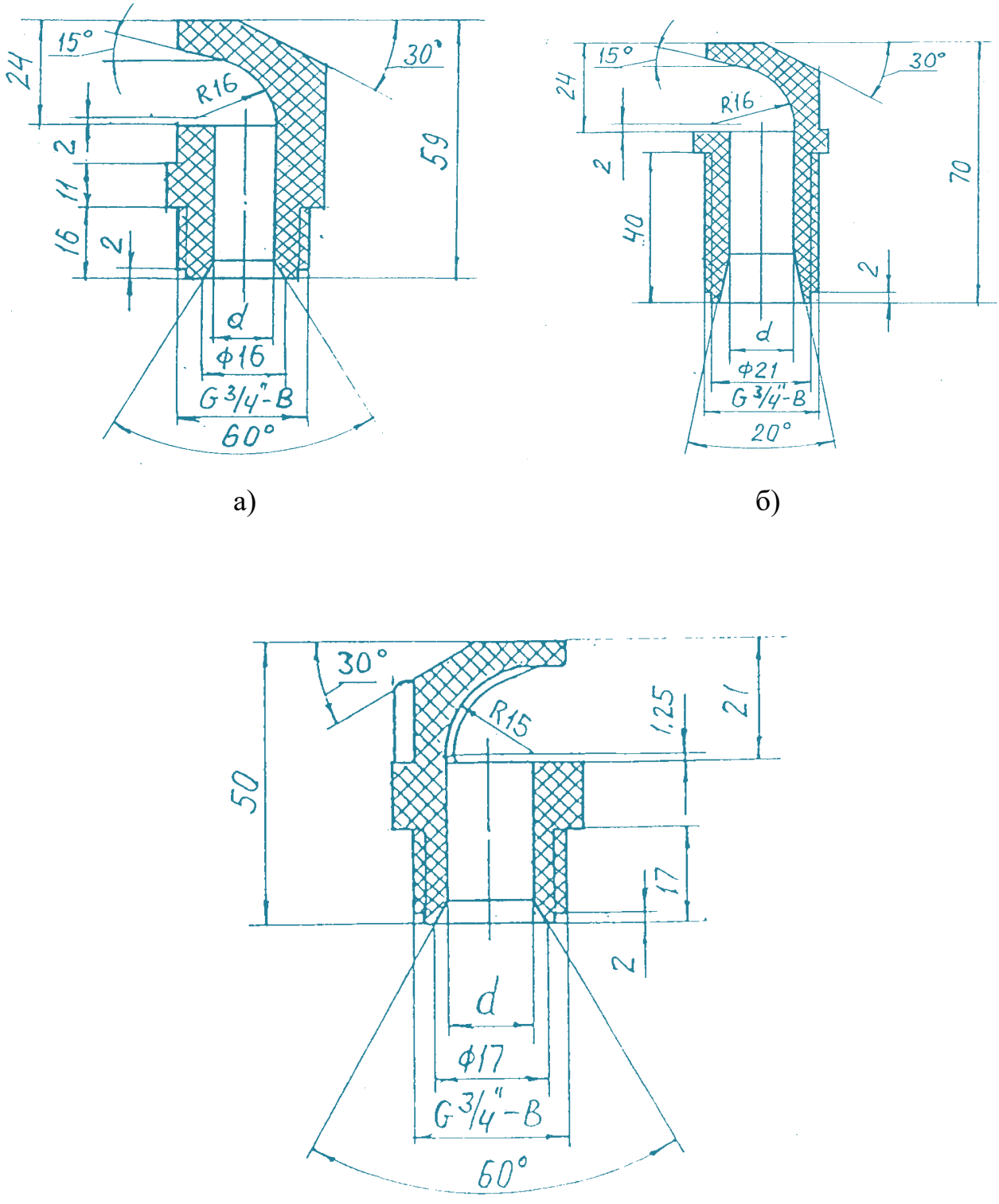


Рис. 3.1. Насадки секторної дії, які були виготовлені на різних заводах:

а) Первомайський машзавод; б) Херсонський комбайновий завод (ХКЗ); в) дослідний завод ІГіМ УААН.

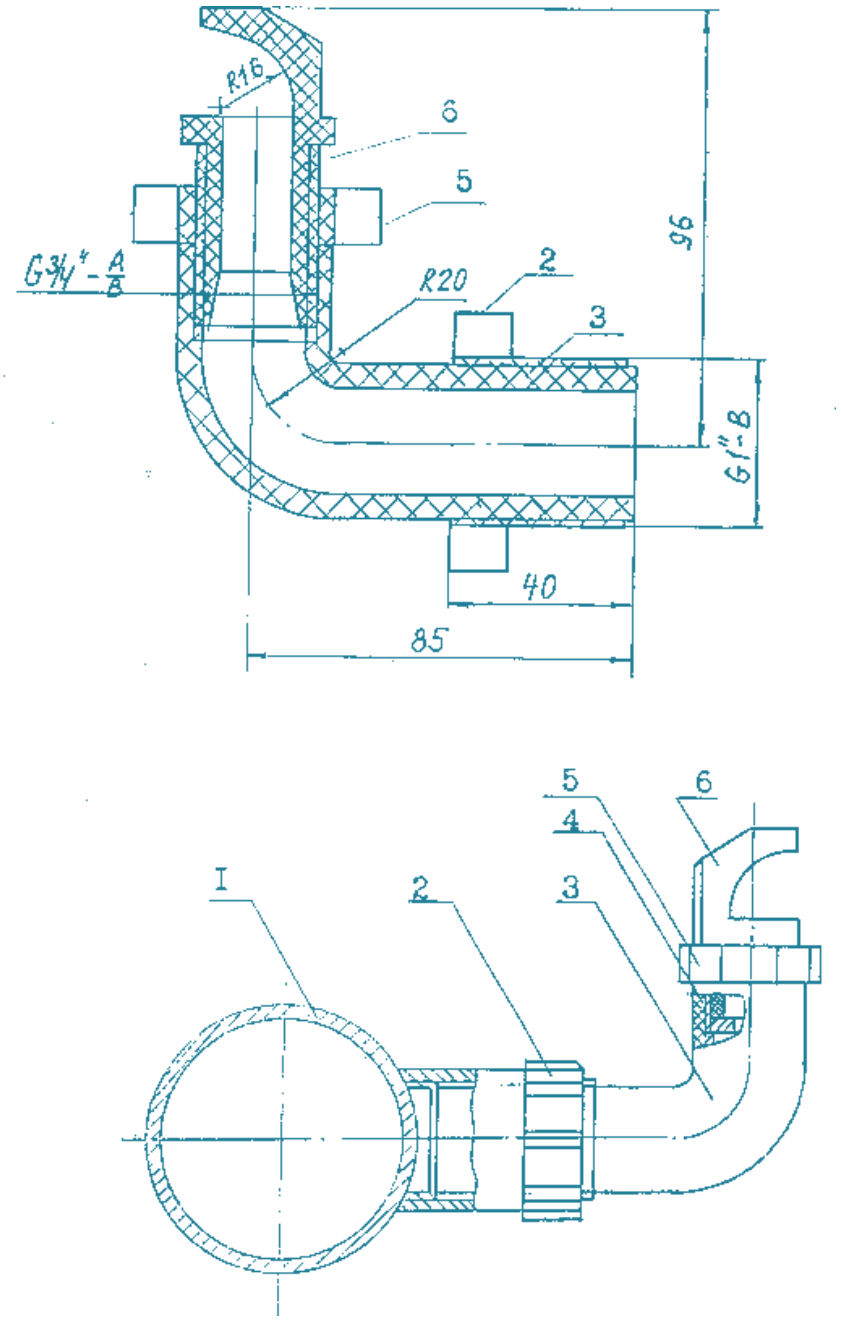


Рис. 3.2 Водорозподільний вузол:

1 – водопровідний трубопровід; 2 – контргайка 3/4"; 3 – відкрилок; 4 – дюза (калібрований отвір);5 – контргайка 1"; 6 – насадка секторної дії.

встановлення насадки. Інший кінець кутника закінчується зовнішньою різьбою, за допомогою якої він вкручується до водовипуску водопровідного трубопроводу агрегата ДДА-100МА. Для застереження самовідкручення відкрилків із муфт водопровідного трубопроводу, а також для фіксації насадок на відкрилках існують контргайки, які зроблені із поліетилену.

Якість розподілення поливної води в даному випадку буде залежати від схем розміщення дощувальних насадок уздовж трубопроводу ДДА-100МА (рис. 3.3). Для більш рівномірного розподілення поливної води по ширині контура зволоження агрегата на його водопровідному трубопроводі можна встановити додаткові відкрилки з насадками на різних відстанях.

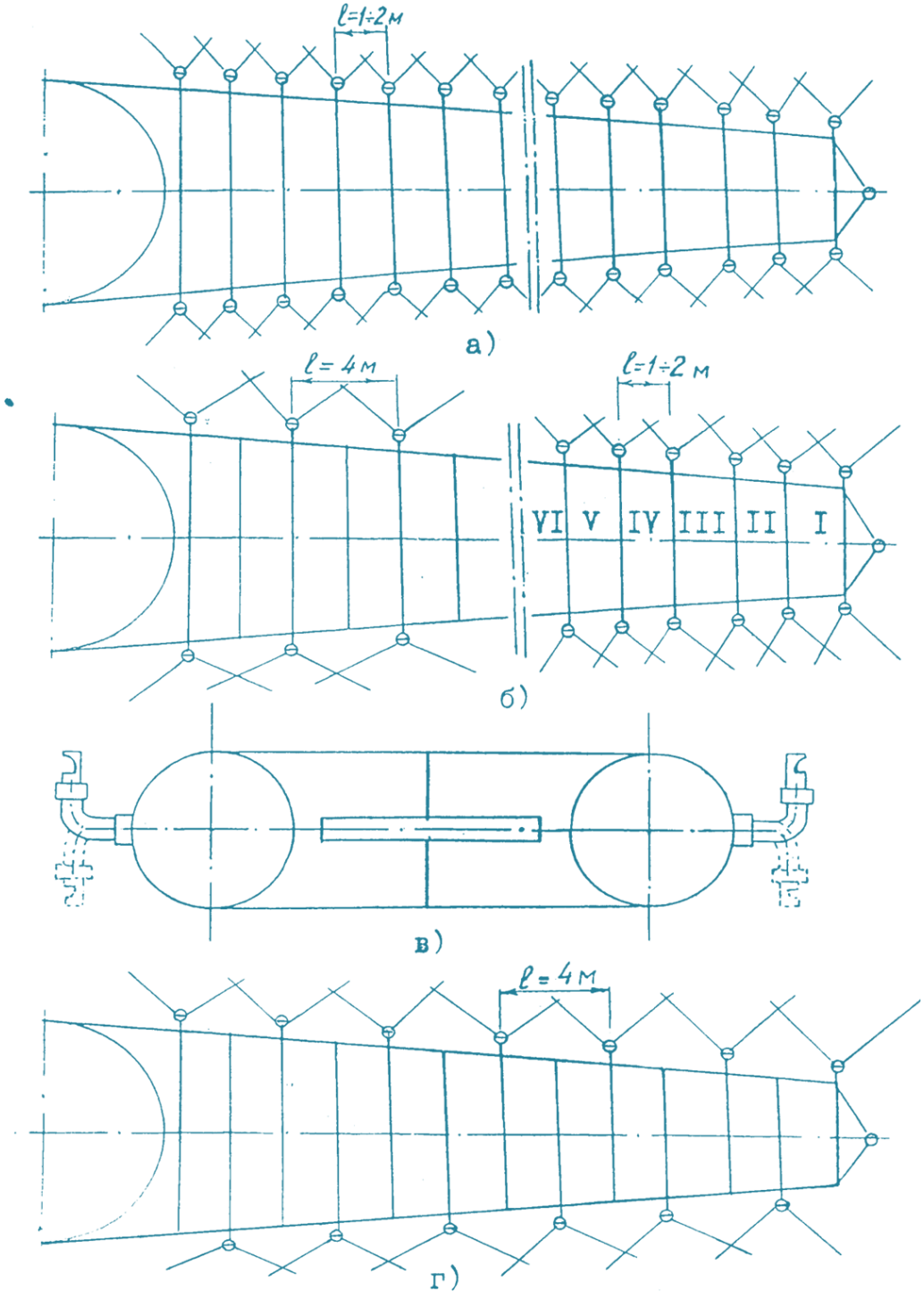


Рис.3.3 Схеми розміщення дощувальних насадок секторної дії уздовж.

На рис. 3.3 (а) показано схему можливого розміщення додаткових дощувальних насадок з якої видно, що кількість насадок на водопровідному трубопроводі агрегата може дорівнювати 148 шт., якщо відстань між ними буде складати 1 м, а при 2 м відповідно 100 шт. Дослідженнями було встановлено, що великі втрати напора і значна зміна структури дощу уздовж трубопроводу ДДА-100МА призводить до незадовільної якості та рівномірності поливу агрегатом. Нашими дослідженнями визначено, що для поліпшення якості поливу і одержання більш дрібного дощу ДДА-100МА слід збільшити загальну кількість насадок, особливо в кінцевій частині консолі агрегата.

На рис. 3.3 (б) показано схему з такими додатковими насадками з якої видно, що кількість їх може дорівнювати 92 шт., якщо починаючи з VI панелі відстань між ними буде складати 1 м, а при 2 м відповідно 72 шт. Змінити розташування насадки, як це показано на рис. 3.3 (в), можна повернувши її разом з відкрилкомдо низу, якщо сильний вітер не дозволяє проводити полив із заданою якістю та рівномірністю дощу або коли цього вимагають умови експлуатації. Враховуючи, що дощувальні насадки направленої дії зрошують площу по сектору, то є можливість використовувати їх для зменшення металомісткості ферми агрегата, якщо розмістити відкрилки з насадками у шаховому порядку (рис. 3.3, г).

Для забезпечення заданої рівномірності та якості дощу уздовж водопровідного трубопроводу агрегата ДДА-100МА водопровідного трубопроводу агрегата необхідно провести оптимізацію застосування наведених вище схем в залежності від конкретних умов експлуатації (швидкість вітру, водопроникність грунту, рельєф місцевості, забрудненість відкритого каналу-зрошувача). Крім цього, необхідно провести дослідження різних типорозмірів дощувальних насадок та визначити їх витратні характеристики з подальшим уточненням якісних показників дощу. Визначення витратних характеристик дозволить остаточно вибрати тип і конструктивні параметри дощувальних насадок для використання їх на водопровідному трубопроводі дощувального агрегата ДДА-100МА.

3.2. Визначення витратних характеристик дощувальних насадок та їх зносостійкість

Дослідження витратних характеристик розроблених нами дощувальних насадок секторної дії різних типорозмірів та водорозподільних вузлів проводилися в лабораторних умовах на стаціонарній установці (рис. 2.10) за методикою, яку викладено у розділі 2.3.

