УДК 631.358

О.І. Суворін,
В.В. Кабачій

Застосування віртуального датчика точки роси для запобігання конденсації та підвищення врожайності в теплицях

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У праці досліджено механізм утворення конденсату, який сприяє розвитку грибкових захворювань та погіршенню мікроклімату в теплиці. Встановлено діапазони точки роси, що впливають на стабільність мікроклімату (від <13°C — стабільний до >23°C — дуже нестабільний). Розробка та впровадження віртуального датчика точки роси дозволяє значно покращити контроль мікроклімату у теплицях, зменшити утворення конденсату та підвищити ефективність вирощування рослин. Використання ШІ та IoT робить процес управління більш автономним та економічно ефективним. Автоматизація процесу дозволяє підвищити дельту температури (від точки роси) з 1°C до 5°C, зменшуючи ризик конденсації.

Ключові слова: *IoT у сільському господарстві, мікроклімат теплиць, точка роси, автоматизація теплиць, контроль вологості*

Abstract

The paper investigates the mechanism of condensation formation, which contributes to the development of fungal diseases and deterioration of the microclimate in the greenhouse. The dew point ranges that affect the stability of the microclimate are established (from <13°C - stable to >23°C - very unstable). The development and implementation of a virtual dew point sensor allows to significantly improve the control of the microclimate in greenhouses, reduce the formation of condensate and increase the efficiency of plant cultivation. The use of AI and IoT makes the management process more autonomous and cost-effective. Process automation allows to increase the temperature delta (from the dew point) from 1°C to 5°C, reducing the risk of condensation.

Keywords: *IoT in agriculture, greenhouse microclimate, dew point, greenhouse automation, humidity control*

Вступ

Вимоги культури до умов вирощування - це в першу чергу вимоги до температури, світла, вологості, мінерального живлення, кислотності, засоленості, щільності ґрунту. Багато фермерів не до кінця усвідомлюють або задовольняють ці вимоги культури, й відповідно мають невисокі врожаї.

Контроль мікроклімату у теплицях є критичним фактором для забезпечення стабільної врожайності. У теплицях вологість і температура мають критичний вплив на ріст рослин. Однією з основних проблем є утворення конденсату, що може спричиняти розвиток грибкових захворювань та як результат зниження врожайності. Віртуальний датчик точки роси, що використовує IoT-датчики та алгоритми прогнозування, допоможе уникнути надмірної вологості та оптимізувати клімат-контроль.

Аналіз точки роси у теплицях для запобігання конденсації

Точка роси — це температура, за якої вологість у повітрі досягає рівня насичення, і водяна пара починає конденсуватися. У закритих тепличних умовах цей процес має критичне значення, оскільки конденсат, що утворюється на рослинах, конструкціях теплиці та обладнанні, може призводити до розвитку грибкових захворювань (рис. 1), втрати тепла та погіршення мікроклімату .

Нижче точки роси рідка вода починає конденсуватися на твердих поверхнях (наприклад, листах рослин) або навколо твердих частинок або предметів в атмосфері (наприклад, пилу або солі або плівці теплиці), утворюючи хмари/туман, або краплі на поверхні.

Якщо відносна вологість становить 100%, температура точки роси дорівнює температурі повітря. Таким чином, повітря є насиченим. Якщо температура знижується, але кількість водяної пари залишається незмінною, вода починає конденсуватися. Ця сконденсована вода називається росою, як тільки вона утворюється на твердій поверхні.

Високі точки роси можуть бути використані як прогнозування несприятливих кліматичних умов. Чим вища точка роси, тим більше вологи в повітрі для виникнення критичних умов.

Таблиця 1 - Залежність стабільність мікроклімату від точки роси

Точка роси,°C	Мікроклімат
нижче 13	мікроклімат стабільний
13..18	напів вологий та напів стабільний
18..23	вологий і нестабільний
вище 23	дуже вологий і дуже нестабільний

Рис 1. Приклад. Грибкова хвороба кладоспоріоз на плодах, стеблах та листях огірка може поширюватись внаслідок тривалої надмірної вологи [1]

Часто фермери пишуть про необхідність вносити хімію для профілактики різних хвороб викликаних надмірною вологістю, але не впроваджувати автоматичне коригування мікроклімату для уникнення стресу, що є каталізатором для початку розмноження шкідників та хвороб шо викликає втрату врожаю

