

В І Д Г У К

**доктора технічних наук, професора,
професора кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем
Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»
Швачича Геннадія Григоровича на дисертаційну роботу Олішевського
Іллі Геннадійовича «Автоматизована технологія комп'ютерно-
інтегрованого енергоефективного керування теплонасосними
системами», подану до захисту в разову спеціалізовану раду на здобуття
наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю
151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»,
галузь знань 15 «Автоматизація та приладобудування»**

Актуальність обраної теми. Актуальність обраної дисертантом теми досліджень пояснюється багатьма чинниками. Перед усім зауважу, що нині зростає потреба в енергоефективних рішеннях для опалення та охолодження будівель. В той же час, теплонасосні системи (ТНС) є одним з найефективніших способів використання енергії для цих цілей. Вони дозволяють значно знизити енергоспоживання, що в свою чергу веде до зменшення експлуатаційних витрат та підвищення економічної ефективності. Автоматизовані та комп'ютерно-інтегрованого технології керування дозволяють оптимізувати роботу ТНС, досягати максимального коефіцієнта продуктивності та мінімізувати втрати енергії.

Дисертаційна робота присвячена підвищенню енергоефективного керування теплонасосними системами. В той же час, використання енергоефективних ТНС сприяє зменшенню викидів парникових газів і негативного впливу на довкілля. Впровадження автоматизованих систем керування дозволяє краще контролювати і регулювати процеси теплопередачі, що сприяє більш раціональному використанню природних ресурсів та зменшенню екологічного сліду.

З іншого боку, сучасні тенденції в енергетиці передбачають перехід до розумних енергетичних мереж (Smart Grids), які включають інтеграцію різних джерел енергії та систем управління. Автоматизовані системи

керування теплонасосами можуть бути легко інтегровані з такими мережами, що дозволяє більш ефективно керувати енергоспоживанням на рівні будівель та цілих мікрорайонів.

Відзначу, що нині технологічний прогрес і розвиток Інтернету речей (IoT) створює нові можливості для автоматизації та дистанційного керування ТНС. Завдяки IoT, здійснюється моніторинг та управління теплонасосними системами в режимі реального часу, що значно підвищує їх ефективність та надійність.

Окремо необхідно відзначити, що автоматизовані та комп'ютерно-інтегровані системи керування ТНС забезпечують оптимальні умови мікроклімату в приміщеннях, що підвищує комфорт для користувачів. Крім того, автоматизація та сучасні інформаційно-комунікаційні системи дозволяють виявляти та оперативно реагувати на будь-які відхилення в роботі систем, що підвищує їх безпеку та довговічність.

Нарешті необхідно прийняти до уваги, що дослідження та розробка автоматизованих та комп'ютерно-інтегрованих технологій керування ТНС сприяють розвитку нових наукових підходів та інженерних рішень у галузі енергетики та автоматизації. Це стимулює інновації та сприяє підготовці висококваліфікованих фахівців у цій галузі.

Таким чином, актуальність теми «Автоматизована технологія комп'ютерно-інтегрованого енергоефективного керування теплонасосними системами» обумовлена необхідністю підвищення енергоефективності, зменшення впливу на довкілля, інтеграцією з розумними мережами, розвитком IoT, підвищенням комфорту та безпеки, а також сприянням науково-технічному прогресу. Ця тема є важливою як з практичної, так і з наукової точки зору, і має значний потенціал для впровадження в різних галузях.

Структура та зміст дисертаційної роботи. Обравши напрям свого дослідження, автор чітко визначив мету, яка полягає у вдосконаленні техніко-функціональної організації теплотехнічних систем, що реалізують процеси

опалення, гарячого водопостачання й кондиціонування завдяки розробці та впровадженню технічного й програмно-інформаційного забезпечення автоматизованих технологій комп'ютерно-інтегрованого енергоефективного керування тепловими насосами. Визначивши мету досліджень (стор. 19), дисертантом правильно поставлені наукові завдання (стор. 19 – 20), вірно визначені об'єкт, предмет та методологія дослідження (с. 19). Для вирішення поставлених завдань автор залучив достатню джерельну базу, проаналізувавши численні наукові праці та розробки іноземних і вітчизняних вчених. Використання цих матеріалів забезпечило належну обґрунтованість головних положень дисертаційного дослідження, висновків і пропозицій автора.