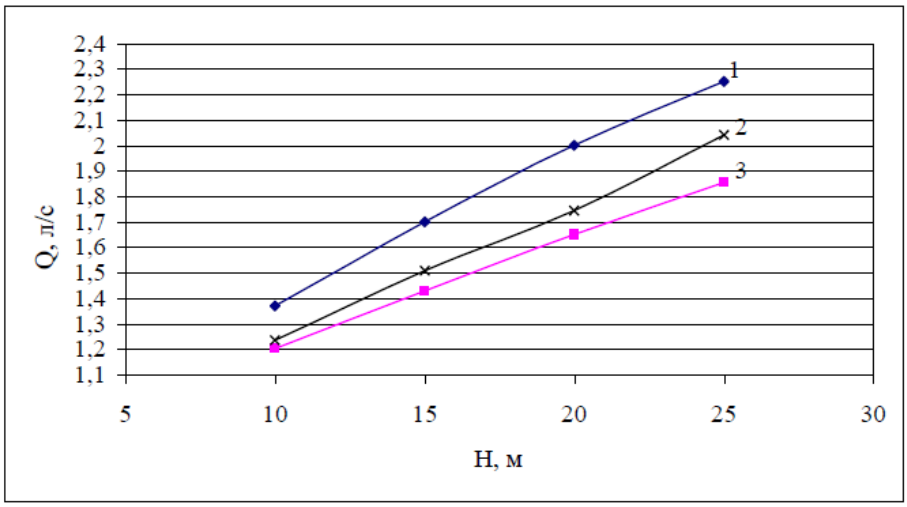
Дослідження передбачали визначення, а згодом уточнення витратних характеристик нових конструкцій водорозподільних вузлів та дощувальних насадок діаметром прохідного отвору від 9 до 16 мм з метою їх подальшої оптимізації і вибору для розміщення на водопровідному трубопроводі дощувального агрегата ДДА-100МА. Для цього нами проведено порівняльні дослідження водорозподільних вузлів та насадок діаметром прохідного отвору 12, 13, 14 мм (рис. 3.1).

Необхідно відзначити, що провести порівняльні дослідження дощувальних насадок діаметром прохідного отвору 9, 10 та 16 мм не було можливості. В наших дослідах виміри проводилися з трьома повторностями при значеннях робочого напору від 10 до 25 м з інтервалом через 5 м. Витрата води, яка проходила через дощувальну насадку та через водорозподільний вузол визначалась за відомою формулою (2.20). Одержані результати показують, що ці витрати однакові. Враховуючи це, в подальшому тексті мова буде вестися про дощувальні насадки, розуміючи, що це складова водорозподільного вузла.

Використовуючи дані виміру величин витрат води (Q) і напору (H) визначався коефіцієнт витрат (μ) за формулою (2.21). За результатами порівняльних досліджень нами були одержані витратні характеристики дощувальних насадок діаметром прохідного отвору 12, 13, 14 мм виробництва різних заводів (рис.3.4; 3.5; 3.6).

З метою вирішення питання вибору матеріалу, з якого найкраще виготовляти нові конструкції дощувальних насадок, в лабораторних умовах на

спеціально обладнаному стенді (рис. 2.11) нами було проведено порівняльні дослідження 3-х комплектів насадок з відкрилками різних типорозмірів на зносостійкість.



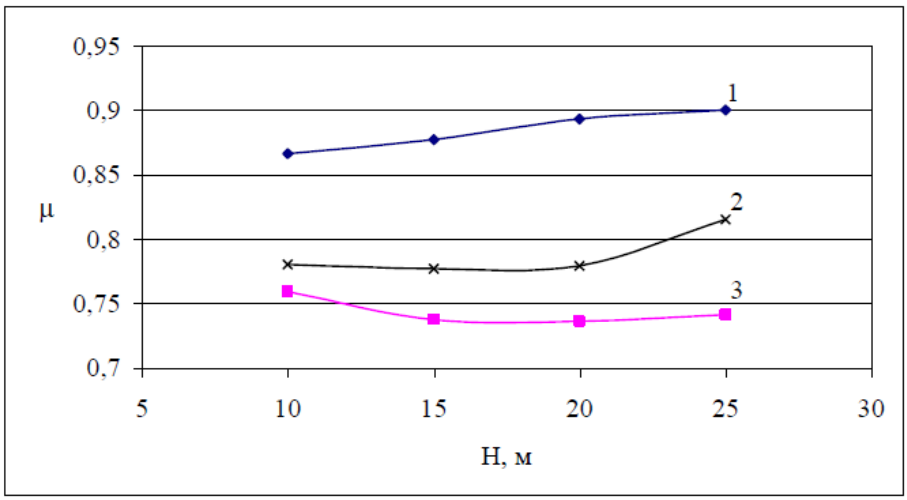


Рис. 3.4 Витратні характеристики дощувальних насадок секторної дії діаметромпрохідного отвору 12 мм виробництва різних заводів:

1 – Херсонський комбайновий завод (ХКЗ);2 – Первомайський машзавод; 3 – дослідний завод ІГіМ.

При цьому насадки та відкрилки були виготовлені із різних видів пластмас. Так, насадки виготовлялися із поліетилену марки 273 – 79 (ГОСТ 16338 – 85), поліаміду вторинного із графітом та поліаміду первинного. Відкрилки виготовлялися із поліетилену марки 273 – 79(ГОСТ 16338 – 85),

поліпропілену марки 01-020-42(ГОСТ 26006 – 86) та поліаміду вторинного із графітом. Для імітації реальних умов експлуатації водорозподільних вузлів, в ємкість з водою засипався пісок у відповідності з необхідною концентрацією розчину. Після цього наявність зважених частин у воді дорівнювало 3,8 г/л, що відповідає ОСТ 23.2.480 – 78. За час проведення досліджень через окремий проміжок часу проводилися обстеження насадок і відкрилків, з метою визначення їх на зносостійкість. В результаті були виявлені сліди зносу на насадці у районі радіусної частини дефлектора і на відкрилку в районі його вигину. Результати проведених обстежень були об'єднані у таблицю 3.2.

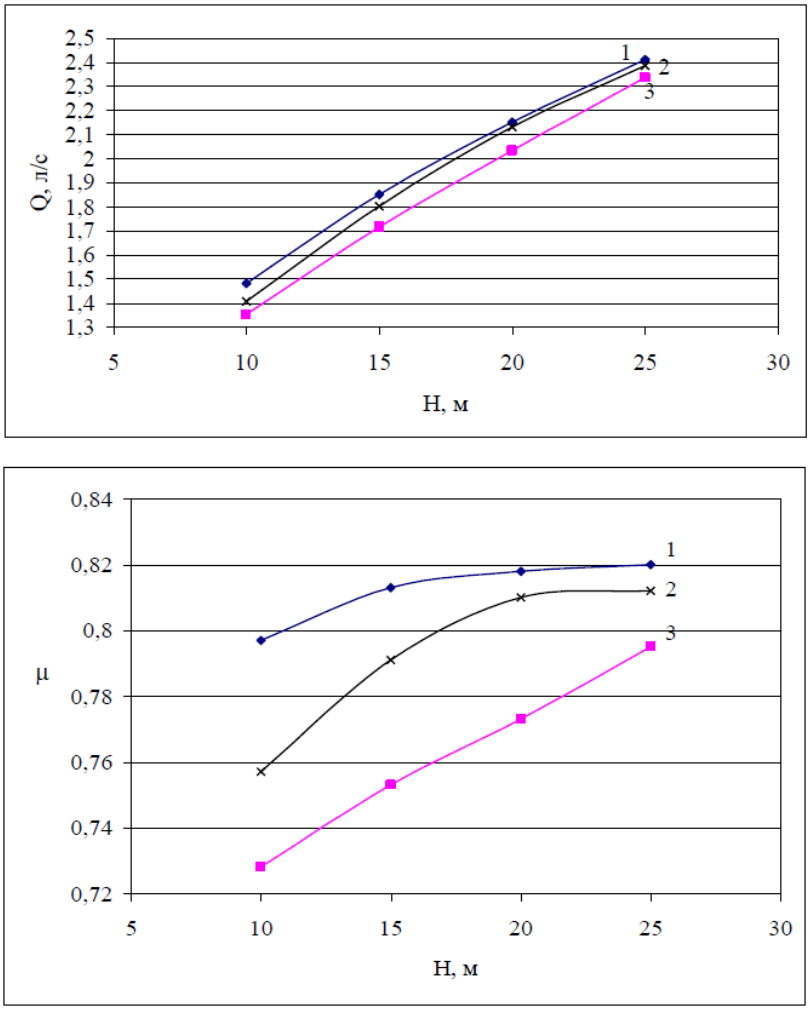


Рис.3.5 Витратні характеристики дощувальних насадок секторної дії діаметромпрохідного отвору 13 мм виробництва різних заводів:

1 – Херсонський комбайновий завод (ХКЗ); – Первомайський машзавод; 3 – дослідний завод ІГіМ.

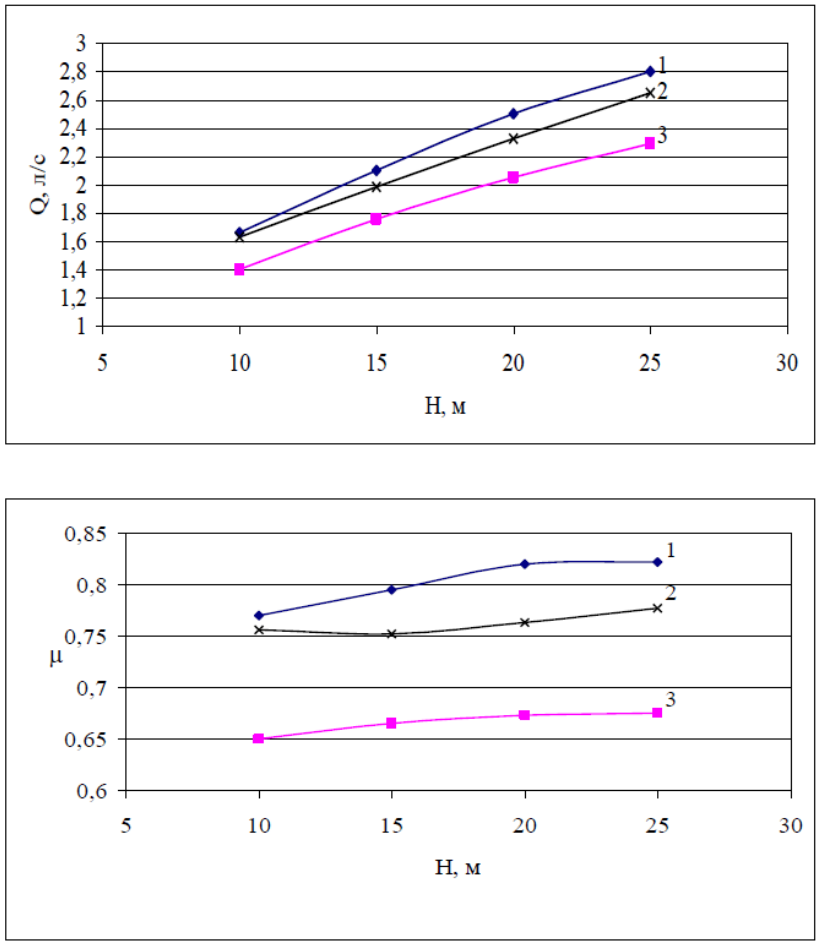


Рис.3.6 Витратні характеристики дощувальних насадок секторної дії діаметромпрохідного отвору 14 мм виробництва різних заводів:

1 – Херсонський комбайновий завод (ХКЗ);2 – Первомайський машзавод; 3 – дослідний завод ІГіМ.

Таблиця 3.2.

Результати досліджень зносостійкості насадки та відкрилка

Назва деталі, марка матеріалу	Напрацювання в годинах, знос					
	300	600	900	1400	1700	2000
Насадки						
Поліетилен 273-79, ГОСТ 16338 – 85	Зносу нема знос у вигляді сліду					
Поліамід вторинний із графітом	Зносу нема знос у вигляді сліду					
Поліамід первинний	Зносу нема знос у вигляді сліду					
Відкрилки						
Поліетилен 273-79, ГОСТ 16338 – 85	Зносу нема знос у вигляді сліду					
Поліпропілен 01 – 020 – 42, ГОСТ 26006-86	Зносу нема знос у вигляді сліду					
Поліамід із графітом	Зносу нема знос у вигляді сліду					

Як бачимо з таблиці 3.2, після напрацювання 2000 годин на насадках і відкрилках у місцях найбільш імовірного зносу з'явилися нерівності поверхні від ударів зважених частин, які знаходилися у воді. Таким чином, в зв'язку з незначною величиною зносу насадки і відкрилка провести його вимір неможливо. Тому проведені дослідження показують, що конструкції розроблених нами дощувальних насадок і відкрилків, які виготовлені із різних матеріалів пластмаси, при напрацюванні 2000 годин не мають зносу і придатні для подальшої експлуатації.

Отже, остаточно визнавши тип насадки, її конструктивні елементи і матеріал з якого вони можуть бути виготовлені, необхідно уточнити їх витратні характеристики при значеннях робочого напору від 10 до 40 м з інтервалом через 2 м.

Результати визначення витрат води розроблених насадок секторної дії різних типорозмірів наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3.

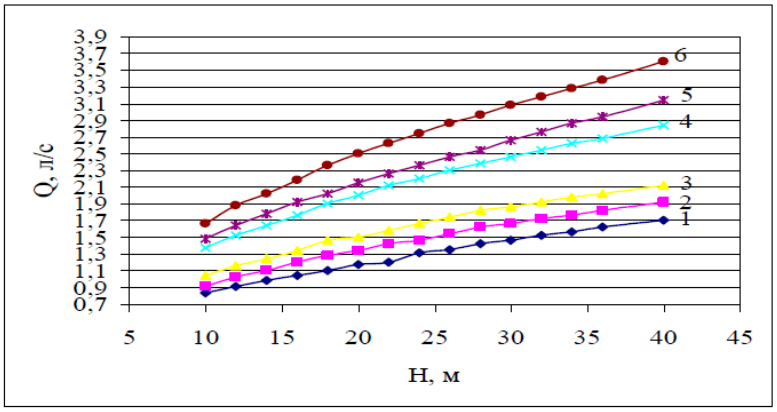
Розподіл витрат секторної насадки розробленої конструкції

Напір перед насадкою, м	Діаметр прохідного отвору насадки, мм					
	9	10	11	12	13	14
	Витрати насадки, л/ с					
10	0,83	0,91	1,04	1,37	1,48	1,66
12	0,91	1,02	1,16	1,52	1,64	1,88
14	0,98	1,10	1,24	1,64	1,78	2,02
16	1,04	1,20	1,34	1,76	1,92	2,18
18	1,10	1,28	1,46	1,90	1,02	2,36
20	1,17	1,34	1,50	2,00	2,15	2,50
22	1,20	1,42	1,58	2,12	2,26	2,62
24	1,31	1,46	1,66	2,20	2,36	2,74
26	1,35	1,54	1,74	2,30	2,46	2,86
28	1,42	1,62	1,82	2,38	2,54	2,96
30	1,46	1,66	1,86	2,46	2,66	3,08
32	1,52	1,72	1,92	2,54	2,76	3,18
34	1,56	1,76	1,98	2,62	2,86	3,28
36	1,62	1,82	2,02	2,68	2,94	3,38
40	1,70	1,92	2,12	2,84	3,14	3,60

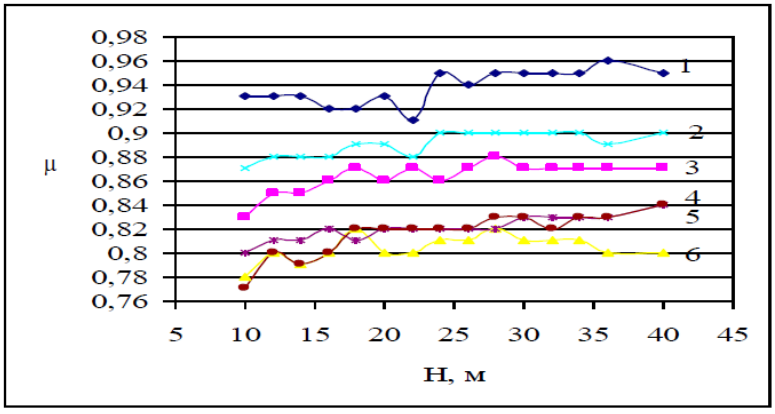
На рис. 3.7 (а) показана їх витратна характеристика у вигляді залежності $Q = f(H)$. Ця залежність дозволяє по вимірюваному напору на вході у насадку визначати її витрату.