Огляд досліджень

Тепличне середовище потребує ретельного моніторингу та контролю температури та вологості, щоб запобігти утворенню конденсату на поверхнях культур, що може призвести до грибкових та бактеріальних захворювань [2,3]. Системи бездротової сенсорної мережі (WSN) були розроблені для автоматичного моніторингу та контролю умов теплиці, використовуючи формулу Баренбруга для розрахунку точки роси та запобігання конденсації. Ці системи містять сенсорні вузли, базові вузли, релейні вузли та сервер середовища для збору даних, обробки та коригування середовища [2]. Альтернативні підходи до підтримки оптимальних тепличних умов включають нові системи зволожувачів/осушувачів повітря з використанням вентиляторів, які можуть зменшити споживання енергії, одночасно забезпечуючи відповідну температуру (16-26°C) і відносну вологість (65%) для росту рослин [3]. Крім того, оребрені труби, охолодженні нижче точки роси, можуть ефективно осушувати теплиці за допомогою природної конвекції та конденсації, видаляючи до 40 г конденсату на годину на квадратний метр підлоги теплиці [4].

Візуалізація значень віртуального датчику точки роси

Формула для приблизного розрахунку точки роси T_d [5] у градусах Цельсія (для додатних температур):

$$T_p = \frac{b \cdot \gamma(T,RH)}{a - \gamma(T,RH)} \quad , \tag{1}$$

де:

- T_p- температура точки роси (°C),
- T - поточна температура повітря (°C),
- RH - відносна вологість (%),
- a = 17.27, b=237.7 - емпіричні коефіцієнти,
- $\gamma(T, RH) = \frac{aT}{b+T} + ln(RH/100)$.

Формула (1) має похибку ±0,4 °C у такому діапазоні значень [6]:

$$0\ °C < T < 60\ °C$$
$$0{,}01 < \varphi < 1{,}00$$
$$0\ °C < Tp < 50\ °C$$

Для наочного представлення динаміки температури (рис. 2) та точки роси (рис. 3) можна створити графіки на основі наступних значень:

- X-вісь: Час
- Y-вісь: Температура (°C)
- Лінії: Температура у теплиці, точка роси у теплиці, зовнішня температура
- Розраховані лінії: Дельта між температурою у теплиці та точкою роси

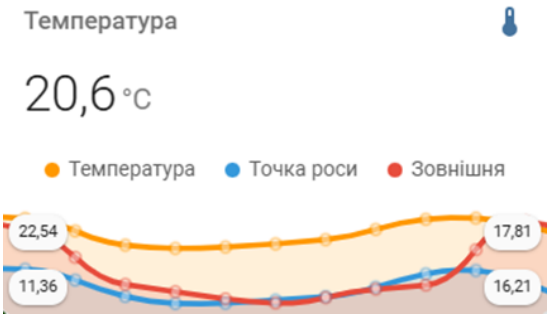

Рис. 2. Добовий графік зміни температури назовні та всередині та точки роси

Рис. 3. Добовий графік зміни “точки роси” в теплиці

Необхідні IoT-датчики. Для визначення точки роси потрібні IoT-датчики температури та вологості.

Фізичне розташування датчиків: один датчик вологості і температури встановлюється на рівні кореневої зони, додаткові датчики розміщуються у повітрі теплиці на висоті 1,5-2 м у зоні росту для створення температурного профілю.

Якщо температура точки роси наближається до фактичної температури в теплиці, виникає ризик конденсації, що потребує коригування параметрів мікроклімату [8].

Силові пристрої для коригування мікроклімату

Для регулювання параметрів мікроклімату в теплиці застосовуються такі пристрої:

- Циркуляційні вентилятори, осушувачі та рекуператори - зменшують локальну вологість і покращують циркуляцію повітря.
- Теплові обігрівачі - підвищують температуру повітря, що сприяє зниженню відносної вологості.
- Автоматизовані жалюзі та витяжні вентилятори - забезпечують швидке зниження вологості шляхом провітрювання.
- Використання кондиціонування (охолодження повітря на додачу до осушення) для запобігання високих температур при яких повітря набирає високий тиск водяної пари, яка може вночі випасти у конденсат при досягенні точки роси [9].

Автоматизація управління мікрокліматом

Алгоритм роботи системи автоматизації за допомогою віртуального датчика точки роси:

1. Збір даних IoT датчиками та передача інформації в центральний контролер;
2. Обчислення значень віртуального датчику точки роси;
3. Прийняття рішень;
4. Зворотний зв'язок.