Мета і завдання, поставлені автором, знайшли своє відображення в структурі дисертації. Представлена робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

Успішне вирішення поставлених завдань дало змогу дисертанту послідовно і концептуально розкрити предмет дослідження, отримавши нові, науково обґрунтовані положення та висновки.

У вступі відображено актуальність роботи, сформульовано мету роботи, нові наукові результати, практичну значущість роботи, наведено інформацію про апробацію й впровадження результатів дисертаційного дослідження.

Перший розділ дисертаційної роботи містить огляд літературних джерел щодо інформаційного аналізу актуального стану науково-прикладних досліджень та інженерно-технічних рішень у сфері автоматизованого керування теплотехнічними об'єктами та процесами. Це дало можливість дисертанту обґрунтувати сутність авторського підходу до вибору методики дослідження, визначити поняття та розкрити сутність зарубіжних та вітчизняних концепцій і моделей модернізації й підвищення ефективності теплотехнічних систем, виокремити та проаналізувати процес

глобального тренду на основі збільшення частки відновлювальних джерел енергії в загальному обсязі генерування теплової та електричної енергії.

В даному розділі своїх досліджень дисертант показує, що досить актуальним сьогодні є проблема підвищення ефективності теплотехнічних систем і перспективність використання теплових насосів, що оснащені комп'ютерно-інтегрованими технологіями онлайн-моніторингу та керування під час автоматизованого регулювання процесів опалення, гарячого водопостачання та кондиціонування

Загалом же, перший розділ дисертації можна вважати закінченим дослідженням теоретико-методологічних засад підвищення енергоефективного керування теплонасосними системами, де окреслюються методологічні підходи, застосування яких є доцільним і необхідним для досягнення поставлених в дисертаційній роботі задач.

Другий розділ дисертаційної роботи присвячено обґрунтуванню параметрів і характеристик структурно-функціонального забезпечення автоматизованої технології комп'ютерно-інтегрованого керування теплонасосними системами з урахуванням критерію енергоефективності.

Автор розкриває особливості дослідженню структурно-функціонального забезпечення методів комп'ютерно-інтегрованого керування процесом утилізації теплової енергії, що дозволило обґрунтувати оптимізовані значення конструктивних параметрів та енергетичних характеристик теплонасосного обладнання, виконати аналіз та довести енергоефективність використання теплонасосних систем різного призначення під час: кондиціонування житлових приміщень для потреб гарячого водопостачання; впровадження і використання вентиляційних теплотехнічних систем житлових і адміністративних будівель; застосування нетрадиційних технологій опалення та кондиціонування.

В даному розділі дисертаційної роботи також синтезовано структурно-функціональне забезпечення методу підвищення енергоефективності комплексної системи опалення та кондиціонування житлових будівель із

застосуванням теплового акумулятора та сонячних колекторів. За рахунок оригінальної комбінації режимів регулювання циркуляційних потоків вздовж контурів системи, запропонована технологія, яка здатна накопичувати теплову енергію протягом всього року, а також використовувати її практично без втрат, виконуючи свої основні функції: опалення та кондиціонування.

У третьому розділі дисертації від питань, пов'язаних з обґрунтуванням параметрів і характеристик структурно-функціонального забезпечення автоматизованої технології комп'ютерно-інтегрованого керування теплонасосними системами, дисертант перейшов до висвітлення інформаційного та програмного забезпечення автоматизованої технології комп'ютерно-інтегрованого керування теплонасосними системами.

