

УДК 62-93:681.5

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ФОРСУНОК ВОДОВИПАРНИХ СИСТЕМ ЗВОЛОЖЕННЯ ВИСОКОГО ТИСКУ

Савченко В.М., Міненко С.В., Крот В.В.

Житомирський національний агроєкологічний університет

При аналізі сучасних систем підтримання мікроклімату в середовищі захищеного ґрунту виявлено широке застосування водовипарних систем, що працюють на високому тиску. Це дає змогу зменшити величину крапель води, що виходить із сопла форсунки і сприяє якісному переходу води у вологість, при цьому поглинається велика кількість тепла, що знижує температуру приміщень. Аналіз публікацій виявив недостатню кількість досліджень в галузі надійності роботи форсунок, як основного вузла системи, некоректна робота яких впливає на якість розпилення води. і якість їх роботи. Основними параметрами, що досліджувалися були забрудненість фільтрів форсунок при їх різному напрацюванні, продуктивність форсунок зі змінним. В статті розглянуті експериментальні дослідження роботи форсунок з різним напрацюванням напрацювання, а також факел розпилу форсунок, як основного параметру якості роботи форсунки. З'ясовано, що при напрацювання більше 1500 годин фільтри форсунок збільшують свою масу більш ніж на 45%, що призводить до зниження їх пропускної здатності і як наслідок зниження продуктивності форсунок більш ніж 20%. При цьому факел розпилу не покриває необхідну площу, що призводить до погіршення роботи системи та появи мікропротіягів у вертикальній площині. Експериментальні дослідження показали, необхідність проведення технічного обслуговування форсунок в межах 1200...1300 годин напрацювання.

Ключові слова: форсунка, випаровування, фільтр, продуктивність.

Актуальність теми

Випарне охолодження лежить в основі однієї з найперших придуманих людиною систем охолодження простору, де охолодження повітря відбувається за рахунок природного випаровування води. Для боротьби з високими температурами в теплий період року використовується випарне охолодження, а в холодний період року форсунка використовується для зволоження повітря. Виявлено, що при закінченні потоку з отворів перекритих аркою, ефективно дроблення відбувається, як за рахунок зіткнення зустрічних потоків, так і внаслідок виникнення під аркою автоколивального процесу.[1]

Численні експериментальні дослідження показують, що струмені рідини, потрапляючи з отвору в середовище газу, пульсують. При певних

умовах пульсація рідини посилюється вздовж струменя і призводить до розпаду її на краплі. Характер пульсуючого руху залежить від форми сопла, з якого випливає струмінь, масштабу початкової турбулентності рідини в струмені, фізичних властивостей рідини і газу і їх відносної швидкості [2].

Поширене застосування розпилювання пояснюється тим, що під час цих процесів, зменшення розмірів крапель, збільшує коефіцієнт теплопередачі, а отже зменшує час протікання процесу [3].

Численні роботи з дослідження працездатного стану форсунок не описують граничні стани, при яких форсунка не виконує покладені на неї функції.

Мета статті

Відповідно до поставленої проблеми метою статті є проведення експериментальних досліджень з форсунками, що мають різне напрацювання і прийняття рекомендацій щодо проведення технічного обслуговування форсунок або їх заміни.

Методика (методологія) дослідження

Метою експериментальних досліджень є перевірка і доповнення результатів отриманих теоретичних положень, встановлення значень раціонального часу роботи форсунок, при якому не порушаються допустимі вимоги, а також перевірка якості роботи елементів форсунок.

Програма включає проведення лабораторних та виробничих випробувань. У відповідності з поставленою метою в лабораторних умовах передбачається:

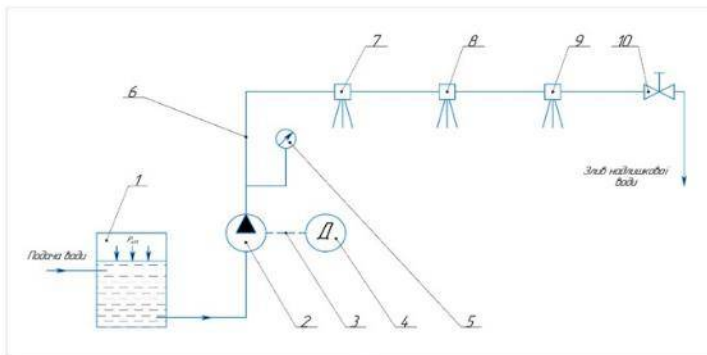
- дослідження забрудненості фільтрів форсунок при їх різному напрацюванні;
- вивчення продуктивності форсунок зі зміною напрацювання;
- дослідження факелу розпилю форсунок, як основного параметру якості роботи форсунок.

