

ВІДГУК

офіційного опонента

на дисертаційну роботу Мідика Андрія-Володимира Володимировича
«Підсистеми температурного контролю кіберфізичних систем»,
представлену до захисту на здобуття
наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю
05.11.04 – прилади та методи вимірювання теплових величин,
152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка».

У процесі розвитку наукових основ Метрології 4.0 та практичних методів автоматизації виробничих процесів, коли вимірювальні системи будуть обладнані hardware і software елементами метрологічного забезпечення, із використанням віртуальних технологій оброблення вимірювальної інформації, саме метрологічна складова цього процесу є **актуальною** науковою темою і з успіхом розвинута дисертантом.

Метою роботи «Підсистеми температурного контролю кіберфізичних систем» є систематизація показників якості продукції сільськогосподарства та вдосконалення метрологічного забезпечення кіберфізичних підсистем термометрії шляхом дослідження їх параметрів за допомогою віртуального засобу моніторингу і контролю на основі апаратно-обчислювальної платформи LabVIEW та з використанням WEB-дизайну.

Основні результати роботи дають підстави для розвитку інформаційно-вимірювальних технологій, підтвердженням чого є пункти 2, 4 і 5 наукової новизни щодо вирішення задачі зменшення на порядок систематичної складової похибки вимірювання температури безконтактним методом, на основі чого запропоновано конструкцію приладу (тепловізора), що дає змогу визначити насамперед коефіцієнт чорноти термометрованої поверхні, у даному випадку ґрунту, внаслідок чого перевести даний метод з категорії якісних до категорії кількісних методів вимірювання.

Саме системний підхід ліг у підвалини наукового доробку дисертанта, причому розглянуті інформаційні технології мають спеціалізоване вимірювальне спрямування та досягають реалізації заданих метрологічних характеристик кіберфізичних систем у цілому.

Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох основних розділів, висновків та списку використаних джерел.

У першому розділі автором методично і обґрунтовано подано області застосування кіберфізичних систем, розглянуто їх особливості, проаналізовано можливості систем, виходячи з поставленої задачі. Для цього, враховуючи новизну області досліджень, вивчено історію виникнення у контексті подальшого розвитку інформаційно-вимірювальних систем, теорії автоматичного керування та інших галузей, покладених в

основу кіберфізичних систем. Дано сучасне визначення згаданих систем, встановлене у колективній монографії, опублікованій з участю дисертанта. Основний ухил досліджень стосується кіберфізичних систем, що розвиваються у сільськогосподарському секторі. При цьому, засоби метрологічного контролю на рівні смарт-сенсорів входять до складу кіберфізичних систем. Так формується Метрологія 4.0, як фундамент, на якому розвиваються згадані системи.

У другому розділі увагу зосереджено на потребах подальшого розвитку технологій сільського господарства, що включають як вирощування, так і переробку сільськогосподарської продукції. Усі досліджені методи вимірювання температури є достатньо автоматизованими та надаються для формування температурних підсистем кіберфізичних систем. Проте, за метрологічно-експлуатаційними характеристиками, для уникнення істотних похибок методичного плану, зокрема, при регулюванні температурних режимів роботи проєктованих систем стала температурної інерції сенсорів, що плануються використовувати, повинна бути принаймні, на 2 порядки нижчою від сталої контрольованого об'єкта. Для умов теплиці, де стала температурної інерції повітря становить десятки хвилин, то для сенсора, остання повинна не перевищувати декількох секунд. Вимірювання температури ґрунту характеризується значною теплоємністю та слабкою теплопровідністю. Тому, щоб отримати його температурний розподіл по значній площі, слід використовувати значну кількість контактних сенсорів (термометрів). Виходячи з цього, обґрунтовано залучення пірометрів випромінювання для термометрування значних площ об'єктів, що знаходяться за кімнатних температур.

У зв'язку з поширенням програмно-технічних засобів у сільському господарстві розвинуто підходи цифрового автоматичного керування, яскраво виражені у кіберфізичних системах. Таким чином, розроблено методику оптимізації роботи температурної підсистеми кіберфізичної системи керування теплицею, основна модель якої включає взаємозв'язані контури регулювання для повітря, ґрунту й води для зволоження. Зв'язок реалізується, як через програмно-технічні засоби керування, так і через параметри контрольованого об'єкта.

