

ЗАТВЕРДЖУЮ

Ректор Харківського національного  
університету імені В. Н. Каразіна  
доктор юридичних наук, професор



Тетяна КАГАНОВСЬКА

\_\_\_\_\_ 2026 р.

## ВИСНОВОК

*про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів  
докторської дисертації Голінка Ігоря Михайловича  
на тему "Математичні моделі та оптимізація систем штучного  
мікроклімату кіберфізичних об'єктів критичної інфраструктури",  
поданої на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за  
спеціальністю 01.05.02 "Математичне моделювання та обчислювальні  
методи"*

Тему дисертаційної роботи "Математичні моделі та оптимізація систем штучного мікроклімату кіберфізичних об'єктів критичної інфраструктури" затверджено на засіданні Вченої ради Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна (протокол № 4 від 27 лютого 2026 р.).

Для проведення попередньої експертизи дисертації вченою радою Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна (протокол № 4 від 27 лютого 2026 р.) визначено структурним підрозділом Навчально-науковий інститут комп'ютерних та штучного інтелекту та затверджено рецензентів.

Заслухавши та обговоривши доповідь Голінка І.М. на розширеному засіданні кафедри математичного моделювання та аналізу даних Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна (протокол № 10 від 9 березня 2026 р.) та за результатами попередньої експертизи представленої дисертації було ухвалено такий висновок.

### **1. Актуальність теми дослідження**

У сучасних умовах різко зростає залежність суспільства від надійності функціонування об'єктів критичної інфраструктури (КІ), які забезпечують безпеку життєдіяльності населення та стійкість державних інституцій. Важливим чинником їх безперервної роботи є підтримання штучного мікроклімату в технічних і громадських приміщеннях, оскільки системи кондиціонування повітря (СКП) забезпечують сталість функціонування людських, технічних та інформаційних компонентів КІ в умовах наявної невизначеності зовнішніх та внутрішніх збурень.

СКП є невід'ємним елементом забезпечення надійності об'єктів зв'язку, енергетики, охорони здоров'я, фінансового сектору та центрів управління, де гарантується підтримання температурно-вологісного режиму роботи для

чутливого електронного обладнання та працездатності персоналу в умовах підвищеного навантаження або надзвичайних ситуацій. Універсальність СКП як складних інженерних систем зумовлює широкий діапазон їх застосування – від побутових пристроїв до промислових кондиціонерів із жорсткими вимогами до стабільності температури, вологості та інших параметрів повітря. Для технічних приміщень об'єктів КІ стабільність штучного мікроклімату безпосередньо впливає на якість технологічних процесів, рівень відмов обладнання та ефективність праці, що обумовлює необхідність їх формалізованого опису та подальшого математичного й обчислювального дослідження. Штучний мікроклімат виступає як інструмент зниження фізичних і кібернетичних ризиків, оскільки його порушення (перегрів, конденсація вологи) може призводити до аварій та збоїв у роботі критичних систем. Таким чином, СКП доцільно розглядати як ключові елементи кіберфізичних об'єктів (КФО) КІ, для яких актуальним є розроблення адекватних математичних моделей і алгоритмів управління.

Наявність великої кількості технічних рішень у сфері кондиціонування повітря істотно ускладнює їх математичний опис. Тому, особливої актуальності набуває питання розробки математичних моделей та обчислювальних методів управління штучним мікрокліматом об'єктів КІ. Більшість існуючих моделей орієнтовані на окремі вузли кондиціонера та не відображають процес підготовки повітря як єдиний багатовимірний об'єкт керування. Це обмежує можливості синтезу оптимальних керуючих впливів з урахуванням реальних експлуатаційних умов. Відсутність комплексних моделей і відповідних обчислювальних методів аналізу призводить до обмеження можливостей щодо побудови інформаційних систем підтримки прийняття рішень для управління штучним мікрокліматом КФО КІ, які здатні забезпечити енергоефективність і адаптивне реагування на зміну зовнішніх та внутрішніх збурень. Розроблення подібних рішень потребує всебічного математичного опису СКП та розробки відповідних алгоритмів оптимізації, здатних враховувати багатовимірність процесів кондиціонування та наявну невизначеність параметрів.

Наукові дослідження підтверджують наявний потенціал обчислювальних методів математичного моделювання для побудови систем підтримки прийняття рішень з управління штучним мікрокліматом КФО КІ, здатних інтегрувати різноманітні аспекти та враховувати невизначеності різної природи. Застосування математичних моделей, методів ідентифікації та алгоритмів оптимізації створює науково обґрунтовану основу для розроблення стійких адаптивних стратегій керування СКП у складі КФО КІ. Сукупність наведених чинників обумовлює об'єктивну необхідність та актуальність розвитку математичного моделювання і обчислювальних методів управління для систем штучного мікроклімату КФО КІ.