Дослідження показують, що межа зміни витрат насадки при напорі 10 - 40 мдля діаметра 9 мм дорівнює 0,83 - 1,7 л/с, для 10 мм – 0,91 - 1,92 л/с, для 11 мм – 1,04 - 2,12 л/с, для 12 мм – 1,37 - 2,84 л/с, для 13 мм – 1,48 - 3,14 л/с та для 14 мм відповідно 1,66 - 3,60 л/с.

Залежність коефіцієнта витрат від напору представлено на рис.3.7(б) з якого видно, що для всього діапазону типорозмірів насадок із збільшенням напору в робочих межах від 10 до 40 м коефіцієнт витрат збільшується. Це можна пояснити незначним гідравлічним опором на вході отвору насадки.



а)



б)

Рис.3.7 Витратна характеристика нової конструкції насадки секторної дії:

1 – діаметр насадки 9 мм; 2 – діаметр насадки 10 мм; 3 – діаметр насадки 11 мм; 4 – діаметр насадки 12 мм; 5 – діаметр насадки 13 мм; 2 - діаметр насадки 14 мм.

Аналіз коефіцієнта витрат для всіх типорозмірів розроблених насадок показує, що він змінюється в залежності від діаметра насадки і напору води на вході в межах від 0,77 до 0,96. При цьому найбільш високий коефіцієнт витрат має діаметр прохідного отвору насадки 9 мм, а найменший – насадка діаметром отвору 14 мм.

Як бачимо, широкий діапазон типорозмірів розроблених насадок секторної дії та їх високий коефіцієнт витрат дозволить використати такий тип насадки на агрегаті ДДА-100МА для модифікацій з різними витратами води. Однак для цього необхідно визначити параметри та показники якості дощу цих насадок.

3.3. Висновки до розділу

1. Розроблено нову конструкцію дощувальної насадки секторної дії для використання на агрегаті ДДА-100МА. Проведено порівняння розроблених конструкцій насадок на зносостійкість та визначено їх витратні характеристики.

2. Визначено параметри та показники якості дощу розроблених насадок секторної дії діаметром 9, 10, 11, 12, 13, 14 мм. Середній діаметр крапель дощу змінюється в діапазоні 0,48 – 1,34 мм., а інтенсивність дощу у межах 0,86 – 0,99 мм/хв. Ширина контуру зволоження змінюється в діапазоні 12,6 – 20,1 м., а радіус поливу від 7,5 до 13,2 м.

3. Визначено оптимальні типорозміри дощувальних насадок та схеми їх розміщення уздовж трубопроводу ДДА-100МА. Для агрегата з витратами води 130 л/с і 100 л/с оптимальний діаметр насадок від 12 до 14 мм, для витрат води 80 і 60 л/с від 9 до 11 мм.

4. Випробування удосконаленого дощувального агрегата ДДА-100МА у виробничих умовах

У 2020-2021 роках в ПСП «Агрофірма Нападівська» с. Нападівка, Липовецького району були проведені порівняльні дослідження серійного агрегата ДДА-100МА та переобладнаного розробленими нами насадками секторної дії. Переобладнаний агрегат мав можливість здійснювати полив при витратах води 130 і 100 л/с. Дослідження основних показників якості поливу переобладнаного агрегата з витратами води 80 і 60 л/с.

Умови досліджень та режими роботи дощувального агрегата з різними робочими органами та витратами води знаходились у відповідності з вимогами технічного завдання (ТЗ), керівництва по експлуатації та існуючих стандартів [38].

Схема розподілення води в агрегаті аналогічна серійному, проте розбризкування води принципово відрізняється. У серійного агрегата насадки розбризкують воду по колу, а у переобладнаного по сектору на зовнішню сторону (рис. 4.1).

Насадки секторної дії розміщені симетрично через 4 м, тобто як у серійного агрегата.

Для цього нами використані водовипуски від знятих серійних відкрилків (виготовлених з тонкостінної сталевої труби) з дефлекторними насадками кругової дії, а на їх місце накручені поліетиленові відкрилки з встановленими насадками секторної дії (рис. 4.2).

На кінцевій панелі ферми агрегата насадка залишається без зміни. Таким чином, на одній консолі агрегата розміщено 26 секторних насадок, а з врахуванням кінцевої – 27 (рис. 4.3, а). Аналогічне розміщення насадок і на протилежній консолі ферми агрегата.

Для агрегата з витратами води 100, 80, 60 л/с схеми розміщення насадок та дюз наведено на рис. 4.3 б, 4.3 в, 4.3 г.

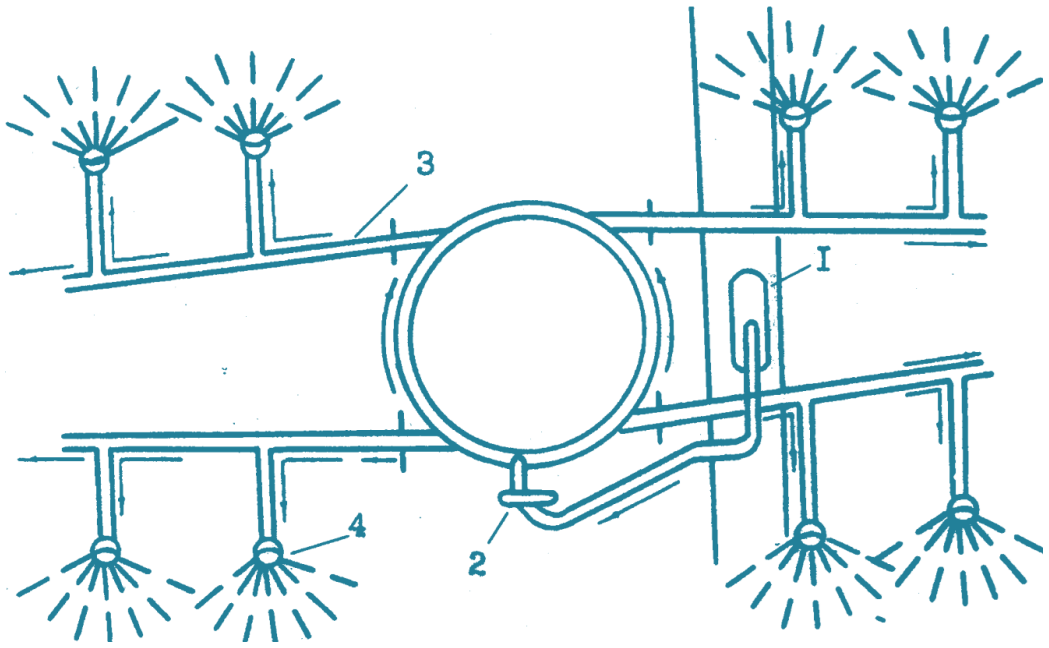
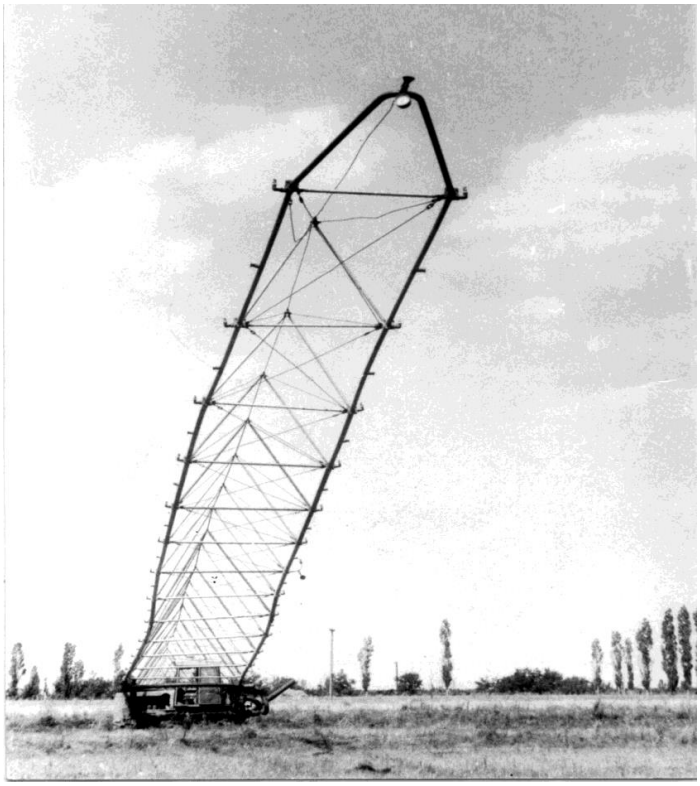


Рис.4.1 Схема руху та розбризкування води секторними насадками в удосконаленому дощувальному агрегаті ДДА-100МА:

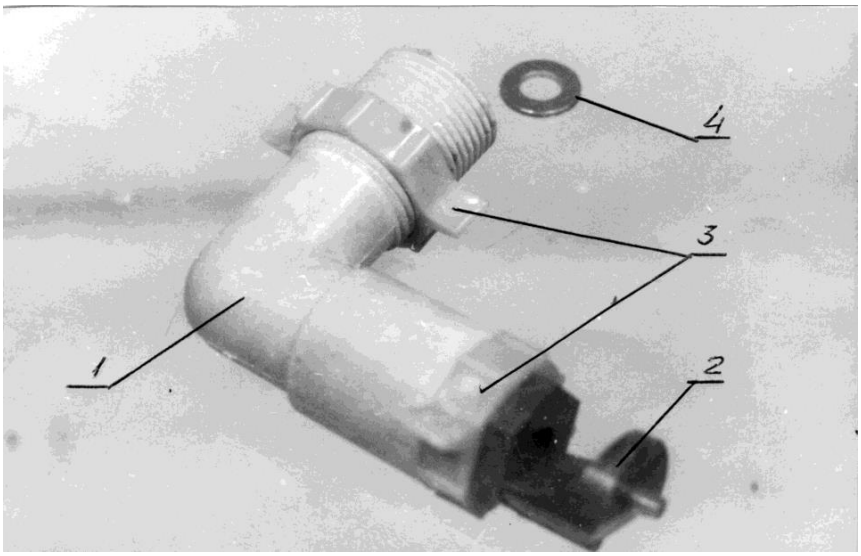
1 – водозабірний вузол; 2 – насосний агрегат; 3 – водопровідний трубопровід; 4 – секторна насадка.

Необхідно відзначити, що при проведенні досліджень ми використовували дюзи у вигляді каліброваних шайб різних діаметрів (рис. 4.2 б, поз. 4). Така конструкція дюз використовувалась нами тільки з метою спрощення переобладнання ДДА-100МА на різні режими роботи, тому що експлуатація агрегата при різних напорах вимагає установлення дюз з різними діаметрами отвору, а також додаткових трудових витрат. Поставлена задача досягається тим, що у вхідному штуцері насадки встановлена еластична і жорстка втулки з прохідними отворами. Жорстка втулка має зовнішню різьбу, центральний прохідний і бокові отвори, що дозволяє регулювати величину притиснення і початкову деформацію еластичної втулки, яка під дією робочого напору автоматично змінює діаметр прохідного отвору і забезпечує постійну витрату води. При мінімальному робочому напорі еластична втулка знаходиться у вільному стані, а діаметр її прохідного отвору дорівнює діаметру прохідного отвору насадки і жорсткої втулки. Однак, в наших розробках дослідного зразка дощувального агрегата ми не використовували таку

конструкцію насадки з еластичною втулкою, що пояснюється необхідністю проведення додаткових досліджень з метою вибору матеріалу втулки, уточнення її витратних характеристик та конструктивних параметрів.



а)



б)

Рис.4.2 Удосконалений ДДА-100МА (а) та водорозподільний вузол (б):

1 – відкрилок; 2 – насадка секторної дії; 3 – контргайки; 4 – дюза (калібрований отвір).