Працездатний стан форсунок залежить від багатьох факторів, що характеризують умови їх роботи (якість води, що подається до форсунок, час роботи форсунок, циклічність роботи і т.д.) [4]. Основними показниками, що визначають якість роботи форсунок є її продуктивність та факел розпилю, зниження яких до значень нижче 20% від номінального обумовлює нероботоздатний стан форсунок. Крім цього відмовою форсунок слід вважати: підкапування води через сопло, що обумовлено виходом з ладу фільтра та виходу з ладу запірною клапана.

Для визначення роботи форсунок визначаємо її продуктивність, тобто кількість води що проходить через форсунку на протязі певного часу.

Виклад основного матеріалу.

При проведенні лабораторних випробувань об'єктом дослідження є макетний зразок системи туманоутворення (рис.1), яка складається з наступних основних вузлів: насосної станції, що складається з плунжерного насоса високого тиску, пасового приводу насоса, електродвигуна; манометра; труб високого тиску з фітингами, спеціального призначення; форсунок; регулювального крану.



а)



б)

Рис. 1. Лабораторна установка для випробування форсунок систем туманоутворення: а – схема; б – загальний вигляд; 1 - акумуляційна ємність; 2 – плунжерний насос; 3 – пасова передача; 4 – електродвигун; 5 – манометр; 6 – труба високого тиску з фітингами; 7 – форсунка(еталон); 8 – форсунка($t=750$ год); 9 – форсунка($t=1500$ год); 10 – кульовий кран.

Принцип роботи дослідної установки полягає в наступному: вода з центральної магістралі під тиском 2-3 бар подається до акумуляційного бачка, де відбувається змішування води з барвником, в якості барвника приймалась фарба WWM(C10/11SET4-2), яка є повністю розчинна у воді. Потім суміш подається на вхід до плунжерного насосу, який створює на

виході тиск 70 бар, що заміряється манометром. І суміш по трубах високого тиску рухається до форсунок (рис.2)[5].

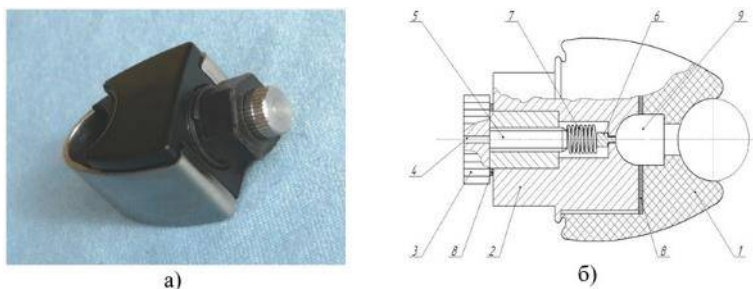


Рис. 2. Форсунка для утворення дисперсного туману в приміщенні теплиць: а) загальний вигляд; б) схема; 1 – корпус; 2 – центральна частина; 3 – головка; 4 – каліброване сопло; 5 – клапан; 6 – елемент ущільнення; 7 – пружина; 8 – прокладка ущільнення; 9 – фільтр.

Форсунка, як технічна система включає в себе декілька механізмів, які забезпечують її нормальне функціонування. Вода або водний розчин подається з трубопроводу на фільтр 9 (рис.3) де відбувається відокремлення можливих сторонніх домішок. Через отвір центральної частини 2 форсунки під тиском в 60...120 Бар розчин діє на запобіжний від протікання форсунки ущільнюючий елемент 6 клапана 5. Рідина, попавши у внутрішній об'єм центральної частини, під тиском подається до каліброваного сопла 4 головки 3. Під дією перепаду тиску при виході із сопла, рідина диспергується до дрібних частинок туману. Факел утвореного туману може досягати до 3 м віддалення від форсунки. Так як продуктивність плунжерного насосу становить 450 л/год., а продуктивність однієї форсунки 4,1 л/год(на магістралі змонтовано 3 форсунки), то в кінці магістралі поставлено кульовий 8 – форсунка($t=750$ год) кран, який виконує функцію дроселя, тобто вирівнює продуктивність насоса із продуктивністю 3-х форсунок. Після крана суміш по дренажному шлангу відводиться в дренаж.

