

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

**Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу**

**Кваліфікаційна робота
на правах рукопису**

БУЛИЧ РОМАН ПЕТРОВИЧ

УДК 631.67:631.544:635.8

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПОЛИВУ ГРИБІВ У
ТЕПЛИЧНИХ УМОВАХ ЗА РАХУНОК
ЗАСТОСУВАННЯ УДОСКОНАЛЕНОЇ
УСТАНОВКИ ПОЛИВУ**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр
кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання
ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело
_____ Булич Р.П.

Керівник роботи
Білецький В.Р.
кандидат технічних наук, доцент

Житомир – 2025

АНОТАЦІЯ

Булич Роман Петрович. Підвищення якості поливу грибів у тепличних умовах за рахунок застосування удосконаленої установки поливу. – *Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2025.

Магістерська робота присвячена вирішенню актуального науково-практичного завдання підвищення якості поливу при вирощуванні печериць у культиваційних камерах тепличного типу. Метою дослідження є вдосконалення поливної установки шляхом застосування віялової дощувальної насадки зі змінною формою сопла, що забезпечує поліпшення параметрів дощу та рівномірності зволоження субстрату.

У роботі виконано аналіз існуючих способів поливу та конструкцій дощоутворюючих пристроїв, які застосовуються у культиваційних камерах. Встановлено, що більшість серійних поливних насадок формують дощ із надмірним діаметром крапель, низькою інтенсивністю та недостатньою рівномірністю поливу, що негативно впливає на якість вирощування грибів. На основі проведеного аналізу розроблено конструкцію автоматизованої поливної установки з віяловою дощувальною насадкою, оснащеною соплом змінного перетину.

Експериментальні дослідження підтвердили ефективність запропонованого технічного рішення. Встановлено, що застосування віялової дощувальної насадки забезпечує стабільну роботу поливної установки за низького тиску води в діапазоні 0,02–0,04 МПа та формування дощу з переважним вмістом крапель діаметром 0,8–1,4 мм. Оптимальні параметри насадки (ширина сопла 2–5 мм та висота 2–12 мм) забезпечують поливну норму 1,5 л/м², інтенсивність дощу 14,1–14,7 мм/хв і високий коефіцієнт рівномірності поливу, що досягає 94 %.

Отримані результати свідчать про доцільність впровадження розробленої поливної установки у виробничих умовах грибівництва. Подальші дослідження доцільно спрямувати на автоматизацію процесів поливу та вдосконалення конструкції віялової дощувальної насадки з метою створення дощувальних пристроїв із програмованою рівномірністю розподілу дощу по зоні поливу.

Ключові слова: віялова дощувальна насадка, полив, тиск, коефіцієнт рівномірності, діаметр крапель.

ANNOTATION

Bulych Roman Petrovych. Improving the quality of mushroom irrigation under greenhouse conditions through the use of an improved irrigation system. – Qualification work on the rights of the manuscript.

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 Agricultural Engineering. – Polissia National University, Zhytomyr, 2025.

The master's thesis is devoted to solving an actual scientific and practical problem of improving the quality of irrigation in the cultivation of button mushrooms in greenhouse-type cultivation chambers. The aim of the study is to improve the irrigation system through the application of a fan-type sprinkler nozzle with a variable nozzle shape, which ensures better rainfall parameters and uniform substrate moistening.

The study includes an analysis of existing irrigation methods and the designs of rain-forming devices used in cultivation chambers. It has been established that most commercially available sprinkler nozzles produce rainfall with excessively large droplet diameters, low intensity, and insufficient uniformity of irrigation, which negatively affects the quality of mushroom cultivation. Based on the conducted analysis, a design of an automated irrigation system equipped with a fan-type sprinkler nozzle featuring a variable cross-section nozzle has been developed.

Experimental studies have confirmed the effectiveness of the proposed technical solution. It has been found that the use of a fan-type sprinkler nozzle ensures stable operation of the irrigation system at low water pressure in the range of 0.02–0.04 MPa and forms rainfall with a predominant content of droplets with diameters of 0.8–1.4 mm. The optimal nozzle parameters (nozzle width of 2–5 mm and nozzle height of 2–12 mm) provide an irrigation rate of 1.5 L/m², rainfall intensity of 14.1–14.7 mm/min, and a high coefficient of irrigation uniformity reaching 94%.

The obtained results indicate the feasibility of implementing the developed irrigation system in practical mushroom production. Further research should be focused on the automation of irrigation processes and improvement of the fan-type sprinkler nozzle design in order to develop sprinkler devices with programmable uniformity of rainfall distribution over the irrigation area.

Keywords: fan-type sprinkler nozzle, irrigation, pressure, uniformity coefficient, droplet diameter.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ. МЕТА І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	9
РОЗДІЛ 2. ЗАПРОПОНОВАНА КОНСТРУКЦІЯ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	29
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЛАБОРАТОРНИХ І ВИРОБНИЧИХ ДОСЛІДЖЕНЬ УСТАНОВКИ ПОЛИВУ, ОБЛАДНАНОЇ ВІЯЛОВОЮ ДОЩУВАЛЬНОЮ НАСАДКОЮ.....	40
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	51
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	52

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. В умовах сучасного розвитку агропромислового комплексу України особливої актуальності набуває інтенсифікація виробництва продукції з високою доданою вартістю за обмежених ресурсів та в умовах нестабільного енергозабезпечення. Однією з таких галузей є грибівництво, яке характеризується коротким виробничим циклом, високою рентабельністю та можливістю цілорічного вирощування продукції у тепличних і спеціалізованих приміщеннях. Водночас ефективність промислового вирощування грибів значною мірою залежить від точності дотримання параметрів мікроклімату, серед яких вологість і режим поливу відіграють визначальну роль.

Полив у технології вирощування грибів виконує не лише функцію зволоження субстрату, а й безпосередньо впливає на формування плодових тіл, рівномірність хвиль плодоношення, якість товарної продукції та санітарний стан тепличного середовища. Недосконалі або застарілі системи поливу часто призводять до нерівномірного зволоження субстрату, локального перезволоження або пересихання, розвитку патогенних мікроорганізмів, підвищених витрат води та енергії. У результаті знижується врожайність грибів, погіршуються їхні морфологічні та споживчі показники, а також зростає собівартість продукції.

Особливої гостроти проблема якості поливу набуває в тепличних умовах, де вирощування грибів здійснюється у багатоярусних системах, з використанням інтенсивних технологій та високої щільності розміщення субстрату. За таких умов традиційні методи зрошення не завжди забезпечують стабільність і керованість процесу подачі вологи, що потребує впровадження удосконалених інженерних рішень. Актуальним є застосування сучасних установок поливу з можливістю точного дозування води, регулювання параметрів розпилення,

автоматизованого керування режимами зволоження та інтеграції з системами контролю мікроклімату теплиць.

Крім того, зростання вартості водних і енергетичних ресурсів, а також необхідність дотримання принципів сталого розвитку та ресурсозбереження вимагають підвищення ефективності використання води у грибівництві. Удосконалення установок поливу дозволяє зменшити питомі витрати води, знизити енергоспоживання, мінімізувати втрати вологи та створити більш стабільні умови для росту і розвитку грибів. Це є особливо важливим для малих і середніх грибних господарств, які працюють у складних економічних та виробничих умовах.

З огляду на викладене, дослідження, спрямовані на підвищення якості поливу грибів у тепличних умовах за рахунок застосування удосконаленої установки поливу, є своєчасними та науково обґрунтованими. Результати такої роботи мають практичну цінність для впровадження у промисловому грибовництві, сприяють підвищенню продуктивності та якості продукції, а також відповідають сучасним тенденціям розвитку агроінженерії, автоматизації технологічних процесів і раціонального використання природних ресурсів.

Метою проведених досліджень є підвищення якісних показників при поливі печериць у культиваційній камері шляхом обґрунтування раціональних конструктивних параметрів віялової дощувальної насадки.

Для досягнення поставленої мети передбачено виконання таких наукових **завдань**:

1. Провести аналіз технологій вирощування грибів із застосуванням пристроїв поливу та визначити способи і напрямки розвитку дощоутворюючих пристроїв, що забезпечують полив печериць у культиваційній камері з необхідними якісними показниками дощу.

2. Розробити дощувальну насадку, що забезпечує створення дощу з необхідними якісними показниками (рівномірність поливу, інтенсивність дощу і

діаметр крапель), і провести теоретичне обґрунтування її конструктивних параметрів.

3. Провести експериментальні дослідження, спрямовані на оцінку впливу конструктивних параметрів віялової дощувальної насадки на рівномірність поливу і діаметр крапель.

Об'єктом дослідження є технологічний процес поливу установкою, оснащеною віяловою дощовою насадкою зі змінним перетином сопла.

Предметом дослідження залежності та взаємозв'язок якісних показників дощу, до яких відносяться рівномірність поливу та діаметр крапель дощу, з конструктивними параметрами віялової дощувальної насадки зі змінним перетином сопла.

Методи наукового дослідження. У роботі використані основні методи та положення математичного моделювання, статистичної обробки даних і системного аналізу. Теоретичний опис процесів витікання рідини з сопла змінної форми дощувальної насадки та формування дощу базувався на основних законах і методах класичної механіки та гідравліки. Експериментальні дослідження ґрунтувалися на методах лабораторних і польових дослідів, що проводилися з урахуванням вимог методик визначених ДСТУ щодо визначення якісних показників поливу автоматизованою установкою, оснащеною віяловими дощувальними насадками зі змінною формою сопла.

Перелік **публікацій** за темою роботи:

1. Білецький В.Р., Булич Р.П., Шевчук О.А. Огляд пристроїв для поливу печериць в тепличних умовах. XIV Міжнародна науково-технічна конференція «Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві» (01-17 жовтня 2025 р.). URL: <http://animal-conf.inf.ua/conf.html>.

2. Білецький В.Р., Булич Р.П. Запропонована конструкція установки для поливу грибів з віяловою дощувальною насадкою. Аналіз умов роботи та зношування стрілочастих лап культиваторів. Збірник тез доповідей XXVI Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки"

(17–19 жовтня 2025 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. С. 140-143.

3. Булич Р.П. Огляд дощувальних насадок установок для поливу грибів. Наукові читання – 2025: збірник тез доповідей науково-практичної конференції за підсумками I-го туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузей знань і спеціальностей. 23 квітня 2025 р. Житомир: Поліський національний університет, 2025. Том 2. С. 50-51.

Практична значимість виконаної роботи полягає в тому, що була створена, пройшла виробничі випробування і впроваджена нова конструкція віялової дощувальної насадки зі змінною формою сопла, здатної забезпечувати необхідні якісні показники дощу при поливі печериць в культиваційній камері автоматизованою установкою. Результати проведених досліджень рекомендуються для проектно-конструкторських підприємств при розробці та проектуванні автоматизованих поливних установок, а також для підприємств, що займаються вирощуванням грибів в культиваційних камерах.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 24 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 54 сторінки комп'ютерного тексту, містить 35 рисунків.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ. МЕТА І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Аналіз грибівництва в Україні

Грибівництво – це відносно молода, але перспективна галузь сільського господарства, яка забезпечує населення високобілковими, поживними харчовими продуктами. Культивовані гриби мають високу харчову цінність (містять 5–7% легкозасвоюваного білка, мінерали, вітаміни) та невеликі вимоги до ґрунту й клімату. В останні десятиліття в Україні, особливо після Чорнобильської аварії, значно скоротилися природні ресурси дикорослих грибів, що сприяло розвитку промислового культивування в умовах спеціальних споруд. Експерти відзначають, що в Україні існують сприятливі умови для наросування виробництва грибів: багато вивільнених приміщень (ангари, підвали, теплиці, овочесховища), доступні сировинні ресурси (торф, солома, деревина, компост) та наявна науково-дослідницька база. Так, аналітики eDorada зазначають, що українське грибівництво має великий внутрішній ринок та невикористаний потенціал, проте стримується недостатньою кількістю інвестицій. У цьому розділі проаналізовано сучасний стан галузі грибівництва в Україні, включаючи основні види вирощуваних грибів, технології вирощування (традиційні та інноваційні), умови і обладнання, динаміку виробництва з останніми статистичними даними, провідні підприємства та регіони виробництва, а також актуальні проблеми й перспективи розвитку галузі.

Промислове грибівництво в Україні розвинене порівняно недавно, проте швидко зростає. Галузь має важливе значення для продовольчої безпеки та екології, оскільки використовує агровідходи (солому, деревину, гній) для вирощування корисних продуктів. За даними аналітичних агентств, близько 95–98% українського ринку культивованих грибів припадає на печериці (*Agaricus bisporus*). Іншими популярними видами є глива звичайна (*Pleurotus ostreatus*) та

кілька екзотичних, зокрема шиїтаке. Частка імпорту грибів незначна: внутрішнє виробництво на сьогодні покриває практично весь попит ринку. За оцінками Pro-Consulting, приблизно половина вирощеної продукції надходить на внутрішні супермаркети у свіжому вигляді, ~40% – на переробку (консервування, сушіння, замороження), близько 4% експортується, а решта (~6%) реалізується в сфері громадського харчування.

Кількість господарств, що вирощують гриби, поступово скорочується через консолідацію ринку та війну. У 2014 р. в Україні нараховувалося ~300 грибних господарств, у 2021-му – близько 250. Після повномасштабного вторгнення РФ десятки невеликих підприємств призупинили діяльність, проте більшість великих ферм відновили виробництво. За оцінками експертів (січень 2024 р.), обсяги внутрішнього виробництва грибів були достатні для забезпечення внутрішнього ринку, тому потреби в імпорті на той момент не було. Водночас війна спричинила дефіцит компосту – основної сировини для вирощування шампінйонів – через пошкодження виробництв.

Найважливіші в культурному виробництві в Україні – печериці та гливи. Ці види стабільно займають провідні позиції на ринку. Печериці вирощують у двох основних сортах (білому та коричневому), їх популярність обумовлена ніжним смаком і широким застосуванням у кулінарії. Глива звичайна (вешенка) посідає друге місце за популярністю через невибагливість і швидкий цикл плодоношення. Крім них, значну увагу привертають азіатські види: шиїтаке (*Lentinula edodes*), який стає все популярнішим завдяки лікарським властивостям; опеньок зимовий та літній (*Armillaria* spp.), що вирощуються як на штучних субстратах, так і на деревних залишках; а також низка екзотичних грибів (ерінги – *Pleurotus eryngii*, «левова грива» – *Hericium erinaceus*, рейші – *Ganoderma lucidum*, енока – *Flammulina velutipes* тощо). Дослідники також згадують про можливість вирощування трюфелів, проте їх культура потребує багаторічного циклу – перший урожай можна отримати через 4–5 років після посадки коренів інокульованих дерев. Варто зазначити, що частина грибів (лісові

білі, лисички, опеньки дикорослі) і досі надходить на ринок як дика продукція, але культура цих видів не розвинена через специфіку симбіозу з рослинами.

Технологічні підходи у грибівництві варіюються залежно від виду гриба, але загальні етапи включають приготування субстрату, пастеризацію/стерилізацію, інокуляцію міцелієм, інкубацію грибниці та стимуляцію плодоношення.

Шампіньйони. Для печериць традиційно готують компост на основі коров'ячого гною, соломи, висівків та води. Компост компостують 3–4 тижні, потім пастеризують (нагрівання до $\sim 57\text{--}58^\circ\text{C}$). Після охолодження компост засівають зернистим міцелієм печериць (зазвичай у спеціальних стерильних приміщеннях), вкривають тонким шаром покривного ґрунту і підтримують вологість на рівні 90–95%. При дотриманні технології перші плодові тіла з'являються вже через місяць. Вирощування шампіньйонів потребує чіткого контролю мікроклімату: температура у фазі плодоношення становить $14\text{--}18^\circ\text{C}$, вологість 80–85%, необхідна безперервна вентиляція для видалення CO_2 та штучне освітлення (LED- або люмінесцентні лампи) 8–12 годин на добу. Відпрацьований субстрат (компост) після закінчення циклу часто використовують як добриво.

