

ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук, професора

Мірошник Марини Анатоліївни

на дисертацію Олішевського Іллі Геннадійовича на тему «Автоматизована технологія комп'ютерно-інтегрованого енергоефективного керування теплонасосними системами», поданої на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», галузь знань 15 «Автоматизація та приладобудування»

Відгук складено на основі вивчення дисертаційної роботи, опублікованих здобувачем результатів наукових досліджень, а також матеріалів, які підтверджують впровадження результатів роботи.

Ступінь актуальності обраної теми дослідження.

В сучасному світі зростання цін на енергоресурси, погіршення екологічної ситуації та вимоги міжнародних стандартів щодо енергоефективності спонукають до пошуку нових, більш ефективних методів використання енергії. Теплонасосні системи, що використовують теплову енергію з навколишнього середовища для опалення та охолодження приміщень, є одним з найбільш перспективних рішень у цьому напрямі. Однак для досягнення максимальної ефективності роботи цих систем необхідне впровадження сучасних технологій автоматизованого комп'ютерно-інтегрованого керування. Теплонасосні системи є ефективним рішенням для забезпечення теплової енергії, однак їх ефективність значною мірою залежить від правильного керування та інтеграції з іншими системами.

При цьому зауважу, що безпосередньо автоматизована технологія комп'ютерно-інтегрованого енергоефективного керування теплонасосними системами відкриває нові можливості їх експлуатації, а саме:

– збільшити ефективність використання енергетичних ресурсів за рахунок оптимізації роботи теплонасосних систем;

– знизити витрати на енергоспоживання, що особливо актуально в умовах постійного зростання цін на енергоносії;

– поліпшити екологічні показники, зменшуючи викиди шкідливих речовин в атмосферу;

– інтегрувати систему управління з іншими автоматизованими системами, що дозволяє створити єдину інфраструктуру для управління енергетичними ресурсами.

Окремо відзначу, що дослідження в цій галузі мають велике значення для розвитку енергоефективних технологій, впровадження інноваційних рішень у сфері управління тепловими процесами, та сприяють створенню більш стійкої та екологічно дружньої енергетичної системи. Таким чином, можна відзначити, що методи, засоби та моделі створення автоматизованих систем комп'ютерно-інтегрованого керування теплонасосними системами, які представлені в даній дисертаційній роботі, мають певні особливості та переваги. До основних з них необхідно віднести:

1. Економічні переваги. В умовах постійного зростання цін на енергоресурси та необхідності зниження витрат на енергоспоживання, впровадження енергоефективних рішень стає критично важливим. Теплонасосні системи, завдяки своїй здатності використовувати поновлювані джерела енергії, можуть значно зменшити витрати на опалення та охолодження. Автоматизоване керування такими системами дозволяє ще більше підвищити їх ефективність, оптимізуючи споживання енергії в залежності від умов експлуатації та потреб користувачів.

2. Екологічні переваги. Важливим аспектом є зменшення негативного впливу на навколишнє середовище. Використання теплонасосних систем сприяє зниженню викидів вуглекислого газу та інших шкідливих речовин, що дозволяє дотримуватися екологічних стандартів та зменшити вплив на клімат. Автоматизовані технології

дозволяють оптимізувати роботу системи таким чином, щоб забезпечити максимальну екологічну ефективність.

3. Технологічний розвиток. Інтеграція сучасних інформаційних технологій з теплонасосними системами відкриває нові можливості для їх удосконалення. Використання комп'ютерних систем для моніторингу та керування дозволяє в режимі реального часу аналізувати стан системи, прогнозувати споживання енергії та виявляти можливі несправності. Це сприяє підвищенню надійності та довговічності систем, а також зменшенню витрат на обслуговування.

4. Соціальні переваги. Застосування енергоефективних технологій має значний соціальний ефект. Це не тільки знижує витрати на енергоспоживання для населення, але й сприяє підвищенню якості життя за рахунок створення комфортних умов у приміщеннях. Крім того, впровадження новітніх технологій стимулює розвиток науки та освіти, створюючи нові робочі місця та сприяючи підвищенню кваліфікації працівників.

Таким чином, дослідження у сфері автоматизованого комп'ютерно-інтегрованого енергоефективного керування теплонасосними системами є надзвичайно актуальним та важливим. Це сприяє не тільки економічному та екологічному розвитку, але й технологічному прогресу та покращенню якості життя населення. Зважаючи на сукупність наведених вище аргументів, варто визнати, що тема дисертаційної роботи Олішевського І.Г. "Автоматизована технологія комп'ютерно-інтегрованого енергоефективного керування теплонасосними системами" є надзвичайно актуальною та важливою для забезпечення сталого розвитку, підвищення енергетичної ефективності та екологічної безпеки.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.