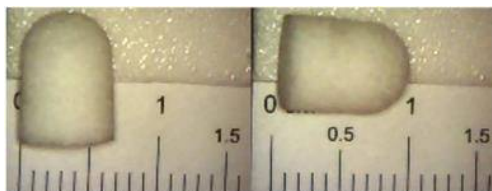


Рис. 3. Фільтр форсунки.

Для визначення забрудненості фільтра використовувалась фотозйомка фільтрів, як нових, так і з різним напрацюванням у 4-х перерізах (рис.4) та ваговий метод.

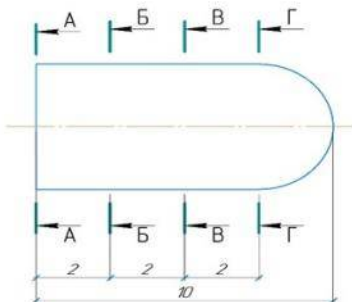


Рис 4. Схема фотозйомки фільтра.

При фотозйомці використовувався мікроскоп SIGETA CAM-03, що дав можливість збільшити результати фотозйомки у 50 разів. Результати фотофіксації фільтрів з різним напрацюванням досліджувались на наявність білих (не забруднених) частин. Результати фотозйомки наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Результати фотозйомки фільтрів при збільшенні їх в 50 раз

| № фільтра та напрацювання | Знімок 1 | Знімок 2 | Знімок 3 | Знімок 4 |
|---------------------------|----------|----------|----------|----------|
| 1 (новий) | | | | |
| 2 (750 год) | | | | |
| 3 (1000 год) | | | | |
| 4 (1500 год) | | | | |

В подальшому фільтри досліджувались ваговим методом, для визначення ступеню забрудненості. Результати наведені в таблиці 2.

Для реалізації даного методу використовувалися електронні ваги Digital Scale-500 (500 гр ± 0,1).

При цьому фільтри зважувались з вологістю 10%.

Таблиця 2. Результати зважування фільтрів.

| № фільтра (напрацювання) | Вага, г | Забрудненість, % |
|-----------------------------|---------|------------------|
| 1(Новий) | 0,11 | 0 |
| 2(750 год) | 0,14 | 87,5 |
| 3(1000 год) | 0,14 | 87,5 |
| 4(1500 год) | 0,15 | 93,75 |

Визначення продуктивності форсунки на лабораторній установці (рис.3.1) проводилось за допомогою обладнання (рис. 3.5): три скляні колби, один мірний циліндр(ГОСТ 1770-74), секундомір(ДСТУ7230:2011).

У ході проведення досліджень визначалась хвилинна витрата рідини через форсунку. Дослід проводився на новій форсунці, повторюваність складала 3 рази. Досліджувались форсунки, напрацювання яких складало 750 год та 1500 год, з 3-х разовою повторністю. Результати наведені в таблиці 3.

Таблиця 3. Результати досліджень продуктивності форсунки

| Напрацювання форсунки, год | 1 замір, мл (л/год) | 2 замір, мл (л/год) | 3 замір, мл (л/год) | Середнє значення |
|-------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|---------------------|
| Еталон | 68(4,08) | 70(4,2) | 67,5(4,05) | 68,5(4,11) |
| 750 | 65(3,9) | 67(4,02) | 66(3,96) | 66(3,95) |
| 1000 | 61,2(3,67) | 59,5(3,57) | 60,5(3,63) | 60,8(3,65) |
| 1500 | 52(3,12) | 53(3,18) | 51(3,06) | 52(3,12) |

Час роботи системи при визначенні хвилинової продуктивності склав 1 хв. При цьому кількість води в скляній колбі дорівнювала хвилинової продуктивності досліджуваної форсунки ($Q_{хв}$).

Для переходу від хвилинової витрати води в л/год використовували формулу:

$$Q_{год} = 0,06 \times Q_{хв} \text{ л/год} \quad (1)$$

Результати замірів порівнювалися з номінальними даними заводу-виробника.

При оцінці ефективності розпилу робимо припущення, що факел води, що виходить з форсунки має конусоподібну форму і при відповідному кроці форсунок в проектуванні на горизонтальну площину покриває більше 70% площі теплиці.

