

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ ГРИБНОЇ ФЕРМИ

П. О. Качанов, О. М. Євсєєнко

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

А. М. Півненко

ТОВ «ВО ОВЕН», м. Харків

Печериці дуже популярні у всьому світі і є комерційно важливими як у країнах Європейського Союзу, так і країнах пострадянського простору. Для культивування грибів потрібні спеціальні умови, тому що печериці чутливі до температурно-вологісного режиму, деяких захворювань, рівня кисню в повітрі на різних етапах і стадіях вирощування.

У статті розглядається проблема автоматизації процесу грибного виробництва на етапі вирощування. Обґрунтовується ідея, що підтримання необхідного мікроклімату в приміщенні дасть змогу підвищити якість вирощування грибів. Метою статті є аналіз технологічного процесу вирощування печериць для створення автоматизованої системи управління мікрокліматом грибної ферми. Особливу увагу приділено опису грибної ферми як об'єкта автоматизації. Показано можливість побудови системи керування вентиляційною установкою та процесами в приміщенні за рахунок використання програмованих реле та програмованого логічного контролера, об'єднаних в єдину мережу.

Увесь процес керування вирощуванням грибів розбито на системи, управління якими забезпечує необхідний мікроклімат. Значна увага приділяється роботі переліку вхідних і вихідних сигналів, вимог до програми та мнемосхеми оператора SCADA-системи, аналізу технологічного процесу вирощування.

Проведений огляд літератури показав, що, незважаючи на досить велику кількість регуляторів, наразі ще не створено системи для отримання параметрів та керування температурно-вологісними режимами грибної ферми як об'єктом з розподіленими параметрами.

У подальших дослідженнях планується впровадження розробленої системи в технологічний процес вирощування грибів. Також систему планується використовувати для застосування алгоритмів управління з прогнозуванням температури і вологості в приміщенні.

Ключові слова: грибна ферма, автоматизована система керування, апаратно-програмний комплекс, керування температурою та вологістю, SCADA-система.

Постановка проблеми. За останні роки глобальне потепління суттєво вплинуло на якість вирощування рослин. У зв'язку зі зміною кліматичних умов відбувається перехід до штучного вирощування рослин, що забезпечить зниження залежності урожайності від природних умов.

Україна є одним з найбільших експортерів грибів у Молдову, Білорусь і Румунію. Починаючи з 2014 р., темпи вирощування грибів щороку зростають при-

близно від 3 до 5%. Так, за даними Національного грибного агентства UMDIS, експорт печериць в Україні за 2017 р. виріс у 50 разів, якщо порівняти з 2016 роком. У 2018 р. експорт грибів збільшився ще вдвічі. Разом з експортом зростає обсяг і культура споживання грибів в Україні.

Автоматизація відіграє величезну роль у сільському господарстві. Використання датчиків і виконавчих механізмів дає змогу створити штучні умови вирощування будь-якої сільськогосподарської культури в країнах, в яких вона природним чином не росте.

Вирощування грибів вимагає особливого мікроклімату. Невідповідна температура, вологість, рівень світла і циркуляції повітря призводить до різних хвороб, наприклад, утворення цвілі або появи грибних мошок. Так, вирощування глив на різних етапах вимагає температури від 22°C до 28°C і вологості від 70% до 90%.

В Україні відсутні нормативні документи, що регулюють технічні умови вирощування грибів, але існують вимоги до якості ґрунту для вирощування печериць [1]. У країнах ЄС і РФ такі нормативні документи є, наприклад, у РФ діє документ з технічними умовами [2].

Переважно на грибних фермах вирощують гриби в приміщеннях без автоматизації. Вологість, температура, рівень CO₂ контролюються оператором вручну, тому більшість систем опалення, кондиціонування й устаткування телефонного дротяного зв'язку має дуже неточне автоматичне керування. Як відомо, гриби чутливі до коливань температури і вологості. Зміна температури всього на півградуса, а вологості на кілька відсотків може мати серйозний вплив на їхній ріст і розвиток. Для досягнення максимальної продуктивності на грибній фермі потрібні вимірювання вологості, температури і CO₂ залежно від стадії зростання та автоматизоване управління.

