

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора Волкова В.Е.
на дисертаційну роботу Болбота І.М.
“Автоматизація процесів керування
тепличними комплексами з моніторингом якості продукції”,
представлену на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю
05.13.07– Автоматизація процесів керування.

1. Актуальність теми дисертаційного дослідження

Актуальність теми дисертації визначається необхідністю забезпечення конкурентоздатності вітчизняного виробництва рослинної продукції у спорудах закритого ґрунту. Це зумовлює особливу важливість розробки наукових основ створення енергоефективної системи автоматизації процесів керування енергетичними потоками в просторово-розподілених біотехнічних об'єктах – тепличних комплексах.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дослідження проводились у Національному університеті біоресурсів і природокористування України відповідно до наукових тематик: «Математичне моделювання в агротехнологіях» (номер державної реєстрації 0101U000664); «Розробка робототехнічних систем для біотехнічних об'єктів» (номер державної реєстрації 0112U007168, 2012–2016 рр.); «Розробка інтелектуального роботизованого електротехнічного комплексу для моніторингу фітостану та повітря в спорудах закритого ґрунту» (номер державної реєстрації 0116U001589, 2016–2017 рр.); «Розроблення технології діагностики якості функціонування сільськогосподарських споживачів електричної енергії на основі використання ІР-технологій» (номер державної реєстрації 00493706 № 0119U100829, 2019–2020 рр.).

3. Обґрунтованість наукових положень, викладених у дисертаційній роботі, ступінь їх новизни

В дисертаційній роботі наведено досить детальний та повний аналіз наукової проблеми, а також теоретичні та практичні розробки основних аспектів для її розв'язання. Всі розділи дисертації підпорядковані єдиній меті дослідження та логічно пов'язані між собою. Одержані результати, висновки та рекомендації є достатньо обґрунтованими з наукової точки зору.

Проведений аналіз змісту дисертаційного дослідження Болбота І.М. дозволяє відзначити, що внаслідок проведення теоретичних та експериментальних досліджень здобувачем виконано усі поставлені завдання дослідження, а саме:

- вперше розроблено інтелектуальний метод формування енергоефективних стратегій керування енергетичними потоками в біотехнічних об'єктах – промислових теплицях, котрий характеризується використанням нового критерію енергоефективності та нейромережевого аналізу, що мінімізує енергетичні витрати на забезпечення технології вирощування в умовах дії зовнішніх природних збурень, неповної інформації про стани рослин та просторової розподіленості кліматичних умов;

- вперше запропоновано новий критерій ефективного використання енергетичних ресурсів, суть якого полягає у мінімізації різниці між відносними показниками фітотемпературного життєзабезпечення та фіторозвитку рослин, що дозволяє зменшити енергетичні витрати, забезпечуючи задану якість рослин та продукції;

- вперше запропоновано поєднання нових критеріїв оцінки станів розвитку рослин та рослинної продукції, а саме фітометричного та фітотемпературного критеріїв, використання яких в системі автоматизації процесів керування енергетичними потоками під час виробництва рослинної продукції забезпечує задану якість рослин та продукції з урахуванням фаз розвитку рослин;

– вперше на основі використання рівняння Нав'є-Стокса розроблено просторово-розподілену математичну модель промислової теплиці, що дає можливість оцінювати значення температури як основного технологічного параметра в просторі теплиці та використовувати ці результати для формування оптимального маршруту переміщення мобільного робота фітомоніторингу;

– вперше розроблено на основі математичного апарату вейвлет-перетворень метод безконтактного визначення фітометричних параметрів рослин, що дало змогу оперативно оцінювати якість розвитку рослини;

– вперше розроблено на основі методу варіаційного числення математичну модель переміщення мобільного робота, використання якої дало можливість мінімізувати енерговитрати його акумуляторної батареї;

– вперше розроблено на основі теорії ймовірнісних автоматів та стимулюючого навчання метод просторового орієнтування мобільного робота, що створює умови для його оптимального переміщення та оминання перешкод;