Дослідження, присвячене автоматизованій технології комп'ютерно-інтегрованого енергоефективного керування теплонасосними системами, базується

на глибокому аналізі сучасних наукових досягнень у галузі енергоефективності, автоматизації та інформатизації. Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій цього дослідження підтверджується ретельним теоретичним та експериментальним підходом.

Високий рівень обґрунтованості наукових положень, висновків, рекомендацій, сформульованих у дисертації, забезпечуються наступними чинниками:

1. *Глибоким аналізом існуючих технологій.* Дослідження ґрунтується на детальному аналізі сучасних вітчизняних та іноземних технологій енергоефективного керування теплонасосними системами. Використані джерела включають наукові статті, монографії, патенти та технічну документацію, що забезпечує всебічне розуміння проблеми та існуючих рішень.

2. *Математичним моделюванням.* Одним з ключових елементів дослідження є математичне моделювання процесів, що відбуваються в теплонасосних системах. Це дозволило точно описати поведінку проєктованих систем, врахувати різні фактори, що впливають на їхню ефективність та оптимізувати алгоритми керування.

3. *Системним підходом.* Проведені дослідження орієнтовані на використання системного підходу. Це дозволяє враховувати взаємодію між різними компонентами теплонасосної системи, а також врахувати вплив зовнішніх умов. Таким чином, проведені дослідження забезпечують комплексне розуміння процесів та дозволяють розробити ефективні стратегії керування.

4. *Експериментальними дослідженнями.* Важливою частиною виконаних досліджень дисертанта є проведення комп'ютерних експериментів, які дозволили перевірити ефективність запропонованих рішень в контрольованих умовах. При цьому зауважу, що для підтвердження практичної значущості розробок проводяться експериментальні дослідження на реальних об'єктах. Це дозволило дисертанту оцінити ефективність розробленої системи в умовах реальної експлуатації, врахувати вплив зовнішніх факторів та адаптувати алгоритми керування до конкретних умов.

5. *Аналізом та обробкою результатів.* Зібрані експериментальні дані піддаються детальному аналізу з використанням сучасних комп'ютерних методів обробки інформації. Це включає статистичний аналіз, порівняння з теоретичними моделями та оцінки відхилень, що дозволяє зробити обґрунтовані висновки про ефективність розроблених технологій. Це включає вимірювання енергоспоживання, аналіз роботи системи в різних режимах та оцінку її стабільності.

6. *Обґрунтованими науковими висновками.* Висновки дослідження базуються на детальному аналізі теоретичних моделей та експериментальних даних. Це забезпечує високу ступінь обґрунтованості та достовірності отриманих результатів.

7. *Практичними рекомендаціями.* Рекомендації щодо впровадження автоматизованої технології комп'ютерно-інтегрованого енергоефективного керування теплонасосними системами формулюються на основі проведених експериментів та аналізу їх результатів. Це включає оптимальні параметри налаштування системи, алгоритми керування та заходи з підвищення її ефективності.

Отже, ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій дослідження "Автоматизована технологія комп'ютерно-інтегрованого енергоефективного керування теплонасосними системами" є високою завдяки ретельному аналізу існуючих технологій, використанню математичного моделювання, проведенню експериментальних досліджень, а також детальному аналізу отриманих результатів. Це забезпечує наукову та практичну значущість отриманих висновків та рекомендацій, що сприяє подальшому розвитку енергоефективних технологій.

Достовірність та наукова новизна одержаних результатів.

Дослідження, присвячене автоматизованій технології комп'ютерно-інтегрованого енергоефективного керування теплонасосними системами, ґрунтується на комплексному підході, що включає теоретичний аналіз, математичне

моделювання, комп'ютерні експерименти. Такий підхід забезпечив високу достовірність отриманих результатів.

При цьому, вхідні та вихідні дані дисертаційної роботи піддаються детальному статистичному аналізу. Це дозволяє виявити закономірності та залежності між різними параметрами системи.

Отримані дисертантом експериментальні дані порівнювалися з результатами теоретичних моделей. Висока відповідність між теоретичними та експериментальними даними свідчить про достовірність моделей та правильність обраних підходів.