Глива звичайна. Для інтенсивного методу вирощування гливи солому пастеризують і розміщують у мішках чи блоках; потім її інокулюють міцелієм гливи. Інкубація грибниці зазвичай триває 2–3 тижні при температурі $22\text{--}24^\circ\text{C}$. Ініціацію плодоношення проводять охолодженням до $12\text{--}16^\circ\text{C}$, після чого гриби формуються 30–40 днів трьома-чотирма хвилями врожаю. Загальний цикл від закладки субстрату до першого врожаю становить $\sim 40\text{--}60$ днів, що дозволяє у промислових умовах проводити 5–6 ітерацій на рік. Для гливи достатньо підтримувати трохи нижчу температуру ($12\text{--}18^\circ\text{C}$) і вологість (80–85%) порівняно з печерицями, але необхідне регулярне провітрювання і розсіяне світло. Витрачене після плодоношення середовище гливи може

використовуватися для вермікомпостування або добрива овочів і газобіогазових установок.

Шіїтаке. Цей деревний гриб вирощують на штучному субстраті з деревинних відходів (тирса, опилки) із додаванням висівок та насіння для підживлення. Субстрат стерилізують (нагріванням чи паром) і інокують чистим міцелієм шіїтаке. Інкубацію проводять у повністю стерильних камерах при постійному контролі температури (зазвичай близько 22–25 °C) і вологості. Цикл вирощування шіїтаке за описом закарпатської ферми триває щонайменше 4 місяці. Для стимуляції плодоношення субстрат охолоджують до 15–18 °C, а приміщення додатково звожують. Такий метод потребує стерильних умов, але дає можливість отримувати високоякісний екзотичний врожай.

Інноваційними підходами вважають впровадження повністю автоматизованих систем контролю мікроклімату: автоматичного регулювання температури, вологості, вентиляції і CO₂, а також використання LED-підсвітки та сенсорів для оптимізації вирощування. Інші сучасні технології включають вертикальне розміщення гряд на стелажах, гідропонні установки для субстрату, альтернативні джерела енергії (сонячні батареї, генератори) при енергозабезпеченні, а також удосконалені методи стерилізації й лабораторний контроль якості міцелію й субстрату.

Ефективне вирощування грибів вимагає створення стабільного мікроклімату та спеціального обладнання. Як правило, під грибні ферми пристосовують ангарні споруди, підвали, теплиці або овочесховища. Для печериць ключовими параметрами є температура 14–18 °C (фаза плодоношення), відносна вологість 80–85% протягом усього циклу, безперервна вентиляція (для видалення вуглекислоти) та штучне освітлення LED-лампами по 8–12 годин на день. Для гливи оптимальна температура плодоношення трохи нижча (12–18 °C), вологість 80–85%, при інкубації – 60–65%, і необхідне провітрювання та розсіяне світло. Для шіїтаке підтримують відносно вищі температури під час інкубації (~22–25 °C) і строгий тепловий контроль у плодоношенні (~15–18 °C).

Обладнання грибних ферм включає:

- Пастеризаційні/стерилізаційні установки: камери для нагрівання субстрату (компосту або соломи) паром чи парогенератором (потужністю десятки сотень кг пари/год).
- Кліматичні камери (цехи) для вирощування: відособлені приміщення площею від сотень до тисяч квадратних метрів з системами вентиляції, опалення/охолодження та зволоження повітря.
- Системи кондиціонування і вентиляції: комплексні установки з фільтрацією, вентилятори, теплообмінники, що забезпечують подачу свіжого повітря і стабілізацію клімату (5000–50 000 м³/год).
- Системи зрошення: краплинні або туманно-розпилювальні установки для підтримання вологості субстрату на заданому рівні (80–95%) в процесі вирощування.
- Стелажі, полиці, контейнери: металеві стелажні системи або міцні мішки/ящики, у яких розміщують субстрат із міцелієм.
- Обладнання для обробки та зберігання: холодильні камери для тимчасового зберігання зібраного врожаю, морозильні камери для глибокого зберігання, лабораторні установки для контролю якості міцелію та компосту.
- Додаткові служби: котельня або автономні генеруючі установки (для опалення і пастеризації), водопідготовка, очисні споруди, сортувальні лінії і пакувальні цехи для готової продукції.

Наприклад, типовий комплекс потужністю 10 т/міс. потребує виробничий корпус з кліматичними камерами, допоміжними приміщеннями (зберігання субстрату, матеріалів, побутові), котельнею, електростанцією, очисними спорудами та автоматизованою системою керування мікрокліматом. Окремі компанії впроваджують високотехнологічні системи керування на базі PLC-контролерів та комп'ютерного ПЗ для моніторингу температури, вологості, рівня CO₂ у режимі реального часу.

За останнє десятиліття Україна демонструвала поступове зростання виробництва культивованих грибів, однак ці тенденції порушені війною. За оцінками УМДІС, у 2017 р. в Україні було вироблено 51,3 тис. тонн печериць, а в 2021-му – майже 70 тис. тонн, що на ~20% більше порівняно з 2017 р. Динаміка посилювалась завдяки покращенню якості компосту і використанню більш ефективних технологій. Проте з 2022 р. екстремальні обставини різко зменшили виробництво. Станом на березень 2022 року близько половини грибних господарств призупинили діяльність через бойові дії. За даними Pro-Consulting, внаслідок окупації та небезпеки ферми втратили приблизно 30–40% загальних потужностей і працювали лише на 60–70% номіналу. Унаслідок дефіциту субстратів і логістичних проблем у 2022–2023 рр. прогнозується різке скорочення випуску грибів: очікується, що обсяги виробництва в 2023 р. можуть впасти приблизно в 1,7 раза порівняно з попереднім роком.

За офіційними даними Держстату, у 2023 р. виробництво шампінйонів скоротилося на 4% порівняно з 2022 р. – до 11,6 тис. тонн, а вирощування глив впало на 46,1% (до лише 70 тонн). Хоча ці цифри значно відрізняються від допандемічних обсягів, вони свідчать про вплив масштабних кризи. Нині обсяги виробництва грибів оцінюють на рівні лише 60–70% довоєнних показників, причому в окремих регіонах (наприклад, на півдні) деякі великі комплекси повністю втрачено. Експорт українських грибів також скоротився, хоча раніше значною мірою орієнтувався на країни ЄС (наприклад, Молдова імпортувала переважно печериці з України).

Промислові грибні господарства переважно розташовані в центральній та західній Україні. Найпотужніші підприємства історично були у Київській області. Зокрема, ТОВ «Українські печериці» (Київщина) – один із лідерів галузі – після короткої окупації швидко відновив роботу, як і компанія «Дінбо» (Київська обл.), що теж продовжує функціонувати. Багато ферм знаходяться у Черкаській та Одеській областях, де розвинене тепличне та комплексне овочівництво. На заході України (особливо в Закарпатській області) з'явилися

спеціалізовані ферми з вирощування шийтаке й інших екзотичних грибів; так, одна із закарпатських ферм за два роки запуску зібрала вже четвертий врожай шийтаке і реалізує продукцію у Бельгії, Німеччині, Нідерландах та на Близькому Сході. На жаль, внаслідок війни втрачено або призупинено виробництво в деяких південних регіонах – зокрема, масштабне господарство у Херсонській області припинило діяльність через відсутність людей та невизначеність.

Крім великих вертикально інтегрованих компаній (які одночасно виробляють компост і гриби), на ринку присутня низка невеликих приватних ферм (часто сімейних) та кооперативів. Географічно, за даними довідників, постачальники грибів зареєстровані в багатьох областях (Вінницька, Волинська, Житомирська, Рівненська тощо). Проте концентровані виробники переважно об'єднані у центральні аграрно-промислові кластери. Варто також зазначити, що виробництво компосту (ключового субстрату для печериць) є окремим бізнесом: до війни в Україні працювали 4 компостні заводи (утворені трьома компаніями), сьогодні функціонує лише три, два з яких контролюють ~90% ринку.

Головними проблемами галузі є:

- Нестача робочої сили: через міграцію населення та мобілізацію дефіцит кадрів особливо гострий у травні–серпні (сезон збору врожаю). На грибних фермах бракує працівників, здебільшого чоловіків, що призводить до переорієнтації технологічних операцій (наприклад, максимальна механізація або перенесення роботи на жінок).
- Енергозабезпечення: часті відключення електроенергії (через ракетні обстріли та інші чинники) змушують фермерів використовувати генератори, сонячні панелі або знижувати інтенсивність закладок грибниць. Високі ціни на енергоносії прямо впливають на собівартість виробництва.
- Недостатня сировинна база: через обмеження з перевезення під час війни й консолідацію виробництва складається дефіцит компосту та субстратів, зокрема фази III, що впливає на якість гриба.

- Фінансування та інвестиції: розвиток галузі стримує нестача фінансових ресурсів. На відміну від Європи, де виділяють кошти на модернізацію грибних виробництв, українські фермери здебільшого працюють за власні кошти і мають обмежений доступ до кредитів чи грантів.

- Ринкові ризики: сезонні коливання попиту (наприклад, зміна споживчих вподобань у карантин 2020 р.) та нестабільність цін роблять ринок уразливим. Підвищена волатильність цін спостерігалася влітку–осені 2023 р., що на короткий час призвело до невеликого імпорту польських шампінйонів (~500 т). Втім, завдяки моніторингу внутрішнього попиту, цей імпорт було швидко обмежено.

Перспективи розвитку пов'язані з поступовим подоланням перелічених проблем. Аналіз ринку показує, що українські виробники грибів можуть ефективно конкурувати навіть з великими виробниками ЄС (особливо Польщею), оскільки в Україні менші витрати на енергоносії та працю. Водночас це вимагає подальшої автоматизації виробництва, зниження витрат та нарощування промислових масштабів. Внутрішнє споживання грибів в Україні ще далеко не насичене, тому існує потенціал для експансії на локальному ринку. Експортні можливості також значні: поряд із Молдовою, підвищений попит може з'явитися у ЄС після стабілізації ситуації, особливо якщо будуть впроваджені сертифікації (наприклад, органічної чи GLOBALG.A.P.) і налагоджена логістика. Зважаючи на це, пріоритетними заходами можуть стати отримання державної підтримки для інновацій (гранти, субсидії), створення кластерів з вирощування грибів та компосту, а також розвиток науково-технічної бази галузі.

Грибівництво в Україні є перспективною, але водночас вразливою галуззю. Провідними видами культивованих грибів залишаються печериці та гливи, решта – екзотичні та лікарські гриби – становлять незначну частку. Технологічні процеси вирощування базуються на приготуванні компосту або стерильного субстрату, а також суворому контролю мікроклімату в спеціалізованих

приміщеннях. Незважаючи на складну ситуацію 2022–2023 рр., в Україні зберігаються потенціал та ресурси для відновлення виробництва: існують науково-практичні напрацювання, незадіяні приміщення та внутрішній ринок. Подальший розвиток галузі потребує вирішення проблем з інвестиціями, кадрами та енергетикою, а також модернізації виробництва відповідно до міжнародних стандартів. Ініціативи підприємців та державних органів, спрямовані на підтримку грибівництва, можуть значно поліпшити становище галузі й забезпечити їй сталість.

1.2 Огляд пристроїв для поливу печериць

У сучасних грибних культиваційних камерах печериці вирощують на спеціальних багатоярусних стелажах (рис. 1.1) [1].



Рис. 1.1. Стелаж для вирощування печериць [1].

Такий спосіб вирощування дає змогу ефективно використовувати корисну площу камери, зберігаючи простір для виконання технологічних операцій. Щільне компонування також сприяє кращому накопиченню CO_2 , який є вкрай

необхідним для дозрівання печериць, та зменшує енерговитрати на забезпечення оптимальних кліматичних умов [1].

Недоліки цього способу переважно стосуються технологічних операцій, пов'язаних із завантаженням і розвантаженням субстрату, нанесенням покривного матеріалу, збиранням дозрілих плодових тіл грибів, а також із поливом [1].

Наразі на підприємствах, що займаються вирощуванням печериць і мають невелику площу культиваційних камер, переважно застосовують ручний полив із використанням поливальних штанг (рис. 1.2) [1].



Рис. 1.2. Полив із використанням поливальної штанги [1].

Ручний полив має низку недоліків, серед яких – нерівномірність зволоження через вплив людського фактора, а також необхідність перебування людини в камері, що несприятливо впливає на розвиток печериць. Це пов'язано з тим, що під час відкривання дверей у камеру, куди заходить персонал для виконання технологічних операцій, відбувається порушення кліматичних умов і зміна газового складу повітря [1].

На більших підприємствах, які мають значні площі культиваційних камер, застосовують механізовані способи поливу, наприклад за допомогою поливального дерева, що являє собою вертикальну штангу, яка здійснює полив збоку від стелажів (рис. 1.3) [1].

Такий механізований спосіб має низку переваг, серед яких – можливість одночасного поливу кількох ярусів, а також механізоване керування переміщенням установки. Проте залишаються певні недоліки, зокрема відсутність дистанційного або автоматичного керування запірними кранами, які доводиться відкривати вручну, що також потребує присутності персоналу в камері. Крім того, розпилювачі, які являють собою каскад форсунок із різною дальністю поливу, через свою конструкцію відзначаються високою матеріаломісткістю та вартістю [1].

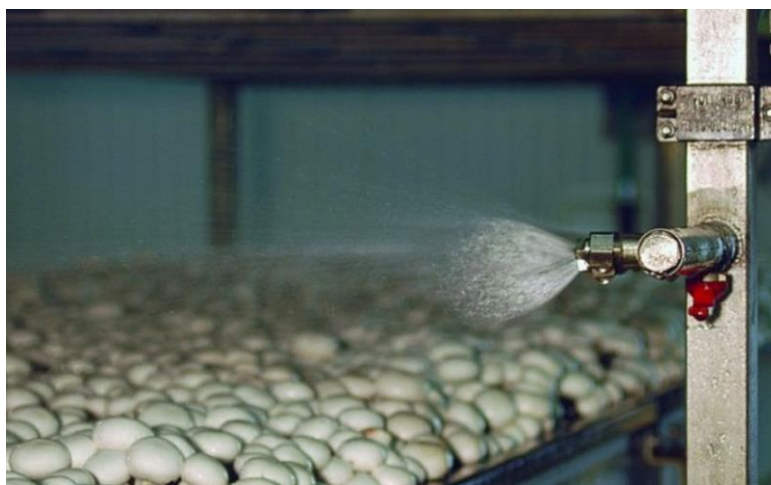


Рис. 1.3. Поливальне дерево [1].

На великих грибних комплексах полив печериць здійснюють за допомогою трубопроводів, прокладених уздовж стелажів (рис. 1.4) [1].



Рис. 1.4. Полив за допомогою трубопроводів [1].

У цьому випадку забезпечується головна перевага порівняно з описаними вище способами – відсутність необхідності перебування персоналу в культивацийній камері у періоди, коли це не передбачено технологічною потребою (завантаження та розвантаження субстрату, збирання врожаю) [1].

Недоліки поливу за допомогою трубопроводів пов'язані з високою матеріаломісткістю трубопровідних ліній і дощувальних насадок, а також зі значними витратами на їх технічне обслуговування. Крім того, через стаціонарне виконання трубопроводів виникає необхідність демонтажу дощувальних насадок у періоди проведення таких технологічних операцій, як завантаження і розвантаження субстрату, нанесення покривного шару, збирання врожаю [1].

Таким чином, можна зробити висновок, що для поливу печериць у культивацийній камері необхідне пристосування, яке відповідало б ряду критеріїв [1]:

1. Воно повинно мати механізоване керування виконавчими механізмами, що виключало б присутність обслуговуючого персоналу всередині камери під час виконання технологічних операцій, не пов'язаних із необхідністю його перебування.
2. Пристрій має забезпечувати високі якісні показники поливу печериць: рівномірність зволоження та оптимальний діаметр крапель дощу, щоб не знижувати якісні характеристики грибів.
3. Необхідно забезпечити можливість демонтажу поливальної установки для проведення технологічних операцій у культивацийній камері.
4. Отже, розроблення пристрою для поливу, який би забезпечував виконання всіх зазначених вимог, є актуальним завданням.