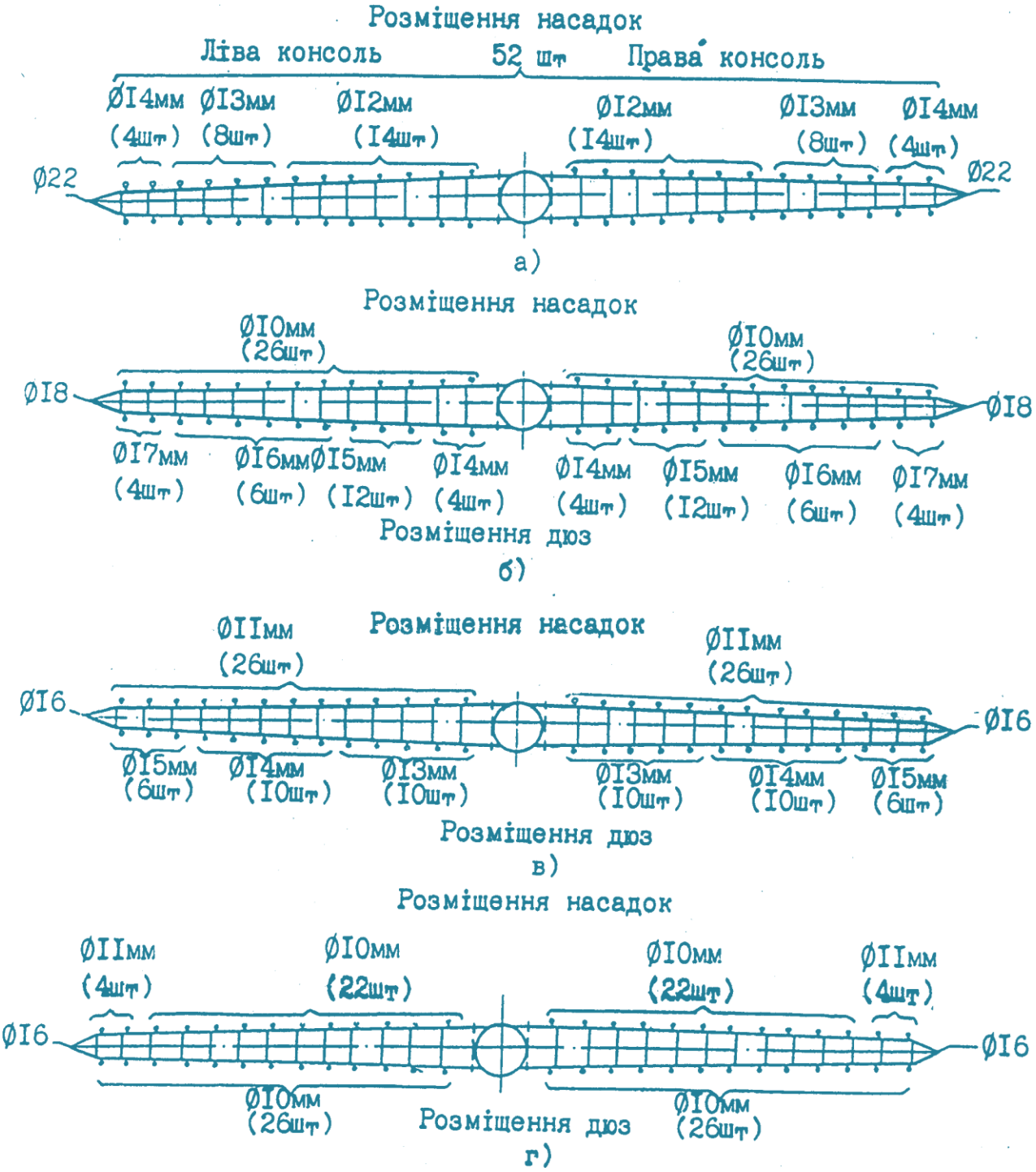
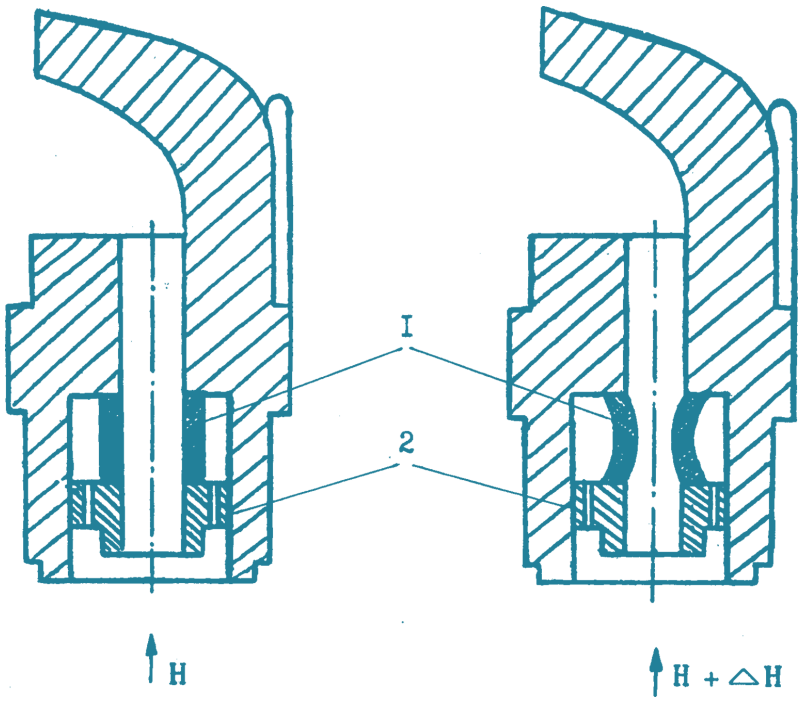


Рис.4.3 Схеми розміщення та типорозміри насадок і дюз на водопровідному трубопроводі агрегата ДДА-100МА:

а) витрата 130 л/с; б) витрата 100 л/с; в) витрата 80 л/с; г) витрата 60 л/с.



а) б)

Рис.4.4 Дощувальна насадка секторної дії з регулюючою дюзою:

а) при мінімальному значенні робочого напору; б) при підвищеному робочому напорі; 1 – регулююча дюза; 2 – жорстка втулка.

Результати попередніх досліджень основних показників якості поливу удосконаленого агрегата ДДА-100МА з витратами води 130 л/с наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Оцінка якості поливу удосконаленим агрегатом ДДА-100МА порівняно з серійним (Q = 130 л/с)

Показники	Серійні дефлекторні насадки кругової дії (номер досліду)		Секторні насадки нової конструкції (номер досліду)						
	1	2	1	2	3	4	5	6	7
Тиск, МПа: - на початку консолі	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
- на середині консолі	0,25	0,25	0,25	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,25
- на кінці консолі	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Швидкість руху агрегата, м/год: - уперед	1095	-	-	1095	1095	-	1095	-	1095
- назад	-	630	630	-	-	630	-	630	-

Показники	Серійні дефлекторні насадки кругової дії (номер досліду)		Секторні насадки нової конструкції (номер досліду)						
	1	2	1	2	3	4	5	6	7
Швидкість вітру, м/с	2,5	3,0	2,0	4,5	2,5	5,5	5,5	2,5	2,5
Середній шар дощу за прохід, мм	8,8	12,0	9,2	8,3	8,56	11,3	6,5	8,9	4,24
Середня інтенсивність дощу, мм/хв	3,6	3,9	2,3	2,8	2,85	3,8	2,2	2,19	2,4
Коефіцієнти поливу:	0,55	0,64	0,70	0,67	0,75	0,53	0,48	0,83	0,89
- ефективного	0,22	0,16	0,22	0,20	0,13	0,22	0,23	0,08	0,07
недостатнього надлишкового	0,23	0,20	0,08	0,13	0,12	0,25	0,29	0,09	0,04
Середній діаметр крапель дощу, мм	1,3	1,2	1,17	1,0	1,17	1,17	1,17	1,17	0,97
Довжина смуги дощу, м	14,0	15,2	15,8	17,1	16,0	18,0	20,6	16,0	16,0
Питомий тиск крапель на грунт, кг/см^2	0,19	0,14	0,11	0,09	0,11	0,11	0,11	0,11	0,09

Як бачимо з таблиці 4.1, при поливі удосконаленим агрегатом ДДА-100МА показники якості поливу значно кращі порівняно з серійним. Так, коефіцієнт ефективного поливу при швидкості вітру 2,0÷3,0 м/с змінюється у межах 0,7 – 0,89, що практично в 1,1 – 1,6 рази вище порівняно з серійним (0,64 – 0,55). Середній діаметр крапель дощу зменшується від 1,11 до 1,34 рази для дослідів з різною швидкістю вітру. В середньому він зменшився в 1,16 рази. Середня інтенсивність дощу в дослідах змінювалась у межах 2,2…3,8 мм/хв, що практично в 1,2 рази нижче порівняно з інтенсивністю серійного агрегата. Але в цілому вона ще залишилась на високому рівні. Крім цього, за рахунок зменшення діаметра крапель та інтенсивності дощу, такий важливий показник, як питомий тиск крапель дощу на грунт знизився практично у 1,3 – 1,7 рази, що значно зменшує негативний вплив їх на грунт та рослини.

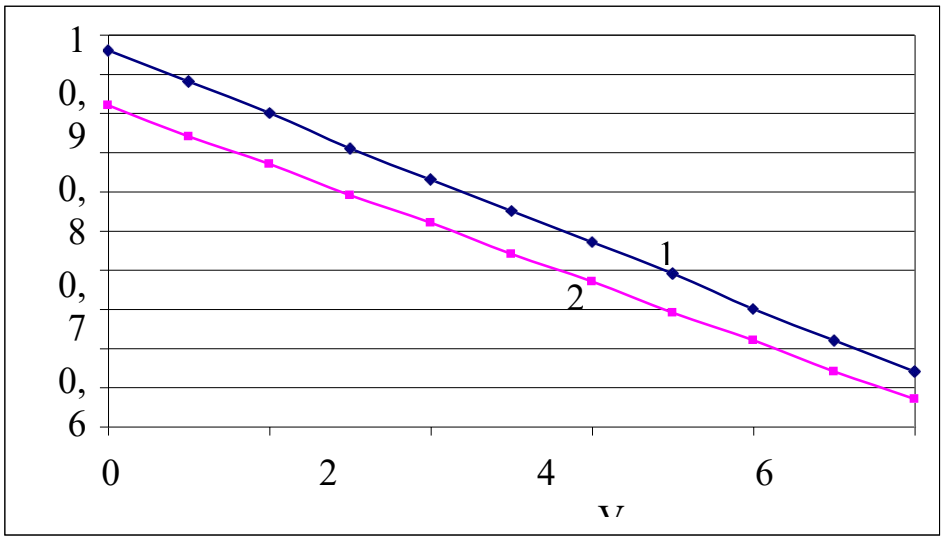
Довжина смуги дощу при швидкості вітру 2,5÷4,5 м/с змінювалась у межах 16,0 – 17,1 м, а при збільшенні швидкості вітру до 5,5 м/с від 18,0 до 20,6 м.

Отримані показники говорять про те, що параметри дощової хмари насадки нової конструкції мають незначні відхилення при збільшенні швидкості вітру.

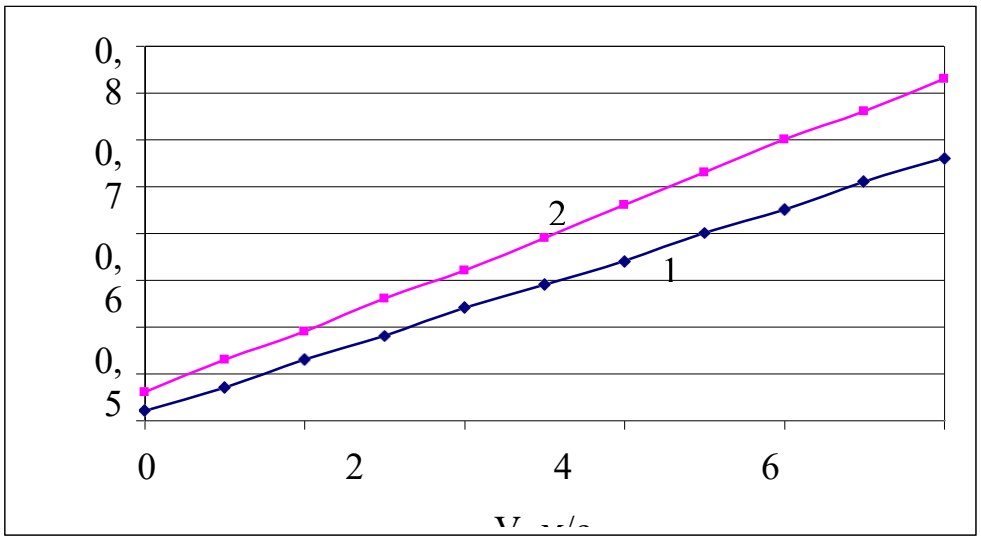
Для забезпечення економної витрати води та обґрунтування кількісних характеристик основних показників якості поливу ДДА-100МА визначалася закономірність розподілення коефіцієнтів ефективного ($K_{еф}$) та недостатнього поливу ($K_{нед}$) від швидкості вітру. На основі даних досліджень нами побудована залежність $K_{еф} = f(V)$ та $K_{нед} = f(V)$, яку графічно представлено на рис. 4.5. Емпіричне вираження цієї залежності для удосконаленого агрегата ДДА-100МА таке:

$$K_{еф} = 0{,}96 - 0{,}082 \cdot V; \quad (4.1)$$

$$K_{нед} = 0{,}02 + 0{,}054 \cdot V. \quad (4.2)$$



а)



б)

Рис. 4.5 Залежність $K_{еф} = f(V)$ (а) та $K_{нед} = f(V)$ (б) при поливі ДДА-100МА: 1 – удосконаленим агрегатом; 2 – серійним агрегатом.

Для серійного дощувального агрегата ДДА – 100МА відповідно

$$K_{еф} = 0{,}82 – 0{,}075 \cdot V; \quad (4.3)$$

$$K_{нед} = 0{,}06 + 0{,}067 \cdot V, \quad (4.4)$$

де $K_{еф}$ та $K_{нед}$ – коефіцієнти ефективного та недостатнього поливу;

V - швидкість вітру, м/с.

Характерний приклад коефіцієнтів ефективного ($K_{еф}$) та недостатнього ($K_{нед}$) поливу при роботі удосконаленим та серійним агрегатом, розрахованих за формулами (4.1 - 4.4) залежно від швидкості вітру, наведено в табл. 4.2. У даній таблиці наведено і коефіцієнт надлишкового поливу ($K_{над}$), який визначено з рівняння:

$$K_{над} = 1 – (K_{еф} + K_{нед}). \quad (4.5)$$

Як бачимо з таблиці 4.2, із зміною вітрового режиму відповідно змінюється ефективність поливу як переобладнаним агрегатом ДДА-100МА так і серійним.

Значні зміни спостерігаються при швидкості вітру більше 4 м/с, але і в цьому випадку коефіцієнт ефективного поливу при роботі удосконаленим агрегатом ДДА-100МА залишається значно вищий порівняно з серійним.

Для модифікацій агрегата ДДА-100МА з витратами води 100, 80, 60 л/с основні показники якості поливу наведено в таблиці 4.3.

Також у відповідності з міжнародним стандартом ISO 11545 [54] для агрегата з різними витратами води на основі виробничих дослідів нами визначено коефіцієнт рівномірності поливу Крістіансена (Cu) та проведено розрахунок статистичних параметрів (табл. 4.4).

Відомо, що між коефіцієнтом Крістіансена та коефіцієнтом ефективного поливу існує взаємозв’язок. Методика, яка запропонована С. Поповим [42] дозволяє перераховувати значення коефіцієнта Крістіансена на коефіцієнт ефективного поливу, що дає нам можливість прийняти в якості критерія рівномірності розподілу шару дощу коефіцієнт Крістіансена, який краще формалізується для розрахунків.

Таблиця 4.2

Зміна показників якості поливу при дощуванні агрегатом ДДА-100МА з витратою води 130 л/с в залежності від швидкості вітру

Швидкість вітру, V, м/с	Показники якості поливу		
	$K_{еф}$	$K_{нед}$	$K_{над}$
0	0,96/0,82	0,02/0,06	0,02/0,12
1	0,88/0,74	0,07/0,13	0,05/0,13
2	0,80/0,67	0,13/0,19	0,07/0,14
3	0,71/0,59	0,18/0,26	0,11/0,15
4	0,63/0,52	0,24/0,32	0,13/0,16
5	0,55/0,44	0,29/0,39	0,16/0,17
6	0,47/0,37	0,34/0,46	0,19/0,17

Примітка: В чисельнику наведено показники при дощуванні удосконаленим агрегатом ДДА-100МА, в знаменнику – при дощуванні серійним агрегатом.

Таблиця 4.3

Основні показники якості поливу удосконаленим агрегатом ДДА-100МА в залежності від витрат води

Показники	Витрати води, л/с							
	100	80			60			
	1	1	2	3	1	2	3	4
Швидкість вітру, м/с	1,6	3,0	2,0	2,2	4,0	2,2	2,2	3,2
Середній шар дощу, мм/хв	4,6	3,6	2,71	3,02	3,15	2,82	2,82	2,56
Середня інтенсивність дощу, мм/хв	1,9	2,4	2,8	3,2	2,1	2,8	2,8	2,4
Середній діаметр крапель, мм	0,95	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8
Коефіцієнти поливу: - ефективного	0,70	0,60	0,85	0,78	0,71	0,78	0,77	0,67
- недостатнього	0,16	0,23	0,05	0,14	0,26	0,09	0,16	0,18
- надлишкового	0,24	0,17	0,10	0,08	0,03	0,13	0,07	0,15

Таблиця 4.4

Результати математичної обробки показників коефіцієнта рівномірності поливу Крістіансена (K_p)

Витрата води ДДА-100МА, л/с	Середній шар дощу уздовж консолей агрегата за прохід, мм	Середнє квадратичне відхилення шару дощу, G	Коефіцієнт варіації, U	Похибка досліду, m, %	Точність досліду, P, %	Швидкість вітру, м/с	Коефіцієнт Крістіансена (K_p) уздовж обох консолей
1	2	3	4	5	6	7	8
Серійний агрегат ДДА-100МА							
130	5,038 5,118	1,468 1,251	29,131 24,446	0,273 0,236	5,41 4,62	1,0	81,41
Удосконалений агрегат ДДА-100МА							
130	4,396 4,778	1,095 0,531	24,897 11,122	0,203 0,10	4,623 2,102	2,5	85,61
100	4,859 4,386	0,875 0,71	18,015 16,191	0,163 0,134	3,345 3,060	1,6	85,50
80	2,793 3,243	0,624 0,468	22,357 14,426	0,116 0,088	4,152 2,726	2,2	86,72
60	2,427 2,689	0,506 0,560	20,843 20,823	0,092 0,106	3,805 3,935	3,2	83,73

Примітка: В чисельнику наведено показники лівої консолі агрегата ДА-100МА, в знаменнику показники правої консолі.