Так, це дозволило розробити таке інформаційне забезпечення автоматизованої технології комп'ютерно-інтегрованого керування опаленням будівель, яке враховує наступні функціональні процедури: моніторинг температури повітря навколишнього середовища, температури ґрунту та режимів роботи функціональних елементів системи, а також зональний моніторинг температури повітря в будівлі; комп'ютерно-інтегрована обробка даних моніторингу; автоматизоване керування тепловим насосом та режимами зональної подачі теплоносія до будівлі; аналіз енергоефективності реалізації запропонованого комп'ютерно-інтегрованого методу керування системами теплонасосного опалення. Це дозволило обґрунтувати алгоритмічну основу програмного забезпечення автоматизованої технології комп'ютерно-інтегрованого керування опаленням будівель.

Зауважу, що отримані результати досліджень цього розділу лягли в основу структурно-алгоритмічного базису під час подальших досліджень і розробок автоматизованої технології комп'ютерно-інтегрованого керування процесами опалення та кондиціонування будівель методами імітаційного та комп'ютерного експерименту задля оцінки об'єктивності та адекватності запропонованого інформаційного й програмного забезпечення досліджуваної автоматизованої технології.

У четвертому розділі проведено дослідження щодо комп'ютерного моделювання автоматизованої технології керування процесом опалення за допомогою засобів MATLAB Simscape. Запропонована та розроблена технологія призначена для створення в приміщеннях будівель температурного режиму, що відповідає санітарним вимогам та системи акумулювання теплової енергії кондиціонування в теплий період з подальшим її використанням в автоматизованій системі гарячого водопостачання.

Такий підхід дозволив розв'язати ряд дослідницьких задач, які присвячено 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 з 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 представлено, зокрема, акти впровадження результатів досліджень в діяльності підприємств, вищого навчального закладу.

Ступінь обґрунтованості, новизни та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі, обумовлені використанням сучасних експериментальних методів дослідження, їх несуперечністю сучасним теоретичним уявленням і результатам досліджень інших авторів, модельними розрахунками за допомогою засобів MATLAB Simscape та використанням апробованих програмних засобів для обробки результатів експерименту.

Загалом наукове дослідження Олішевського Іллі Геннадійовича характеризується структурованістю, методичною завершеністю 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.

Новизна наукових положень, висновків і рекомендацій, які одержані в дисертаційній роботі, полягає, насамперед, у новому погляді щодо розробки методів, засобів та моделей побудови автоматизованих технологій комп'ютерно-інтегрованого енергоефективного керування теплонасосними системами. При цьому:

– 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.

– Уперше 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 високі значення коефіцієнта перетворення енергії.

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

– Удосконалено структурно-функціональне забезпечення методу підвищення енергоефективності систем теплопостачання на основі багатоступневих теплонасосних систем завдяки встановленню залежності витрат умовного палива від кінцевої температури теплоносія, що дозволяє досягти до 12 % економії умовного палива та підвищити в 2 рази коефіцієнт перетворення енергії в порівнянні з одноступеневою системою або котлом.

– 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 викладення результатів в опублікованих працях. Наукові положення, висновки і рекомендації дисертаційної роботи І.Г. Олішевського достань повно викладені у 22 наукових працях, серед яких 1 стаття в періодичному виданні, що включене до наукометричної бази Scopus, 1 патент України на винахід, 5 статей у наукових фахових виданнях України категорії Б (у т.ч. 3 – одноосібні), 2 патенти України на корисну модель, 13 тез доповідей на Всеукраїнських і Міжнародних конференціях (у тому числі, 1 у наукометричній базі Scopus). Основні науково-прикладні результати дисертаційної роботи опубліковано в періодичних наукових виданнях, вони охоплюють усі наукові положення, що виносяться на захист.

Академічна доброчесність. У дисертаційній роботі та публікаціях, що містять основні результати наукових досліджень І.Г. Олішевського, порушень принципів академічної доброчесності (плагіату та самоплагіату, фабрикації та фальсифікації) не виявлено.

