

## ВІДГУК

*рецензента, доктора технічних наук, доцента, професора кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» Лактіонова Івана Сергійовича на дисертацію Олішевського Іллі Геннадійовича на тему «Автоматизована технологія комп'ютерно-інтегрованого енергоефективного керування теплонасосними системами», яка подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології*

*Відгук рецензента, який викладено нижче, є результатом критичного аналізу змісту дисертації, наукових публікацій здобувача за темою дисертації, а також актів упровадження й використання результатів дисертаційної роботи.*

### ***Актуальність роботи.***

Програмно-технічна модернізація теплотехнічних систем і об'єктів, у тому числі, завдяки розробці й упровадженню автоматизованих технологій, є актуальною в світовому масштабі з ряду причин, найбільш вагомими з яких є: оптимізація споживання ресурсів і енергії, зниження витрат на експлуатацію та ремонт, зменшення простоїв технологічного обладнання, підвищення комфорту для споживачів, зменшення негативного впливу на навколишнє середовище та інше. Своєю чергою, впровадження технологій автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих засобів керування теплотехнічними об'єктами і процесами, що на них протікають, є дієвим підходом щодо підвищення енергоефективності, забезпечення надійної та стабільної роботи систем постачання, розподілу й відведення тепла, адаптивного налаштування режимів експлуатації теплотехнічного устаткування до специфічних вимог різних категорій споживачів та інше.

Сучасний стан систем централізованого теплопостачання в Україні останнім часом залишався незмінним і не зазнавав суттєвої модернізації та/або реконструкції, а лише підтримувався в працездатному стані, що суттєво вплинуло на показники зношеності та моральної і технічної застарілості. З урахуванням цього, а також

приймаючи до уваги статистичні показники негативної динаміки втрат теплової енергії в теплових мережах, значної актуальності набувають питання, що пов'язані з розробкою нових і удосконаленням існуючих технологій, які забезпечують використання альтернативних високоефективних схем енерго- і теплозабезпечення. В цьому контексті теплонасосні системи, які базуються на комп'ютерно-інтегрованих методах керування, є одними з найперспективніших рішень щодо забезпечення ефективного протікання теплотехнічних процесів.

Отже, науково-прикладна задача, яка була сформульована і вирішена в дисертації Олішевського І.Г., та полягає в створенні та дослідженні автоматизованої технології комп'ютерно-інтегрованого керування тепловими насосами, що дозволяє підвищити енергоефективність систем централізованого теплопостачання будівель завдяки розробці й використанню інформаційного, програмного та технічного забезпечення засобів автоматизації, є актуальною.

#### ***Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.***

Основою цієї роботи є матеріали, що узагальнюють дослідження автора, виконані в рамках реалізації науково-дослідних робіт, що проводяться у НТУ «Дніпровська політехніка» відповідно до Закону України № 2623-14 від 11.07.2001 р. «Про пріоритетні напрями розвитку науки та техніки» (зі змінами, внесеними відповідно до Закону № 2859-IX від 05.02.2023 р.), ухвалою Кабінету Міністрів України від 03.03.2021 р. № 179 «Національна економічна стратегія на період до 2030 року», постановою Кабінету Міністрів України від 05.08.2020 р. № 695 «Про затвердження Державної стратегії регіонального розвитку на 2021-2027 роки». Робота виконана в рамках НДР «Дослідження методів підвищення ефективності автоматизованого керування тепловою роботою агрегатів великої потужності промислового та побутового призначення» (№ держреєстрації 0122U002601 від 19.05.2022 р.).

#### ***Наукова новизна одержаних результатів.***

На підставі всебічного аналізу змісту дисертаційної роботи Олішевського І.Г.

та його наукових публікацій за темою роботи встановлено, що здобувачем досягнуто основну мету та вирішено поставлену науково-прикладну задачу щодо створення та дослідження автоматизованої технології комп'ютерно-інтегрованого керування тепловими насосами. Наукова новизна дисертації полягає в:

– *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 значення коефіцієнта перетворення енергії (відношення тепловіддачі випарника до загальної споживаної потужності системи кондиціонування) на рівні 3,5.

– *удосконалено* методи побудови автоматизованих технологій комп'ютерно-інтегрованого енергоефективного керування теплонасосними системами промислових теплотехнічних об'єктів, а саме: запропоновано та доведено ефективність комп'ютерно-інтегрованого методу керування технологічними процесами в умовах конденсаційних електростанцій завдяки використанню автоматизованого теплового насоса під час утилізації тепла, що дозволило досягти значень коефіцієнта використання теплоти до 78 % при коефіцієнті корисної дії базового циклу 41 % за умови відсутності впливу процесу генерації теплової енергії на якісні й кількісні показники виробництва електроенергії; запропоновано та доведено ефективність комп'ютерно-інтегрованого методу керування технологічними процесами в умовах гідроелектростанцій завдяки введенню до схеми

технологічного процесу утилізації теплоти автоматизованого теплового насоса, що дозволило збільшити коефіцієнт перетворення енергії на 43 % при допустимих навантаженнях на систему опалення та зменшити витрати умовного палива на величину до 30 % на потреби опалення й гарячого водопостачання в порівнянні з теплотехнічними системами на основі котлів.