Розвиток грибівництва як галузі залежить від стану сільського господарства, рівня автоматизації, нормативної бази. Україна має достатній потенціал зростання і перспективи розвитку грибівництва.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У [3; 4] представлена розроблена автоматизована система на базі контролера Arduino з використанням мобільного додатка для відображення поточних і задання оперативних параметрів. Недоліком цієї системи є використання контролера без корпусу, низька фонові стійкість. У [5—7] розглядаються системи управління температурою грибної кімнати з використанням ПД-регулятора, нейронних мереж, фазі-логіки. Однак такі системи розглядають грибну ферму як об'єкт із визначеними параметрами і не враховують параметри об'єкта управління (час перехідних процесів об'єкта, час транспортного запізнювання). У [8] пропонується система управління на базі ПЛК, проте не наводиться перелік сигналів, не обґрунтовується вибір датчиків, не описується система.

Метою дослідження є створення системи автоматизованого управління для підтримки оптимального мікроклімату в грибних камерах для якісного вирощування печериць або інших екзотичних видів грибів: оперативний збір, зберігання й обробка інформації про стан виконавчих механізмів і датчиків — для

візуалізації оператора, подальшого аналізу, підвищення безпеки та поліпшення якості технологічного процесу.

Викладення основних результатів дослідження. Об'єктом автоматизації є грибна ферма. До її складу входять приміщення (рис. 1) для вирощування грибів, технологічні приміщення і коридори. Приміщень для вирощування грибів, як правило, кілька десятків штук. Кожне приміщення розраховане на певну масу завантаженого в нього компосту — від 10—20 до 40—60 тонн. У приміщенні для вирощування грибів (в кілька поверхів) розміщені полиці (стелажі) з компостом. Компост — це суміш соломи, курячого посліду і гіпсу. Зверху компост покритий торфом. До завантаження компост проходить етапи вирівнювання, підігріву, пастеризації, охолодження, кондиціонування, посіву міцелію.

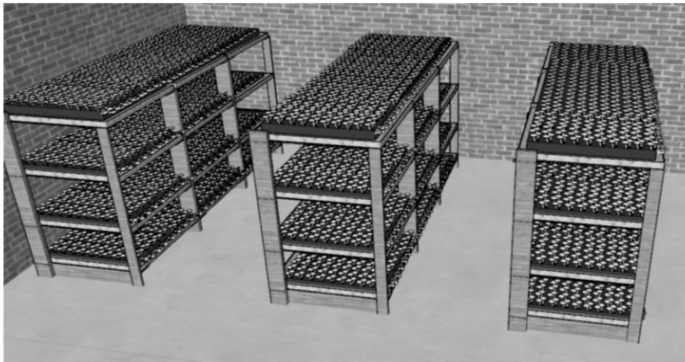


Рис. 1. Зовнішній вигляд кімнати для вирощування грибів

Також у приміщенні (рис. 2) розташовані: витяжний вентилятор і/або витяжні отвори, датчики температури компосту, датчики температури і вологості повітря, датчик вуглекислого газу, повітроводи, отвір під рециркуляцію повітря, лампи освітлення, датчик освітленості.

Перед приміщенням зверху розміщена вентиляційна (кліматична) установка. У неї входять: заслінка свіжого повітря, заслінка рециркуляційного повітря, охолоджувач, клапан холодної води, нагрівач, клапан гарячої води, вентилятор припливний, вентилятор витяжний, датчик температури повітря після охолодження, датчик температури повітря після нагріву, зволожувач і клапан управління зволожувачем, датчик температури припливного (свіжого) повітря. У коридорі розміщені також блоки управління, силові блоки, датчики перепаду тиску. Зовні грибної ферми розташовані датчики температури і вологості повітря, а також датчик рівня CO₂.

У процесі моніторингу й управління мікрокліматом в одній камері вирощування грибів необхідно вимірювати і контролювати показання різних датчиків: температури повітря, температури компосту, вологості повітря, рівня CO₂ в приміщенні, температури і вологості повітря зовні ферми, температури повітря у вентиляційній установці, перепаду тиску повітря в приміщенні, а також управляти виконавчими механізмами.