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

Дисертаційна робота виконувалась згідно із планами наукових досліджень Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського" у рамках держбюджетних тем:

- № 2539-п “Підвищення ефективності та надійності функціонування устаткування ТЕС та малої енергетики в змінних режимах експлуатації” (2012–2013 р., номер держ. реєстрації 0112U001751);
- № 2716-п “Розробка засобів із продовження надійної та економічної експлуатації енергогенеруючих об’єктів у маневрених режимах” (2014–2015 р., номер держ. реєстрації 0114U000564);
- № 2009-п “Управління енергоспоживанням об’єктів комунальної енергетики” (2017–2018 р., номер держ. реєстрації 0117U000469);
- № 2313-п “Побудова інформаційно-аналітичної платформи для супроводження функціонування кіберфізичних систем” (2020–2022 р., номер держ. реєстрації 0120U102298).

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

У дисертації *вперше* одержані такі наукові результати:

- 1) отримано комплексні математичні моделі в просторі станів для промислових та прецизійних кондиціонерів як багатовимірних динамічних об’єктів керування; запропоновані моделі відображають тепло- та масообмінні процеси підготовки повітряної суміші та враховують взаємодію кліматичного обладнання; розроблені моделі придатні для застосування в режимі реального часу, інтегруються зі штатними засобами керування та забезпечують адекватність інженерним умовам експлуатації;
- 2) запропоновано підхід побудови цифрового двійника для кліматичного обладнання, що поєднує багатовимірну модель тепло- та масообміну обладнання кондиціонера з алгоритмами параметричної ідентифікації та чисельними процедурами оновлення стану; цифровий двійник інженерного обладнання кондиціонера забезпечує безперервне відтворення технічного стану реальної системи штучного мікроклімату та прогнозування її поведінки під дією зовнішніх збурень, що підвищує надійність, керованість і стійкість інженерних кліматичних комплексів;
- 3) запропоновано метод непрямого визначення вологовмісту повітряної суміші на основі вимірних температури, відносної вологості та атмосферного тиску; метод непрямого контролю вологовмісту забезпечує умови для незалежної роботи контурів стабілізації температури та вологості та підвищує точність стабілізації вологості за рахунок врахування атмосферного тиску;
- 4) розроблено універсальну методичку побудови комплексних математичних моделей для кліматичних установок, яка придатна для широкого спектру технічних реалізацій фізичного процесу підготовки повітряної суміші;
- 5) розроблено чисельну процедуру параметричної оптимізації традиційних систем керування з модифікаціями цифрових ПІ-регуляторів, де вхідною інформацією про динамічні властивості об’єкта керування є часова характеристика об’єкта; запропонована процедура дозволяє зменшити похибку моделювання системи керування за рахунок виключення етапу апроксимації об’єкта керування; використання запропонованої процедури оптимізації одномірних систем керування кондиціонерами у порівнянні із класичними покращує інтегральні показники якості у 1.5 – 2 рази, зменшується коливність та тривалість перехідних процесів.

У дисертації *удосконалено та розвинуто*:

- б) чисельну процедуру оптимізації багатовимірною лінійно-квадратичного регулятора для СКП, що враховує логіку вибору обладнання кондиціонера для здійснення оптимального керування та дозволяє системі керування адаптуватися до зміни зовнішнього середовища; застосування багатовимірною лінійно-квадратичного регулятора забезпечує узгоджене багатоканальне керування кліматичною установкою та покращує інтегральні показники якості у 1.2 – 2.3 рази порівняно із одновимірними методами керування;
- 7) аналітичні моделі кліматичного обладнання шляхом урахування масообміну і введення нелінійної залежності коефіцієнтів тепловіддачі від робочих режимів кондиціонера, що забезпечило врахування вологості повітряної суміші під час чисельного моделювання підготовки повітряної суміші на обладнанні кондиціонера, покращило прогнозування режимів роботи СКП та створило передумови для коректного інженерного синтезу системи керування кондиціонером;
- 8) метод пасивної ідентифікації коефіцієнтів тепло- та масообміну для кліматичного обладнання кондиціонера із використанням комп'ютерної моделі цифрового двійника;
- 9) методи параметричної оптимізації традиційних систем керування за інтегральними критеріями; отримані залежності забезпечують високу точність розрахунків в широкому діапазоні зміни динамічних властивостей об'єкта керування та зручні для програмної реалізації.

#### **4. Ступінь обґрунтованості наукових положень та висновків, сформульованих у дисертаційній роботі**

Сформульовані у дисертаційній роботі положення та висновки мають наукове та прикладне обґрунтування. Допущення, покладені в основу теоретичних досліджень, є коректними. Достовірність отриманих в роботі результатів підтверджується їх узгодженістю із відомими результатами, отриманими іншими дослідниками при розв'язанні аналогічних задач.

Обґрунтованість основних положень, висновків і рекомендацій підтверджується застосуванням строгих математичних викладок, алгоритмічних методів та принципів системного аналізу. Розв'язок задач дослідження базується на: методології системного аналізу при створенні загальної концепції управління СКП; методах математичного моделювання при дослідженні динамічних процесів тепло- та масообміну для кліматичного обладнання кондиціонерів; методах сучасної теорії керування та оптимізації динамічних систем при розробці систем оптимального керування процесами кондиціонування повітря.

Таким чином, результати дослідження мають належне теоретичне підґрунтя, підтверджені практичною значущістю та відповідають вимогам до наукової новизни й прикладної цінності.