У третьому розділі набули подальшого розвитку кіберфізичні системи для сільськогосподарського виробництва: за складністю вони охоплюють кіберфізичну систему температурно-вологісного контролю теплиці, кіберфізичну систему для вирощування овочів з регулюванням тепло-вологісно-інсоляційного режиму, кіберфізичну систему для переробки сільськогосподарських продуктів,

Такий підхід дав змогу розробити методику оптимізації регулювання об'єкту сільськогосподарської технології, взявши за основу регулювання температурних режимів, причому в сукупності з режимами зволоження (температурний режим води для зволоження) та режимами інсоляції.

Розроблено схеми керування, взявши за основу вхідні та вихідні чинники, моделі їх зв'язків: прямих і зворотних, їх кореляцію з одночасною оцінкою оцінки якості отримуваних продуктів.

Четвертий розділ є практичним запровадженням розроблених методів покращання метрологічних характеристик для автоматизації виробництва сільськогосподарської продукції. Засоби регулювання режимів роботи та керування роботою сільськогосподарського об'єкту здійснювалось у 3-х принципово різних виконаннях. Віртуальний прилад у складі ПК з програмним забезпеченням LabVIEW, блоку NI USB 6009, до якого під'єднано 4 цифрові сенсори температури/вологості та освітлення (інсоляції), вжито для керування процесом вирощування овочів. У цілому, для всіх трьох виконань показано, що у виробничих умовах при незначних витратах можна з мінімальними затратами забезпечити високу якість продукції. Окрім того, вивчено екологічно-економічні аспекти будівництва та використання теплиці, як споруди пасивного типу. При цьому, оскільки управління роботою теплиці одночасно реалізовувалось у 3-х взаємозв'язаних контурах – повітря, води та ґрунту, досліджувались саме зазначені аспекти, адже загальна ефективність сільськогосподарського виробництва та конкурентна спроможність його порівняно з південними регіонами визначається і енергетичними затратами на одиницю продукції.

Достовірність наукових результатів даної роботи забезпечується комплексними теоретичними та експериментальними дослідженнями методів аналізу методичної і систематичної похибок, використанням апробованого лабораторного обладнання, збіжністю результатів оцінювання похибки за розробленою математичною моделлю та їх узгодженням з експериментальними даними, отриманими при дослідженні іншими методами.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в оптимізації температурно-енергетичних показників об'єктів сільського господарства, включаючи об'єкти вегетації рослин за змінних умов оточуючого середовища, як результату розроблення й впровадження на основі апаратно-програмних платформ гнучко-регульованих кіберфізичних систем з їх температурними підсистемами. У дисертаційній роботі отримано такі наукові результати:

1. Досліджено та розроблено кіберфізичні системи для підвищення якості вирощування продукції овочівництва шляхом оптимізації температурно-вологісно-інсоляційних режимів завдяки цифровізації та інтелектуалізації підсистем моніторингу та керування.

2. Вперше доведено, що тепловізійний метод моніторингу температури, який вважається якісним, оскільки вимагає знання коефіцієнту випромінювання, може бути реалізований як кількісний метод. Для цього розроблено метод і засіб повторюваного вимірювання температури, що дає змогу у два такти, тобто за 2-х відмінних температур приймача засобу,

визначити невідомий коефіцієнт випромінювання і автоматично ввести поправку на нього, а на третьому такті отримати дійсні значення температури з методичною похибкою, зменшеною в 2-3 рази.

3. На основі розгляду вимог до виробничого циклу того чи іншого сільськогосподарського продукту запропоновано методи і засоби керування об'єктами різного ступеню складності, а також показано, що при вирощуванні овочів у теплицях доцільно здійснювати вимірювання температури повітря з допомогою засобів контактної термометрії, а ґрунту – засобами безконтактної термометрії.

4. На підставі результатів досліджень послідовно ускладнюваних сільськогосподарських об'єктів, що характеризуються значною кількістю чинників впливу, через які можна ефективніше впливати на процеси в біологічній сировині, вдосконалено технологію вирощування і обробки сільськогосподарської продукції. Показано, що підвищення вимог до метрологічних аспектів автоматизації за рахунок залучення досконаліших засобів вимірювання і регулювання у кіберфізичних системах призводить до покращення якості сільськогосподарської продукції та продуктів її переробки.

5. Розвиток засобів вимірювання та програмних засобів віддаленого адміністрування кіберфізичними системами дає змогу враховувати територіально-природні відмінності у циклах розвитку тих самих сільськогосподарських культур для рознесених теплиць однакового типу, для чого на основі платформи Arduino з додатковим програмним забезпеченням розроблено прилад температурної підсистеми кіберфізичної системи тепличного виробництва.

Таким чином, наукова новизна роботи ґрунтується на науковому підході до розроблення і впровадження методів і засобів покращання метрологічного забезпечення вимірювання температури безконтактним методом.