– вперше розроблено за результатами параметричного синтезу та методології оптимального проектування і використання мобільних роботів раціональний варіант структури мобільного робота, який здійснює моніторинг фітостану та стану атмосфери, аналізує фітокліматичні дані й формує на цій основі рішення щодо оптимізації маршруту переміщення, планування послідовності дій, розпізнавання образів та перешкод, що забезпечує виконання поставлених завдань за мінімальних вартісних і часових витрат;

– вперше запропоновано для виробництва продукції заданої якості в просторово-розподілених біотехнічних об'єктах – промислових теплицях, нову концепцію побудови системи автоматизації процесів керування енергетичними потоками, що функціонує на основі використання результатів фітомоніторингу, які надходять від мобільного робота, та нейромережевого аналізу;

– вперше встановлено на основі використання генетичного алгоритму оптимальну кількість основних факторів життєзабезпечення рослин, на підтримку яких витрачається 70% енергетичних ресурсів.

4. Повнота висновків, сформульованих в дисертації

Висновки, що сформульовані автором дисертаційного дослідження, є науково обґрунтованими та базуються на детальному вивченні об'єкта керування, його особливостей, ретельному аналізі літературних даних, технологічному досвіді фахівців, результатах теоретичних та експериментальних досліджень самого автора.

Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, одержаних в дисертації, на теоретичному та практичному рівнях підтверджується коректним застосуванням математичного апарату, сучасних методів моделювання та розрахунків, а також впровадженням розробленої в дисертації системи керування енергетичними потоками просторово-розподілених об'єктів тепличних комплексів для виробництва продукції заданої якості в ПрАТ «Комбінат «Тепличний»» та в Асоціації «Теплиці України», що засвідчено відповідними документами.

Повнота викладення наукових положень, висновків і рекомендацій в опублікованих працях підтверджується тим, що основні результати та положення дисертаційної роботи повністю викладені у 57 друкованих працях, з них 1 монографія, 24 – статті в спеціалізованих наукових виданнях, 10 – статті у міжнародних та наукових фахових виданнях України, включених до міжнародних наукометричних баз даних, 9 патентів України та 13 тез наукових доповідей

5. Практична значущість роботи.

Здобувачем Болботом І.М. розроблено і впроваджено систему керування енергетичними потоками просторово-розподілених об'єктів тепличних комплексів для виробництва продукції заданої якості в ПрАТ «Комбінат «Тепличний» та Асоціації «Теплиці України», що засвідчується відповідними документами (акти впровадження

наукової розробки від 11.10.2017 р. та 01.11.2017 р.). Оригінальність системи захищена патентами України (92971UA, МПК (2014.01) G05B13/00; 95283 UA, МПК (2014.01) A01G 25/00, A01D 45/00, A01G 3/00, A01B 51/00; 95612 UA, МПК (14/01) G05B 13/00; 88809UA, МПК (2006.01) A01G9/24; 103274UA, МПК (2015.01) G05B13/00; 114791UA, МПК (2006.01) B25J9/16, B25J9/18, G05B19/416; 76175UA, МПК (2012.01) G05B13/00); 76175 UA, МПК G05B 13/00; 124088 UA, МПК B25J 11/00, B25J 1/02 (2006.01). Її переваги над існуючими системами, що функціонують за принципом стабілізації технологічних параметрів вирощування, полягають у підвищенні виробництва якісної продукції в межах максимального свого значення за умов мінімізації енергетичних витрат як складової собівартості продукції. Підготовлено також рекомендації щодо розробки та використання мобільного робота в спорудах закритого ґрунту, які розглянуті та затверджені на технічній раді Міністерства аграрної політики та продовольства України. Результати дисертаційного дослідження використовуються під час підготовки фахівців зі спеціальності 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» Національного університету біоресурсів і природокористування України.

6. Оцінка змісту дисертації, її завершеність у цілому

Дисертація складається з анотації (на державній та на англійській мовах) та списку публікацій здобувача, переліку умовних позначень, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел із 295 найменувань та 19 додатків. Матеріали роботи викладено на 403 сторінках (320 сторінок основного тексту). Робота містить 141 рисунок та 15 таблиць.

В анотації наведено головні наукові результати та їх практичне значення, а також список ключових слів.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційного дослідження та зв'язок роботи з науково-дослідними програмами, сформульовано мету і основні задачі дослідження, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, а також наукову новизну та практичну цінність одержаних результатів. Відповідно до вимог департаменту атестації кадрів МОН України у вступі зазначено особистий внесок здобувача в працях зі співавторами, наведено відомості про апробацію і публікації результатів роботи.