#### **5. Теоретичне та практичне значення результатів роботи, впровадження**

Теоретичне значення результатів дослідження полягає у суттєвому вдосконаленні методологічного апарату моделювання складних технічних систем і систем підтримки прийняття рішень, орієнтованих на управління

штучним мікрокліматом кіберфізичних об'єктів критичної інфраструктури. У роботі здійснено комплексний аналіз особливостей функціонування штучного мікроклімату для об'єктів критичної інфраструктури. Розроблено математичні моделі, методики, підходи, процедури та алгоритми, що забезпечують адекватний опис та ефективне управління фізичним процесом підготовки повітряної суміші на кліматичному обладнанні кондиціонерів різних технологічних модифікацій за умов концептуальної невизначеності вхідних даних. Створено аналітичні моделі функціонування наявного кліматичного обладнання, на основі яких сформовано методику побудови комплексних моделей кондиціонерів для будь-яких технологій підготовки повітря. Запропоновано підхід до розробки цифрових двійників кліматичного обладнання, що дає змогу ідентифікувати невизначені параметри та адаптувати аналітичні моделі до реальних умов функціонування обладнання кондиціонера.

Практична цінність отриманих результатів визначається створенням багатофункціонального математичного і алгоритмічного забезпечення для управління мікрокліматом кіберфізичних об'єктів критичної інфраструктури. Запропоновані математичні моделі, методи та алгоритми керування кондиціонерами доведені до рівня практичної реалізації. Розроблений системний підхід до управління штучним мікрокліматом може бути рекомендований як для промислових підприємств, так і для установ соціальної сфери. Результати промислових впроваджень підтвердили високу ефективність розробленого математичного забезпечення для розробки інформаційно-керуючих систем штучного мікроклімату, що проектуються на основі концептуально інтегрованих рішень. Створені моделі, методи, алгоритми та програмне забезпечення доцільно застосовувати на рівні хмарних сервісів КФС для підтримки прийняття рішень щодо раціонального управління штучним мікрокліматом складних технічних систем.

## **6. Апробація результатів дисертації.**

Матеріали дисертації були представлені та оприлюднені на наукових, науково-технічних і науково-практичних конференціях:

- VII–XII Міжнародних науково-практичних конференціях “Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики” (КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, 2009 – 2014);
- XXI Міжнародній конференції з автоматичного управління “Автоматика–2014” (КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, 2014);
- X Міжнародній науково-практичній конференції “Гіротехнології, навігація, керування рухом і конструювання авіаційно-космічної техніки” (КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, 2015);
- V Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених з автоматичного управління (ХНТУ, м. Херсон: 2017);
- III–VI Міжнародних науково-практичних конференціях “Математика в сучасному технічному університеті” (НТУУ “КПІ”, м. Київ, 2014 – 2017);
- Міжнародній науковій конференції “Мікро- та нанонеоднорідні матеріали: моделі та експеримент” (ЦММППІММ ім. Я.С. Підстригача, м. Львів, 2018);
- Міжнародній науковій конференції “Modeling, Control and Information Technologies” (НТВГП, м. Рівне, 2019);

- International Conference on Computer Science, Engineering and Education Applications 2019 – 2021 (Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv, 2019 – 2021);
- International Workshop on Computer Modelling and Intelligent Systems 2020, 2023 (National University "Zaporizhzhia Polytechnic", Zaporizhzhia, 2020, 2023);
- IEEE 3rd International Conference on System Analysis and Intelligent Computing (Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv, 2022);
- XXI, XXII Міжнародні науково-практичні конференції “Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем” (ДНУ, м. Дніпро, 2023, 2024).

## **7. Оцінка змісту дисертації**

Робота виконана на належному науковому рівні, є завершеною кваліфікаційною науковою працею. Дисертація складається зі вступу, 7 розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації 360 сторінок. Дисертація написана українською мовою у науковому стилі.

У *вступі* обґрунтовано актуальність теми дослідження, визначено об’єкт, предмет, мету і завдання дисертаційної роботи, показано наукову новизну і практичну цінність одержаних результатів, наводиться зв’язок роботи з пріоритетними напрямками наукових досліджень КПІ ім. Ігоря Сікорського, зазначено особистий внесок здобувача, надано інформацію про апробацію результатів дисертації та публікації.

*Перший розділ* присвячено аналізу наявних публікацій за темою дослідження. Розглянуто класифікацію об’єктів КІ та аргументовано застосування штучного мікроклімату як засобу їх надійного функціонування. Окремий блок присвячено наявним моделям кліматичного обладнання, розглянуто існуючі методи управління СКП. Аналіз існуючих рішень не виявив наукових рекомендацій системного характеру щодо оптимізації управління штучним мікрокліматом об’єктів КІ.

У *другому розділі* запропоновано нову концепцію управління СКП, що ґрунтується на принципові синергізму для врахування взаємодії кліматичного обладнання в процесі підготовки повітряної суміші та подальшої інтеграції кондиціонерів у кіберфізичну систему КІ. Значну увагу приділено технологічним аспектам підготовки повітряної суміші як складної технічної системи. Розроблена системна методологія управління СКП, що охоплює аналіз процесів підготовки повітря, побудову багатовимірної математичної моделі кондиціонера та побудову системи підтримки прийняття рішень, що забезпечує інтеграцію систем кондиціонування у КФС КІ. У подальших розділах розглядається математична реалізація запропонованого системного підходу.