Таким чином, результати попередніх досліджень показали, що якість поливу удосконаленим агрегатом ДДА-100МА краща порівняно з серійним.

Однак, якщо подивитись на розподіл води у дощомірах уздовж консолей удосконаленого ДДА-100МА за 4 проходи агрегата (рис. 4.6,а, 4.6,б, 4.6,в, 4.6, г), то побачимо, що в кінцевій частині ферми показники якості поливу можуть бути кращими. Після уточнення схем розміщення дощувальних насадок і дюз уздовж водопровідного трубопроводу, удосконалений агрегат ДДА-100МА з витратами води 60, 80, 100 і 130 л/с був рекомендований до використання у виробництво.

Для остаточного вирішення цього питання були проведені державні випробування ДДА-100МА з різними витратами води.

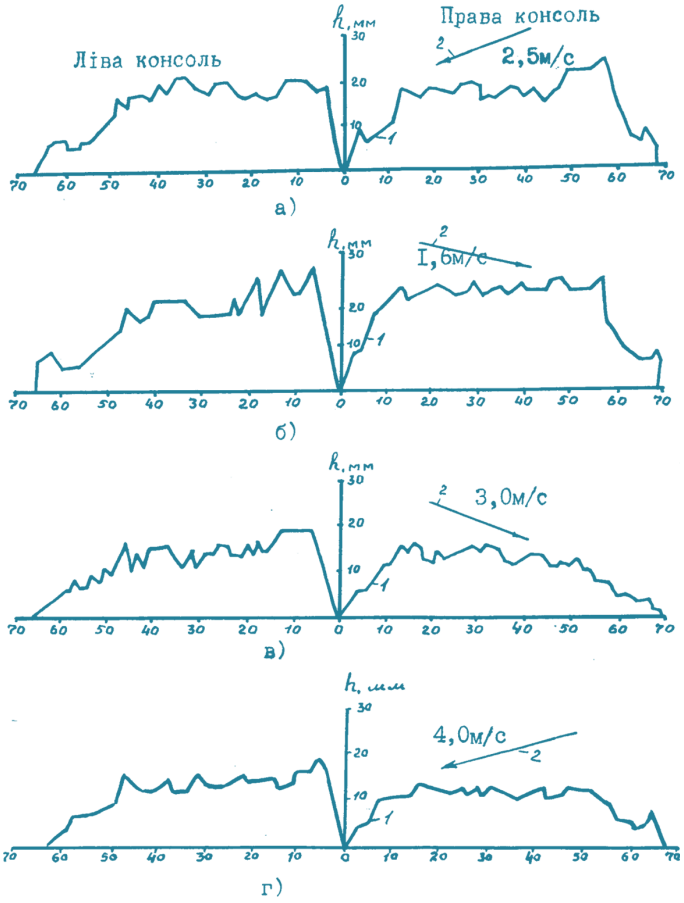


Рис.4.6 Розподіл шару дощу уздовж консолей удосконаленого ДДА-100МА за 4 проходи агрегата (1) при різній швидкості вітру (2):

а) витрата 130 л/с; б) витрата 100 л/с; в) витрата 80 л/с; г) витрата 60 л/с.

Отже, дослідження на дослідній ділянці агрегата ДДА-100МА з витратами води 60, 80, 100 і 130 л/с обладнаного насадками секторної дії свідчать, що основні показники якості дощу та поливу удосконаленого агрегата значно вищі порівняно з серійним. Діаметр крапель дощу зменшився в 1,16 раза, силова дія їх на грунт майже в 1,3-1,7 рази, середня інтенсивність дощу практично в 1,2 рази, а коефіцієнт ефективного поливу підвищився в 1,1-1,6 разів. Для удосконаленого та серійного агрегата ДДА-100МА встановлено кількісну залежність коефіцієнта ефективного ($К_{еф}$) та недостатнього ($К_{нед}$) поливу від швидкості вітру.

5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

Організація охорони праці в господарстві

У господарстві за стан охорони праці відповідає директор господарства. За охорону праці у підрозділі господарства відповідає уповноважена особа – керівник виробничої ділянки, на якій він закріплений наказом. В галузі рослинництва відповідальність за охорону праці несе - головний агроном, в механізації та на транспорті – інженер механік, на машинному дворі - завідувач машинного двору, на пункті ТО тракторів та майстерні - бригадир механізованого загону та майстерні, за електробезпеку – головний енергетик, за організацію охорони праці в господарстві – інженер з охорони праці. Відповідальний за пожежну безпеку та охоронну службу - начальник охоронної служби та за сумісництвом інструктор з пожежної безпеки.

З працівниками, які поступають на роботу інженер з охорони праці проводить вступний інструктаж.

Вимоги безпеки праці – це сукупність правил і прийомів, спрямованих на створення безпечної праці, збереження здоров'я людей і підвищення продуктивності праці. Виконання правил безпеки праці дає змогу запобігти виробничим травмам і усунути причини, які можуть породжувати шкідливі впливи на організм робітників.

Директор господарства:

- забезпечує виконання першочергових заходів галузевої програми поліпшення стану охорони праці і безпеки праці, гігієни праці та виробничого середовища;
- впроваджує «Положення про систему управління охороною праці на підприємстві»;

згідно з чинним законодавством забезпечує ефективну діяльність служби охорони праці та пожежної безпеки;

- забезпечує функціональне та раціональне використання коштів фонду охорони праці;

- створює ефективну роботу кабінету з охорони праці;
- створює постійно діючу комісію по перевірці знань працівників підприємства з питань охорони праці та пожежної безпеки;
- забезпечує працівників відповідно з типовими, галузевими нормами засобами індивідуального захисту, в першу чергу спецодягом, милом, обеззаражуючими миючими засобами.
- при необхідності створює комісію з розслідування нещасних випадків професійних захворювань та аварій на підприємстві.

Інженер з охорони праці:

-проводить навчання та перевірку знань законодавчих актів з охорони праці працівників та керівників виробничих ділянок;

-забезпечує працюючих правилами, стандартами, нормами, положеннями, інструкціями та іншими нормативними актами з охорони праці;

-розробляє правила, вимоги, положення, інструкції з охорони праці;

- аналізує причини нещасних випадків та професійних захворювань, для розробки рекомендацій і заходів щодо їх зниження;
- забезпечує кабінет з охорони праці необхідною документацією, плакатами, навчальними посібниками та іншим.

Головні спеціалісти господарства:

- забезпечують безпечне проведення робіт і культуру виробництва на кожних робочих місцях ввіреному об'єкті;
- оформляють перед початком виконання робіт акти - допуски про виконання заходів з безпеки праці, та після закінчення робіт акти про виконання заходів з безпеки праці;

беруть участь у розробці нових і перегляд діючих інструкцій з охорони праці для працівників ввіреному об'єкті;

- беруть безпосередню участь у проведенні атестації робочих місць за умовами безпеки праці у ввірених їм об'єктах;

- систематично інформують на оперативних виробничих нарадах посадових осіб, про стан техніки безпеки на робочих місцях, виявлені порушення та контролюють усунення виявлених порушень;
- беруть участь у нарадах з охорони праці.

Керівники виробничих ділянок:

- забезпечують проведення навчання, інструктажу, перевірки знань, стажування працівників свого підрозділу згідно з порядком навчання з охорони праці та перевірку знань вимог охорони праці працівників організацій, а саме: проводить вступні, первинні, повторні, позапланові інструктажі на робочому місці з усіма працівниками, в встановлені терміни з оформленням інструктажів у відповідних журналах, не допускає працівників до виконання робіт без інструктажу, стажування, навчання безпечних методів і прийомів ведення робіт;
- здійснюють періодичний оперативний контроль за станом техніки безпеки на ділянці;
- забезпечують безпечне проведення робіт на кожному робочому місці вверені йому ділянки;
- здійснюють щоденний, особистий, періодичний протягом дня контроль за станом умов праці;
- забезпечують дотримання робітниками трудової і виробничої дисципліни, правил та інструкцій з охорони праці;
- своєчасно оформляють оперативну, поточну документацію з охорони праці, а саме: акти - допуски, наряди - допуски, акти приймання в експлуатацію, журнали інструктажу на робочому місці, вступного інструктажу, з пожежної безпеки, журнал видачі нарядів - допусків, журнал суміщених робіт і т. д.
- забезпечують ділянку робіт заборонними, попереджувальними знаками і плакатами;

- не допускають працівників до виконання ними трудових обов'язків без проходження обов'язкових медичних оглядів, а також у випадку медичних протипоказань;
- беруть участь у розробці нових і перегляд діючих інструкцій з охорони праці для працівників ввіреної йому ділянки.

Стан охорони праці в ТОВ «Зоря»

Розглянувши технічний стан машин, можна сказати, що вся техніка справна, повністю укомплектована відповідно до заводських інструкцій. В кожному автомобілі та тракторі є набір необхідного інструменту, інвентарю для обслуговування, вогнегасник та аптечки першої медичної допомоги, але не в повній мірі.

Майданчики для зберігання сільськогосподарської техніки мають тверде покриття, а територія огороджена та має двоє воріт. Яма, для огляду техніки, має спеціальні направляючі для коліс тракторів, сходи для спуску, а також стаціонарне низьковольтне освітлення напругою 36 В.

Освітлення виробничих не в повному обсязі відповідають нормам, а побутових та допоміжних приміщень відповідає вимогам СНІП 11-4-79. Всі ці приміщення обладнані опаленням та вентиляцією.

Територія машинного двору, пункту ТО, нафтосховища обладнана спеціальними уловлювачами забруднених поверхневих стоків, які розміщені в нижній частині території з врахуванням похилу місцевості. Також ці об'єкти обладнані блискавко-захисними установками. Всі верстати і прилади з електроприводом заземлені. Якщо виробничі процеси, робочі місця, відносяться до небезпечних або особливо небезпечних у пожежному відношенні (категорії А чи Б), то поблизу робочого місця знаходиться стенд пожежогасіння, який обладнаний первинними засобами пожежогасіння (вогнегасником, сокирою, відрами, совковою лопатою, ящиком з піском, бочкою з водою або гідрокраном з пожежогасильним рукавом) та пожежною сигналізацією. Обладнання, пристрої

та інвентар розташовується та кріпиться так, щоб не створювалася небезпека їх випадкового зсуву та не створювала перешкоди під час пересування.

Для робітників господарства створили комфортний мікроклімат шляхом влаштування відповідних систем опалення, вентиляції, кондиціювання повітря. В цьому році провели теплоізоляцію конструкцій будівель.

У процесі виконання всіх видів робіт проводять різноманітні інструктажі: вступний, первинний, повторний, позаплановий та цільовий інструктажі, які регіструють в журналі.

На кожній виробничій ділянці знаходяться інструкції з охорони праці, але деякі з них потребують переробки, або повторного перевидання.

Висновок: Провівши спостереження за системою організаційних і технічних заходів з охорони праці в господарстві було виявлено такі недоліки:

- більшість техніки в господарстві на 80 – 85 % відпрацювала свій амортизаційний термін;
- тракторні причепи не оборудувані світловою сигналізацією;
- не всі виробничі дільниці забезпечені засобами пожежогасіння;
- деякий інструмент вже застарілий і потребує заміни;
- робочі місця з підвищеною небезпекою мають прострочену атестацію;
- працівники не в повному обсязі володіють знаннями з охорони праці;
- не кожна виробнича ділянка має куточок з охорони праці;
- не в кожній аптечці є повний набір медичних препаратів та засобів медичної допомоги;
- пожежна безпека у господарстві має низький рівень підготовки, не всі виробничі ділянки забезпечені водопостачанням, не повністю функціонують водні басейни, господарство має лише один пожежний автомобіль;
- в декількох інструкцій вийшов термін дії;
- не всі виробничі ділянки забезпечені повним обсягом набором інструкцій з охорони праці;

- деяких приміщеннях необхідно замінити або встановити додаткові світильники.

В загалом, можна зробити висновок, що стан охорони праці в господарстві знаходиться на середньому рівні.

Аналіз виробничого травматизму

Охорона праці крім соціального, має важливе економічне значення - це і висока продуктивність праці, зниження витрат на оплату лікарняних, компенсацій за важкі та шкідливі умови праці тощо. За розрахунками вчених наслідки нещасних випадків коштують у 10 разів більше, ніж витрати на заходи та засоби щодо їх попередження. В цьому розділі пропоную розглянути виробничі травми працівників, провести необхідні розрахунки виробничого травматизму, скласти таблицю з отриманих розрахунках та зробити висновок.