Автоматизувати цей процес можна за допомогою:

- Контролерів Arduino, ESP32 або Raspberry Pi;
- Програмного забезпечення Home Assistant, Node-RED або спеціалізованих рішень для агро автоматизації;

Автоматизація керування мікрокліматом

Якщо різниця між температурою в теплиці та точкою роси менше 2°C, ризик конденсації значно зростає. Автоматизована система моніторингу дозволяє вчасно виявити цей момент і запустити коригувальні заходи, щоб знизити вологість і підняти температуру до безпечного рівня (щоб дельта була ≥5°C, рис. 4).

Рис. 4. Приклад графіку різниці між температурою та точкою роси в теплиці

Прості дії, що швидко знижують точку роси:

1. Включити осушувач, щоб зменшити вологість.
2. Активувати витяжку, щоб покращити циркуляцію повітря.

Процес триває, поки різниця між температурою повітря та точкою роси не досягне 5°C.

Висновки

Аналіз точки роси у теплицях є ключовим для стабільного мікроклімату та зниження ризику захворювань рослин через вологість. Для запобігання конденсації варто контролювати температуру та вологість, використовуючи кондиціонування та запобігаючи перегріву.

Віртуальний датчик точки роси покращує автоматизацію мікроклімату, зменшує ризики конденсату та підвищує врожайність. Оптимальний контроль вологості дозволяє скоротити обробки, зменшити витрати, стабілізувати графік збору врожаю та підвищити якість продукції для преміального ринку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Хвороби огірків - фото, опис і способи їх лікування | Агро Сіті. *Агро Сіті*. URL:https://agrocity.ua/uk/hvoroby-ovochevyh-kultur/hvoroby-ogirkiv-foto-opys-i-sposoby-yih-likuvannya/ (дата звернення: 13.02.2025).
2. Greenhouse environment monitoring and automatic control system based on dew condensation prevention / D. Park et al. *2010 5th international conference on embedded and multimedia computing*. 2010. P. 1–5. URL: https://doi.org/10.1109/EMC.2010.5575741.
3. Park D.-H., Park J.-W. Wireless sensor network-based greenhouse environment monitoring and automatic control system for dew condensation prevention. *Sensors*. 2011. Vol. 11, no. 4. P. 3640–3651. URL: https://doi.org/10.3390/s110403640 (date of access: 13.02.2025).
4. Omer A. Design Thermal Comfort in Greenhouses Environment. *Modern Techniques in Agricultural and Horticultural Sciences*. 2021. Vol. 1. URL: https://doi.org/10.53902/MTAHS.2021.01.000501.
5. Campen J. B., Bot G. P. A. SE–Structures and Environment: Dehumidification in Greenhouses by Condensation on Finned Pipes. *Biosystems Engineering*. 2002. Vol. 82, no. 2. P. 177–185. URL: https://doi.org/10.1006/bioe.2002.0058.
6. J. H. M. Thornley and J. France, Mathematical Models in Agriculture: Quantitative Methods for the Plant, Animal and Ecological Sciences, 2nd ed., CABI, 2007, 906 pages. ISBN 085199010X, 9780851990101.
7. N. Castilla, Greenhouse Technology and Management, 2nd ed., CABI, 2013, 335 pages. ISBN 1780641036, 9781780641034.
8. P. Ponce, A. Molina, P. Cepeda, E. Lugo, and B. MacCleery, Greenhouse Design and Control, 1st ed., CRC Press, 2014, 380 pages. ISBN 9781138026292.
9. Віртуальні датчики - METOS на Pessl Instruments. *METOS на Pessl Instruments*. URL: https://metos.global/ua/virtual-sensors/ (дата звернення: 13.02.2025).

Суворін Олег Ігорович - аспірант 174-ї спеціальності, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: 00-24-048.stud@vntu.edu.ua

Науковий керівник: ***Кабачій Владислав Володимирович*** – канд. техн. наук, доцент кафедри автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: kabachij.v.v@vntu.edu.ua

Suvorin Oleg Igorovich - Department of Intelligent Information Technology and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: 00-24-048.stud@vntu.edu.ua

Supervisor: ***Kabachii Vladyslav V.*** – Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of Intelligent Information Technology and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: kabachij.v.v@vntu.edu.ua