1.2 Огляд дощувальних насадок

З метою вибору оптимальної конструкції дощувальної насадки було розглянуто класифікацію існуючих конструкцій дощувальних насадок, що

застосовуються для розпилення рідини в сільському господарстві. Відповідно до цієї класифікації, за принципом дії насадки поділяються на шість основних класів.

Струминні насадки (рис. 1.5) мають у корпусі одне або кілька циліндричних сопел. Із них подається струмінь рідини (див. рис. 1.5, а і б), який згодом розпадається на краплі відносно великого розміру, утворюючи факел із малим початковим кутом і значною дальністю дії струменя. До струминних також відносять віялові насадки (див. рис. 1.5, в). У них сопла мають не круглий переріз, а виконані у вигляді щілини. Під час роботи такої насадки рідина, витікаючи, утворює плоский струмінь у формі віяла, який згодом розпадається на краплі.

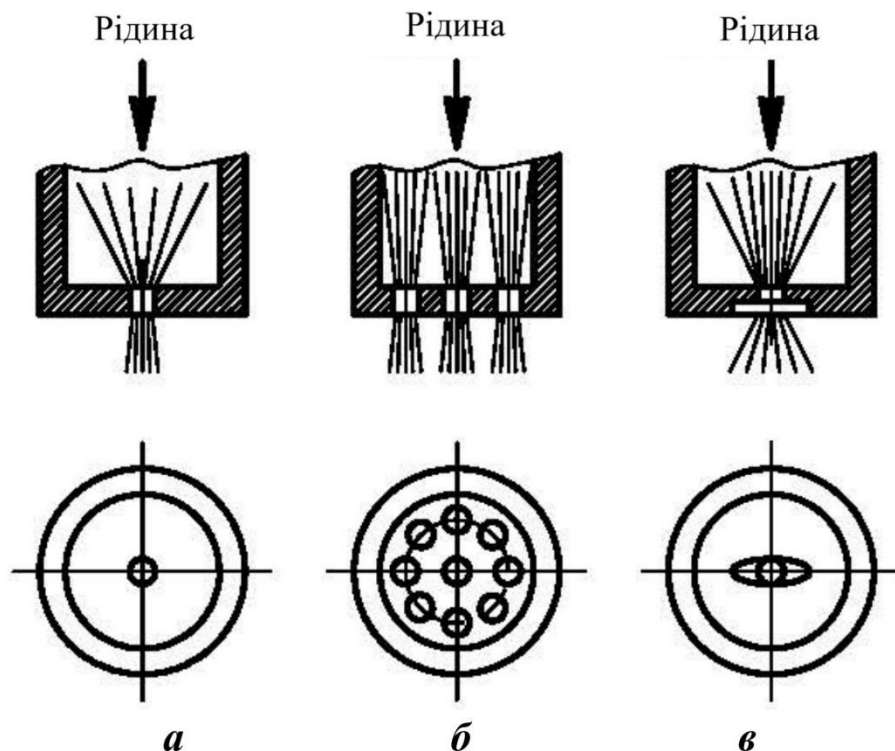


Рис. 1.5. Схеми струминних насадок: а – з одним циліндричним соплом; б – багатосоплова; в – віялова

На рис. 1.6 зображено відцентрові насадки. Усередині цих насадок відбувається обертання рідини, що проходить через них. У сопловому каналі насадки рідина утворює закручену плівку, тоді як у центрі виникає повітряний

вихор. Під час виходу з сопла плівка руйнується внаслідок опору повітря і утворює порожнистий конусоподібний факел.

Відцентрові насадки, залежно від способу закручування потоку, поділяються на тангенціальні (рис. 1.6, а) і насадки з завихрювачем (рис. 1.6, б). У першому випадку рідина надходить у порожнину насадки через отвір, вісь якого перпендикулярна осі насадки, але не перетинається з нею. Це призводить до закручування рідини відносно осі насадки.

У насадках із завихрювачем потік рідини закручується за допомогою циліндричної вставки з нарізками на зовнішній поверхні. Рідина рухається вздовж цих нарізок, що спричиняє її закручування відносно осі насадки. В евольвентній насадці (рис. 1.6, в) канал для підведення рідини переходить у спіраль із сопловим отвором з одного або двох боків.

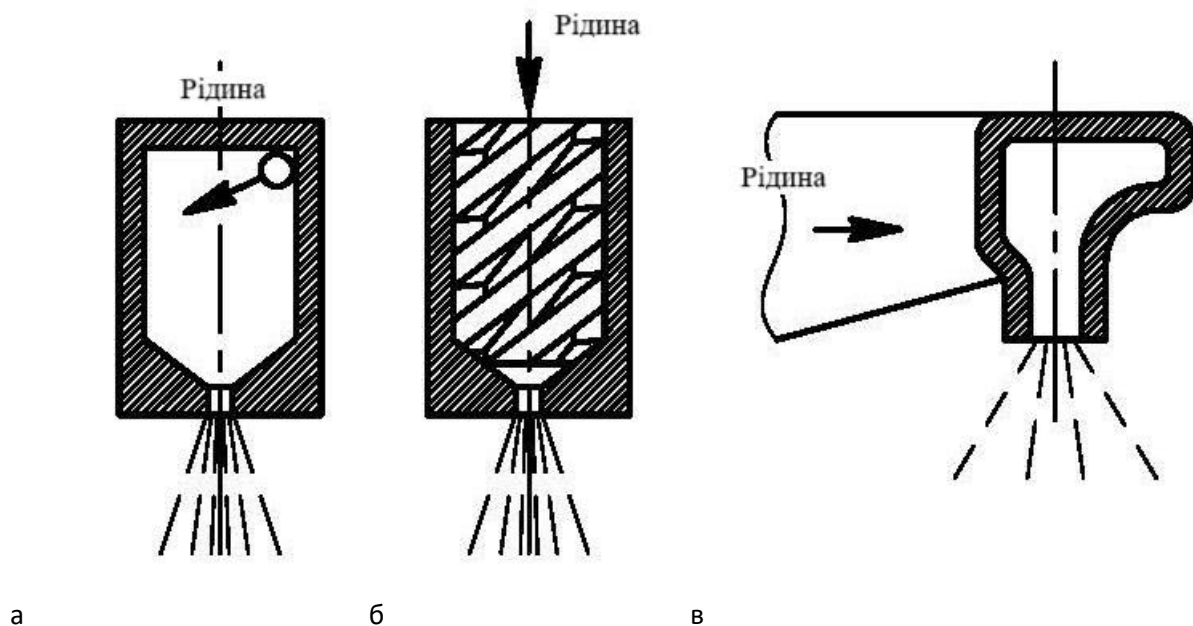


Рис. 1.6. Схеми відцентрових насадок: а – тангенціальна; б – шнекова (з гвинтовою вставкою); в – евольвентна

На рис. 1.7 подано схеми відцентрово-струминних насадок. На відміну від відцентрових, у цьому типі насадок є два потоки підведеної рідини. Одна частина рідини у тангенціальній насадці (рис. 1.7, а) надходить тангенціально в камеру закручування, а в насадці з гвинтовою вставкою (рис. 1.7, б) вона проходить периферійними гвинтовими каналами вставки, утворюючи

обертальний потік. Одночасно через центральний отвір вставки протікає ще одна частина рідини, у результаті чого формується суцільний струмінь. Обертаючись, рідина взаємодіє з центральним струменем, закручуючи його та створюючи єдиний потік. При виході з сопла утворюється факел у вигляді конуса.

Особливий тип насадок – із ударним струменем (рис. 1.8). Процес розпилення відбувається за межами корпусу. Це досягається завдяки зіткненню струменя з відбивачем, розташованим навпроти сопла. Відбивач може бути суцільним (рис. 1.8, а) або багатоступеневим (рис. 1.8, б), що складається, наче з кількох відбивачів, розміщених один над одним. Кожен наступний відбивач має отвір меншого діаметра порівняно з попереднім. Шари рідини послідовно «зрізаються» під час проходження через багатоступеневий відбивач.

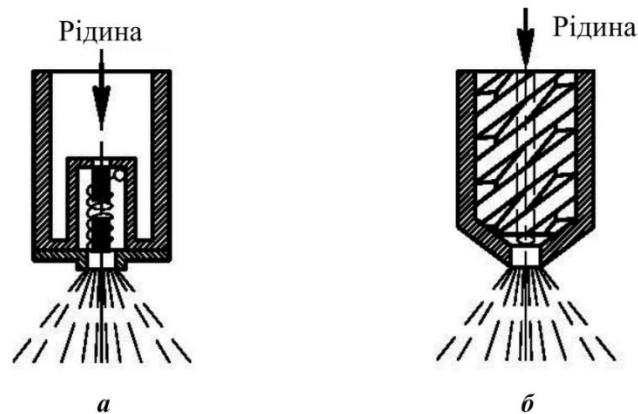


Рис. 1.7. Схеми відцентрово-струминних насадок: а – тангенціальна; б – з гвинтовою вставкою.

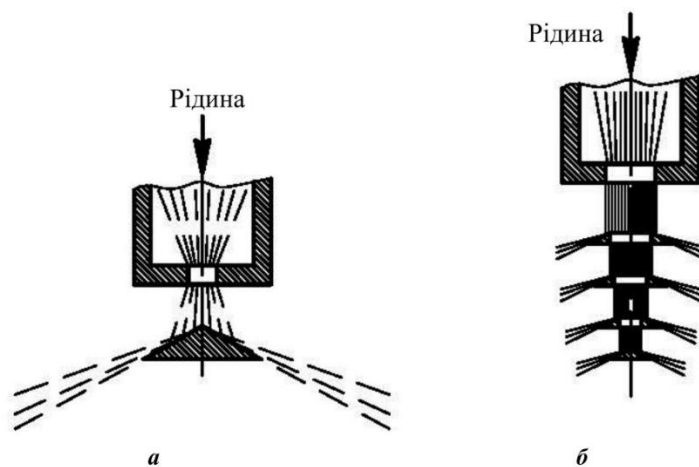


Рис. 1.8. Схеми ударно-струминних насадок: а – із суцільним відбивачем; б – із багатоступеневим відбивачем.

Суть роботи насадок із зіткненням струменів (рис. 5) полягає в розділенні струменів на окремі краплі під час їх виходу з сопла насадки. При зіткненні двох струменів утворюється плівка, яка згодом розпадається на краплі. Факел має форму еліпса. Якщо стикаються три або більше струменів, форма факела стає конічною. Насадки можуть бути виконані як з однією парою струменів (рис. 1.9, а), так і з кількома (рис. 1.9, б).

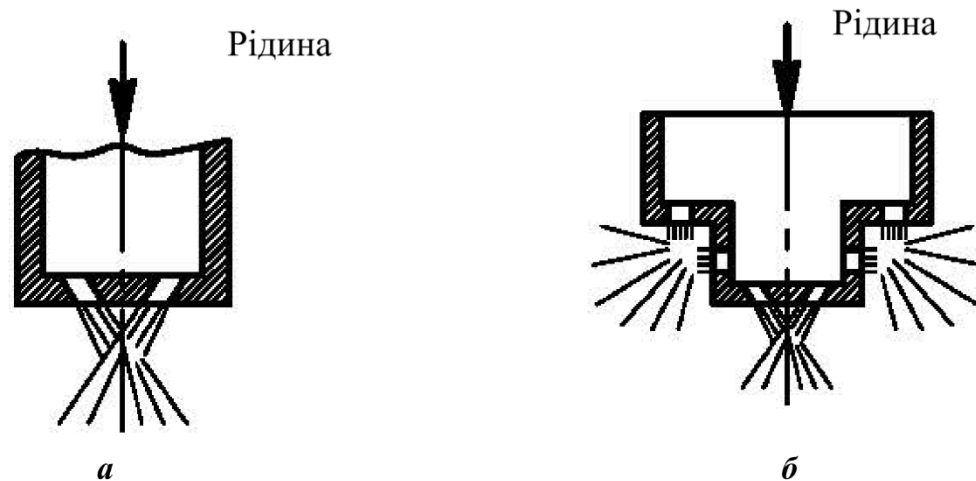


Рис. 1.9. Схеми насадок із зіткненням струменів: а – з однією парою струменів, що зіштовхуються; б – з кількома парами.

Комбіновані насадки (рис. 1.10) складаються з кількох різних за принципом дії насадок, об'єднаних в одному корпусі залежно від вимог та умов роботи. Здебільшого поєднують відцентрову насадку та насадку із зіткненням струменів (рис. 1.10, а) або відцентрово-струминну та насадку із зіткненням струменів (рис. 1.10, б). Це робиться з метою досягнення найкращого ефекту розпилення.

Дощоутворювальний пристрій дощувальної машини (рис. 1.11) застосовують під час дощування переважно в широкозахватних дощувальних машинах, що працюють у русі. Секторний розпилювач 1 дощоутворювального пристрою оснащений дроселювальним елементом 5, який виконано у вигляді двокамерного порожнистого корпусу з входною 10 і вихідною 11 камерами однакового поперечного перерізу. Між камерами розміщено перегородку 12 з отворами 13. На перегородці 12, у конічному конфузурі дощувальної насадки,

установлено усічений конус 14. Цей пристрій має спрощену конструкцію та забезпечує можливість регулювання витрати й тиску зрошувальної води.

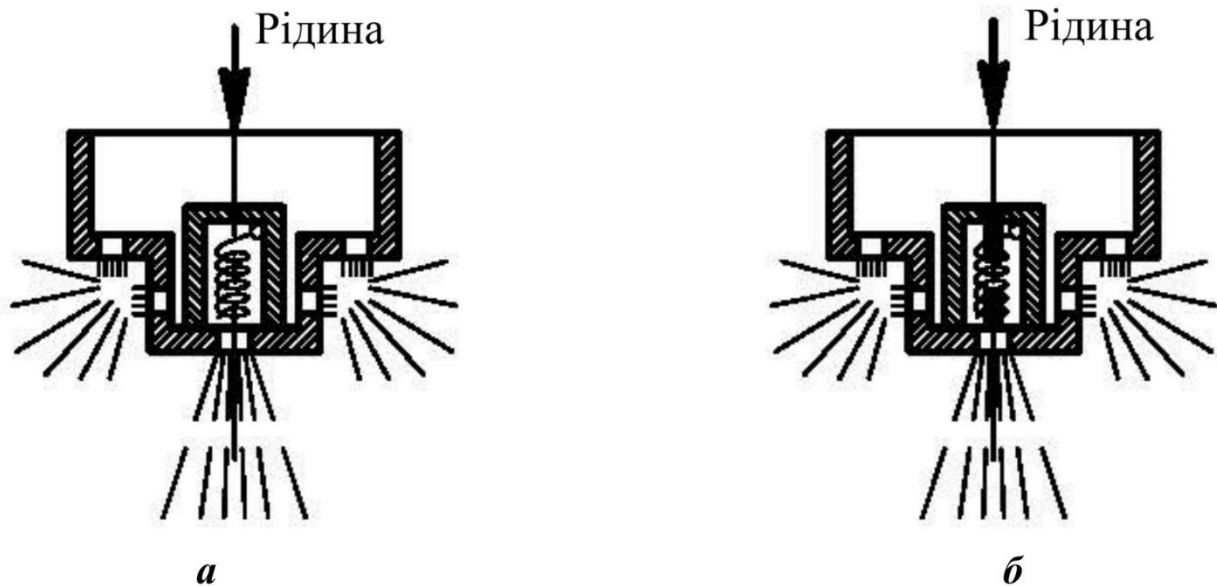


Рис. 1.10. Схеми комбінованих насадок: а – відцентрова із зіткненням струменів; б – відцентрово-струминна із зіткненням струменів

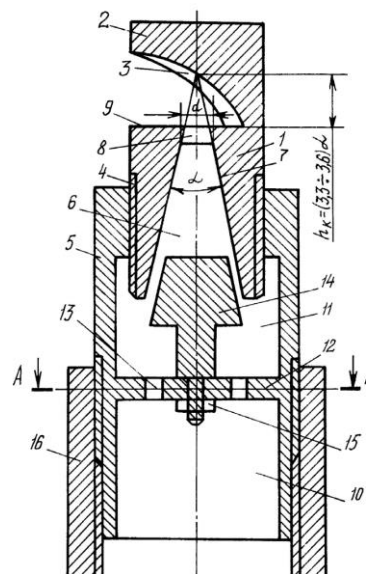


Рис. 1.11. Схема дощоутворювального пристрою дощувальної машини: 1 – секторний розпилювач; 2 – дефлектор; 3 – відбивна поверхня; 4 – різьба; 5 – дросель; 6 – прохідний канал; 7 – конфузور; 8 – калібрований циліндричний отвір; 9 – площа витікання; 10 – входна камера корпусу; 11 – вихідна камера корпусу; 12 – перегородка; 13 – отвори; 14 – усічений конус; 15 – гайка; 16 – штуцер.