Коефіцієнт частоти травматизму визначаємо за формулою:

$$K_ч = \frac{T}{P} \cdot 1000, \tag{5.1}$$

де: Т - кількість нещасних випадків (травм) за досліджуваний період;
Р - кількість працівників, чол.

$$K_ч = \frac{2}{128} \cdot 1000 = 15{,}63$$

Коефіцієнт важкості травматизму визначаємо так:

$$K_д = \frac{Д}{T}, \tag{5.2}$$

де: Д - сумарна втрата днів працездатності в результаті нещасного випадку.

$$K_т = \frac{105}{2} = 52{,}5$$

Коефіцієнт втрати робочого часу:

$$K_{в.т.} = K_ч \cdot K_т = \frac{Д}{P} \cdot 1000, \tag{5.3}$$

$$K_{в.т.} = 15{,}63 \cdot 52{,}5 = 820{,}6$$

Втрата робочого часу визначаємо за такими показниками:

$$B_{р.ч.} = \frac{Д}{8} \cdot 40, \tag{5.4}$$

де: Д - сумарна втрата днів працездатності в результаті нещасного випадку, днів; 8 – 8-ми годинний робочий день, год; 40 – 40-ка годинна робоча неділя.

$$B_{р.ч.} = \frac{105}{8} \cdot 40 = 525 год$$

Втрата коштів на оплату лікарняних:

$$B_{грн.} = B_{р.ч.} \cdot 12{,}5, \quad (5.5)$$

де: 12,5 – погодинна оплата працівника, грн.

$$B_{грн.} = 525 \cdot 12{,}5 = 6562{,}5 грн$$

Аналогічно проводимо розрахунки виробничого травматизму за іншими роками. Всі отримані данні отримані під час розрахунку за 2020 - 2024 роки заносимо до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Характеристичні показники травматизму в ТОВ «Зоря» за 2020 -2024 р

Показники	Роки				
	2020	2021	2022	2023	2024
Кількість працюючих (в сезон сільськогосподарських робіт), чол.	128	127	125	121	117
Кількість нещасних випадків, од.	2	2	1	1	1
Втрати днів працездатності від виробничого травматизму: перший випадок;	81	38			
другий випадок.	24	55			
Всього:	105	93	43	33	50
Місяць травматизму: перший випад;	Квітень	Травень	Травень	Липень	Серпень
другий випадок.	Вересень	Листопад			
Втрати днів працездатності від виробничого захворювання	-	-	-	-	-
Коефіцієнт частоти травматизму	15,63	15,75	8,00	8,26	8,55
Коефіцієнт важкості травматизму	52,50	46,50	43,00	33,00	50,00
Коефіцієнт втрат робочого часу за рік	820,31	732,28	344,00	272,73	427,35
Втрата робочого часу, год	525	465	215	165	250
Втрата коштів на оплату лікарняних, тис. грн.:	16562,5	15812,5	12687,5	12062,5	13125

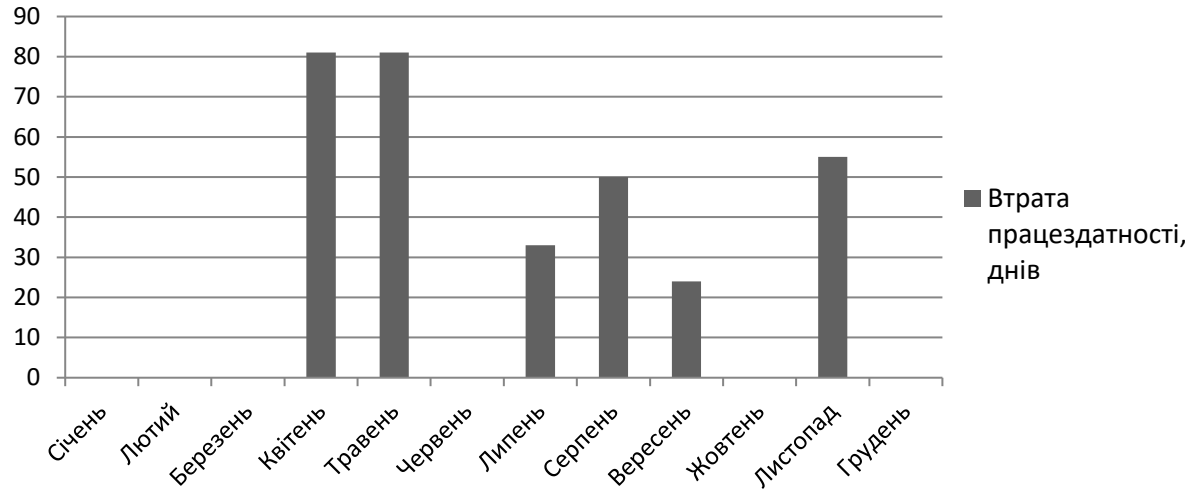


Рис.5.1 Рівень виробничого травматизму та втрати працездатності по місяцям за 5 років

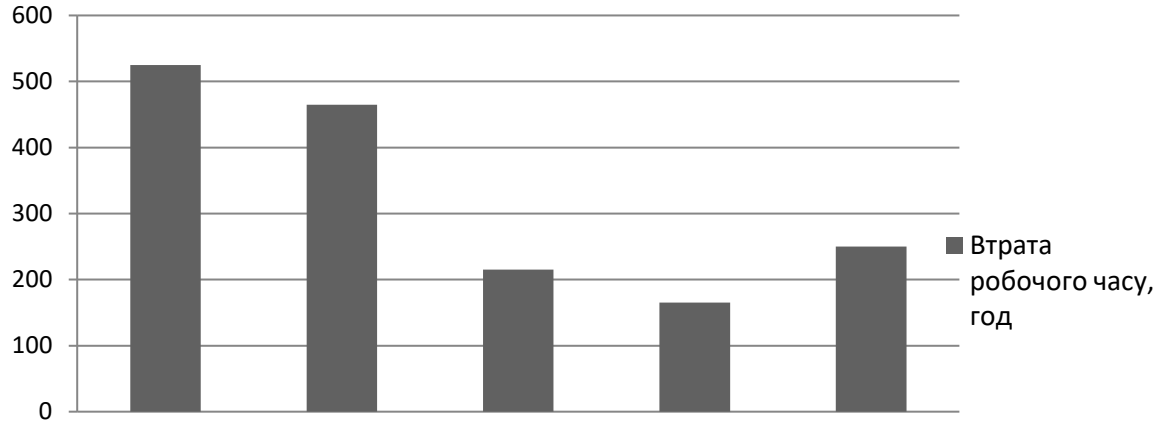


Рис.5.2 Втрата робочого часу внаслідок виробничого травматизму за 5 років

Висновок: Підсумовуючи цей розділ, можна сказати, що за період з 2020 – 2024 року в господарстві зменшилось кількість виробничого травматизму, але причини залишилися. З рис.5.2 ми бачимо, що найбільш травматичними місяцями є квітень та травень – весняні місяці. Майже всі виробничі травми трапилися за таких причин:

- невиконання керівником посадової інструкції, в частині забезпечення дотримання підлеглим персоналом трудової та виробничої дисципліни,

безпечного виконання робіт, дотримання встановлених норм технологічного процесу, експлуатації обладнання;

- невиконання підлеглих інструкцій з охорони праці, інструкцій з безпеки праці на відповідну роботу або операцію;

невиконання керівником підрозділу належного інструктування

підлеглих при виконанні робіт на установках, тракторах, с/г агрегатах, тощо.

- порушення вимог безпеки праці при виконанні роботи без проходження навчання на установці, без нагляду вище кваліфікованого працівника;
- порушення вимог безпеки праці при знаходженні в заборонених місцях при роботі, та русі машин.

Внаслідок виробничого травматизму за 5 років господарство втратило на оплату лікарняних приблизно 120250 грн. не враховуючи відшкодування кожному працівнику. Всі ці кошти краще було вкласти на покращення вимог охорони праці. В наступному розділі пропонуємо скласти перелік необхідних заходів, які поліпшать охорону праці в господарстві, та провести розрахунки.

Заходи з поліпшення вимог охорони праці на ТОВ «Зоря»

Заходи з поліпшення вимог охорони праці передбачають систему організаційних і технічних заходів і засобів по запобіганню негативного впливу на робітників небезпечних виробничих факторів. До технічних заходів відносяться:

- розробка та впровадження безпечного обладнання;
- механізація і автоматизація технологічних процесів;
- використання запобіжних пристроїв, автоматичних блокуючих засобів;
- правильне і зручне розташування органів управління обладнанням;
- розробка та впровадження систем автоматичного регулювання, контролю та управління технологічними процесами, принципово нових нешкідливих та безпечних технологічних процесів.

До організаційних заходів належать:

- правильна організація роботи, навчання, контролю та нагляду за охороною праці;
- дотримання трудового законодавства, міжгалузевих та галузевих нормативних актів про охорону праці впровадження безпечних методів та наукової організації праці;
- проведення агітації та пропаганди охорони праці;

організація планово - попереджувального ремонту обладнання, технічних оглядів та випробувань транспортних і вантажопідіймальних засобів.

Таблиця 5.2

Заходи з поліпшення вимог охорони праці

п/п	Зміст заходів	Потрібно коштів, грн.	Періодичність виконання	Відповідальний за виконання
1	2	3	4	5
1	Розробити інструкції з безпечним прийомам праці на всі види робіт	700	Одноразово	Інженер з охорони праці
2	Провести атестацію робочих місць з підвищеною небезпекою	2000	Одноразово	Головний інженер; інженер з охорони праці
3	Проводити заняття з ОП з усіма працівниками з програми, згідно закону України про ОП	150	Щоквартально	Директор; інженер з охорони праці
4	Проводити навчання і атестацію спеціалістів середньої ланки в присутності інспектора держнагляду охорони праці	180	Щорічно	Директор
5	Провести "день охорони праці" на рівні директора правління (провести певні навчальні заходи ліквідації персоналу з будівлі)	-	Щорічно	Директор
6	На кожній виробничій дільниці устаткувати куточок з ОП	1000	Одноразово	Інженер з охорони праці

Продовження таблиці 5.2

1	2	3	4	5
7	Організувати навчання та атестацію на групу допуску для роботи в електроприладах: осіб відповідальних за електробезпеку, газоелектрозварювальників	180	Щорічно	Інженер з електробезпеки
8	Розробити на кожного керівника, головного спеціаліста, керівників дільниць посадові інструкції	60	Одноразово	Головний економіст; інженер з охорони праці
9	Провести лабораторні випробування захисного заземлення в електроприладах	-	Одноразово	Відповідальний за електробезпеку; головний енергетик
10	Дообладнати всі виробничі дільниці засобами пожежогасіння	1060	Одноразово	Інструктор з пожежної безпеки
11	Доповнити медикаментами аптечки на всіх виробничих ділянках	500	Щомісячно	Головний інженер; інженер з охорони праці
12	Оборудувати світловою сигналізацією тракторні причепи	3000	Одноразово	Головний інженер
13	Провести навчання і атестацію осіб відповідальних за вантажопідйомні засоби	150	Одноразово	Головний інженер
14	Замінити застарілий інструмент	1800	Одноразово	Головний економіст
15	Замінити, встановити світильники для всіх виробничих приміщень	6000	Одноразово	Відповідальний за електробезпеку; головний енергетик
Всього затрат, грн:		117780	Одноразово	Директор

При проведенні робіт по утеплінню будівель, деякі вікна були закладенні з метою економії тепла. Будівлі, такі як, ремонтна майстерня, були позбавленні частини природного світла. Для більш ефективної та безпечної роботи працівників необхідно встановити додаткові світильники.

Висновок: Запропонований зміст заходів для поліпшення вимог охорони праці на які треба затратити приблизно 117780 грн.

6. Економічна ефективність впровадження дощувальної машини

Розроблена нами дощувальна машина призначена для використання на існуючих зрошувальних системах і на нових системах, побудованих для мобільних дощувальних машин із сезонною площею до 20 га.

За аналог взято існуючі за кордоном дощувальні машини шлангобарбанного типу італійської фірми “Valdussi”, сезонна площа яких до 20 га, і вітчизняна машина ДДА-100 МА, сезонна площа якої досягає 100-120 га.

При розрахунках враховано використання на розробленій дощувальній машині більш економічної мотопомпи фірми «Хонда» WT-20.

Річний економічний ефект від розробки нових технологічних процесів щодо поливу розраховано за формулою

$$E = (З_1 – З_2) \cdot S, \text{ грн.}, \quad (5.1)$$

де $З_1$, $З_2$ – витрати на одиницю площі, яка зрошується з використанням базової та нової поливної техніки, грн./га;

S – сезонна площа зрошення дощувальної техніки, га.

Витрати складаються із поточних витрат на експлуатацію поливної техніки, насосної станції і зрошувальної мережі.

Витрати З для зрошення 1 га площі визначимо за формулою

$$З = С + Е_н \cdot К, \text{ грн.}, \quad (5.2)$$

де $К$ – питомі капітальні вкладення на придбання дощувальної техніки, грн/га;

$Е_н$ – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень, $Е = 0{,}15$;

$С$ – собівартість електроенергії й дизельного палива для зрошення ділянки площею 1 га, грн/га.

У питомі капітальні вкладення входила вартість дощувальних машин у цінах 2024 року. Капітальні витрати на будівництво та реконструкцію зрошувальних систем не враховувалися, тому що використовувалася існуюча зрошувальна мережа.

У таблиці 4.5 наведені вихідні дані для розрахунку експлуатаційних витрат. При їх розрахунках приймався однаковим для всіх типів машин коефіцієнт випаровування води (β = 1,1), коефіцієнт стоку води $K_c = 1{,}25$ і коефіцієнт використання часу зміни роботи машини $K_з = 0{,}85$.

Результати розрахунків експлуатаційних, капітальних і приведених витрат розробленої машини та існуючих аналогів наведено в таблиці 4.6.

Річний економічний ефект від використання розробленої нами дощувальної машини порівняно з існуючими визначено за формулами (4.1) і (4.2), підставляючи одержані дані приведених витрат з таблиці 4.6. Розрахунки показали, що річний економічний ефект порівняно з машиною ДДА-100 МА

$$E = (558 - 440) \cdot 20 = 2360 \text{ грн.}$$

Порівняно з машиною італійської фірми “Valdussi”, річний економічний ефект значно більший через велику вартість дощувальної машини:

$$E_2 = (892 - 440) \cdot 20 = 9040 \text{ грн.}$$

Таблиця 5.1.

Вихідні дані для розрахунку експлуатаційних витрат

Показники	Одиниці виміру	Розроблена машина	Існуючі аналоги машин	
			ДДА-100 МА	“Valdussi”
Витрата води	$Q, л/с$	18	130	18
Робочий напір	$H, м$	35	35	100
Сезонна площа зрошення	$S, га$	20	120	20
Тривалість поливу	$t, год$,	1000	1000	1000
Потужність дизельного двигуна	$N_2, кВт$,	5,5	75	–
Питома витрата дизельного палива	$p, \frac{кг/год}{кВт}$	0,27	0,264	–
Витрата дизельного палива	$p \cdot N_2, кг/год$	1,5	14,6	–
Вартість 1 кг дизельного палива за годину	$c_2, грн$	2,0	2,0	–
Витрати необхідної потужності насосної станції для подачі води	$N_1, кВт$	7,3	52,5	20,7
Вартість 1кВт-год електроенергії	$c_1, грн$	0,18	0,18	0,18

Таблиця 5.2.

Результати розрахунку експлуатаційних і капітальних витрат дощувальних машин

Показники	Формула розрахунку	Розроблена машина	Існуючі аналоги машини	
			ДДА-100МА	“Valdussi”
Витрати електроенергії, кВт-год дизельного палива, кг	$B = N_1 \cdot t$ $Д = p \cdot N_2 \cdot t$	7300 1500	52500 19800	20700 –
Вартість зрошення, грн. електроенергії дизельного палива Вартість енергоносіїв загальна, грн. для зрошення 1 га, грн./га	$A_1 = B \cdot c_1$ $A_2 = Д \cdot c_2$ $C' = A_1 \cdot A_2$ $C = C'/S$	1314 3000 4314 216	9450 39600 49050 408	3726 – 3726 186
Капітальні вкладення на придбання дощувальної техніки, грн.	$Ц$	30000	120000	94000
Питомі капітальні вкладення на придбання дощувальної техніки, грн./га	$K = Ц/S$	1500	1000	4700
Приведені витрати на одиницю площі, грн./га	$З = C + E_н \cdot K$,	440	558	892

Отже, економічний ефект від використання розробленої нами дощувальної машини на площі зрошення 20 га за рахунок зменшення експлуатаційних витрат на енергоносії і капітальних витрат на придбання дощувальної техніки складає: порівняно з машиною ДДА-100 МА – 2360 грн; порівняно з машиною фірми “Valdussi” – 9040 грн.

Отже, економічний ефект від дощувальної машини на площі зрошення 20 га за умови використання мотопомпи WT-20 за рахунок зменшення експлуатаційних витрат на енергоносії та капітальних витрат на придбання дощувальної техніки складає 2360 грн. порівняно з використанням машини. ДДА-100 МА і 9040 грн. порівняно з використанням машини італійської фірми “Valdussi”.