З точки зору дисертанта, актуальною є задача зменшення енергоємності виробництва за рахунок модернізації АСК шляхом розробки нового математичного забезпечення, що дозволить використовувати на підприємствах альтернативні (порівняно дешеві) види палива.

Перший розділ (*Сучасні технології виробництва рослинної продукції та системи автоматизації технологічних процесів у промислових теплицях*) присвячено аналізу особливостей технологічних процесів виробництва продукції рослинництва тепличними комплексами; наведено перелік систем, що забезпечують технологічні параметри виробництва і приведено характеристики таких систем.

Другий розділ (*Математичні моделі біотехнічних об'єктів з просторово-розподіленими параметрами*) присвячено розробці математичних моделей, що відображають вплив основних факторів життєзабезпечення (температура і вологість повітря, концентрація вуглекислого газу, температура рослин, інтенсивність світлового опромінення, забезпечення рослин різноманітними поживними речовинами тощо) на основні показники розвитку рослин в біотехнічному об'єкті; ці математичні моделі призначені для кількісного опису росту і розвитку рослин, котрі перебувають у найтіснішій взаємодії з динамікою параметрів навколишнього середовища в промисловій теплиці.

Третій розділ (*Концепція побудови системи енергоефективного керування енергетичними потоками тепличних комплексів*) містить в собі структуру системи автоматизації процесів керування енергетичними потоками в просторово-розподілених біотехнічних об'єктах – тепличних комплексах, фітометричний та фітотемпературний критерії, а також їх поєднаний зв'язок з енергоефективністю; це створює основи для

розробки концепції енергоефективної системи керування енергетичними потоками тепличних комплексів.

У **четвертому розділі** (*Розроблення мобільного робота моніторингу фітостану та стану атмосфери в просторі промислової теплиці*) представлено матеріали щодо призначення мобільного робота, його структури та технічної реалізації.

П'ятий розділ (*Реалізація та промислове випробування системи автоматичного керування енергетичними потоками промислової теплиці*) містить структуру автоматичної системи керування енергоефективними потоками, основний алгоритм її функціонування, зручний відповідно до вимог ергономіки інтерфейс користувача SCADA-систем та економічне обґрунтування її використання.

У **висновках** наведено основні результати та висновки, які були отримані в процесі виконання дисертаційної роботи. Аналіз цих результатів і висновків вказує на те, що усі задачі дослідження розв'язано, а мету дисертаційної роботи досягнуто.

Робота є чітко структурованою у відповідності із завданням досліджень, завершеною. Основні положення роботи доповідалися на багатьох наукових міжнародних конференціях та симпозіумах.

7. Ідентичність змісту автореферату та дисертаційної роботи.

Побудова автореферату, його зміст, висновки, результати досліджень, аналіз літератури відображають дисертаційну роботу.

8. Зауваження по дисертації

Разом з тим, по дисертаційній роботі слід зробити наступні зауваження:

1. У висновках до Розділу 1 (стор. 81) фразу «У результаті проведеного аналізу існуючих систем керування виявлено ряд недоліків, у яких простежується...нерівномірність розподілу температури повітря в просторі промислової теплиці» сформульовано невдало. Нерівномірність розподілу температури повітря в просторі теплиці принципово не може бути недоліком системи керування – недоліком є неспроможність системи керування вплинути на нерівномірність розподілу температури повітря.

2. На рис. 2.2–2.5 (Розділ 2, стор. 88-89) представлено змодельовані залежності впливу середньодобової температури повітря та інтенсивності світла на формування рослиною кількості квіточок у суцвітті, на кількість плодів на гілці, на середню вагу плоду та приріст цієї ваги. Але немає інформації про те, який саме програмно-комп'ютерний апарат використовувався для такого моделювання.

3. Підпис під рис. 2.7 (Розділ 2, стор. 96) «Алгоритм роботи генетичного алгоритму з елітною стратегією» виглядає тавтологічно.