При виході з ладу форсунок факел розпилу теж має конусоподібну форму, але з меншим діаметром основи, що призводить до зменшення діаметра площі, що покривається і як наслідок появи турбулентних потоків та мікропротягів, що є шкідливим для рослин.

Для оцінки форми та геометричних розмірів конуса води, що створюється форсункою використовувалась наступна схема:

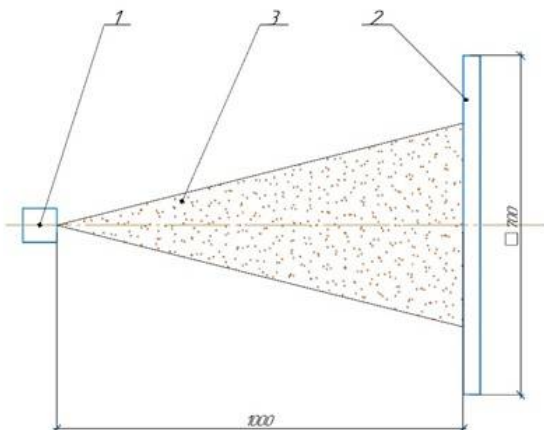


Рис.5. Схема взяття відбитка факела.

Для наглядного зображення факелу вода фарбувалась у колір, за допомогою фарби WWM(C10/11SET4-2), яка є розчинною у воді і не впливає на процес роботи системи.

Фарбована вода подавалась на біле полотно розміщене на відстані 1 метра на протязі 3-х хвилин, для форсунок з різним напрацюванням.

В подальшому проводилась графічна обробка, що дозволила визначити площу покриття водою в горизонтальній площині для форсунок з різним напрацюванням.

Таблиця 4. Результати дослідження факелу розпилю

| № фільтра (напрацювання) | Діаметр відбитку на відстані 1 м | Кут розпилю, град | Площа проекції на горизонтальну площину, см ² |
|--------------------------|----------------------------------|-------------------|--|
| Новий (0 год) | 470 | 27 | 2350 |
| (750 год) | 430 | 24 | 2150 |
| (1000 год) | 390 | 22 | 1950 |
| (1500 год) | 380 | 21 | 1900 |

Одним з основних критеріїв працездатного стану форсунок, що впливає на роботу всієї системи є зміна продуктивності форсунок (див. табл. 4). Заводом виробником регламентується заміна фільтрувального елемента при зниженні продуктивності форсунки на 20 %, тобто до рівня 3,36 л/год.

Результати лабораторних досліджень зображені на рис.6.

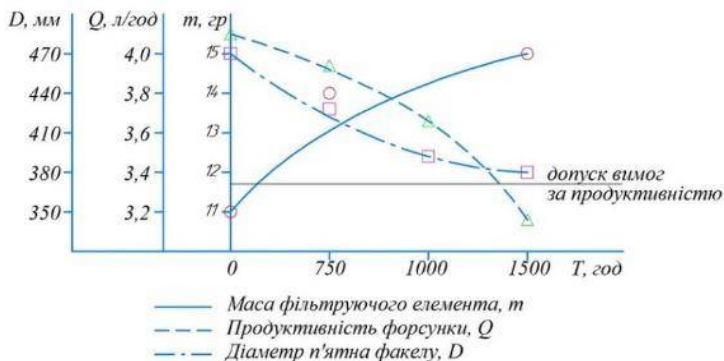


Рис.6. Зміна маси фільтруючого елемента, продуктивності форсунок та діаметра п'ятна факелу від напрацювання форсунки.

З даного графіку видно, що з напрацюванням забрудненість фільтра зростає, що пояснюється збільшенням домішок на фільтрувальному елементі форсунки і як наслідок продуктивність форсунки падає. При цьому діаметр факелу розпилу починає стабілізуватися, що пояснюється критичним забиванням фільтра форсунки.

Висновки.

Проведені експериментальні дослідження роботи форсунки системи водовипарного зволоження високого тиску показали, що зі збільшенням напрацювання фільтри форсунок збільшують свою масу більш ніж на 45%, що пояснюється наявністю у воді домішок, при цьому відбувається зниження продуктивності форсунок більш ніж на 20%, що призводить до неякісної роботи системи. При цьому факел розпилу зменшується, і як наслідок, не покривається необхідна площа приміщення дрібнодисперсною водою. Завод-виробник форсунок пропонує проводити заміну фільтрів при падінні продуктивності більш ніж на 20%. При експериментальних дослідженнях з'ясовано, що заміну фільтрувального елемента форсунок доцільно проводити при напрацюванні системи в межах 1200...1300 годин роботи.