Загальні висновки

1. Обґрунтовано використання нових низькоінтенсивних модифікацій агрегата ДДА-100МА з витратами води 60, 80, 100, 130 л/с, які дозволяють порівняно з серійним агрегатом зменшити енергетичну дію крапель дощу на грунт і розширити діапазон використання їх на ділянках зрошення з різною водопроникністю грунту.

2. Розроблено математичну модель розрахунку оптимальних параметрів і типів дощувальних насадок та схем їх розміщення на водопровідному трубопроводі агрегата ДДА-100МА, що забезпечує новим модифікаціям агрегату високу рівномірність поливу (коефіцієнт ефективного поливу 0,82–0,89) та якісну структуру крапель дощу уздовж водопровідного трубопроводу (H/d = 1800 – 2400).

3. В результаті досліджень визначено, що основні показники якості дощу та рівномірності поливу удосконаленого агрегата вищі порівняно з серійним. Так, діаметр крапель дощу зменшився в 1,16 рази, а силова дія їх на грунт майже в 1,3 – 1,7 рази, середня інтенсивність дощу знизилась практично в 1,2 рази, а коефіцієнт ефективного поливу підвищився в 1,2 разів. Втрати води на випаровування та знос вітром для удосконаленого агрегата з витратами води 130 л/с скоротилися в 3,3 рази, для 100 л/с в 7,6 рази, для 80 л/с в 2,0 рази, для 60 л/с в 2,6 рази.

4. Дослідженнями встановлено, що висока якість та рівномірність поливу удосконаленого агрегата ДДА-100МА дозволяє забезпечувати економне використання палива та води. Порівняно з серійним агрегатом енерговитрати на полив зменшуються на 16,7% для агрегата з витратами води 130 л/с та на 6% і 3,8% відповідно для агрегата з витратами води 100 л/с і 80 л/с.

5. Визначено, що оптимізація насосно-силового обладнання для модифікацій агрегата ДДА-100МА з витратами води 60, 80, 100 л/с дозволить економити паливо для агрегата з витратами води 60 л/с у розмірі 3,7 кг/год, з витратами 80 л/с та 100 л/с відповідно 2,4 кг/год і 1,5 кг/год.

6. Розроблені низькоінтенсивні модифікації агрегата ДДА-100МА забезпечують високу якість і надійність поливу з меншими витратами води, витримали державні випробування і рекомендовані до серійного виробництва.

8. Економічний ефект від використання розробленої нами мобільної дощувальної машини на площі зрошення 20 га за рахунок зменшення експлуатаційних витрат на енергоносії і капітальних витрат на придбання дощувальної техніки складає 2360 грн. порівняно з використанням машини ДДА-100МА і 9040 грн. порівняно з використанням машини італійської фірми “VaIdussi”.

Список використаних джерел

1. Апарати дощувальні кругової дії. Частина 1. Вимоги до проектування та експлуатування (ISO 7749-1 : 1995, IDT) : ДСТУ ISO 7749 – 1: 2004. – [Чинний від 2016-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2016. - 14 с. – (Національний стандарт України).

2. Апарати дощувальні кругової дії. Частина 2. Рівномірність зрошування та методи випробування (ISO 7749-2 : 1990, IDT) : ДСТУ ISO 7749 – 2: 2014 – [Чинний від 2006-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2005. - 8 с. – (Національний стандарт України).

3. Булгаков В.М. Теоретичне дослідження збурених гармонійних коливань у вібраційних приводах машин / В.В. Адамчук, Г.М. Калетнік, В.М. Булгаков, О.М. Черниш // Всеукраїнський науково-технічний журнал «Вібрації в техніці та технологіях» №2 (82) 2016. С.5-9.

4. Гарькавий А.Д. Конкурентоспроможність технології машин: навчальний посібник / А.Д. Гарькавий, В.Ф. Петриненко, А.В. Спірін. - Вінниця: ВДАУ - „Тірас". - 2013. 68 с.

5. Гринь Ю. І. Удосконалення зрошувальних систем на основі ресурсозберігаючих технологій та засобів зрошення: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук: спец. 06.01.02 "Сільськогосподарські меліорації" / Ю. І. Гринь. – К., 2020. 42 с.

6. Гунько І.В. Енергоощадні безконтактні методи діагностування показників технічного стану мобільної сільськогосподарської техніки / І.В. Гунько, Л.Г. Коваль // Техніка, енергетика, транспорт АПК. №3 (95). Вінниця. 2016. С. 89-93.

7. Дубчак В.М. Вища математика в прикладах та задачах. Навчальний посібник / В.М. Дубчак, В.М. Пришляк, Л.І. Новицька. – Вінниця: ВНАУ, 2018. 254 с.

8. Калетнік Г. М. Основи інженерних методів розрахунків на міцність і жорсткість [Текст] : підручник. ... за ред. Г. М. Калетніка, М. Г. Чаусова. Київ : Хай-Тек Прес, 2013. 528 с.

9. Калетнік Г.М. Технічна механіка. Підручник. Калетнік Г.М., Булгаков В.М.,

Черниш О.М., Кравченко І.Є., Солона О.В., Цуркан О.В. К.: «Хай-Тек-Прес», 2011. 340 с.

10. Машини і установки дощувальні. Програми, методи випробувань і оцінок: ВНД 33-4.3-01-98. – Офіц. вид. –К.: Держводгосп України, 2018. 139 с.

11. Машини зрошувальні пересувні. Частина 1. Робочі характеристики та методи лабораторних і польових випробувань (ISO 8224-1 : 2003, IDT) : ДСТУ ISO 8224 – 1: 2014 [Чинний від 2006-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2015. - 31 с. – (Національний стандарт України).

12. Павленко В.С. З'єднання в машинобудуванні: Навч. Посібник / В.С. Павленко, І.П. Паламарчук, О.В. Цуркан, Ю.А. Полєвода / За ред.. В.С. Павленка. – Вінниця: ПП «ТД Едельвейс і К», 2015. 110 с.

13. Павленко В.С., Цуркан О.В., Кравченко І.Є., Любін М.В. Пасові передачі. Теорія, розрахунки, конструювання: Навчальний посібник / За ред...В.С. Павленка. К.: «Хай-Тек Прес», 2015. 140 с.

14. Про комплексну державну програму енергозбереження України. Постанова Кабінету Міністрів України від 5.02.97, № 148.

15. Рекламні проспекти закордонних та вітчизняних фірм і підприємств.

16. Ромащенко М. І. Визначення ерозійно безпечних поливних норм в умовах зрошення дощування сільськогосподарських культур на полях з похилами / М. І. Ромащенко, О. В. Шевченко // Меліорація і водне господарство. 2014. Вип. 91. С. 13 - 21.

17. Сівак Р.І. Короткий курс теоретичної механіки / Р.І. Сивак, І.А. Деревенько. – Вінниця: ТОВ «Вінницька міська друкарня», 2016. 200 с.

18. Capital Jnvestment. Jrrigation youruni. 2017. vol. 28. P.28 - 29.

19. Gilley J. Suitability of Reduced Pressure Center-Pivots. – Yournal of Jrrigation and Drainage Engineering, 2014. Vol. 110. P. 22 - 34.

20.Journal of Applied Irrigation Science.Vol.31(2), October 2016, pp 155 - 163.

21. Pierce introduces three new systems. Jrrigation Age. 2019. Vol. 13. P.6 - 8.

22. Sampas R. et al. Economic evaluation of on – farm water management progects // Water Resources Bulletin. 2016. vol. 22. - № 2. P. 191 204

ДОДАТКИ

Міністерство освіти і науки України

Дніпровський державний аграрно -економічний університет
Інженерно -технологічний факультет

Обґрунтування параметрів та режимів роботи дощувальної машини

Магістерська кваліфікаційна робота на здобуття
освітнього ступеня «Магістр» за спеціальністю 208 Агроінженерія

Виконав: студент групи МгАІ -1-23
Віктор ЧОРНИЙ
Керівник: к.т.н., доцент
Наталія ПОНОМАРЕНКО

Дніпро - 2024

Мета роботи полягає у підвищенні рівномірності поливу та якості дощу двоконсольних дощувальних агрегатів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішувались такі ***задачі***:

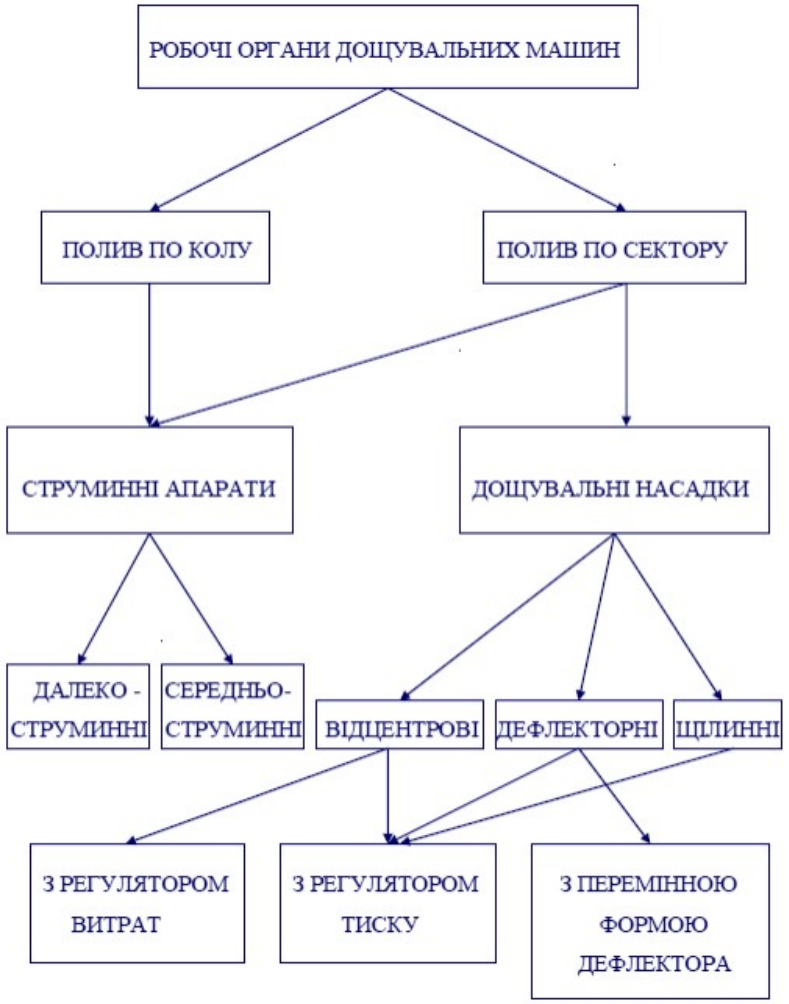
- розробка нових конструкцій водорозподільних вузлів і дощувальних насадок для використання на водопровідному трубопроводі двоконсольних дощувальних агрегатів;
- визначення витратних характеристик і показників якості дощу розроблених дощувальних насадок різних типорозмірів;
- оптимізація схем розміщення дощувальних насадок та їхніх типорозмірів уздовж водопровідного трубопроводу агрегата;
- проведення порівняльних випробувань існуючого дощувального агрегата та його нових модифікацій;
- оцінка ефективності використання розроблених модифікацій дощуваль-ного агрегата.

.

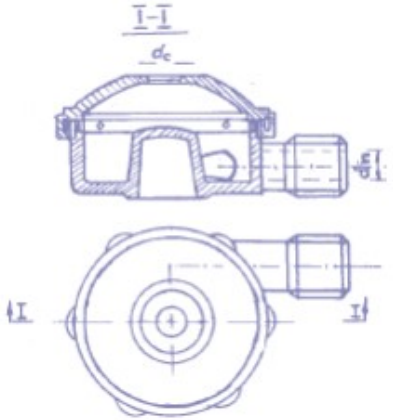
Об'єкт дослідження – процес подачі та розподілу води двоконсольними дощувальними агрегатами на поверхню грунту .

Предмет дослідження – рівномірність поливу, якість дощу, схеми та конструкції дощувальних насадок двоконсольних дощувальних агрегатів.

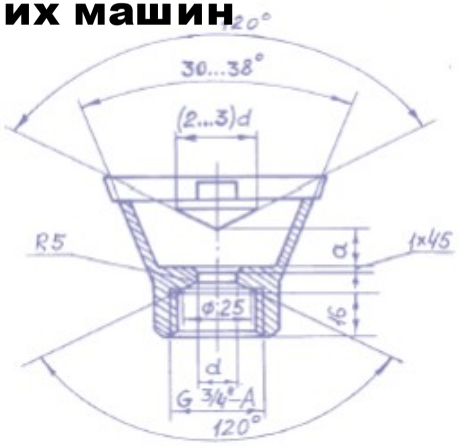
Блок-схема класифікації дощувальних апаратів та насадок



Типи робочих органів на водопровідному трубопроводі дощувальних машин



Відцентрова насадка конструкції ВНПО «Радуга»



Серійна дефлекторна насадка кругової дії

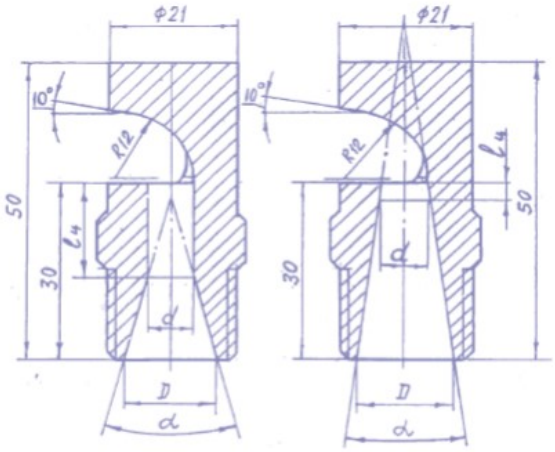
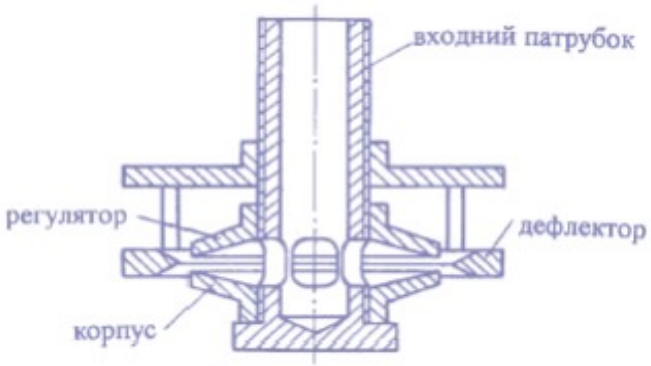