Відома конструкція щілинної дощувальної насадки (рис. 1.12), що складається з порожнистих циліндричних корпусів і дифузора. Вона виконана у вигляді трапецієподібного корпусу, у входній частині якого розташована горизонтальна обичайка. Розсікачі потоку розміщені на внутрішній стороні горизонтальної обичайки. На внутрішніх стінках поздовжніх обичайок також розташовано по два розсікачі потоку, встановлені під кутом 45° .

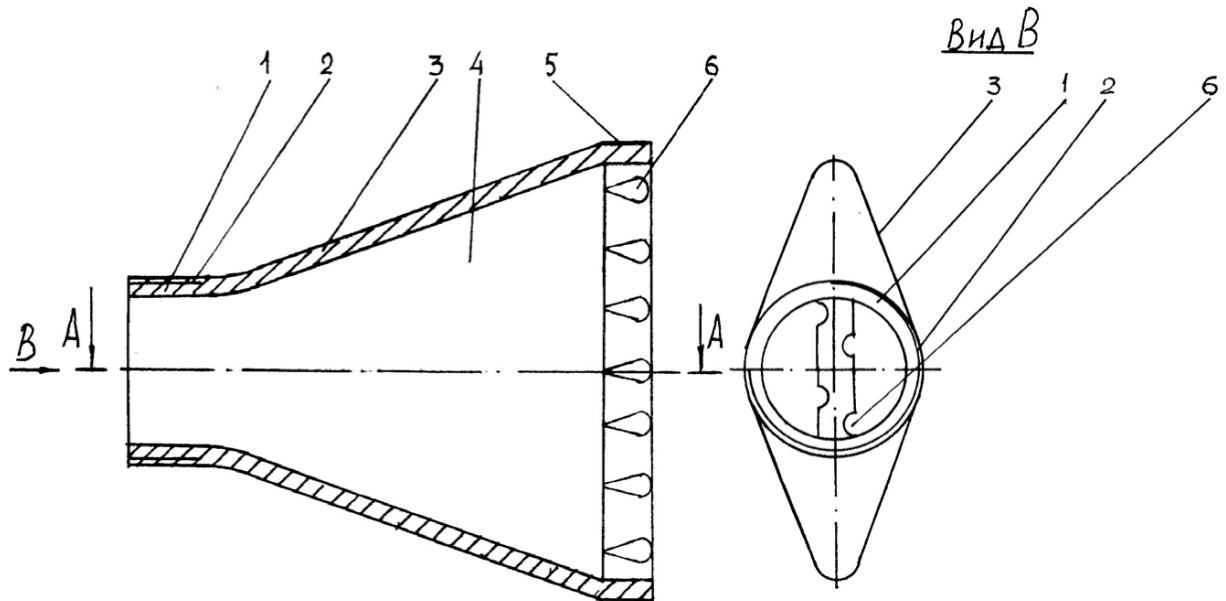


Рис. 1.12. Схема щілинної дощувальної насадки: 1 – корпус; 2 – зовнішня різьба; 3 – трапецієподібний дифузор; 4 – розширювальна камера; 5 – горизонтальна обичайка; 6 – розсікачі потоку.

Пристрій для поливу, відомий як віялова дощувальна насадка-активатор (рис. 1.13), має циліндричний корпус, який можна встановити на водопровідну трубу. Усередині корпусу розміщені шнекові напрямні потоку спіральної форми, витки яких спрямовані проти годинникової стрілки. Особливістю цього пристрою є те, що водовипускні отвори виконані такими, що розширюються у горизонтальній площині та звужуються у вертикальній, утворюючи своєрідний віял.

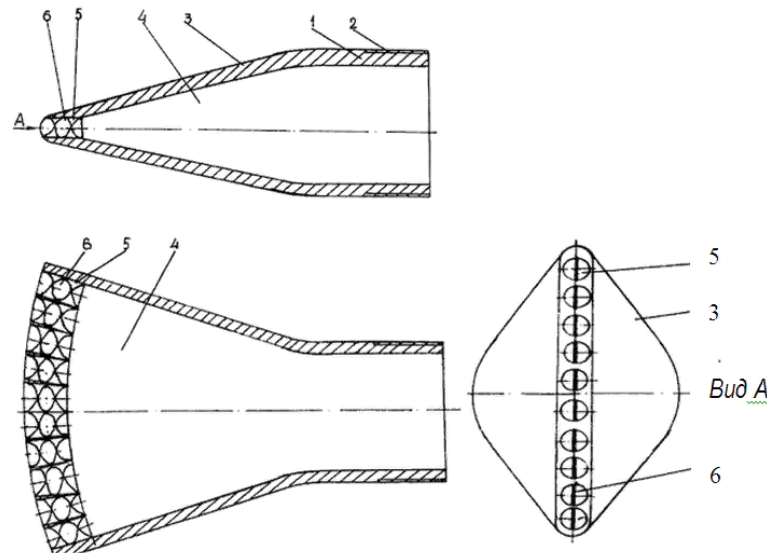


Рис. 1.13. Схема віялової дощувальної насадки-активатора: 1 – циліндричний корпус; 2 – приєднувальна різьба; 3 – віялова насадка; 4 – звуження у вертикальній площині; 5 – водовипускні отвори; 6 – шнекові напрямні.

На основі проведеного аналізу існуючих конструктивних виконань дощувальних насадок, а також виходячи з технологічних умов вирощування грибів у культивацийних камерах, було зроблено висновок про доцільність застосування віялової насадки.

Аналіз літературних джерел і перспективних конструкцій дощувальних насадок показує, що стосовно поставлених завдань не існує готових рішень, які повністю відповідали б заданим параметрам.

Відомі конструкції дощувальних насадок, з урахуванням технічних умов експлуатації під час поливу грибів у культивацийній камері, мають суттєві недоліки, насамперед пов'язані з конструктивними особливостями установки поливу та способом вирощування грибів (переважно печериць). Вони не забезпечують необхідної рівномірності поливу, а також оптимального діаметра крапель дощу. Через конструктивні та технічні обмеження установка поливу вимагає розміщення дощувальної насадки збоку від зони поливу.

У зв'язку з викладеним, актуальним завданням є розроблення віялової дощувальної насадки, що створює дощ із підвищеними якісними показниками для вирощування грибів у тепличних умовах.

РОЗДІЛ 2

ЗАПРОПОНОВАНА КОНСТРУКЦІЯ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Запропонована конструкція установки для поливу грибів з віяловою дощувальною насадкою

Для вирішення актуального завдання розробки пристрою для поливу печериць була запропонована конструкція, технічним результатом якої є механізація процесу поливу. Це дозволить економити воду, скоротити використання робочої сили, а також підвищити врожайність. Внесення поливної норми на кожному етапі дозрівання грибів дасть можливість підтримувати вміст вологи в субстраті на оптимальному рівні [2].

Установка поливу (рис. 2.1 і 2.2) являє собою зварену конструкцію стелажного типу 1 (див. рис. 2.2), з одного бічного боку якої встановлені металеві рейкові напрямні 2 для горизонтального переміщення бічної каретки 3 за допомогою роликів опор 4 [2].

*а**б*

Рис. 2.1. Установка для поливу з віяловою дощувальною насадкою: а – загальний вигляд; б – в роботі [2].

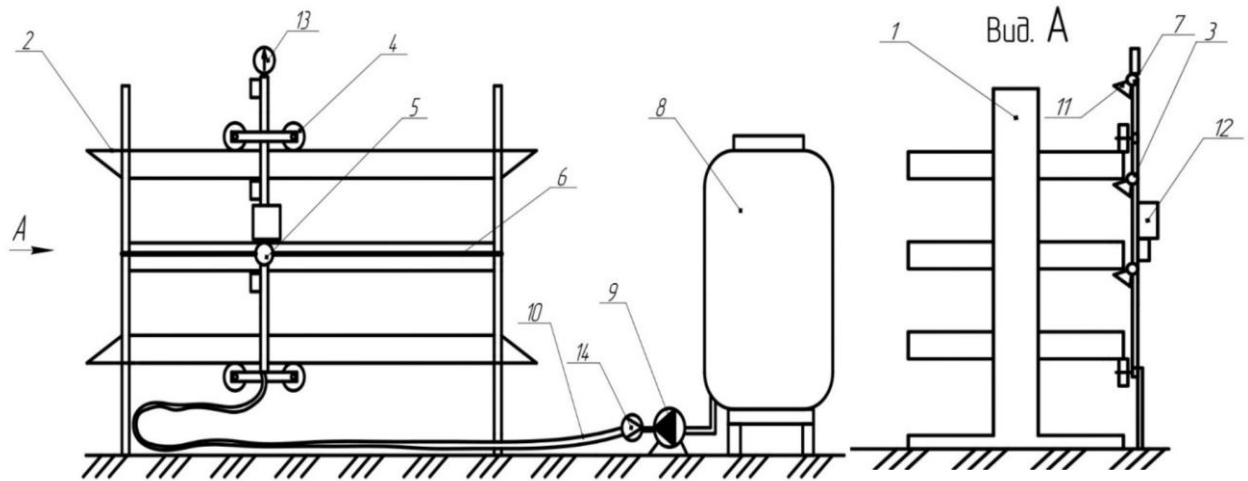


Рис. 2.2. Схема установки для поливу: 1 – зварна конструкція стелажного типу; 2 – металеві рейкові напрямні; 3 – бічна каретка; 4 – роликові опори; 5 – кроковий двигун; 6 – канат; 7 – гідравлічні клапани з електромагнітним клапаном; 8 – резервуар; 9 – гідравлічний насос; 10 – гнучкий трубопровід; 11 – дощувальна насадка; 12 – блок управління; 13, 14 – відповідно датчики тиску і витрати води [2].

В рух каретки 3 приводить кроковий двигун 5 шляхом намотування і змотування каната 6, вільні кінці якого жорстко закріплені на двох протилежних кінцях зварної конструкції [2].

Гідравлічний клапан з електромагнітним приводом 7 регулює подачу норми поливи до дощувальної насадки 11, що здійснюється гідравлічним насосом 9 по гнучкому трубопроводу 10 з резервуара 8 [2].

Управління виконавчими механізмами реалізується через блок управління 12, в який закладено алгоритм дій. Програма приймає рішення, виходячи з показань датчиків тиску 13 і витрати води 14 [2].

На рис. 2.3 показано механізм приводу руху установки для поливу [2].

Пристрій працює наступним чином. На стелажі 1 (див. рис. 2.2) закладають субстрат з міцелієм, далі оператор проводить перевірку обладнання і програмує алгоритм роботи пристрою за допомогою ЕОМ. Готову програму роботи завантажують в блок управління 12, який, керуючи виконавчими механізмами, здійснює процес внесення поливної норми. Вмикається гідравлічний насос 9, і

вода перекачується по гнучкому трубопроводу 10 з резервуара 8 до гідравлічних клапанів 7, розміщених на каретці 3. Отримавши дані від датчика тиску 13 про досягнення робочих показників, блок управління 12 передає команди на включення електромагнітного приводу гідравлічного клапана 7, після чого вода надходить в дощувальну насадку 11, за допомогою якої шляхом дощування здійснюється внесення поливної норми на поверхню субстрату. Згідно з алгоритмом роботи, блок управління 12 задає швидкість переміщення каретки 3 відносно горизонтальної площини вздовж стелажів за допомогою крокового двигуна 5. Останній, намотуючи або змотуючи канат 6, приводить каретку в рух. Після закінчення робочого циклу блок управління 12 подає команду на вимкнення електромагнітних клапанів 7 і повернення каретки 3 на стартову позицію [2].



Рис. 2.3. Механізм приводу руху поливної установки

Запропонований пристрій може бути реалізований з використанням відомих компонентів, забезпечуючи високу якість поливу [2].

Розроблена установка дозволяє скоротити до мінімуму необхідність використання людських трудових ресурсів, а також підвищити якість моніторингу і підтримувати оптимальні кліматичні параметри середовища в камері вирощування. Зафіксовані підсумкові звіти у вигляді графіків за

контрольованими кліматичними параметрами, отриманими в ході вирощування грибів, дозволять обґрунтувати оптимальні режими, необхідні для підвищення врожайності печериць [2].

2.2. Методика проведення досліджень

Виробництво грибів в сучасних умовах – це енерговитратна і капіталомістка галузь, що вимагає постійного вирішення наукових завдань в області систем автоматики, контролю клімату та в інших областях.

Для вирощування печериць в тепличних умовах була використана ресурсозберігаюча кліматична установка, призначена для забезпечення контролю та підтримки оптимальних кліматичних параметрів, необхідних для вирощування цих грибів.

Кліматична установка містить комп'ютер (рис. 2.4), який за допомогою підключених до нього датчиків здійснює моніторинг температури, вологості та вуглекислого газу, що дозволяє отримувати середні показники його температури на кожному ярусі та по всій площі камери; вологість повітря всередині камери вирощування; вміст вуглекислого газу (CO_2) в атмосфері всередині камери вирощування.



Рис. 2.4. Шафа з комп'ютером для управління кліматичною установкою

Була складена програма лабораторних і польових експериментальних досліджень розробленої віялової дощувальної насадки для установки поливу печериць з метою підтвердження достовірності отриманих результатів і їх відповідності теоретичним розрахункам.

Програма досліджень складалася з трьох етапів.

На I етапі проводили лабораторні дослідження віялових дощувальних насадок.

Були вивчені витратні характеристики, дальність польоту крапель залежно від тиску, форми і площі перетину сопла, а також інтенсивність дощу по довжині зони поливу, діаметр крапель дощу, створюваного насадкою, характер розподілу дощу вздовж зони поливу віяловою дощувальною насадкою.

На II етапі досліджували експлуатаційні показники установки поливу шампінйонів при різних тисках, а також її технічні характеристики. Визначали витрату води віяловими дощувальними насадками різних форм і перетинів залежно від вхідного тиску.

На III етапі проводили випробування установки поливу з віяловими дощувальними насадками з соплами різної форми і перетину. Досліджували агротехнічні параметри дощу, визначали рівномірність його розподілу по поливній зоні субстрату, емпірично оцінювали, як змінюється вологість покривного матеріалу і субстрату при внесенні норми поливу, а також досліджували конструктивно-технологічні параметри віялових дощувальних насадок.

Визначали врожайність печериць при поливі дощувальними насадками з різними формами і площею перетину сопла. Була дана економічна оцінка вирощування печериць з використанням віялових дощувальних насадок на установці поливу.

Дослідження якісних показників поливу віяловими дощувальними насадками були виконані на кафедрі агроінженерії та технічного сервісу Поліського національного університету.

Швидкість вітру під час випробувань не враховували, оскільки експерименти проводили в закритому приміщенні. Агротехнічні показники поливу дощувальними насадками досліджували відповідно до положень ISO.