Литература

1. Міненко С.В. Класифікація способів зняття перегріву рослин в індустріальних теплицях/ С.В. Міненко, В.М. Савченко, В.В. Крот//Вісник Житомирського національного агроєкологічного університету.-2016.-№ 1 (1).-С. 276-282.
2. Витман Л.А., Кацнельсон Б.Д., Палеев И.И. Распыливание жидкостей форсунками - М.-Л.: Госэнергоиздат, 1962. -264с.
3. Savchenko, V. Researching indexes of reliability of systems of microclimate control onto productivity of products of protected soil / V. Savchenko, S. Minenko, V. Krot // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин : загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб. - Кропивницький : КНТУ, 2016. - Вип. 46. - С. 105-108.
4. Бойко А. І. Дослідження впливу наробітку форсунки на ймовірності відмов запірного клапану/ А. І Бойко, В. М. Савченко, В. В. Крот // Технічний сервіс агропромислового, лісового і транспортного комплексів. – 2017. – №8. – С. 84-90.
5. Бойко А. І. Встановлення середнього наробітку до відмови форсунки і середнього часу на відновлення фільтра і клапана/ А. І Бойко, В. М. Савченко, В. В. Крот // Вісн. Луцького нац. техн. ун-ту. – 2017. – Вип. 36. – С. 3–9.

Abstract

EXPERIMENTAL RESEARCHES OF NOZZLES OF WATER EVAPORATION HUMIDITY HIGH PRESSURE SYSTEMS

Savchenko V.M., Minenko S.V., Krot V.V.

When analyzing modern microclimate maintenance systems in the protected soil environment, a wide application of water-vapor systems operating at high pressure was found. This allows reducing the amount of water droplets coming out of the nozzle and contributes to the qualitative transfer of water to moisture, while absorbing a large amount of heat that lowers the temperature of the premises. The analysis of publications revealed insufficient number of studies in the field of reliability of the nozzles, as the main node of the system, the incorrect operation of which affects the quality of water spraying. The article describes the experimental research of the nozzles with different outputs and the quality of their work. The main parameters that were investigated were the pollution of nozzle filters at their different production, the performance of nozzles with variable yields, as well as the torch of nozzle cutting, as the main parameter of the quality of the nozzle. It has been found out that in case of working more

than 1500 hours, injector filters increase their mass by more than 45%, which leads to a decrease in their throughput and as a result of reduction of productivity of injectors by more than 20%. In this case, the torch does not cover the required area, which leads to a deterioration of the system and the appearance of microprocesses. Experimental studies have shown the need for maintenance of nozzles within 1200 ... 1300 hours of operation.

Key words: nozzle, evaporation, filter, productive.

Аннотация

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФОРСУНОК ВОДОИСПАРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ УВЛАЖНЕНИЯ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ.

Савченко В.Н., Миненко С.В., Крот В.В.

При анализе современных систем поддержания микроклимата в среде защищенного грунта обнаружено широкое применение систем водоиспарительного увлажнения и охлаждения воздуха, работающих на высоком давлении. Это позволяет значительно уменьшить размер капель воды, выходящей из сопла форсунки и способствует качественному переходу воды в влажность, при этом поглощается большое количество избыточного тепла, и понижается температура помещений. Анализ публикаций показал недостаточное количество исследований в области надежности работы форсунок, как одного основных узлов системы, неправильная работа которых влияет на качество распыления воды. В статье рассмотрены экспериментальные исследования работы форсунок с разным наработкой, а также факелом распыления, как основного параметра качества работы форсунки. Выяснено, что при наработке форсунок более чем 1500 часов, фильтры форсунок увеличивают свою массу более чем на 45%, что приводит к снижению их пропускной способности и как следствие снижению производительности форсунок более 20%. При этом факел распыления не покрывает необходимую площадь, что приводит к ухудшению работы всей системы, появления микропротягов в вертикальной плоскости и негативно влияет на качественные и количественные показатели выращиваемой продукции защищенного грунта. Экспериментальные исследования обосновали необходимость проведения технического обслуживания форсунок в пределах 1200 ... 1300 часов наработки.

Ключевые слова: форсунка, испарения, фильтр, производительность.