– *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.

Вважаю, що всі положення наукової новизни відповідають змісту роботи та є повністю обґрунтованими і доведеними в результаті проведеного дисертаційного дослідження.

### ***Практична цінність та впровадження отриманих результатів.***

Основу практичної цінності результатів дисертаційного дослідження Олішевського І.Г. становлять запропоновані комп'ютерно-інтегровані методи, апаратно-програмні рішення і комп'ютерні моделі, що застосовуються під час проектування нових або модернізації існуючих засобів автоматизації теплонасосних

систем, які є функціональними складовими систем опалення, кондиціонування, вентиляції та гарячого водопостачання побутових, інфраструктурних і промислових об'єктів. Отримані результати дисертаційного дослідження використано та впроваджено:

– 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.);

– 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.);

– під час 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.).

***Достовірність і обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, які сформульовано та висвітлено в дисертації.***

Всі отримані та сформульовані положення наукової новизни та практичної цінності, а також висновки й рекомендації дисертації відповідають вимогам до наукових робіт. Це забезпечено наступним:

– всебічний інформаційний аналіз і логічне узагальнення відомих науково-прикладних результатів у досліджуваній предметній галузі як на світовому, так і на вітчизняному рівні;

– обґрунтованість науково-прикладної задачі, основної мети, а також об'єкту й предмету досліджень;

– застосування загальноновизнаних і сучасних методів досліджень, а саме: математичне, інформаційне та комп'ютерне моделювання;

– коректність аналітичних і теоретичних припущень;

- збіжність результатів розрахунків та комп'ютерного експерименту;
- лаконічність і змістовність висновків як за окремими розділами, так і загальних по роботі;
- значна кількість апробаційних матеріалів.

Все це дозволяє стверджувати про достовірність і обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації Олішевського І.Г.

### ***Аналіз змісту, структури та обсягу роботи.***

Загальний обсяг роботи становить 237 сторінок, з яких основний текст викладено на 179 сторінках машинописного тексту, включаючи 94 рисунки і 15 таблиць.

Вступ роботи розкриває актуальність, мету, об'єкт, предмет і основні задачі дисертації, а також методи досліджень, наукову новизну й практичну значимість одержаних результатів, особистий внесок здобувача, загальну характеристику та структуру дисертації, результати публікаційної та апробаційної активності здобувача.

У першому розділі висвітлено результати 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.

Другий розділ розкриває результати досліджень щодо розробки та обґрунтування параметрів і характеристик структурно-функціонального забезпечення автоматизованої технології комп'ютерно-інтегрованого керування теплонасосними системами з урахуванням критерію енергоефективності.

У третьому розділі роботи розв'язано задачі розробки та дослідження інформаційного та програмного забезпечення автоматизованої технології керування теплонасосними системами під час процесів опалення та кондиціонування.

Четвертий розділ дисертації присвячено розв'язанню дослідницьких задач, що

пов'язані зі створенням та валідацією комп'ютерних моделей апаратно-програмного забезпечення автоматизованої технології комп'ютерно-інтегрованого енергоефективного керування теплонасосними системами, а також критичним аналізом отриманих результатів досліджень із формулюванням рекомендацій з практичного використання розробленої автоматизованої технології та обґрунтуванням перспектив її подальшого розвитку.

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

Додатки містять інформацію щодо списку публікацій здобувача за темою дисертації, актів впровадження та використання результатів дисертаційного дослідження, а також програмного забезпечення розробленої автоматизованої технології.

У результаті аналізу змістовного наповнення дисертаційної роботи Олішевського І.Г. встановлено, що вона повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» галузі знань 15 «Автоматизація та приладобудування» для третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти та ОНП спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

Як результат перевірки дисертації встановлено, що дисертаційна робота Олішевського І.Г. є результатом оригінальних і самостійних досліджень, вона не містить елементів фальсифікації, фабрикації та текстових запозичень без посилань на відповідні джерела.

Таким чином, можна констатувати факт того, що дисертація Олішевського І.Г. є завершеним, оригінальним, змістовним, логічним і структурованим науково-прикладним дослідженням, що дозволило йому в повному обсязі розкрити тему дослідження та досягти поставлену мету.