Схема кільцевої дефлекторної насадки

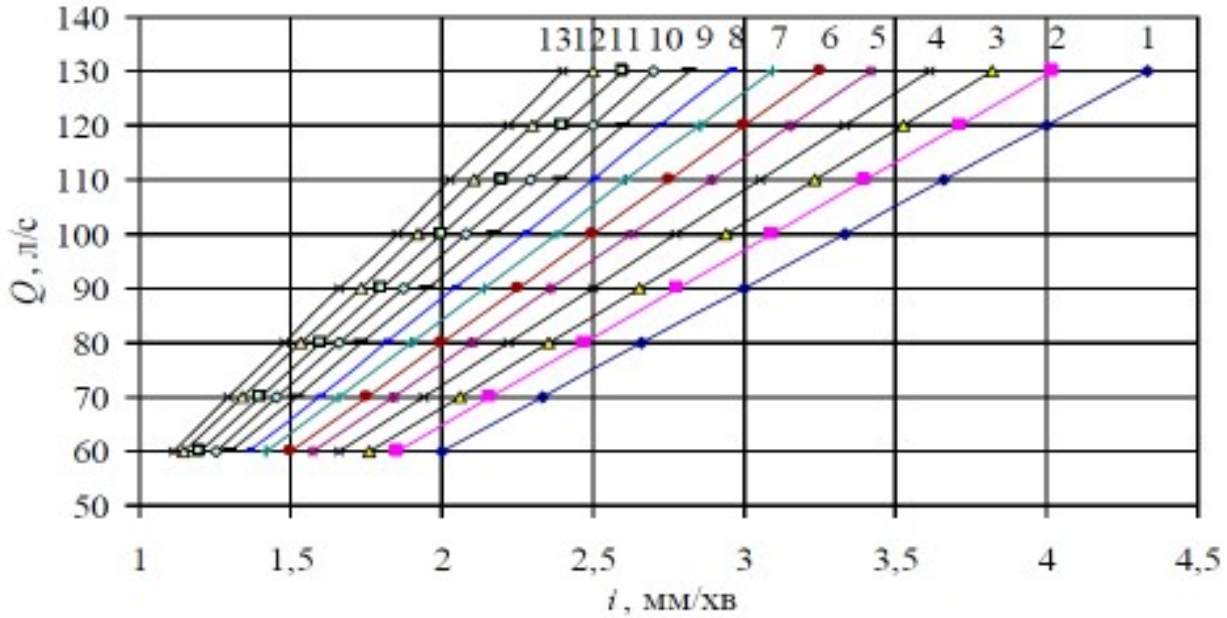


Дефлекторна насадка секторної дії «Кубань» (а) та «Таврія» (б)

4

БЛОК-СХЕМА НАПРЯМІВ ПІДВИЩЕННЯ РІВНОМІРНОСТІ ТА ЯКОСТІ ДОЩУ АГРЕГАТА ДДА100МА-1

ЗАЛЕЖНІСТЬ ВИТРАТ ВОДИ ВІД ІНТЕНСИВНОСТІ ДОЩУ ПРИ РІЗНІЙ ДОВЖИНІ СМУГИ ДОЩУ



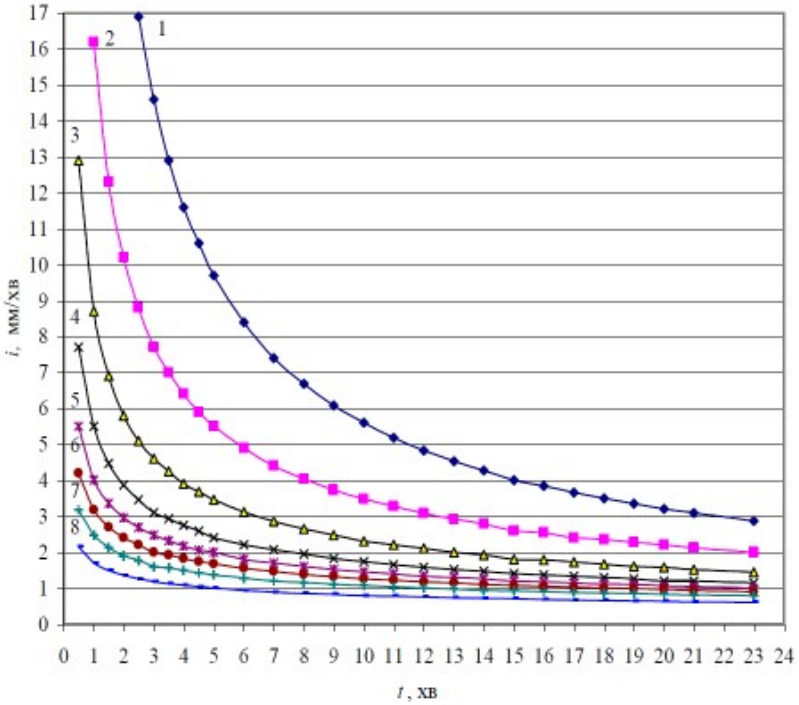
1 – 15 м; 2 – 16 м; 3 – 17 м; 4 – 18 м; 5 – 19 м; 6 – 20 м; 7 – 21 м;
8 – 22 м; 9 – 23 м; 10 – 24 м; 11 – 25 м; 12 – 26 м; 13 – 27 м.

Інтенсивність дощу ДДА -100МА-1 при різній витраті води і довжині смуги дощу

$$i = \frac{60 \cdot Q}{B \cdot L},\ мм/хв.,$$

де Q - витрата води агрегата, л/с;
B - довжина смуги дощу, м;
L - ширина полоси дощу, м.

ЗАЛЕЖНІСТЬ ІНТЕНСИВНОСТІ ДОЩУ ВІД ТРИВАЛОСТІ ДОЩУВАННЯ З ВРАХУВАННЯМ ВОДОПРОНИКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ ҐРУНТУ, ДІАМЕТР КРАПЕЛЬ ДОЩУ *D* = 1,5 ММ



1 - легкі ґрунти, *a* = 1,25; 2 - перші середні ґрунти, *a* = 1,5; 3 - другі середні ґрунти, *a* = 1,75; 4 - перші важкі ґрунти, *a* = 2,0; 5 - другі важкі ґрунти, *a* = 2,25; 6 - треті важкі ґрунти, *a* = 2,5; 7 - перші дуже важкі ґрунти, *a* = 2,75; 8 - другі дуже важкі ґрунти, *a* = 3,0.

Час дощування до створення стоку:

$$t_{доп} = \frac{m_{доп}}{i}, \text{ хв.},$$

де $m_{доп}$ - допустима норма поливу до стоку, мм;
i - інтенсивність дощу, мм/хв.

Інтенсивність дощу та час безперервного дощування до стоку при постійному діаметрі крапель пов'язані між собою степеневою функцією:

$$i^a = t_{доп} = C = \text{const},$$

де a - показник, який характеризує вбираючу спроможність ґрунту;

C - постійна водопроникна спроможність ґрунту, яка визначається в кожному випадку для конкретного ґрунту;

$t_{доп}$ - час безперервного дощування до створення стоку при постійному діаметрі крапель, хвилин.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

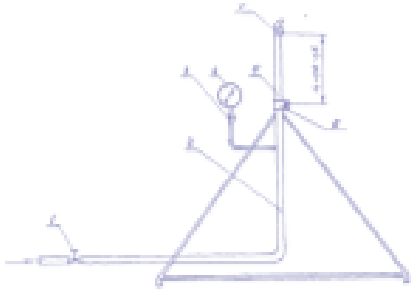


Схема установки для визначення параметрів факелу дощу короткоструминних дощувальних насадок:
1 - запірно-регулюючий кран; 2- подаючий трубопровід;
3 - кран; 4 - манометр; 5 - телескопічна труба; 6- затискач;
7 - дощувальна насадка

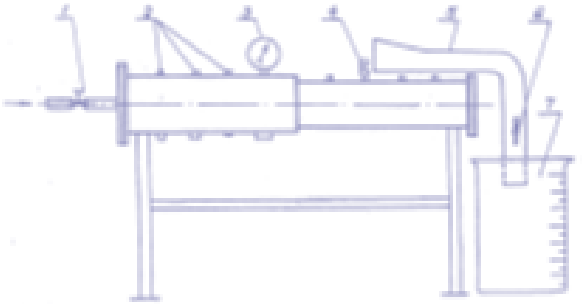


Схема стенду для визначення витрат короткоструминних дощувальних насадок:
1 - запірно-регулюючий кран; 2- місце розміщення насадок;
3 - манометр; 4 - дощувальна насадка; 5- приймальна горловина;
6 - відсічний пристрій; 7- мірна ємкість

Схема стенду для випробування дощувальних насадок і водорозподільних вузлів на зносостійкість:
1 - насос з електродвигуном; 2- вакуумметр (ОБВ 1- 100);
3 - всмоктуючий трубопровід; 4 вентиль А - 80-10;
5 - ємкість, бак (2,38 м³); 6 - манометр (ОБМ 1 - 100);
7 - вентиль А - 50-10; 8 - подаючий трубопровід; 9 - показник рівня води; 10 - з'єднувальний трикутник

Витрати насадок і водорозподільних вузлів:

$$Q_i = \frac{V_i}{t_i},$$

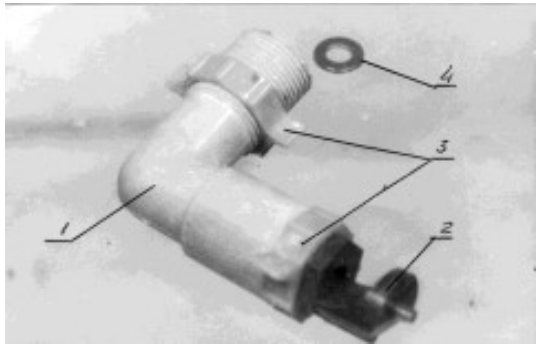
де V_i - об'єм води в мірному баку, л;
t_i - час наповнення бака, сек

Коефіцієнт витрат:

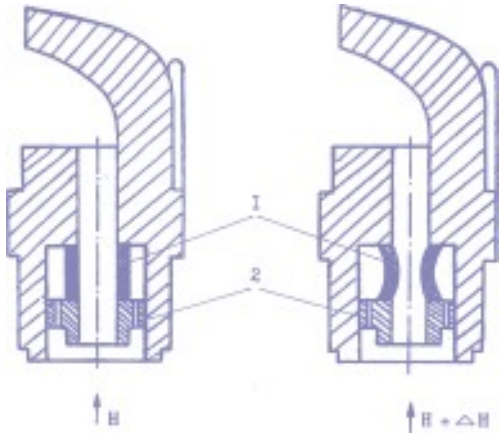
$$\mu = \frac{Q_i}{\omega \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}},$$

де Q_i - витрата води, м³/с;
ω - площа отвору насадки, м²;
g - прискорення сили тяжіння, м/с²;
H - напірна вході насадки, м.

РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАННЯ УДОСКОНАЛЕНОГО ДОЩУВАЛЬНОГО АГРЕГАТА ДДА100МА-1

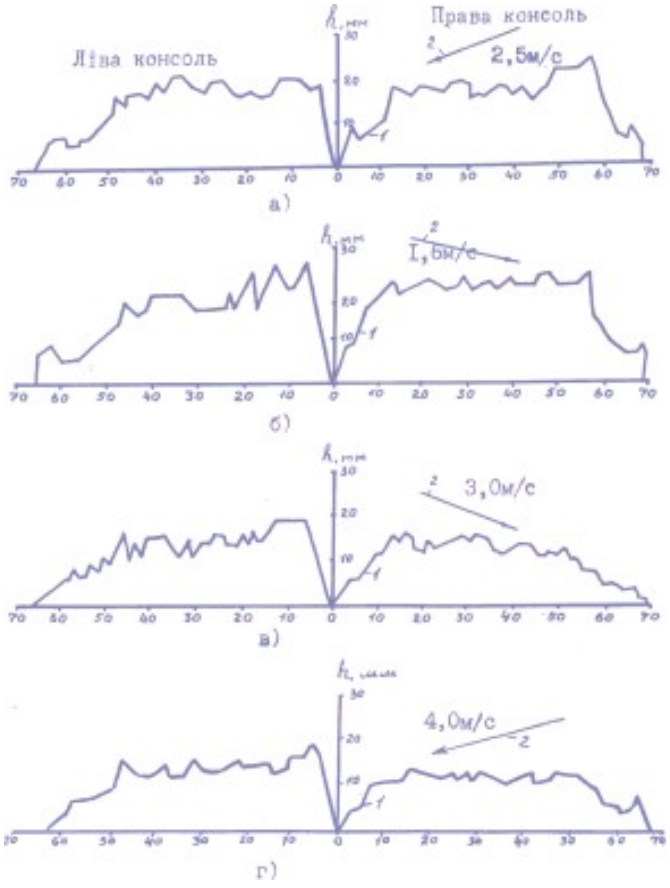


Удосконалений водорозподільний вузол:
1 – відкрилок; 2– насадка секторної дії;
3 – контргайки; 4– дюза (калібрований отвір)



а) б)

Дощувальна насадка секторної дії з регулюючою дюзою:
а) при мінімальному значенні робочого напору;
б) при підвищеному робочому напорі;
1 – регулююча дюза; 2– жорстка втулка.



Розподіл шару дощу уздовж консолей удосконаленого ДДА-100МА-1 за 4 проходи агрегата (1) при різній швидкості вітру (2):
а) витрата 130 л/с; б) витрата 100 л/с;
в) витрата 80 л/с; г) витрата 60 л/с.

Загальні висновки

1. Обґрунтовано використання нових низькоінтенсивних модифікацій агрегата ДДА-100МА-1 з витратами води 60, 80, 100, 130 л/с, які дозволяють порівняно з серійним агрегатом зменшити енергетичну дію крапель дощу на грунт і розширити діапазон використання їх на ділянках зрошення з різною водопроникністю грунту.

2. Розроблено математичну модель розрахунку оптимальних параметрів і типів дощувальних насадок та схем їх розміщення на водопровідному трубопроводі агрегата ДДА-100МА-1, що забезпечує новим модифікаціям агрегату високу рівномірність поливу (коефіцієнт ефективного поливу 0,82–0,89) та якісну структуру крапель дощу уздовж водопровідного трубопроводу (H/d = 1800 – 2400).

3. В результаті досліджень визначено, що основні показники якості дощу та рівномірності поливу удосконаленого агрегата вищі порівняно з серійним Так, діаметр крапель дощу зменшився в 1,16 рази, а силова дія їх на грунт майже в 1,3 – 1,7 рази, середня інтенсивність дощу знизилась практично в 1,2 рази, а коефіцієнт ефективного поливу підвищився в 1,2 разів

4. Дослідженнями встановлено, що висока якість та рівномірність поливу удосконаленого агрегата ДДА-100МА-1 дозволяє забезпечувати економне використання палива та води. Порівняно з серійним агрегатом енерговитратина полив зменшуються на 16,7% для агрегата з витратами води 130 л/с та на 6% і 3,8% відповідно для агрегата з витратами води 100 л/с і 80 л/с.

5. Визначено, що оптимізація насосно-силового обладнання для модифікацій агрегата ДДА-100МА-1 з витратами води 60, 80, 100 л/с дозволить економити паливо для агрегата з витратами води 60 л/с у розмірі 3,7 кг/год, з витратами 80 л/с та 100 л/с відповідно 2,4 кг/год і 1,5 кг/год.

6. Розроблені низькоінтенсивні модифікації агрегата ДДА-100МА-1 забезпечують високу якість і надійність поливу з меншими витратами води, витримали державні випробування і рекомендовані до серійного виробництва

8. Економічний ефект від використання розробленої нами мобільної дощувальної машини на площі зрошення 20 га за рахунок зменшення експлуатаційних витрат на енергоносії і капітальних витрат на придбання дощувальної техніки складає 2360 грн. порівняно з використанням машини ДДА-100МА-1 і 9040 грн. порівняно з використанням машини італійської фірми “Valdussi”.