Була виготовлена лабораторна установка, за допомогою якої проводили експериментальні дослідження (рис. 2.5). Вона являє собою пристрій, що забезпечує подачу води по напірному трубопроводу 1 від насоса 2 через витратомір 3 до дощувальної насадки 4. Остання встановлена на горизонтально переміщуваній стійці 5.

Досліджували роботу трьох дощувальних насадок з різними формами перетину сопла (рис. 2.6): прямокутної форми (див. рис. 2.6, а); трапецієподібної (див. рис. 2.6, б) і з соплом змінної форми (див. рис. 2.6, в).

Загальний вигляд віялової дощувальної насадки представлений на рис. 2.7.

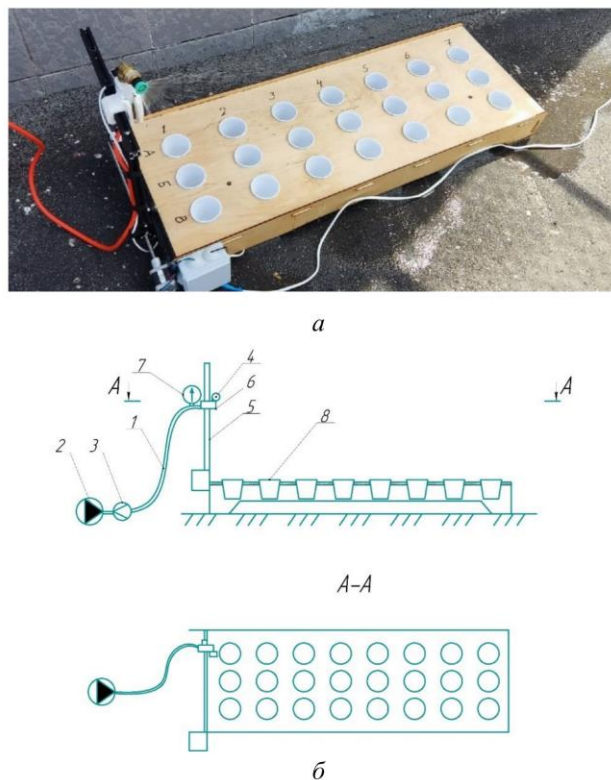


Рис. 2.5. Лабораторна поливна установка для дослідження дощувальних насадок: а – загальний вигляд; б – схема; 1 – напірний трубопровід; 2 – відцентровий насос; 3 – витратомір; 4 – дощувальна насадка; 5 – рухома стійка; 6 – електромагнітний клапан; 7 – манометр; 8 – мірні ємності.

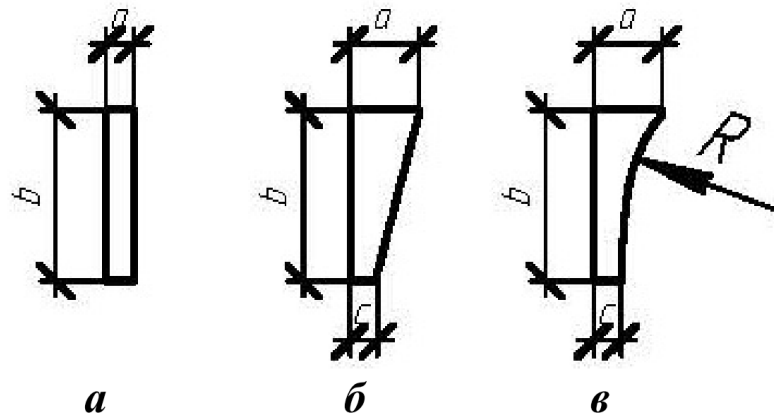


Рис. 2.6. Форми сопла дощувальної насадки: а – прямокутна; б – трапецієподібна; в – змінна.

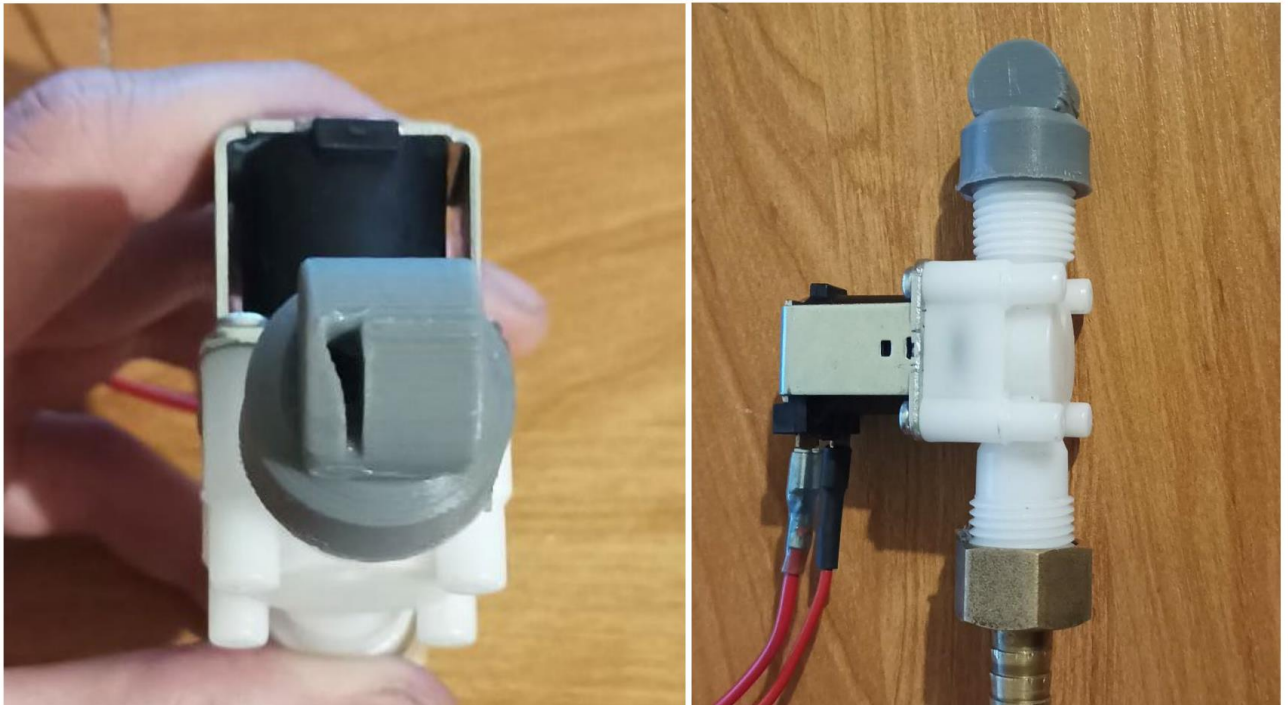


Рис. 2.7. Віялова дощова насадка.

Регулювання тиску в трубопроводі 1 здійснювали за допомогою електромагнітного клапана 6, а тиск вимірювали за допомогою манометра 7 (ДСТУ). Мірні ємності 8 для вимірювання кількості води, що випала під час дощування, розміщували перпендикулярно руху стійки з віяловою дощовою насадкою з інтервалом 15 мм і паралельно руху з інтервалом 10 мм у три ряди (рис. 2.8).

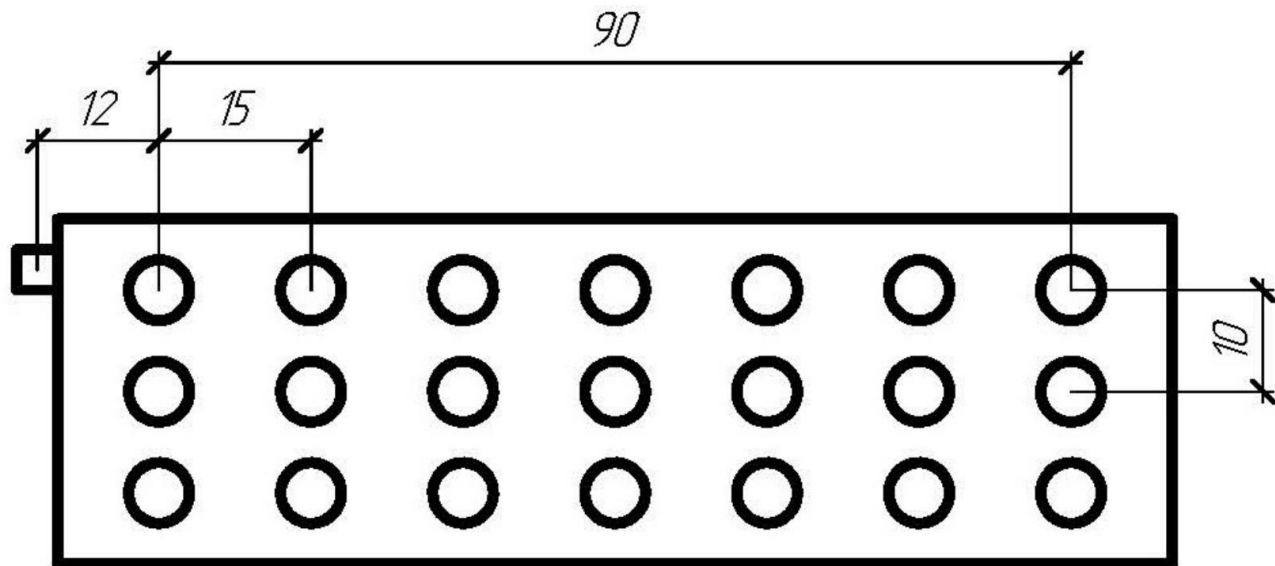


Рис. 2.8. Розміщення мірних ємностей уздовж зони поливу.

Витрату води віяловими дощовими насадками, що мають різні форми і розміри перетину сопла, визначали за кількістю води, вилитої в мірну посудину за час, який засікали секундоміром (ДСТУ). За допомогою трубки Піто вимірювали тиск на виході струменя з сопла насадки. Для цього трубку Піто поміщали в струмінь на відстані 3–5 мм від насадки. Отримані результати фіксували і заносили в журнал випробувань.

Максимальну ширину захвату площі поливу струменем В встановлювали на підставі вимірів площі миттєвого поливу.

Діаметр крапель дощу, що формуються віяловими дощовими насадками, визначали за допомогою знезолених паперових фільтрів, які покривали чорнильним порошком, а потім встановлювали в прилад. Останній, поміщений в зону вимірювання, відкривали на короткий час, за який на фільтр встигали потрапити краплі дощу, утворивши на ньому відбитки. Фактичний діаметр крапель, виходячи з отриманих відбитків, встановлювали за допомогою тарувальної кривої (рис. 2.9) [3, 8].

При дослідженні віялових дощувальних насадок змінювали розмір і форму вихідного сопла.

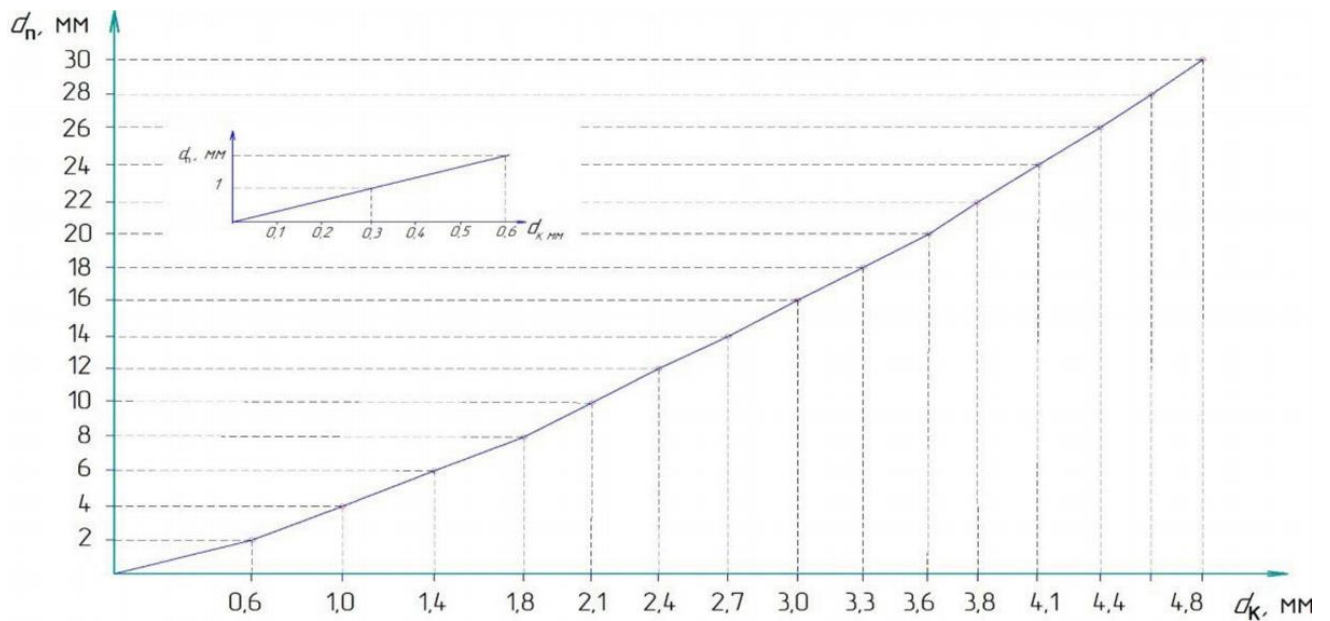


Рис. 2.9. Залежність зміни діаметра крапель дощу d_k від діаметра відбитка d_n на паперовому фільтрі.

Рівномірність та інтенсивність поливу дощуванням досліджували, встановлюючи по довжині та ширині зони поливу струменевими віяловими дощувальними насадками мірні ємності по прямокутній сітці (див. рис. 2.8) з інтервалом у поздовжньому напрямку 15 мм, а в поперечному 10 мм.

Польові випробування були проведені на території грибниці ТОВ «Лисичка» Коростенського району, Житомирської області.



Рис. 2.10. Культивацийна камера для вирощування печериць.

Полив стелажів, на яких вирощували печериці, здійснювали автоматизованою установкою поливу з віяловими дощувальними насадками.

Віялові дощувальні насадки, змонтовані на автоматизованій установці поливу печериць, випробовували в грибниці ТОВ «Лисичка» Коростенського району, Житомирської області.», де для вирощування печериць використовують субстрат, що складається з пшеничної соломи (15,3 %); помету курей-бройлерів (підстилковий, на тирсі або соломі, вологістю 35–38 %, вміст загального азоту не менше 2,5–3,0 %) – 15,3 %; гіпсу – 0,9 %; води – 68 %; зернового міцелію – 0,2 %.

Приготований субстрат упакований у поліетиленові мішки 600×400×150 мм. При підготовці грибниці їх закладають у спеціальні стелажі, за допомогою системи автоматичного контролю клімату задають оптимальні кліматичні умови і субстрат вкривають покривним матеріалом (торф).

На рис. 2.11 показані стелажі з субстратом для вирощування печериць.



Рис. 2.11. Стелажі з субстратом для вирощування печериць.

Біологічний урожай визначали на площі 240 м². Установку поливу шампінйонів встановлювали на грибний комплекс, що складається з трьох ярусів стелажів загальною висотою 1,5 м. Ширина стелажа 1 м, його довжина 18 м.

Для виконання поставлених завдань відповідно до проведених теоретичних досліджень програма експериментальних досліджень включала в себе серію

двофакторних експериментів. Двофакторний експеримент забезпечував оцінку впливу конструктивних параметрів дощувальної насадки: напір і інтенсивність дощу, що формується дощувальною насадкою, ширина сопла насадки.

Вентиляторна дощувальна насадка зі соплом змінної форми була змонтована на поливальній установці. При проведенні експериментальних досліджень вона працювала при різному тиску води (фактор А), що виходила з сопла насадки, який змінювали за трьома значеннями за допомогою насоса. Ширину сопла змінювали за 17 значеннями (фактор В). Критерієм оптимізації в двофакторному експерименті була інтенсивність дощу (мм/хв), створюваного віяловою дощовою насадкою зі соплом змінної форми.

Результати проведеного експерименту були оброблені за допомогою спеціалізованих програмних продуктів Microsoft Excel і Statistica.