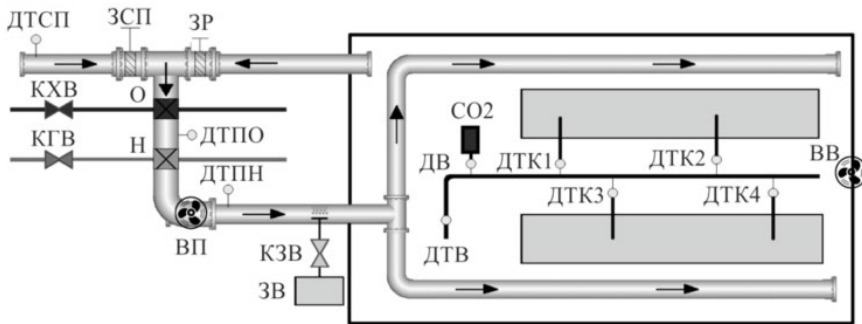


Рис. 2. Структурна схема грибної ферми з виконавчими пристроями та датчиками:

ДТСП — датчик температури свіжого повітря; ЗСП — заслінка свіжого повітря; ЗР — заслінка рециркуляційного повітря; КХВ — клапан холодної води; КГВ — клапан гарячої води; О — охолоджувач; Н — нагрівач; ДТПО — датчик температури повітря після охолодження; ДТПН — датчик температури повітря після нагріву; ВП — вентилятор припливний; КЗВ — клапан управління зволожувачем; ЗВ — зволожувач; CO₂ — датчик вуглекислого газу; ДВ — датчик вологості повітря; ДТК1 — датчик температури компосту 1; ДТК2 — датчик температури компосту 2; ДТК3 — датчик температури компосту 3; ДТК4 — датчик температури компосту 4; ВВ — вентилятор витяжний; ДТВ — датчики температури повітря

Під час росту грибів у камері проходять фази проростання міцелію в покривний ґрунт, відновлення після розпушування, охолодження до температури початку плодоутворення, плодоутворення, плодоношення, а після збору врожаю — термообробки та очищення камер.

Урожай грибів збирають хвилями. Перша хвиля забезпечує до 50% урожаю від усього обсягу, друга — до 30—35%, якщо є необхідність, то збирають третю. Однак чим більше хвиль, тим більше знижується якість грибів, зростає ймовірність забруднення грибів хворобами.

Для кожної фази підготовки компосту або вирощування міцелію слід розробити методи регулювання таких систем:

1. Система управління температурою компосту (міцелію) і температурою повітря.

Температура міцелію за весь період вирощування (21 день) задається у вигляді залежності температури від дня вирощування. Поточна задана температура повітря в камері (T_n) обчислюється, виходячи із заданої для поточної доби фази вирощування температури компосту (T_k) за формулою:

$$T_n = T_k - T_3, \quad (1)$$

де T_3 — температура зсуву, що задається оператором.

Регулятор температури повітря повинен працювати в режимах нагрівання, охолодження або в комбінованому режимі. Нагрівання повітря в камері проводиться нагрівачем, а охолодження повітря проводиться холодильною установкою або свіжим повітрям.

2. Система управління рівнем CO₂.

Контролер веде вимір рівня концентрації вуглекислого газу. Якщо рівень CO₂ перевищує встановлене значення «макс. CO₂», відкривається заслінка пода-

чі свіжого повітря. Заслінка закривається при зниженні концентрації CO₂ нижче за мінімальне значення.

3. Система управління відносною вологістю.

Необхідний рівень відносної вологості визначається поточною стадією вирощування грибів. Збільшення вологості повітря в камері проводиться зволожувачем кліматичної установки. Зволожувач включається, коли виміряна вологість нижче ніж задана і вимикається, коли вона вище за задану з урахуванням гістерезису. Зменшення вологості повітря можливе завдяки надходженню свіжого повітря, якщо рівень абсолютної вологості на вулиці дає змогу використовувати свіже повітря для осушення.

4. Система управління свіжим повітрям.

Величина відкриття заслінки свіжого повітря для зниження вологості або концентрації CO₂ в камері вирощування грибів залежить від температури зовнішнього повітря. Чим більше відхилення температури зовнішнього повітря від необхідної температури повітря в камері вирощування грибів, тим менший відсоток відкриття заслінки.

5. Система управління вентилятором.

Припливний вентилятор у кліматичній установці може працювати в постійному режимі або в режимі регулювання частотним приводом. Він використовується для вирівнювання температури в камері вирощування.

6. Система управління змішаним повітрям.