*Третій розділ* присвячено розробці математичних моделей СКП. У роботі запропоновано сім аналітичних моделей: модель електрокалорифера; модель водяного калорифера; модель водяного охолоджувача; моделі зволожувачів (форсуночного та парового); модель камери змішування повітря; модель приміщення. Розроблені моделі охоплюють наявне кліматичне обладнання СКП. На відміну від існуючих, запропоновані моделі враховують тепло- та масообмінні процеси підготовки повітря. Динамічні моделі приведено до стандартного вигляду простору станів.

У четвертому розділі здійснено класифікацію параметрів моделей кліматичного обладнання та встановлено, що числові значення коефіцієнтів тепло- і масовіддачі залежать від низки факторів різної природи. Для подолання невизначеності моделей запропоновано алгоритм пасивної ідентифікації на основі інструментарію цифрового двійника та проведено імітаційне моделювання цифрових двійників для електричного та водяного калориферів. Розроблено методику агрегування моделей кліматичного обладнання в багатовимірну модель СКП. На основі запропонованої методики побудовано чотири комплексні моделі для найбільш поширених технологій кондиціювання.

У п'ятому розділі розглянуто архітектуру системи підтримки прийняття рішень для управління штучним мікрокліматом об'єктів КІ, що базується на запропонованому системному підході та поєднує принципи ієрархічної організації, багатокритеріальної оптимізації, ідентифікації моделей кліматичного обладнання та адаптації комплексних моделей СКП. Архітектура системи реалізована у вигляді трирівневої структури КФС: нижній рівень охоплює граничні пристрої для локального керування кондиціонерами та обробки сенсорних даних; середній рівень представлений хмарними сервісами цифрових двійників із базами даних, інструментами параметричної ідентифікації та адаптації моделей; верхній рівень забезпечує стратегічну підтримку прийняття рішень і координацію підсистем для досягнення цілей управління мікрокліматом КФС КІ.

Шостий розділ присвячений розробці експрес-методів оптимізації традиційних систем керування, в яких властивості об'єкта описуються наближеними моделями. Запропоновані методи є універсальними і можуть застосовуватися при маловитратній модернізації СКП на нижньому рівні управління КФС КІ. На відміну від існуючих інженерних методів оптимізації запропоновані дозволяють оптимізувати систему керування за каналом збурення. Розглянуті методи враховують широкий діапазон динамічних властивостей об'єкта керування за каналами регулювання та збурення, що забезпечує їх універсальність та можливість застосування в різних галузях промисловості.

У сьомому розділі наводяться опис реалізованих систем управління із використанням розробленого математичного і алгоритмічного забезпечення. Результати дисертаційного дослідження впроваджено: для керування промисловим кондиціонером AERMES NTC 22 друкарського цеху Банкнотомонетного двору Національного банку України; в рамках учбово-тренажерного комплексу системи штучного мікроклімату; для керування інженерним обладнанням двох багатопверхових будівель.

За результатами проведених досліджень здобувачем сформульовано висновки, які повністю відображають зміст роботи, відповідають поставленій меті і завданням дослідження. Структура дисертації логічно побудована і сприяє розкриттю теми дослідження, виконанню поставлених завдань.

## **8. Дотримання принципів академічної доброчесності**

За результатами науково-технічної експертизи дисертація Голінка І.М. визнана оригінальною роботою, яка не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень.

**9. Перелік публікацій за темою дисертації із зазначенням особистого внеску здобувача.**

За темою дисертаційних досліджень опубліковано 52 наукові праці, у тому числі:

- 1 монографія;
- 2 розділи у колективних монографіях, що індексується SCOPUS;
- 20 статей у наукових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України з відповідної дисертаційної роботи науковій галузі (в тому числі 1 стаття у періодичних фахових виданнях України категорії “А”, 2 статті у періодичних фахових виданнях України категорії “Б”);
- 6 статей у наукових періодичних виданнях інших держав з напряду за яким підготовлено дисертацію, що включені до наукометричної бази SCOPUS (з них 3 статті, віднесені до третього квартилю (Q3) класифікації SCImago Journal and Country Rank);
- 2 патенти на корисну модель;
- 21 публікація у матеріалах наукових конференціях (в тому числі 6 публікацій, що індексується SCOPUS).