Дані лабораторних та експериментальних досліджень були представлені у вигляді графічних залежностей із застосуванням програмних продуктів Microsoft Excel та Statistica і оброблені за допомогою вбудованого математичного апарату

Висновки по розділу

На підставі проведених теоретичних досліджень було розроблено та виготовлено дослідний зразок віялової дощувальної насадки зі змінною формою сопла.

Розроблено програму та методику експериментальних досліджень поливної установки, оснащеної віяловими дощовими насадками зі змінною формою сопла, що працює в культиваційній камері для вирощування печериць.

Розроблено та запропоновано лабораторну установку для дослідження рівномірності поливу.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ЛАБОРАТОРНИХ І ВИРОБНИЧИХ ДОСЛІДЖЕНЬ УСТАНОВКИ ПОЛИВУ, ОБЛАДНАНОЇ ВІЯЛОВОЮ ДОЩУВАЛЬНОЮ НАСАДКОЮ

Для визначення впливу поливної норми на зміну вологості субстрату було підготовлено субстрат в обсязі 1 м³. Внесення поливної норми здійснювали лабораторною дощувальною установкою рівномірно по всій площі досліджуваного субстрату. Отримані результати представлені на рис. 3.1.

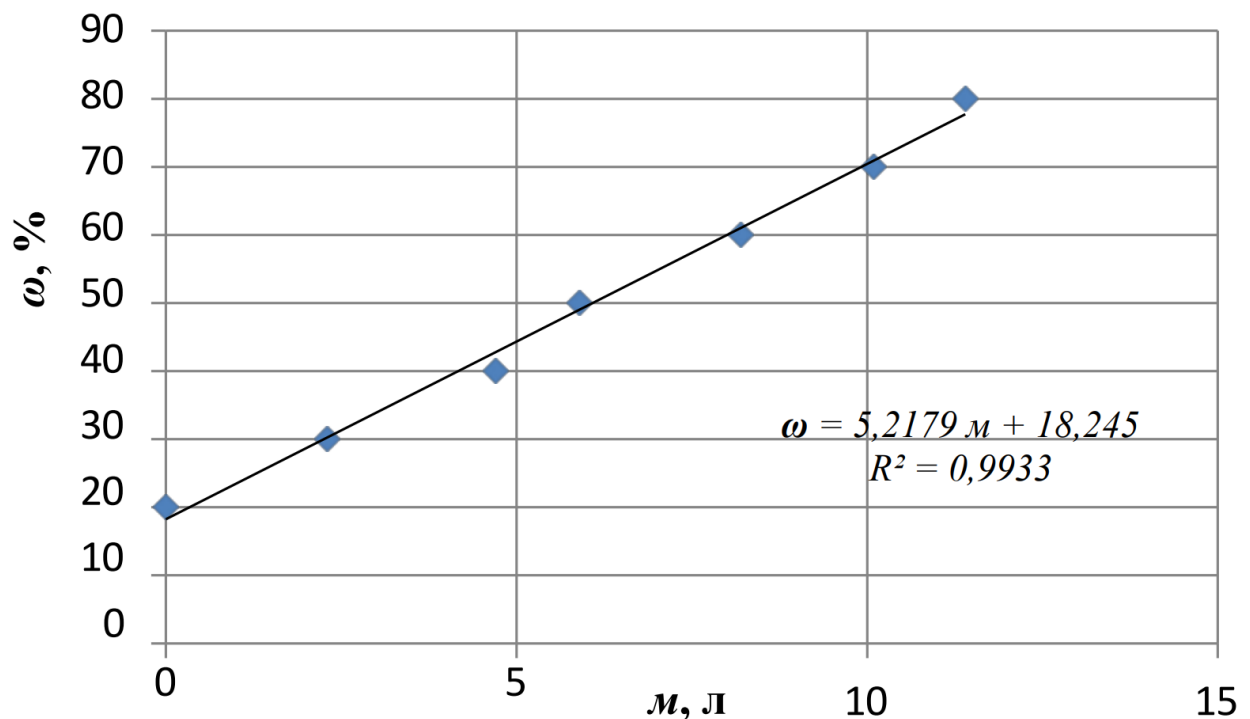
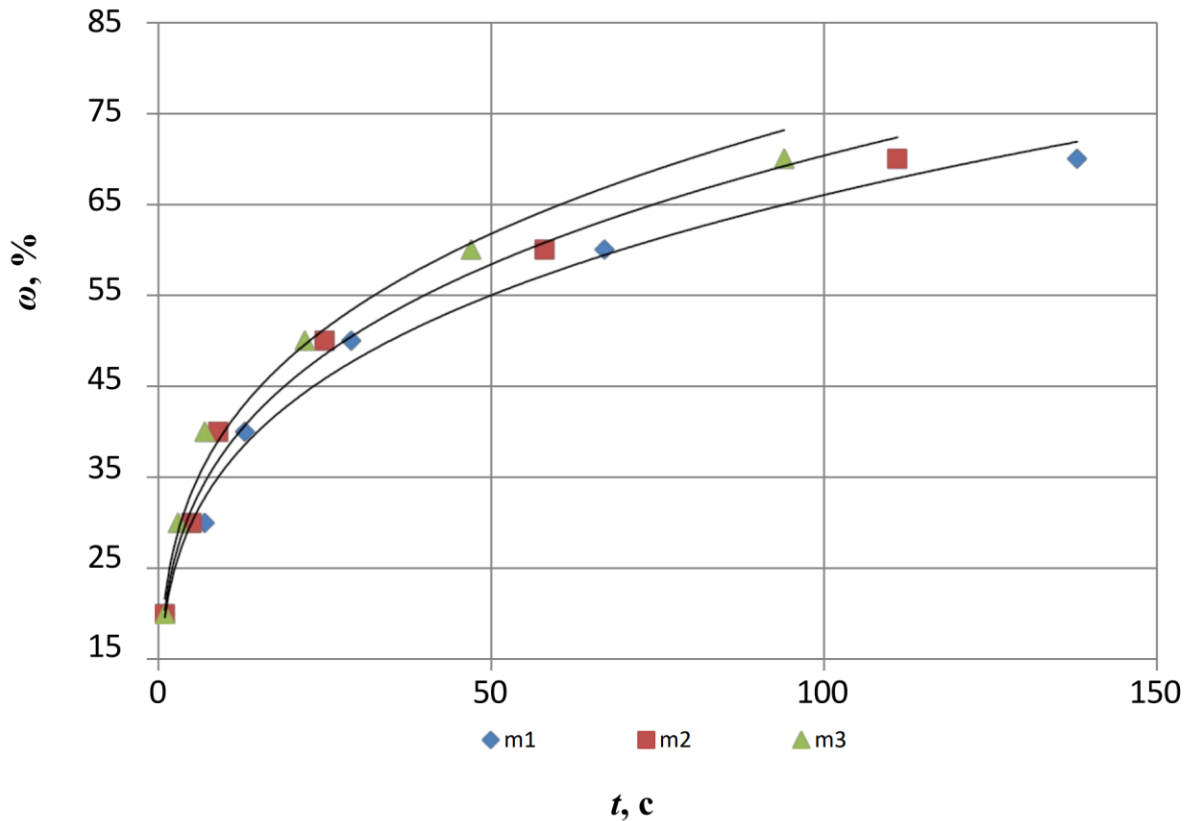


Рис. 3.1. Графік впливу поливної норми m на зміну вологості покривного шару і субстрату ω .

Встановлено, що для збільшення вологості субстрату з 20 до 40 % потрібно довести внесення поливної норми до 4 л/м². Подальше збільшення поливної норми супроводжувалося підвищенням вологості до настання граничного значення 80 %, при якому відбувалося перенасичення субстрату і припинялося вбирання води.

Для вивчення зміни вологості субстрату в часі внесення норми поливу була обрана ділянка площею 1 м² і товщиною субстрату 0,15 м.

Дослідження проводили в трьох режимах з поливними нормами 1 л/м² , 1,5 і 2 л/м². Результати наведено на рис. 3.2.



Норма поливу	Рівняння регресії	
$m = 1 \text{ л/м}^2$ (m1)	$\omega = 19,624t^{0,234}$	$R^2 = 0,9892$
$m = 1,5 \text{ л/м}^2$ (m2)	$\omega = 20,42t^{0,2685}$	$R^2 = 0,9895$
$m = 2 \text{ л/м}^2$ (m3)	$\omega = 21,638t^{0,268}$	$R^2 = 0,988$

Рис. 3.2. Графік зміни вологості субстрату ω відносно часу поливу t .

Визначено, що повне вбирання води в субстраті відбувається при різних нормах поливу найбільшою мірою в перші години. Також встановлено, що при нормі поливу 1 л/м² збільшення вологості з 20 до 58 % відбувається більш інтенсивно в перші 65 с, при подальшому насиченні субстрату зростання вологості скорочується і вона досягає свого максимального значення 70 % приблизно через 140 с.

Аналогічна картина спостерігається при нормах поливу 1,5 і 2 л/м² , граничні значення досягаються через 110 і 90 с відповідно.

Результати досліджень показали, що при різних геометричних формах сопла насадки і при збільшенні тиску з 0,02 до 0,04 МПа витрата води змінюється.

Середнє значення коефіцієнта витрати води віяловою насадкою становить 0,94–0,97. Витрата води була розрахована за відомою формулою.

Вплив зміни тиску на витрату води віяловою дощувальною насадкою відображено на рис. 3.4.

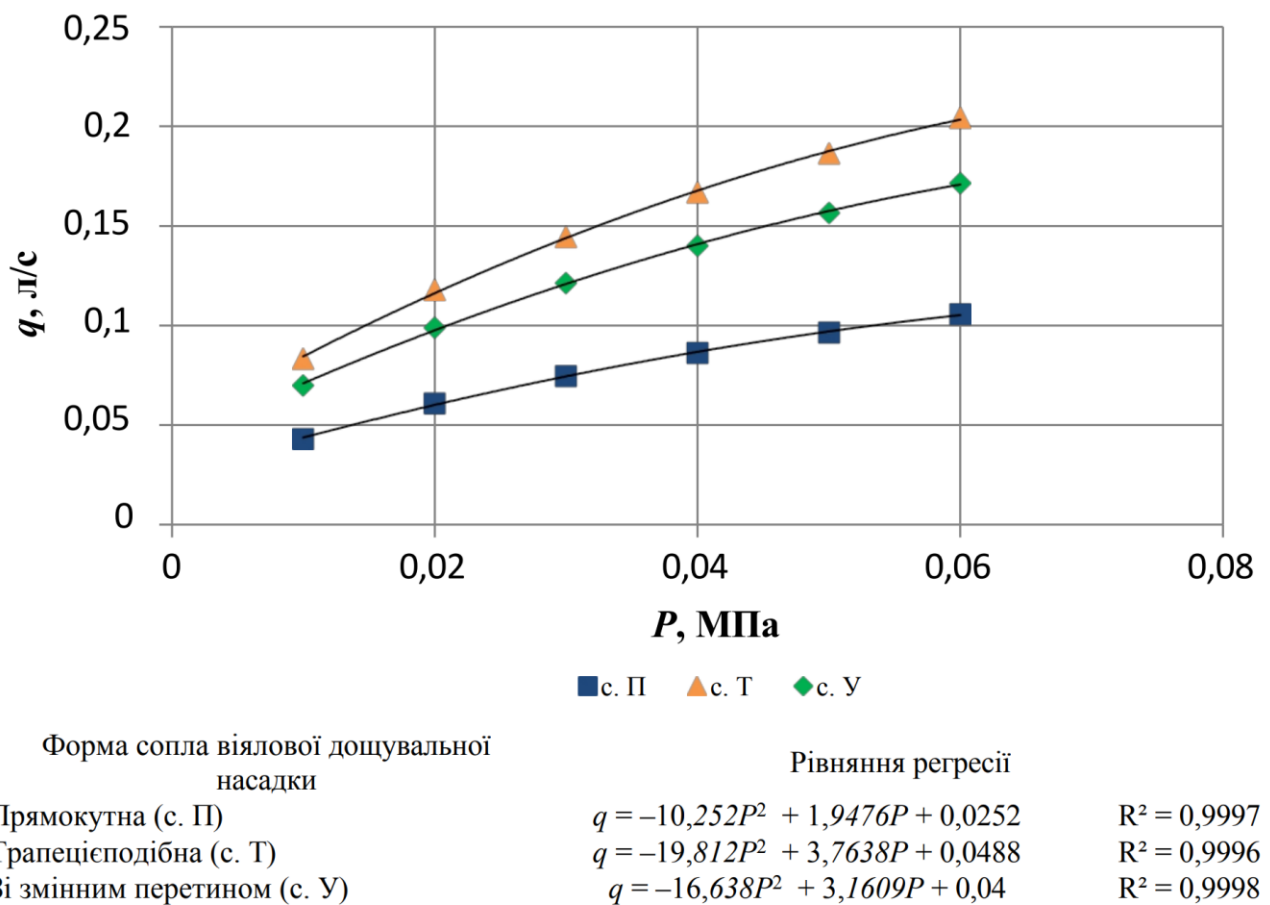


Рис. 3.4. Вплив зміни тиску води на витрату віялової дощувальної насадки з різними формами сопла.

Коефіцієнт витрати дощувальних апаратів – 0,94–0,97 [4].

В результаті досліджень витрати води дощувальними насадками з трьома варіантами геометрії та площі перетину сопла з'ясували, що при тиску в напірному трубопроводі 0,02 МПа при використанні насадки з соплом прямокутної форми витрата води становить 0,04 л/с, з соплом трапецієподібної

форми – 0,08 л/с, з соплом змінної форми – 0,07 л/с. При збільшенні тиску до 0,04 МПа цей показник зростає відповідно до 0,08 л/с, 0,17 і 0,14 л/с.

Лабораторні дослідження віялових дощувальних насадок показали, що дальність польоту струменя залежить від геометричних розмірів сопла, в нашому випадку – від ширини перетину сопла, тиску перед насадкою, висоти її розташування над поверхнею субстрату (рис. 3.4).