Система управління змішаним повітрям потрібна, коли температура зовнішнього повітря менше ніж заданий рівень, але її можна підвищити за рахунок використання повітря з камери вирощування без включення нагрівача.

Виходячи з технологічного процесу, перелік сигналів можна розділити на сигнали управління кліматичною установкою (табл. 1) та управління мікрокліматом у кімнаті з грибами (табл. 2). У таблицях аналогові вхідні сигнали позначаються AI, аналогові вихідні сигнали — AO, дискретні вхідні сигнали — DI, дискретні вихідні сигнали — DO.

Таблиця 1. Перелік вхідних/вихідних сигналів управління кліматичною установкою

Призначення	Сигнал	Тип сигналу
1	2	3
Датчик температури припливного повітря	PT1000	AI
Датчик температури повітря після нагріву	PT1000	AI
Датчик температури повітря після охолодження	PT1000	AI
Датчик рівня концентрації CO ₂ зовнішнього повітря	4—20 мА	AI
Датчик температури зовнішнього повітря	PT1000	AI
Датчик вологості зовнішнього повітря	4—20 мА	AI
Заслінка свіжого повітря	0—10 В	AI
Заслінка рециркуляційного повітря	0—10 В	AI
Охолоджувач кліматичної установки	0—10 В	AI
Нагрівач кліматичної установки	0—10 В	AI

Продовження таблиці 1

1	2	3
Клапан керування зволожувачем	0—10 В	АІ
Заслінка свіжого повітря	0—10 В	АО
Заслінка рециркуляційного повітря	0—10 В	АО
Охолоджувач	0—10 В	АО
Клапан керування зволожувачем	0—10 В	АО
Нагрівач	0—10 В	АО
Вентилятор припливний	«СК»	DO
Вентилятор витяжний	«СК»	DO
Зволожувач	«СК»	DO
Робота припливного вентилятора	«СК»	DI
Робота витяжного вентилятора	«СК»	DI
Робота зволожувача	«СК»	DI
Аварія припливного вентилятора	«СК»	DI
Аварія витяжного вентилятора	«СК»	DI
Аварія зволожувача	«СК»	DI

Таблиця 2. Перелік вхідних/вихідних параметрів управління в камері вирощування

Призначення	Сигнал	Тип сигналу
Датчик температури повітря в камері (сухий)	PT1000	АІ
Датчик температури компосту 1	PT1000	АІ
Датчик температури компосту 2	PT1000	АІ
Датчик температури компосту 3	PT1000	АІ
Датчик температури компосту 4	PT1000	АІ
Датчик вологості повітря в камері (вологий)	PT1000	АІ

На підставі обраного обладнання складена структурна схема підключення (рис. 3).



Рис. 3. Структурна схема системи управління мікрокліматом

За складеним переліком сигналів пропонується розподілена система управління. У кожному приміщенні встановлюється програмоване реле ПР200 з модулями розширення ПЗМ. Далі всі програмовані реле об'єднуються в загальну

мережу RS-485 для підключення до сенсорного панельного контролера ОВЕН СПК110 [M01], на якому відображаються поточні параметри і задаються настройки регулювання. Мережею Ethernet дані передаються на персональний комп'ютер зі SCADA-системою.

Оскільки кількість грибних камер на одній фермі може перевищувати десяток, при розробці системи управління також застосовуються SCADA. Для зручності збору, обробки та зберігання інформації використовуються SCADA-системи. За допомогою SCADA-системи (рис. 4) можна контролювати оперативні параметри, поточний стан виконавчих механізмів у реальному масштабі часу. Мнемосхема роботи оператора представлена на рис. 4.