Крім того, для перевірки на повторюваність результатів проводилася серія експериментів. Висока повторюваність результатів підтверджує стабільність та достовірність отриманих даних.

Результати дослідження також порівнювалися з іншими авторитетними дослідженнями у цій галузі. Висока відповідність з даними інших досліджень підтверджує достовірність отриманих результатів.

Результати дослідження піддаються експертній оцінці фахівців у галузі енергоефективності та автоматизації. Позитивні відгуки та підтвердження експертів свідчать про високу наукову та практичну цінність проведених дисертантом досліджень.

Впровадження розроблених технологій у реальних об'єктах та отримання позитивних результатів підтверджує практичну значущість та достовірність отриманих результатів.

Достовірність результатів дослідження "Автоматизована технологія комп'ютерно-інтегрованого енергоефективного керування теплонасосними системами" забезпечується комплексним підходом, що включає теоретичний аналіз, математичне моделювання, лабораторні експерименти, а також детальний аналіз та обробку даних. Використання сучасних методів дослідження та перевірка результатів на повторюваність та відповідність теоретичним моделям дозволяє

отримати надійні та достовірні результати, що мають високу наукову та практичну цінність.

Наукова новизна дослідження полягає, насамперед, в тому що у дисертаційній роботі започатковано нові методи та моделі побудови автоматизованих технологій комп'ютерно-інтегрованого енергоефективного керування теплонасосними системами.

При цьому отримано такі *основні наукові результати*:

Уперше:

– синтезовано апаратно-програмне забезпечення автоматизованої технології комп'ютерно-інтегрованого керування теплонасосними системами за критерієм енергоефективності, яке, на відміну від відомих, одночасно враховує теплові втрати від покрівлі, стін і вікон будівель, фізико-хімічні властивості холодоагенту, динаміку температури повітря навколишнього середовища і ґрунту, що дозволяє підтримувати комфортну температуру в будівлі під час опалення та кондиціонування;

– розроблено комплексну модель процесу комп'ютерно-інтегрованого керування системою кондиціонування, яка реалізує адаптивну утилізацію тепла для потреб гарячого водопостачання в залежності від температури теплоносія в тепловому акумуляторі, що дозволило досягти значення коефіцієнта перетворення енергії.

Удосконалено:

– методи побудови автоматизованих технологій комп'ютерно-інтегрованого енергоефективного керування теплонасосними системами промислових теплотехнічних об'єктів;

– структурно-функціональне забезпечення методу підвищення енергоефективності систем теплопостачання на основі багатоступневих теплонасосних систем завдяки встановленню залежності витрат умовного палива від кінцевої температури теплоносія.

Отримало подальшого розвитку інформаційно-програмне забезпечення засобів комп'ютерно-інтегрованого керування теплонасосними системами завдяки комплексному врахуванню дестабілізуючого впливу температури ґрунту й повітря навколишнього середовища, режимів роботи функціональних елементів системи, а також зональної температури й концентрації двоокису вуглецю в будівлі у вигляді вбудованого програмного забезпечення мікроконтролерних пристроїв, що дозволило реалізувати механізми автоматизованого керування теплонасосними системами під час опалення, кондиціонування та вентиляції у віддаленому режимі на основі людино-машинного інтерфейсу.

Повнота викладу основних положень дисертації в опублікованих працях.

Повнота викладення досліджень "Автоматизована технологія комп'ютерно-інтегрованого енергоефективного керування теплонасосними системами" забезпечується всебічним розглядом теоретичних основ, детальним описом методології, проведенням широкомасштабних експериментальних досліджень, глибоким аналізом результатів та розробкою практичних рекомендацій. Такий комплексний підхід дозволив отримати достовірні та всебічно обґрунтовані результати, які мають високу наукову та практичну цінність, сприяючи підвищенню ефективності та надійності теплонасосних систем у різних умовах експлуатації.

Загальний обсяг дисертації складає 237 сторінок, з яких основний текст викладено на 179 сторінках, включаючи 94 рисунки і 15 таблиць. Додатки на 18 сторінках містять список публікацій за темою дисертації, акти впровадження і використання результатів дисертації та програмне забезпечення розробленої автоматизованої технології.

Кількість, обсяг та зміст друкованих праць відповідають вимогам МОН України щодо публікацій основного змісту дисертації на здобуття ступеня доктора філософії й надають авторові право публічного захисту дисертації. Детальний аналіз

представленого рукопису дисертації та наукових публікацій дає підстави констатувати ідентичність публікацій і основних положень дисертації.