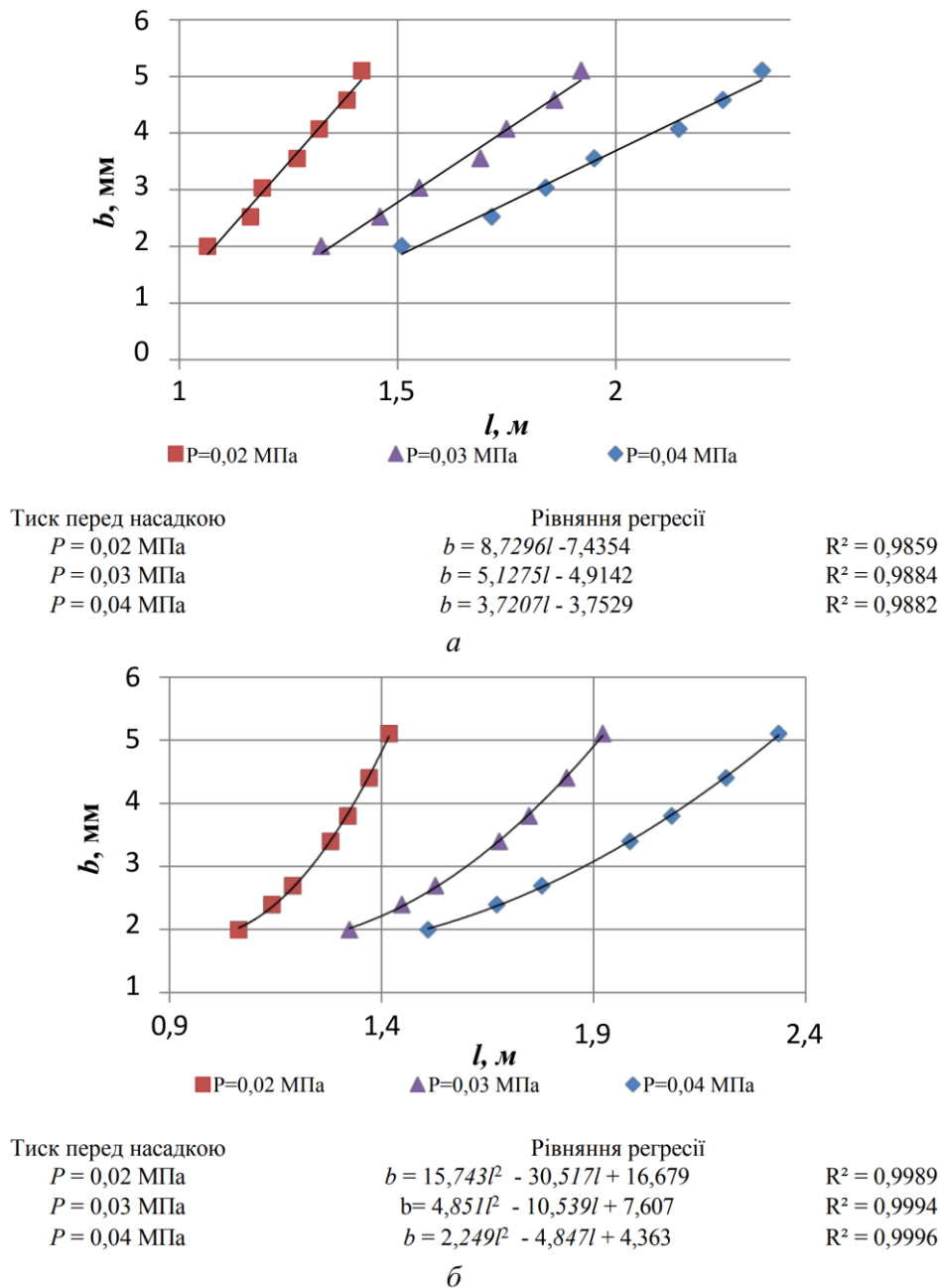


Рис. 3.4. Дальність польоту струменя l залежно від форми та зміни ширини сопла Δb віялової дощувальної насадки: а – трапецієподібна форма; б – змінна форма сопла.

Експериментально визначено, що для насадки з соплом прямокутної форми максимальна дальність польоту краплі дощу становить 0,92 м при тиску 0,02 МПа. Для насадки з соплом трапецієподібної форми при цьому ж тиску максимальна дальність польоту струменя зростає з 0,92 до 1,32 м із збільшенням ширини сопла. У насадки з соплом змінного перетину граничні значення максимальної дальності польоту струменя аналогічні з попередньою насадкою, але зміна дальності польоту струменя має плавний характер. Таким чином, пропонована насадка забезпечує перекриття зони поливу при тиску 0,02 МПа.

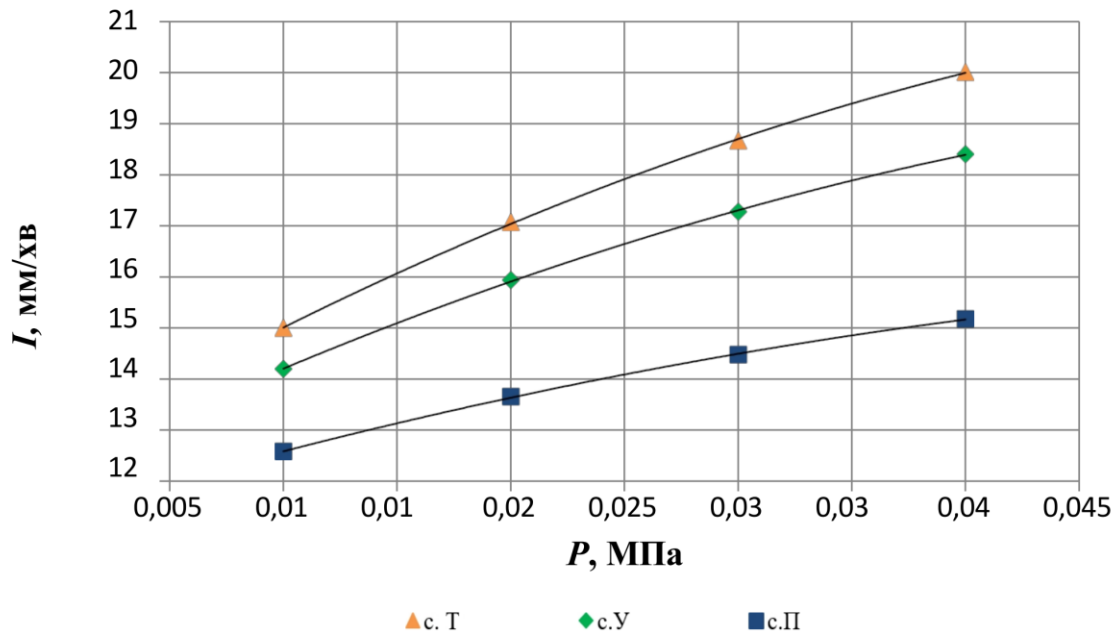
Віялові дощувальні насадки слід встановлювати на висоті 0,4 м від поверхні зони поливу. Це пов'язано з технологічними обмеженнями, оскільки висота технологічної зони від поверхні покривного шару над субстратом до перекриття наступного ярусу стелажа становить 0,4 м.

Середня інтенсивність дощу має значний вплив на ґрунт і норму поливу до стоку.

Віяло розпилю дощу віяловою дощувальною насадкою перекриває задану технологічну зону поливу, довжина якої 1 м. Дальність польоту струменя при цьому також технічно обмежена довжиною зони поливу.

Інтенсивність дощу, що формується віяловими дощувальними насадками, залежно від зміни тиску перед ними, представлена на рис. 3.5.

В результаті досліджень з'ясували, що з підвищенням тиску з 0,01 до 0,04 МПа середня інтенсивність дощу зростає у дощувальній насадці з соплом прямокутної форми з 12,6 до 15,2 мм/хв; у дощовій насадці з соплом трапецієподібної форми – з 15,0 до 20,3 мм/хв, а у дощовій насадці з соплом змінної форми – з 14,2 до 18,4 мм/хв.



Форма сопла віялової дощувальної насадки	Рівняння регресії	
Прямокутна (с. П)	$I = -615,09P^2 + 116,85P + 1,5148$	$R^2 = 0,9993$
Трапецієподібна (с. Т)	$I = -1188,7P^2 + 225,83P + 2,9275$	$R^2 = 0,9838$
З змінним перетином (с. У)	$I = -998,3P^2 + 189,66P + 2,4586$	$R^2 = 0,9875$

Рис. 3.5. Вплив тиску на середню інтенсивність дощу при випробуванні трьох типів дощових насадок.

Агротехнічні вимоги обмежують три характеристики штучного дощу: рівномірність розподілу його по зрошуваній ділянці, середню і допустиму інтенсивність і середній діаметр крапель. Аналіз показує, що дані характеристики далеко не повністю відображають якість поливу. При поливі розробленою установкою поливу для підвищення врожайності печериць необхідно, щоб коефіцієнт ефективності поливу був якомога більшим і наближався до 100%-го значення. Для цього при поливі вода повинна бути якомога рівномірніше розподілена по зрошуваній площі.

Результати лабораторних досліджень рівномірності розподілу дощу віяловими дощувальними насадками по довжині зрошуваної ділянки представлені на рис. 3.6–3.7.

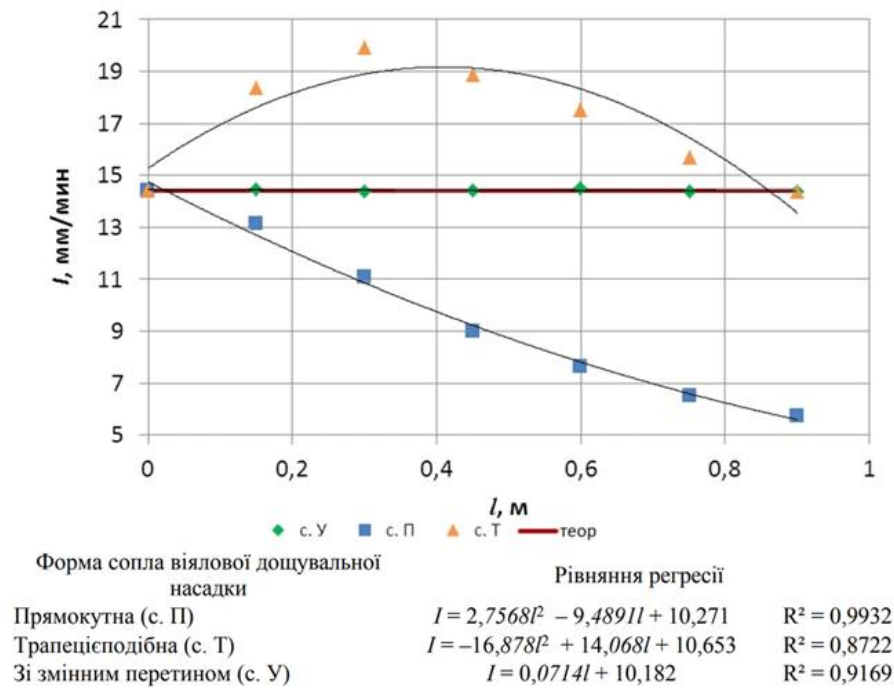


Рис. 3.6. Зміна інтенсивності дощу при поливі віяловими дощувальними насадками при тиску води 0,02 МПа.

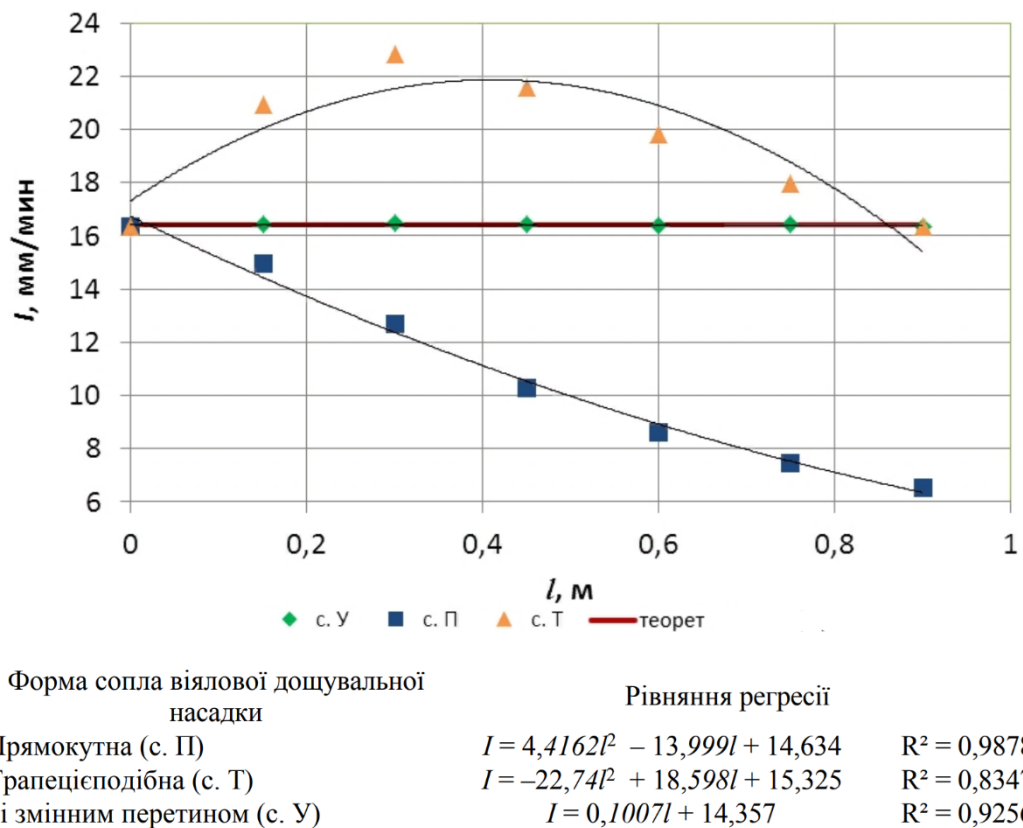


Рис. 3.7. Зміна інтенсивності дощу при поливі віяловими дощувальними насадками при тиску води 0,04 МПа

Геометрична форма дощової насадки зі соплом змінної форми забезпечує достатню рівномірність як поблизу установки насадки ($I = 14,36$ мм/хв при $0,02$ МПа, $I = 16,49$ мм/хв при $0,03$ МПа, $I = 18,29$ мм/хв при $0,04$ МПа), так і протягом всієї зони поливу.

Різких збільшень і знижень інтенсивності не відбувається, вона стабільно тримається в межах від $14,36$ до $14,47$ мм/хв при тиску $0,02$ МПа, від $16,33$ до $16,49$ мм/хв при тиску $0,03$ МПа і від $18,1$ до $18,29$ мм/хв при тиску $0,04$ МПа на відстані до 1 м, що відповідає меті наукової роботи. Подібна рівномірність інтенсивності дощу не спостерігається у віялових насадок з соплом прямокутної та трапецієподібної форми.

На рис. 3.8–3.10 можна помітити, що при поливі віяловою дощувальною насадкою з соплом прямокутної форми інтенсивність дощу знижується в міру віддалення від місця установки. При використанні сопла трапецієподібної форми спостерігається сильне підвищення інтенсивності дощу на відстані $0,31$ з її подальшим плавним зменшенням. Вентиляторна дощувальна насадка з соплом змінної форми забезпечує відносно рівномірну інтенсивність дощу по всій довжині зони поливу з її незначним збільшенням в середині зони поливу.

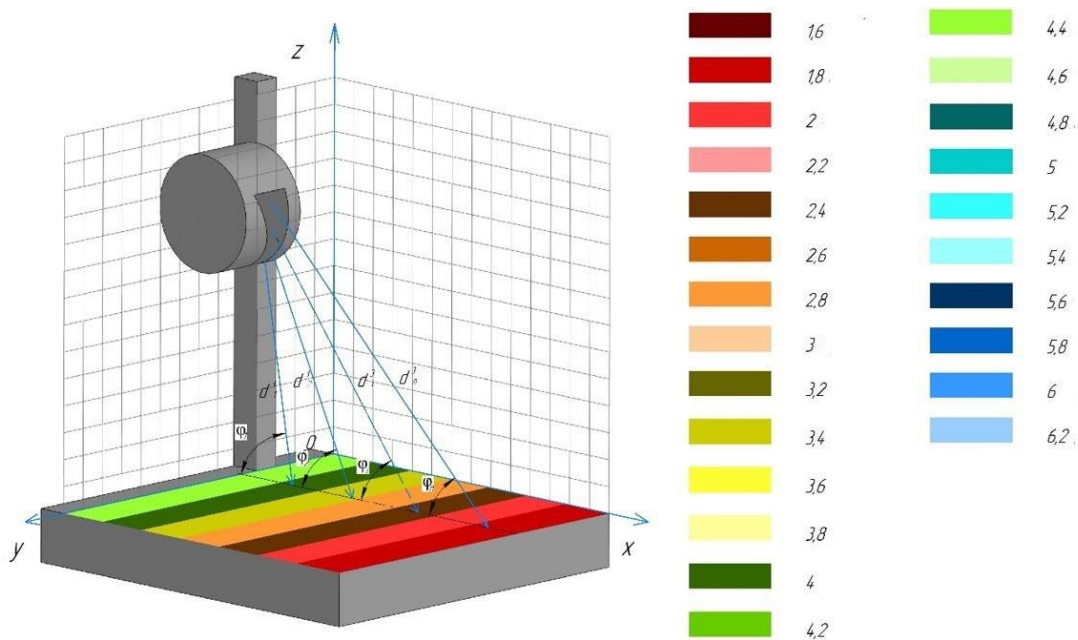


Рис. 3.8. Розподіл середньої інтенсивності дощу по площі зрошення при поливі струменевою віяловою дощовою насадкою з соплом прямокутної форми.