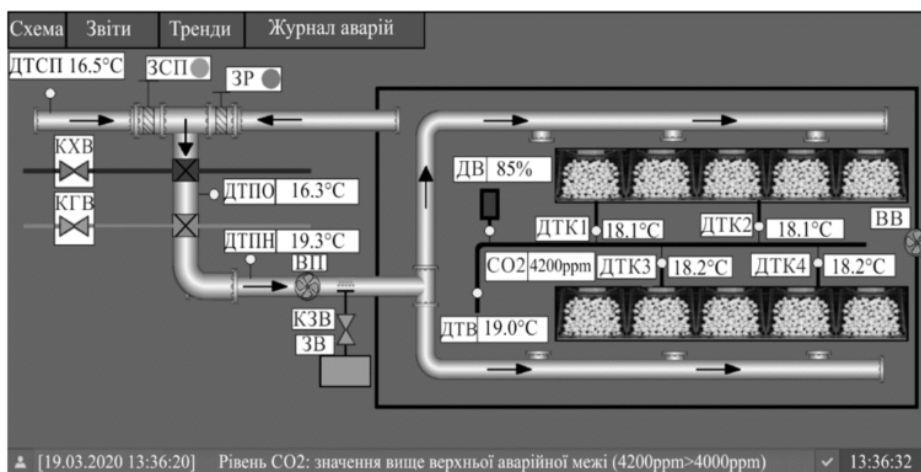


Рис. 4. Мнемосхема SCADA-системи

Вимоги, що висуваються до SCADA-системи управління мікрокліматом грибної ферми:

1. Отримання даних про стан датчиків і виконавчих механізмів, аварійні події в реальному масштабі часу.
2. Можливість віддаленого управління виконавчими механізмами.
3. Архівування даних із заданою періодичністю і точністю.
4. Задання діапазонів регулювання, мінімальних і максимальних значень параметрів і коефіцієнтів для законів регулювання.
5. Підрахунок загального часу роботи виконавчих механізмів.
6. Час оновлення значень параметрів на графічних екранах не повинен перевищувати заданої установки.
7. Побудова графіків температури, вологості, рівня CO₂.
8. Ведення журналу аварійних подій.
9. Відправлення СМС/Push повідомлень на мобільний пристрій оператору про аварійні ситуації.
10. Розмежування доступу до налаштувань системи за рахунок створення рівнів доступу.

Висновки

У результаті проведеного дослідження описано роботу типової грибною ферми як об'єкта автоматизації, опції й типовий процес вирощування грибів. Складено перелік основних вхідних/вихідних сигналів кліматичної установки та камери вирощування грибів, що дало змогу сформувавши вимоги до системи керування та SCADA-системи, зробити підбір датчиків і контролера. У подальших дослідженнях планується запровадити розроблену систему керування для дослідження алгоритмів керування з прогнозуванням температури й вологості в камері вирощування та кліматичної установки як об'єкта з розподіленими параметрами.

Література

1. Якість ґрунту. Ґрунт для культивування грибів шампінйонів покривний. Основні вимоги: ДСТУ 7931:2015. URL: <http://epicentre.com.ua/DSTU-7931-2015-nrm27659.html>.
2. Грибы шампиньоны свежие культивируемые. Технические условия: ГОСТ Р 56827-2015. URL: https://allgosts.ru/67/080/gost_r_56827-2015.
3. Sihombing P., Astuti T., Herryance P., Sitompul D. Microcontroller based automatic temperature control for oyster mushroom plants. *Journal of Physics: Conference Series*. Medan, Indonesia, 2018. Vol. 978: 2nd International Conference on Computing and Applied Informatics, 28—30 November 2017. DOI: 10.1088/1742-6596/978/1/012031.
4. Marzuki A., Ying S. Y. Environmental monitoring and controlling system for mushroom farm with online interface. *International Journal of Computer Science & Information Technology (IJCSIT)*. 2017. Vol. 9, No 4. P. 17—28.
5. Kaewwiset T., Yodkhad P. Automatic temperature and humidity control system by using Fuzzy Logic algorithm for mushroom nursery. *International Conference on Digital Arts, Media and Technology (ICDAMT)*. Chiang Mai, 2017. P. 396—399.
6. Gajbhiye D., Kavita J., Mekala M. A Survey on Temperature & Humidity Control by Using Neural Network for Oyster Mushroom Cultivation. *International Journal of Innovative Research in Science Engineering and Technology*. 2018. Vol. 7, No 3. P. 2574—2579.
7. Utama Y. A. K., Hari Y. Design of PID disturbance observer for temperature control on room heating system. *Proceeding of the 4th International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI 2017)*. 2017. Vol. 4. P. 550—555.
8. Dawande N. A., Rode S., Shelke S. K. Automatic monitoring and controlling system using plc for mushroom plant. *International Journal of Research Publications in Engineering and Technology [IJRPET]*. 2017. Vol. 3, No 7. P. 92—95.