Практичне значення роботи.

Розробка та впровадження автоматизованої технології комп'ютерно-інтегрованого енергоефективного керування теплонасосними системами має суттєве практичне значення для різних галузей економіки. Ця технологія сприяє оптимізації енергоспоживання, зниженню витрат, поліпшенню екологічних показників та підвищенню комфорту користувачів. Впровадження розробленої технології сприятиме економічному зростанню, збереженню енергетичних ресурсів та поліпшенню екологічної ситуації, що робить її надзвичайно важливою та актуальною у сучасних умовах.

Матеріали дисертаційної роботи використані у дослідженнях, проведених під час виконання держбюджетної НДР «Дослідження методів підвищення ефективності автоматизованого керування тепловою роботою агрегатів великої потужності промислового та побутового призначення» (№ держреєстрації 0122U002601 від 19.05.2022 р.).

Матеріали дисертаційної роботи використані під час дослідження, проєктування та модернізації систем автоматизованого керування тепловою роботою агрегатів великої потужності виробництва ТОВ «Новел Проджектс Енд Солюшинс» (акт впровадження від 11.04.2024 р.).

Результати дисертації впроваджено до навчального процесу під час викладання лекційного матеріалу та практичних робіт із дисципліни «Адаптивні системи управління» аспірантам спеціальності 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка (акт впровадження від 15.04.2024 р.).

Оцінка змісту дисертації, її завершеності та відповідності встановленим вимогам.

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних літературних джерел із 233 найменувань та 3 додатків.

У вступі зазначено актуальність теми досліджень, сформульовано мету, об'єкт, предмет і основні завдання досліджень, обґрунтовано методи досліджень, викладено наукову новизну й практичну значимість одержаних результатів, зазначено особистий внесок здобувача, представлено загальну характеристику та структуру дисертації, а також наведено відомості щодо публікацій і результатів апробації й упровадження дисертаційної роботи.

Перший розділ присвячено інформаційному аналізу актуального стану науково-прикладних досліджень та інженерно-технічних рішень у сфері автоматизованого керування теплотехнічними об'єктами та процесами, а також локалізації мети, об'єкту, предмету та основних пріоритетних напрямків і задач з удосконалення й подальшого розвитку відомих автоматизованих технологій комп'ютерно-інтегрованого керування теплонасосними системами.

У другому розділі наведено результати розробки та дослідження щодо обґрунтування параметрів і характеристик структурно-функціонального забезпечення автоматизованої технології комп'ютерно-інтегрованого керування теплонасосними системами з урахуванням критерію енергоефективності.

Третій розділ присвячено розробці та дослідженню інформаційного та програмного забезпечення автоматизованої технології керування теплонасосними системами під час процесів опалення та кондиціонування.

У четвертому розділі дисертації було розв'язано дослідницькі задачі, що присвячені створенню та валідації комп'ютерних моделей апаратно-програмного забезпечення автоматизованої технології комп'ютерно-інтегрованого енергоефективного керування теплонасосними системами, а також критичному аналізу отриманих результатів досліджень із формулюванням рекомендацій з практичного використання розробленої автоматизованої технології та обґрунтуванням перспектив її подальшого розвитку.

У загальних висновках наведено основні кількісні та якісні результати дисертаційного дослідження.

У додатках наведено список публікацій здобувача за темою дисертації, акти впровадження та використання результатів дисертаційного дослідження, а також програмне забезпечення розробленої автоматизованої технології комп'ютерно-інтегрованого енергоефективного керування теплонасосними системами.

Загалом наукове дослідження Олішевського Іллі Геннадійовича характеризується методичною завершеністю, структурованістю та чіткістю зроблених висновків. Послідовно і логічно розкриваються, аналізуються й аргументуються положення, винесені на захист. Їх зміст доказово розкривається за допомогою методів емпіричного та теоретичного дослідження. На основі глибокого аналізу об'єкта дисертаційного дослідження, наукової розробки та інтерпретації автор доходить аргументованих теоретичних висновків.

Структура дисертації має логічну побудову і сприяє розкриттю теми дослідження та виконанню поставлених завдань. Дисертація оформлена відповідно до вимог Міністерства освіти і науки України, що висуваються до такого роду наукових робіт. Зміст наукових праць доповнює основні положення дисертації.

Зауваження та дискусійні положення щодо змісту дисертації.