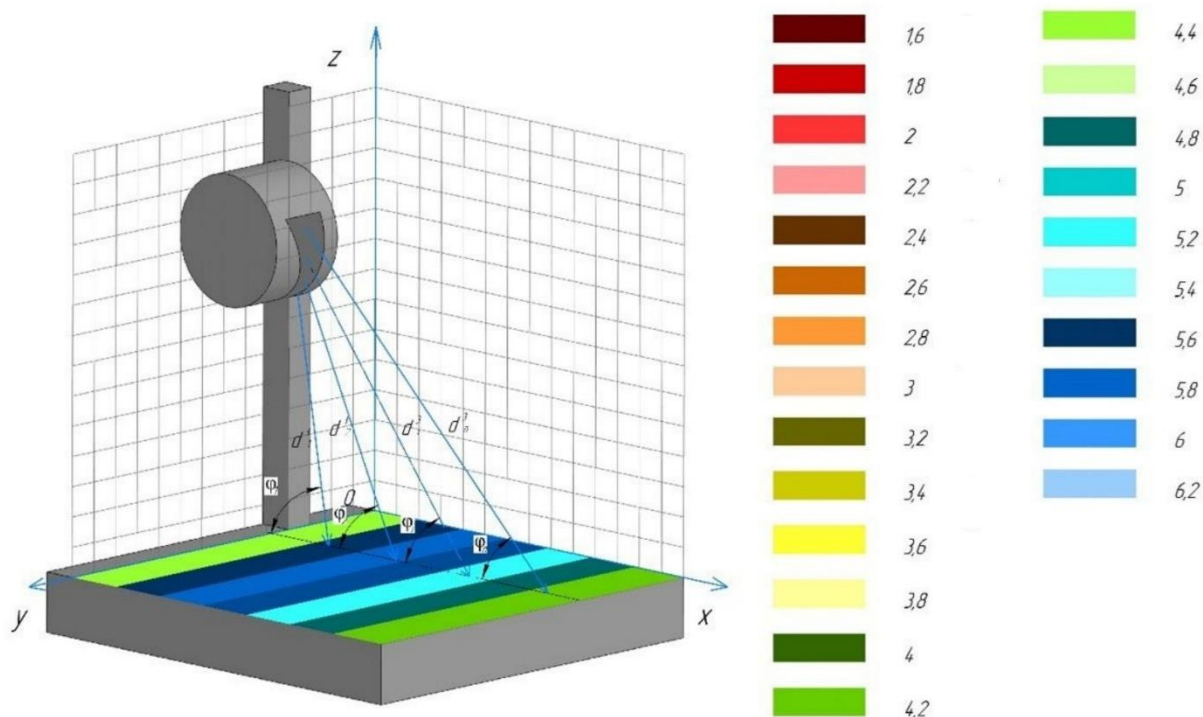


Рис. 3.9. Розподіл середньої інтенсивності дощу по площі зрошення при поливі струменевою віяловою дощувальною насадкою з соплом трапецієподібної форми.

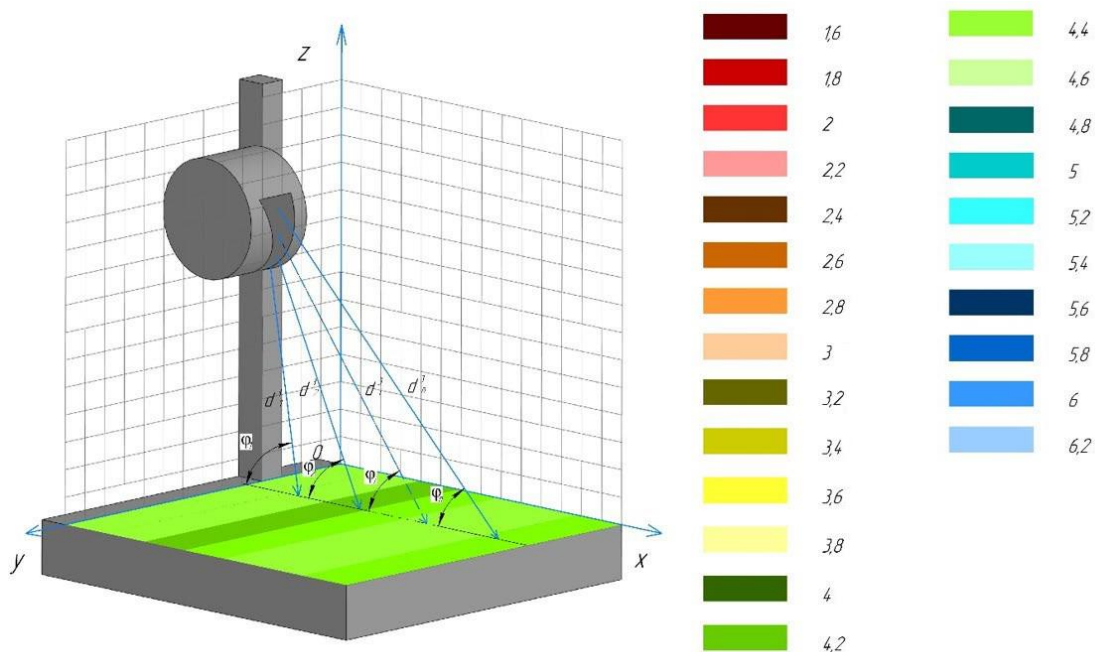


Рис. 3.10. Розподіл середньої інтенсивності дощу по площі зрошення при поливі струменевою віяловою дощувальною насадкою зі соплом змінної форми.

Таким чином, можна зробити висновок про те, що зміна ширини перетину сопла, дійсно, позитивно впливає на рівномірність розподілу дощу по площі поливу.

При поливі віяловою дощувальною насадкою з соплом прямокутної форми, у якого ширина сопла незмінна, при установці насадки з бічного боку зони поливу на висоті 0,4 м коефіцієнт рівномірності поливу становить 0,66–0,75, що недостатньо для наших умов. Для поліпшення рівномірності поливу була використана схема зі змінною шириною сопла трапецієподібної та перемінної формами. При випробуванні насадки з соплом трапецієподібної форми коефіцієнт рівномірності поливу – 0,86–0,88, а при випробуванні насадки з соплом змінної форми – 0,94 (рис. 3.11).

Високий коефіцієнт рівномірності поливу за Крістіансенем у насадки з соплом змінного перетину ($\sigma = 94\%$) свідчить про кращу рівномірність розподілу інтенсивності дощу по всій площі поливу, що наочно показано на рис. 3.11.

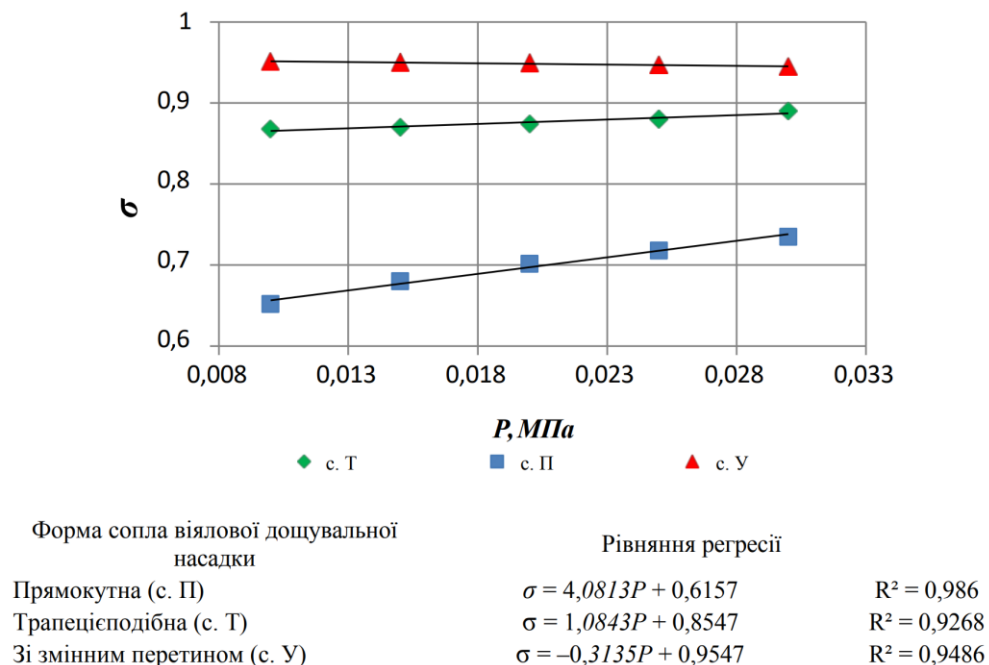


Рис. 3.11. Зміна коефіцієнта рівномірності поливу σ залежно від тиску P .

На підставі вищевикладеного можна зробити висновок про те, що віялова дощова насадка зі змінною формою сопла забезпечує оптимальний

дрібнодисперсний дощ з діаметром крапель 0,8–1,4 мм і високий коефіцієнт рівномірності поливу, що досягає 0,94.

Висновки по розділу

1. В результаті експериментальних досліджень були визначені повна вологоємність субстрату, яка склала 0,8, і час вбирання води. Встановлено, що при нормі поливу 1 л/м² повна вологоємність досягається за 140 с, а при нормах поливу 1,5 і 2 л/м² – за 110 і 90 с відповідно.

2. Виконані експериментальні дослідження підтвердили правильність визначених раціональних конструкторських параметрів запропонованої віялової дощувальної насадки змінним перетином сопла $\gamma = 72^\circ$; ширина сопла насадки змінюється від 2 мм у нижній частині до 5 мм у верхній частині; висота сопла насадки досягає 12 мм.

3. В ході експериментальних досліджень були визначені витратні характеристики досліджуваних дощувальних насадок, показники дальності польоту крапель дощу, інтенсивності дощу і рівномірність поливу. Встановлено, що пропонована віялова дощувальна насадка зі змінною формою сопла стабільно працює при низькому напорі води (0,02–0,04 МПа) і створює дощ з найбільшим вмістом крапель діаметром 0,8–1,4 мм у порівнянні з серійними насадками. Зміна ширини сопла змінної форми з 2 до 5 мм забезпечує видачу необхідної поливної норми 1,5 л/м² з найбільш високим коефіцієнтом рівномірності поливу ($\sigma = 0,94$).

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У роботі вирішено актуальне завдання підвищення якісних показників поливу поливною установкою, розміщеною в культивацийній камері для вирощування печериць, шляхом застосування віялової дощувальної насадки зі змінною формою сопла.

Проведений аналіз існуючих способів поливу і дощоутворюючих пристроїв на поливних установках, що використовуються в культивацийних камерах, показав, що дані пристрої формують дощ з великим діаметром крапель, низькою інтенсивністю і рівномірністю поливу. Була розроблена конструкція автоматизованої поливної установки, оснащеної віяловою дощувальною насадкою, що дозволяє підвищити якісні показники дощу за рахунок застосування сопла змінного перетину.

Експериментальні дослідження показали, що застосування на поливальній установці віялової дощувальної насадки дозволить стабільно працювати при низькому натиску води (0,02...0,04 МПа) і створювати дощ з найбільшим вмістом крапель діаметром 0,8...1,4 мм, на відміну від серійних дощоутворюючих пристроїв. Зміна ширини сопла насадки з 2 до 5 мм при зміні висоти сопла насадки з 2 до 12 мм забезпечує видачу поливної норми 1,5 л/м² з інтенсивністю дощу 14,1-14,7 мм/хв і найвищим коефіцієнтом рівномірності поливу ($\sigma = 94 \%$).

Перспективним напрямком подальшої розробки теми видається впровадження автоматизації для підвищення ефективності поливу поливною установкою та вдосконалення конструкції віялової дощувальної насадки для поліпшення якісних показників дощу або використання аналітичних залежностей і результатів даної магістерської роботи для створення дощувальних пристроїв з програмованою рівномірністю розподілу дощу по зоні поливу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Білецький В.Р., Булич Р.П., Шевчук О.А. Огляд пристроїв для поливу печериць в тепличних умовах. XIV Міжнародна науково-технічна конференція «Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві» (01-17 жовтня 2025 р.). URL: <http://animal-conf.inf.ua/conf.html>.
2. Білецький В.Р., Булич Р.П. Запропонована конструкція установки для поливу грибів з віяловою дощувальною насадкою. Аналіз умов роботи та зношування стрілчастих лап культиваторів. Збірник тез доповідей XXVI Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки" (17–19 жовтня 2025 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. С. 140-143.
3. . Булич Р.П. Огляд дощувальних насадок установок для поливу грибів. Наукові читання – 2025: збірник тез доповідей науково-практичної конференції за підсумками I-го туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузей знань і спеціальностей. 23 квітня 2025 р. Житомир: Поліський національний університет, 2025. Том 2. . С. 50-51.
4. Бойко В. О. Технологія промислового вирощування грибів : навч. посіб. Київ : НУБіП України, 2019. 214 с.
5. Коваленко І. В., Шевченко О. М. Інженерні системи мікроклімату теплиць. Харків : ХНАУ, 2020. 186 с.
6. Лісовий М. А. Грибівництво в умовах закритого ґрунту. Львів : Львівський нац. аграрний ун-т, 2018. 172 с.
7. ДСТУ 7176:2010. Гриби культивовані. Загальні технічні умови. Київ : Держспоживстандарт України, 2010. 18 с.
8. Погорілий Л. В., Гайдай Т. В. Технологічні процеси в тепличному виробництві. Київ : Аграрна наука, 2021. 264 с.
9. Яценко О. М. Автоматизація поливних систем у тепличному господарстві // Вісник аграрної науки. 2022. № 5. С. 54–61.

10. Державна служба статистики України. Виробництво грибів в Україні : статистичний збірник. Київ, 2023. 48 с.
8. Chang S. T., Miles P. G. Mushrooms: Cultivation, Nutritional Value, Medicinal Effect, and Environmental Impact. 2nd ed. Boca Raton : CRC Press, 2004. 451 p.
9. Sánchez C. Cultivation of *Pleurotus ostreatus* and other edible mushrooms // *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2010. Vol. 85, No. 5. P. 1321–1337.
10. Royse D. J. Specialty Mushrooms Cultivation on a Commercial Scale. University Park : Penn State Extension, 2014. 96 p.
11. Zied D. C., Pardo-Giménez A. Edible and Medicinal Mushrooms: Technology and Applications. Hoboken : Wiley-Blackwell, 2017. 420 p.
12. Jones E. R., Davis M. Irrigation systems for mushroom cultivation // *Agricultural Engineering Today*. 2019. Vol. 43, No. 2. P. 27–34.
13. FAO. Mushroom Production and Processing Technology. Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2018. 112 p.
14. Lelley J. Die Kultivierung von Speisepilzen. Stuttgart : Ulmer Verlag, 2015. 192 S.
15. Kothe E. Pilze in der modernen Landwirtschaft. Berlin : Springer, 2016. 268 S.
16. Schmid R., Huber M. Gewächshaustechnik und Bewässerungssysteme. München : Fachverlag Holzmann, 2019. 214 S.
17. Müller K. Automatisierte Bewässerung in der Pilzzucht // *Agrartechnik*. 2021. Bd. 76, Nr. 4. S. 198–204.
18. 张金霞. 食用菌栽培技术. 北京 : 中国农业出版社, 2017. 320 页.
19. 李明, 王强. 温室食用菌生产中的水分管理研究 // *农业工程学报*. 2020. 第 36 卷, 第 12 期. 页 145–152.

20. 陈伟. 现代食用菌工厂化生产技术. 上海 : 上海科学技术出版社, 2019. 288 页.
21. 赵鹏飞. 食用菌栽培环境控制技术. 北京 : 科学出版社, 2021. 256 页.
22. ISO 14644-1:2015. Cleanrooms and associated controlled environments. Geneva : ISO, 2015.
23. European Mushroom Growers Association. Best Available Techniques in Mushroom Cultivation. Brussels, 2020. 64 p.
24. Modern Mushroom Grower. Irrigation strategies in controlled environment agriculture. URL: <https://www.mushroomgrowers.org> (дата звернення: 15.12.2025).