***Мова та стиль викладання результатів.***

Дисертація Олішевського І.Г. написана українською мовою. Стиль викладення матеріалів досліджень є лаконічним, структурованим, чітким і логічним.

***Повнота викладу основних положень дисертації в опублікованих наукових працях.***

Здобувач Олішевський І.Г. опублікував за темою дисертації 22 наукові праці: 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 (3 – одноосібні), 2 патенти України на корисну модель, 13 тез доповідей на Всеукраїнських і Міжнародних конференціях.

Кількість і тип друкованих праць відповідає актуальним вимогам Міністерства освіти і науки України щодо публікацій основного змісту дисертації на здобуття ступеня доктора філософії. Змістовна наповненість та тематика опублікованих наукових праць дозволяє стверджувати, що наукові результати, які виносяться на захист, було повністю охоплено і висвітлено в публікаціях.

***Зауваження та дискусійні положення.***

1. У дисертації не проведено дослідження щодо впливу застосованих законів керування електроприводами компресорів, насосів та вентиляторів на енергоефективність розробленої автоматизованої технології комп'ютерно-інтегрованого керування теплонасосними системами. Крім того, підвищення коефіцієнту ефективності (COP) пов'язано зі зменшенням споживаної потужності виконавчих механізмів в усталеному режимі та під час переходу від одного усталеного режиму до іншого, що може покращувати загальні техніко-функціональні показники запропонованих рішень.

2. Під час розробки й досліджень програмного та інформаційного забезпечення автоматизованої технології керування процесами опалення й кондиціонування будівель, які висвітлено в третьому розділі дисертації, для обґрунтування вимог до теплових насосів автор використовує масштаб часу, який дорівнює одній добі. Проте, в четвертому розділі цей масштаб значно зменшено, зокрема, на рисунках 4.39–4.42,



він не перевищує значення 0,35 год. Такий перехід між масштабами часу в авторській редакції є недостатньо обґрунтованим.

3. Під час графічної інтерпретації результатів досліджень щодо встановлення динаміки потужності теплового насосу, які наведено на рисунках 3.3 (процес опалення) та 3.6 (процес кондиціонування), автором використано різні розмірності параметра потужності ( $^{\circ}\text{C}/\text{год.}$  та кВт, відповідно). Проте, в тексті дисертації такий підхід є недостатньо обґрунтованим.

4. На рисунку 4.46 з вікна користувача людино-машинного інтерфейсу видно, що температура повітря навколишнього середовища також детектується за допомогою реалізованої автором комп'ютерно-інтегрованої технології. Проте, на структурній схемі синтезованого апаратно-програмного рішення автоматизованої технології, яку наведено на рисунку 4.44, та схемі комунікації компонент системи за протоколом MQTT, яку наведено на рисунку 4.45, такий датчик температури не було наведено.

5. Під час досліджень третього розділу автором не зазначено, який тип теплового насосу ним було використано (геотермальний, повітряний або з вторинним джерелом тепла). Хоча, на мій погляд, це є принциповим під час обґрунтування параметрів і характеристик досліджуваної автоматизованої технології.

6. На мій погляд, у дисертації недостатню увагу приділено питанням надійності розробленої автоматизованої технології, хоча це в значній мірі впливає на загальну техніко-функціональну ефективність розробки, а також на подальші перспективи її впровадження та використання в реальних умовах експлуатації.

Зазначені зауваження істотно не впливають на загальний високий науковий рівень дисертаційної роботи та не знижують її науково-практичну цінність.

### ***Висновок.***

На підставі детального аналізу дисертації та наукових публікацій здобувача Олішевського Іллі Геннадійовича, а також приймаючи до уваги актуальність теми роботи, положення наукової новизни, практичну значущість, показники

обґрунтованості та достовірності одержаних результатів і сформульованих висновків по роботі, вважаю, що його дисертація «Автоматизована технологія комп'ютерно-інтегрованого енергоефективного керування теплонасосними системами» є завершеним, самостійним і вагомим дослідженням, що присвячене вирішенню важливої науково-прикладної задачі підвищення енергетичної ефективності систем централізованого тепlopостачання завдяки розробці та використанню інформаційного, програмного й технічного забезпечення засобів автоматизації.

Зазначаю, що дисертація Олішевського Іллі Геннадійовича відповідає вимогам пунктів 5–8 Постанови Кабінету Міністрів України № 44 від 12.01.2022 р. «Про затвердження порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», а також Наказу Міністерства освіти та науки від 12.07.2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Таким чином, вважаю, що Олішевський Ілля Геннадійович, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії (Ph.D.) за спеціальністю 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології.

Рецензент, професор кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем НТУ «Дніпровська політехніка», доктор технічних наук, доцент

**Іван ЛАКТИОНОВ**