До роботи можна зробити такі зауваження:

1. В об'єкті дослідження слід визначитися з природою величин, ним охоплених: температура і залежні від неї інші фізичні величини, чи величини електричної природи, або згідно суті роботи, достатньо прибрати слово «інших».
2. У п.1 наукової новизни вимагає деталізації досягнутий рівень ефективності керування процесом вирощування, а також що саме із запропонованого автором, дає змогу оперативно корегувати їх режимами.
3. Доцільно було б деталізувати отримання чи застосування моделей контролю температури кіберфізичних систем при виконанні НДР ДБ Медтест «Основи технології та засоби моніторингу, профілактики і

реабілітації органів кровообігу людини, зумовлених віковими і травматичними змінами» (№ 0120U102205, з 01.04.2020 р. по 31.12.2021 р.).

4. У переліку умовних позначень відсутні часто вжиті аббревіатури АЦП, ПД, відсутні одиниці вимірювань (рис. 4.1).
5. У роботі не вказано, чи опис способу та схеми доповнення пристрою для визначення коефіцієнта випромінювання матеріалу (С.63-70) подано на патентування.
6. У таблиці 3.2 не наведено результати вимірювань сенсором DHT11 (С.93) за якими зроблено висновок про його меншу точність.
7. Результати роботи (п. 6, 9 Висновків) доцільно було б ілюструвати наведенням прикладу програмного продукту для мережі кіберфізичної системи теплиці.
8. Логічним видається прогнозування поширення розроблених програмно-апаратних засобів інформаційно-вимірювальних технологій і в галузі тваринництва, де не менш важливими і, напевно, більш оперативними є вимоги дотримання показників якості цієї технології.

Вказані зауваження не применшують значення роботи, як закінченого наукового дослідження у галузі розроблення і впровадження методів і засобів покращання метрологічного забезпечення кіберфізичних систем вимірювань температури.

За результатами виконаної роботи автором опубліковано 20 наукових праць, з них 4 статті у фахових виданнях України, 2 статті у наукових виданнях України, що входять до міжнародних наукометричних баз даних, 1 стаття – у науковому періодичному виданні іншої держави, що включене до міжнародної наукометричної бази даних, 12 тез доповідей. Результати роботи також доповідалися на відомих наукових конференціях. Поданий разом з дисертацією автореферат написаний у відповідності з вимогами МОН України і за змістом ідентичний дисертаційній роботі.

Результати дисертації мають **практичне значення** для вдосконалення метрологічного забезпечення моніторингу температурних характеристик об'єктів сільськогосподарства, зокрема, дає змогу на основі аналізу поточної ситуації в режимі реального часу, оперативно корегувати програму вирощування сільськогосподарської продукції. Результати досліджень можуть бути використані для моніторингу і керування, в тому числі віддаленого, об'єктами тепличного овочівництва. **З наукової точки зору** ці результати розвивають методологію оцінювання методичної похибки та відповідності вимірювальних перетворювачів для визначення температурних показників об'єктів різної природи.

Висновки щодо відповідності дисертації вимогам Міністерства освіти і науки України. Не зважаючи на ряд вказаних зауважень, дисертація Мідика Андрія-Володимира Володимировича є завершеною науковою працею, в якій отримані нові наукові та практичні результати, що є базовим напрацюванням для розвитку метрологічного забезпечення, розроблення й впровадження на основі апаратно-програмних платформ гнучко-регульованих кіберфізичних систем для їх підсистем керування температурою, а застосування запропонованих рішень також дозволить підвищити якість продукції шляхом використання можливостей і переваг віртуалізації засобів вимірювань та шляхом оперативного дослідження показників безпечності у сільському господарстві.

Підсумовуючи вищесказане, вважаю, що за **своїм змістом, актуальністю, науковою новизною та практичною цінністю** дисертаційна робота Мідика Андрія-Володимира Володимировича повністю відповідає вимогам щодо дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії згідно з Інструктивним листом МОН України №1/2136-22 від 08.02.2022 року “Щодо застосування законодавства з питань присудження наукових ступенів”, а її автор заслуговує присвоєння наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 05.01.02 – стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення – 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка».

Офіційний опонент

Головний науковий співробітник відділу організації науково-дослідної діяльності Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, д.т.н., доцент

РУДИК Юрій Іванович

Підпис засвідчую:

Учений секретар

Львівського державного університету безпеки життєдіяльності

к.і.н., доцент

31.08.2022 р.



Роман ЛАВРЕЦЬКИЙ