#### *Монографії*

1. Голінко І.М. Моделювання та оптимізація систем керування [Текст]: монографія / І.М. Голінко, А.І. Кубрак. – Кам'янець–Подільський: ПП Буйницький, 2012. –262 с. *Особистим внеском здобувача є розділ 5, в якому викладено підхід до чисельної оптимізації традиційних систем керування у часовій області.*

#### *Розділи у колективних монографіях*

2. N. Pankratova, I. Golinko, Approach to development of digital twin model for cyber-physical system in conditions of conceptual uncertainty. In Book Chapter 1 M. Zgurovsky & N. Pankratova (Eds.), System Analysis and Artificial Intelligence (Ser. Studies in Computational Intelligence, – 2023, Vol. 1107). Springer, 2023. p. 3–25. *(індексується SCOPUS) Особистим внеском здобувача є підхід до розробки моделі цифрового двійника в умовах концептуальної невизначеності та модель цифрового двійника електричного калорифера в просторі Лапласа.*
3. N. Pankratova, I. Golinko, Architecture of an Intelligent Microclimate Control System for an Industrial Enterprise. In Book M. Zgurovsky & N. Pankratova (Eds.), System Analysis and Data Mining (Ser. Studies in Systems, Decision and Control, – 2026, Vol. 609). Springer, 2025. p. 21–36. *(індексується SCOPUS) Особистим внеском здобувача є архітектура інтелектуальної системи управління мікрокліматом промислового підприємства.*

#### *Статті у наукових фахових виданнях України*

4. Голінко І.М. Динамічна модель теплового режиму калорифера / І.М. Голінко, А.П. Ладанюк, Л.Д. Кошелєва // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. –2009, № 3(16). –С. 59–63. *(фахове видання) Особистим внеском здобувача є розподілена модель водяного калорифера.*
5. Голінко І.М. Моделювання температурного режиму теплообмінника / І.М. Голінко, А.І. Кубрак., А.С. Кравченко // Східно–Європейський журнал передових технологій. –2010, №2/7(44). –С. 24–27. *(фахове видання)*

*Особистим внеском здобувача є розробка дискретної моделі теплообмінного апарату.*

6. Голінко І.М. Синтез цифрової системи керування за інтегральними показниками якості / І.М. Голінко, А.І. Кубрак, В.Г. Трегуб // Наукові вісті Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”. –2011, № 6. –С. 54–59. *(фахове видання) Особистим внеском здобувача є процедура параметричної оптимізації цифрової системи керування у часовій області.*
7. Голінко І.М. Аналіз системи керування для штучного мікроклімату за методом “точки роси” / І.М. Голінко, В.Г. Трегуб // Східно–Європейський журнал передових технологій. –2011, № 2/10(50). –С. 53–55. *(фахове видання) Особистим внеском здобувача є розробка структури системи керування кондиціонером за методом “точки роси”.*
8. Голінко І.М. Оптимізація цифрових систем керування із ПІ–Д та І–ПІД регуляторами / І.М. Голінко // Наукові вісті Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”. –2012, № 2. –С. 50–58. *(фахове видання)*
9. Голінко І.М. Синтез оптимальних систем керування із мінімізацією керуючого впливу / І.М. Голінко // Радіоелектронні і комп’ютерні системи. – 2012. –№ 2(54). –С. 79–88. *(фахове видання)*
10. Голінко І.М. Аналіз системи керування для промислового кондиціонера із парозволожувачем / І.М. Голінко, В.Г. Трегуб // Східно–Європейський журнал передових технологій. –2012, Том 6, № 8(60). –С. 14–18. *(фахове видання) Особистим внеском здобувача є розробка структури системи керування кондиціонером за методом “оптимального режиму”.*
11. Голинко И.М. Инженерный метод оптимизации ПИ регулятора по каналу возмущения / И.М. Голинко, А.И. Кубрак, И.Е. Галицька // Механіка гіроскопічних систем. –2013, № 26. –С. 21–31. *(фахове видання) Особистим внеском здобувача є інженерний метод параметричної оптимізації системи керування за каналом збурення.*
12. Голінко І.М. Динамічна модель тепломасообміну для водяного охолоджувача промислового кондиціонера / І.М. Голінко // Наукові вісті Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”. –2014, № 6. –С. 27–34. *(фахове видання)*
13. Голінко І.М. Динамічна модель тепломасообмінних процесів у камері форсуночного зволоження / І.М. Голінко, А.І. Кубрак, І.Є. Галицька // Інформаційні системи, механіка та керування. 2014. № 11, –С. 61–71. *(фахове видання) Особистим внеском здобувача є динамічна модель камери форсуночного зволожувача.*
14. Голінко І.М. Синтез оптимального лінійно-квадратичного цифрового регулятора для промислового кондиціонера із паровим зволожувачем / І.М. Голінко, І.Є. Галицька // Механіка гіроскопічних систем. – 2014. № 28, –С. 15–26 *(фахове видання) Особистим внеском здобувача є комплексна модель СКП із паровим зволожувачем та процедура синтезу лінійно-квадратичного цифрового регулятора для СКП із паровим зволожувачем.*