Як зауваження до представленої роботи вважаю відмітити наступне:

1. В другому розділі дисертаційної роботи розкриваються питання щодо обґрунтування характеристик структурно-функціонального забезпечення автоматизованої технології комп'ютерно-інтегрованого керування теплонасосними системами з урахуванням критерію енергоефективності. Проте, аналіз параметрів та характеристик може бути

обмеженим, якщо не враховані всі можливі фактори та сценарії, які впливають на ефективність та надійність системи. Нажаль, тут не були враховані всі аспекти інтеграції теплонасосних систем з іншими енергоефективними технологіями, такими як сонячні панелі або системи рекуперації тепла. Взаємодія цих систем може значно вплинути на загальну ефективність і параметри структурно-функціонального забезпечення.

2. Зазначу обмежену кількість експериментальних даних. Хоча в роботі проведено експерименти з підтвердження роботоздатності автоматизованої технології комп'ютерно-інтегрованого керування теплонасосними системами, кількість зібраних даних може бути недостатньою для деяких специфічних умов або сценаріїв. Вважаю, що розширення обсягу експериментальних досліджень могло б підвищити надійність отриманих результатів.

3. Представлена в дисертаційній роботі комп'ютерно-інтегрована технологія енергоефективного керування теплонасосними системами потребує стабільного електроживлення для забезпечення безперебійної роботи. Відключення електроенергії можуть призвести до перебоїв у функціонуванні системи, що, у свою чергу, негативно вплине на її ефективність та надійність. Урахування цього аспекту є критично важливим для забезпечення надійної роботи системи, що, нажаль в дисертаційній роботі не знайшло свого відображення.

4. У представленій дисертаційній роботі для аналізу комп'ютерно-інтегрованого енергоефективного керування теплонасосними системами використовуються певні методи та оцінки. Проте, існують альтернативні підходи, які могли б дати різні результати та інтерпретації. Недостатнє розмаїття методів та підходів у дослідженні може обмежувати глибину і широту аналізу, а також потенційно впливати на об'єктивність та повноту висновків.

5. Вважаю, що в представленій роботі недостатня увага приділена до аспектів кібербезпеки та кіберзагроз. Так, в умовах зростаючих кіберзагроз недостатній аналіз аспектів кібербезпеки може поставити під загрозу стабільність та безпеку роботи системи. Необхідно було б врахувати можливі ризики та заходи для захисту від кіберзагроз. В той же час відсутність регулярного аудиту безпеки може призвести до вразливостей, які можуть бути використані для несанкціонованого доступу та управління системою.

Завершуючи відгук, слід сказати, що висловлені зауваження не мають принципового характеру та не впливають на загальну її оцінку. В цілому, дисертація відрізняється високим науковим рівнем і новизною, строгим логічним обґрунтуванням, має важливе наукове та 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.

Висновок. Дисертація Олішевського Іллі Геннадійовича «Автоматизована технологія комп'ютерно-інтегрованого енергоефективного керування теплонасосними системами», відповідає спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» та вимогам Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у закладах вищої освіти (наукових установах), затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 23 березня 2016 р. № 261, пп. 6, 7, 8 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

За актуальністю розглянутих задач, обсягом дослідження, науковим рівнем і практичною цінністю отриманих результатів дисертаційна робота повністю відповідає діючим вимогам щодо наукового ступеня доктора

філософії. Є всі підстави констатувати, що дисертація Олішевського Іллі Геннадійовича «Автоматизована технологія комп'ютерно-інтегрованого енергоефективного керування теплонасосними системами», є самостійною, завершеною науковою роботою, в якій містяться рішення задач, що мають важливе значення, а її автор заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», галузь знань 15 «Автоматизація та приладобудування».

*Рецензент: доктор технічних наук, професор,
професор кафедри програмного забезпечення
комп'ютерних систем Національного технічного
університету «Дніпровська політехніка»*

Геннадій ШВАЧИЧ