4. Вираз «всі фактори врожайності однаково потрібні рослинам» (Розділ 2, стор. 101) є не зовсім коректним. Зрозуміло, що зменшення одного з факторів спричинює зменшення врожайності в цілому, але не обов'язково однаково зменшення двох різних факторів ведуть до одного й того ж зменшення врожайності. Коректним є вираз, що присутній далі в тексті дисертації про те, що різні фактори не можуть замінити один одного, тобто всі вони важливі.

5. З математичної точки зору не зовсім коректним є вираз «Коли кількість рівнянь менша ніж кількість невідомих та існує нескінченне число розв'язків...» (Розділ 2, стор. 121). Згідно з відомою теоремою Кронекера-Капеллі система лінійних алгебраїчних рівнянь сумісна, якщо ранг її матриці дорівнює рангу її розширеної матриці; причому система має єдиний розв'язок, якщо ранг матриці системи дорівнює кількості невідомих, і нескінченно багато розв'язків, якщо ранг матриці системи менший кількості невідомих.

6. На стор. 132 (Розділ 2) вказано, що «в основі математичної моделі лежать рівняння Нав'є-Стокса і рівняння переносу енергії для конвективних течій», але, на жаль, самі рівняння не записані. Це викликає цілу низьку питань. По-перше, рівняння Нав'є-Стокса, що є математичним виразом закону збереження імпульсу для руху в'язкої рідини або в'язкого газу, застосовуються разом з рівнянням неперервності, що є математичним виразом закону збереження маси (і це треба було вказати відразу). По-друге,

не є зрозумілим, чи враховується стисливість суцільного середовища (тоді цим середовищем є газ), чи ні (тоді середовищем є нестислива рідина). В першому випадку, в рівняннях Наве-Стокса присутня так звана друга в'язкість; в другому випадку рівняння неперервності спрощується до рівняння нестисливості (що є припустимим, тому що характерні швидкості в задачі набагато менше швидкості звуку). З подальших міркувань, а саме з рівняння (2.72) на стор. 136 (Розділ 2) – що є саме рівнянням неперервності – складається враження, що автор не нехтує стисливістю, бо рівняння неперервності записано в загальному вигляді. І взагалі, застосування рівняння переносу енергії для конвективних течій зазвичай передбачає врахування стисливості середовища. З іншого боку, в усіх подальших формулах друга в'язкість (характерна для стисливого середовища) відсутня. Усі ці питання автор мав би викласти детальніше.

7. Для числового розв'язання задачі автор використовує сітковий метод. При цьому, формулюючи граничні умови (2.75) на стор. 137 (Розділ 2), автор не вказує на граничні умови в «кутових точках», які є, безумовно, особливими точками.

8. Речення «Основним завданням під час формування стратегії керування є створення підсистеми керування процесом вирощування овочевої продукції відповідної якості» (Розділ 3, стор. 149) є невдалим. Зрозуміло, що створювати будь-яку підсистему керування – як і систему керування цілком – можна тільки після того, як вже сформовано стратегію керування.

9. Формула (4.12) на стор. 137 (Розділ 4, стор. 225) швидкості лінійного переміщення центра мас робота потребує пояснень. Незрозуміло, принаймні, що таке «швидкість лінійного переміщення» центра мас робота.

Зауваження, що зазначені, не зменшують наукової та науково-практичної цінності дисертаційного дослідження.

9. Загальний висновок щодо дисертації

Дисертація Болбота Ігоря Михайловича є структурованою, цілісною, завершеною науково-дослідною роботою. Робота містить не захищені раніше наукові положення і одержані автором нові науково обґрунтовані результати в галузі автоматизованих систем керування. Оформлення дисертації і автореферату в цілому відповідає діючим нормативним документам.

Представлена дисертаційна робота повністю відповідає вимогам, що висуваються до докторських дисертацій згідно "Порядку присудження наукових ступенів", затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567 (зі змінами), а її автор, Болбот Ігорь Михайлович, безумовно заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – Автоматизація процесів керування.

Офіційний опонент,
завідувач кафедри теоретичної механіки
Одеського національного університету ім. І.І. Мечникова,
доктор технічних наук, професор



Волков В.Е.

Підпис Волкова В.Е. засвідчую:



19.10.2020