15. Голінко І.М. Принципи синтезу автоматичних систем керування промисловими кондиціонерами / І.М. Голінко // Автоматизація технологічних і бізнес-процесів. – 2016. № 8, –С. 33–42. (фахове видання)
16. Голінко І.М. Оптимізація багатовимірних систем керування для комплексів штучного мікроклімату / І.М. Голінко, І.Є. Галицька // Прикарпатський вісник НТШ. Серія Число. –2016, № 1(33). –С. 61–73. (фахове видання)  
*Особистим внеском здобувача є методика розробки комплексної моделі СКП у просторі станів та процедура синтезу лінійно-квадратичного цифрового регулятора для СКП із форсуночним зволожувачем.*
17. Голінко І.М. Процедура синтезу багатовимірного регулятора для прецизійного кондиціонера із паровим зволожувачем / І.М. Голінко, І.Є. Галицька // Механіка гіроскопічних систем. – 2017. № 34, –С. 21–31. (фахове видання)  
*Особистим внеском здобувача є комплексна модель прецизійного кондиціонера із паровим зволожувачем та процедура синтезу лінійно-квадратичного цифрового регулятора для прецизійного кондиціонера із паровим зволожувачем.*
18. Голінко І.М. Промислове приміщення як динамічний елемент системи керування штучним мікрокліматом / І.М. Голінко, І.Є. Галицька // Інформаційні системи, механіка та керування. –2018. № 18, –С. 104–114. (фахове видання)  
*Особистим внеском здобувача є математична модель мікроклімату промислового приміщення.*
19. Голінко І.М. Інтегрування систем керування мікрокліматом в автоматизовану систему керування підприємством / І. Голінко, І. Галицька // Інформаційні системи, механіка та керування. –2019. № 20, –С. 78–87. (фахове видання)  
*Особистим внеском здобувача є структура, критерії та алгоритми функціонування СППР для оптимізації процесів кондиціювання повітря.*
20. Панкратова Н.Д. Синтез многомерной системы управления для прецизионного комплекса искусственного микроклимата / Н.Д. Панкратова, П.И. Бидюк, И.М. Голинко // Системні дослідження та інформаційні технології. –2020. № 1, –С. 7–20. (фахове видання)  
*Особистим внеском здобувача є комплексна модель прецизійного кондиціонера із форсуночним зволожувачем та процедура синтезу лінійно-квадратичного цифрового регулятора для прецизійного кондиціонера із форсуночним зволожувачем.*
21. Pankratova N. Electric heater mathematical model for cyber-physical systems / N. Pankratova, I. Golinko // System research and information technologies. –2021, № 2. р. 7–17. (фахове видання категорії «А», індексується SCOPUS)  
*Особистим внеском здобувача є математична модель електричного калорифера.*
22. Pankratova N.D. Reliable operation of cyber-physical system with accompanied by a digital twin / N.D. Pankratova, I.M. Golinko, V.A Pankratov // Problems of applied mathematics and mathematical modelling. – 2023, Vol. 23. р. 212–223. (фахове видання категорії «Б»)  
*Особистим внеском здобувача є підхід до розробки кіберфізичних систем з гарантованою живучістю та безпекою.*
23. Голінко І.М. Розробка цифрового двійника процесу теплообміну в умовах концептуальної невизначеності / І.М. Голінко // Вісник Харківського

національного університету імені В. Н. Каразіна, серія Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління. – 2025. вип. 68. –С. 20–29. (фахове видання категорії «Б»).

*Статті у наукових виданнях інших держав (SCOPUS)*

24. Golinko I.M. An optimization of a digital controller for a stochastic control system / I. Golinko, V. Drevetskiy // Informatics, Control, Measurement in Economy and Environmental Protection, 2019, Vol. 9(3). p. 74–77. (закордонне видання, індексується SCOPUS) *Особистим внеском здобувача є аналітичний метод оптимізації цифрового регулятора із врахуванням стохастичних збурень.*
25. Golinko I.M. Time-variant model of heat-and-mass exchange for steam humidifier / I. Golinko, V. Drevetskiy // Informatics, Control, Measurement in Economy and Environmental Protection, 2020, Vol. 10(2). p. 24–27. (закордонне видання, індексується SCOPUS) *Особистим внеском здобувача є динамічна модель парового зволожувача.*
26. Pankratova N. Development of Digital Twins to Support the Functioning of Cyber-physical Systems / N. Pankratova, I. Golinko // Computer Science Journal of Moldova. – 2023, vol.31, № 3(93). p. 299–320. (закордонне видання, індексується SCOPUS та WoS) *Особистим внеском здобувача є математична модель цифрового двійника електричного калорифера в просторі станів та алгоритм ідентифікації параметричної невизначеності математичної моделі електричного калорифера.*

*Статті у наукових виданнях інших держав (SCOPUS Q3)*

27. Golinko I.M. An Express Method for Optimally Tuning an Analog Controller with Respect to Integral Quality Criteria / I.M. Golinko, Yu.M. Kovrigo, A.I. Kubrak // Thermal Engineering, 2014, Vol. 61, No. 3, p. 189–197 (закордонне видання, індексується SCOPUS Q3) *Особистим внеском здобувача є експрес-метод оптимізації системи керування за каналом регулювання.*
28. Golinko I.M. Engineering Method of Optimization of Digital Control Systems / I.M. Golinko, A.P. Ladanyuk, A.I. Kubrak // Journal of Automation and Information Sciences, 2014, Vol. 46, No. 2, p. 67–75. (закордонне видання, індексується SCOPUS Q3) *Особистим внеском здобувача є інженерний метод параметричної оптимізації цифрової системи керування.*
29. Golinko I.M. Optimal Tuning of a Control System for a Second–Order Plant with Time Delay / I.M. Golinko // Thermal Engineering, 2014, Vol. 61, No. 7, p. 524–532. (закордонне видання, індексується SCOPUS Q3)