Проведені дисертантом дослідження у галузі автоматизованих технологій керування теплонасосними системами є важливим та актуальним напрямом. Проте, як і будь-яке дослідження, воно не може бути позбавлене недоліків або дискусійних питань. Отже, до основних зауважень та дискусійних положень вважаю необхідно віднести наступне:

1. У другому розділі дисертаційної роботи розкриваються методи побудови та структурно-функціональне забезпечення технологій комп'ютерно-інтегрованого енергоефективного керування теплонасосними системами. Тут дисертант досліджує вплив деяких зовнішніх факторів на роботу теплонасосних систем, однак, вважаю,

що не всі можливі фактори враховані. Наприклад, різкі зміни кліматичних умов або екстремальні погодні явища можуть мати суттєвий вплив на ефективність системи, що потребує подальшого дослідження.

2. У третьому розділі дисертаційної роботи проводиться аналіз енергоефективності реалізації запропонованого комп'ютерно-інтегрованого методу керування системами теплонасосного опалення. Зауважу, що використання різних алгоритмів оптимізації для керування теплонасосними системами є важливим аспектом їхньої роботи. Нажаль, дисертант не висвітлює особливості вибору конкретних алгоритмів та методів їхнього впровадження.

3. У четвертому розділі дисертаційної роботи автор розкриває особливості розробки та дослідження апаратно-програмного забезпечення технології автоматизованого керування теплонасосними системами на основі комп'ютерного експерименту. Проте, нажалі, в даному випадку недостатньо враховано варіативності умов експлуатації теплонасосних систем у різних регіонах та кліматичних зонах. Дослідження зосереджені тільки на середньостатистичних умовах, що не враховує екстремальні температури або специфічні місцеві умови.

4. У підрозділі 4.1 дисертаційній роботі висвітлюються особливості комп'ютерного моделювання автоматизованої технології керування процесом опалення за допомогою засобів MATLAB Simscape. Отже, зазначу, що в даному випадку недостатньо розглянуто питання сумісності та адаптації нових технологій до існуючих систем. Адже інтеграція нових автоматизованих технологій з існуючими теплонасосними системами може бути викликом через відмінності в стандартах, протоколах та технічних характеристиках. З цих причин буде мати місце складність інтеграції представленої розробки з існуючими системами.

5. Нажаль, в наведених дослідженнях не повною мірою розкрито потенціал масштабованості розробленої системи на різні типи об'єктів та систем. В такому випадку виникає питання: «Чи буде система однаково ефективною для великих

промислових об'єктів та для невеликих приватних будівель?». Це питання потребує додаткового аналізу та експериментальних підтверджень.

Зауваження та дискусійні положення, викладені мною, підкреслюють важливість критичного підходу до оцінки наукових досліджень. Незважаючи на можливі недоліки та дискусійні моменти, робота "Автоматизована технологія комп'ютерно-інтегрованого енергоефективного керування теплонасосними системами" має значний внесок у розвиток енергоефективних технологій та може стати основою для подальших досліджень та впроваджень у цій галузі.

Висновок. Завершуючи відгук, слід сказати, що висловлені зауваження не змінюють позитивної оцінки поданої наукової роботи. В цілому, дисертація відрізняється оригінальністю, високим науковим рівнем і новизною, строгим логічним обґрунтуванням, має важливе наукове і практичне значення. Висновки і положення дисертації аргументовані і достовірні. Публікації автора повно відображають зміст дисертації та підтверджують достатньо високий рівень проведеного дослідження. Зміст роботи, об'єкт і предмет дослідження, основні положення і результати відповідають спеціальності, з якої дисертація подана до захисту.

На підставі вищезазначеного можна констатувати, що дисертаційна робота Олішевського І.Г. відповідає вимогам, що передбачені наказом Міністерства освіти та науки від 12.07.2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» та постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 «Про затвердження порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» (пункти 5, 6, 8).

Є всі підстави констатувати, що дисертація Олішевського І.Г. «Автоматизована технологія комп'ютерно-інтегрованого енергоефективного керування теплонасосними системами» є самостійною, завершеною науковою роботою, в якій міститься рішення проблеми, що має істотне значення для науки і

техніки. В свою чергу, автор дисертації Олішевський Ілля Геннадійович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», галузь знань 15 «Автоматизація та приладобудування».

***Офіційний опонент** – доктор технічних наук,
професор, професор комп'ютерних систем
та робототехніки Харківського національного
університету імені В.Н. Каразіна*

Марина МІРОШНИК