*Патенти на корисну модель*

30. Пат. № 44799 Україна, Регулюючий мікропроцесорний контролер / Ковриго Ю.М., Коновалов М.А., Голінко І.М., Бунке С.А.; Заявник та власник НТУУ “КПІ”. – № u200905450; заявл. 29.05.2009; опубл. 12.10.2009, Бюл. № 19. – 8 с.: іл. *Особистим внеском здобувача є розробка алгоритмічного забезпечення для мікропроцесорного контролера.*
31. Пат. 54042 Україна, Універсальний мікропроцесорний контролер / Ковриго Ю.М., Коновалов М.А., Голінко І.М., Бунке О.С.; Заявник та власник НТУУ “КПІ”. – № u201004874; заявл. 23.04.2010; опубл. 25.10.2010, Бюл. № 20. – 8

с.: іл. *Особистим внеском здобувача є розробка програмного забезпечення для мікропроцесорного контролера.*

*Матеріали конференцій*

32. Кошелева Л.Д. Нелінійна модель динамічних режимів водяних калориферів / Л.Д. Кошелева, І.М. Голінко // Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики: тези доповідей VII міжнародної науково–практичної конференції, 21 –25 квітня 2009 р. –Київ, 2009. –С. 215. *Особистим внеском здобувача є розподілена модель водяного калорифера.*
33. Сиротинський С.О. Налаштування систем керування за інтегральними показниками якості / С.О. Сиротинський, І.М. Голінко // Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики: тези доповідей IX міжнародної науково–практичної конференції, 18 –22 квітня 2011 р. –Київ, 2011. –С. 303. *Особистим внеском здобувача є метод чисельної оптимізації системи керування із врахуванням керуючого впливу.*
34. Голінко І.М. Аналіз та забезпечення ефективного керування системами штучного мікроклімату / І.М. Голінко, С.Г. Степаненко, І.Є. Галицька, В.Ю. Степаненко // Гіротехнології, навігація, керування рухом і конструювання авіаційно–космічної техніки: збірка доповідей IX Міжнародної науково–практичної конференції, 17 – 18 квітня 2013 р., – Київ, 2013. С. 172–175. *Особистим внеском здобувача є розробка структур систем керування кондиціонером за методом “оптимального режиму”.*
35. Голінко І.М. Нестационарна модель тепло- та масообміну для водяного охолоджувача / І.М. Голінко // Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики: тези доповідей XII Міжнародної науково-практичної конференції, 22 – 25 квітня 2014 р. – Київ, 2014. –С. 138.
36. Голінко І.М. Нестационарна модель тепло- та масообміну для камери парового зволоження / І.М. Голінко // Автоматика – 2014: тези доповідей XXI Міжнародної конференції з автоматичного управління, 23 – 27 вересня 2014 р. – Київ, 2014. –С. 104–105.
37. Голінко І.М. Моделювання динаміки режиму тепломасообміну для камери форсуночного зволоження / І.М. Голінко, І.Є. Галицька // Математика в сучасному технічному університеті: матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції, 25 – 26 грудня 2014 р. , –К.: НТУУ “КПІ”, 2015. –С. 22–27. *Особистим внеском здобувача є динамічна модель камери форсуночного зволожувача.*
38. Голінко І.М. Комплексна динамічна модель промислового кондиціонера із форсуночним зволожувачем у просторі станів / І.М. Голінко, І.Є. Галицька // Гіротехнології, навігація, керування рухом і конструювання авіаційно-космічної техніки: збірка доповідей X Міжнародної науково-практичної конференції, 16 - 17 квітня 2015 р., –Київ, 2015. –С. 201-206. *Особистим внеском здобувача є методика розробки комплексної моделі СКП із форсуночним зволожувачем у просторі стану.*
39. Голінко І.М. Процедура синтезу оптимальної системи керування для промислових комплексів штучного мікроклімату / І.М. Голінко, І.Є. Галицька // Математика в сучасному технічному університеті: матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції, 24–25 грудня 2015 р. , –К.:

- НТУУ “КПІ”, 2016. –С. 31–34. *Особистим внеском здобувача є процедура синтезу лінійно-квадратичного цифрового регулятора для СКП із паровим зволожувачем.*
40. Голінко І.М. Динамічна модель прецизійного кондиціонера із паровим зволожувачем / І.М. Голінко, І.Є. Галицька // Матеріали V Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених з автоматичного управління, 11 – 13 квітня 2017 р. –Херсон: ХНТУ, 2017. –С. 43–46 *Особистим внеском здобувача є комплексна модель прецизійного кондиціонера із паровим зволожувачем.*
41. Голінко І.М. Математична модель електричного калорифера у просторі станів / І.М. Голінко, І.Є. Галицька // Математика в сучасному технічному університеті: матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції, 29–30 грудня 2016 р. –К.: НТУУ “КПІ”, 2017. –С. 41-44. *Особистим внеском здобувача є математична модель електричного калорифера у просторі станів.*
42. Голінко І.М. Динамічна модель мікроклімату для промислового приміщення, що кондиціонуються / І.М. Голінко, І.Є. Галицька // Математика в сучасному технічному університеті: матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції, 28–29 грудня 2017 р. , –К.: НТУУ “КПІ”, 2018. –С. 32-35. *Особистим внеском здобувача є динамічна модель мікроклімату промислового приміщення.*
43. Голінко І.М. Математичне моделювання та керування промисловими системами штучного мікроклімату / І.М. Голінко // Матеріали Міжнародної наукової конференції: Мікро- та нанонеоднорідні матеріали: моделі та експеримент, 17 – 18 вересня 2018 р. – Львів, 2018. –С. 23–25.
44. Golinko I. Mathematical Model of Heat-and-Mass Transfer for Steam Humidifier / I. Golinko, V. Drevetskiy // Proceedings of the International Scientific Conference: Modeling, Control and Information Technologies – 2019, pp. 35-36. *Особистим внеском здобувача є динамічна модель парового зволожувача.*
45. Golinko I. Mathematical Model of Heat Exchange for Non-stationary Mode of Water Heater / I. Golinko, I. Galytska // Advances in Computer Science for Engineering and Education. – 2020, pp. 58–67 (*індексується SCOPUS*) *Особистим внеском здобувача є динамічна модель водяного калорифера у просторі станів.*
46. Pankratova N.D. Decision support system for microclimate control at large industrial enterprises / N.D. Pankratova, P.I. Bidyuk, I.M. Golinko // CEUR Workshop Proceedings. – 2020. pp. 489–498. (*індексується SCOPUS*) *Особистим внеском здобувача є структура, критерії та алгоритми функціонування СППР для оптимізації процесів кондиціювання повітря.*
47. Golinko I. Mathematical Modeling of Dynamic Heat-Mass Exchange Processes for a Spray-Type Humidifier / I. Golinko, I. Galytska. // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2021, pp. 63–74. (*індексується SCOPUS*) *Особистим внеском здобувача є динамічна модель форсуночного зволожувача.*

48. Golinko I. Parametric Optimization of Time-Domain Digital Control System / I. Golinko, I. Galytska. // Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies. – 2022, pp. 47–60 (*індексується SCOPUS*)  
*Особистим внеском здобувача є процедура параметричної оптимізації цифрової системи керування у часовій області.*
49. Pankratova N. Digital Twin Simulation for Cyber-Physical Systems on Electric Heater Example / N. Pankratova, I. Golinko // IEEE 3rd International Conference on System Analysis and Intelligent Computing, – 2022, pp. 22–27. (*індексується SCOPUS*)  
*Особистим внеском здобувача є математична модель цифрового двійника електричного калорифера в просторі станів, алгоритм ідентифікації параметричної невизначеності математичної моделі електричного калорифера.*
50. Pankratova N. Development of digital twin based on a model with fractional-rational uncertainty / N. Pankratova, I. Golinko // International Workshop on Computer Modeling and Intelligent Systems (CMIS-2023). – 2023, 3392, pp. 11–22. (*індексується SCOPUS*)  
*Особистим внеском здобувача є підхід до розробки моделі цифрового двійника в умовах концептуальної невизначеності та математична модель цифрового двійника електричного калорифера в просторі Лапласа.*
51. Pankratova N. Mathematical models development of digital twin under conceptual uncertainty conditions / N. Pankratova, I. Golinko // Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем (МПЗІС-2023): Тези доповідей XXI Міжнародної науково-практичної конференції. – Дніпро: ДНУ, 2023. С. 33–34. *Особистим внеском здобувача є підхід до розробки моделей цифрового двійника в умовах концептуальної невизначеності.*
52. Pankratova N. Architecture of intelligent microclimate control system within enterprise cyber-physical system / N. Pankratova, I. Golinko // Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем (МПЗІС-2024): Тези доповідей XXII Міжнародної науково-практичної конференції. – Дніпро: ДНУ, 2024. С. 38–39. *Особистим внеском здобувача є структура, критерії та алгоритми функціонування СППР для оптимізації процесів кондиціювання повітря.*

Якість та кількість публікацій відповідають “Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук” затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 року № 1197.


#### **НА ПІДСТАВІ ВИЩЕВИКЛАДЕНОГО ВВАЖАТИ:**

що дисертаційна робота Голінка Ігоря Михайловича “Математичні моделі та оптимізація штучного мікроклімату кіберфізичних об’єктів критичної інфраструктури”, що подана на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук, є кваліфікаційною науковою працею, виконаною здобувачем самостійно, за своїм науковим рівнем та практичною та теоретичною цінністю, змістом та оформленням повністю відповідає п.7 та 9 “Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук”, що їх пред’являють до докторських дисертацій, та паспорту спеціальності 01.05.02 “Математичне моделювання та обчислювальні методи”.

РЕКОМЕНДУВАТИ дисертаційну роботу “Математичні моделі та оптимізація систем штучного мікроклімату кіберфізичних об’єктів критичної інфраструктури”, подану Голінко Ігорем Михайловичем на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук, до захисту у спеціалізованій вченій раді Д 64.051.09 за спеціальністю 01.05.02 “Математичне моделювання та обчислювальні методи”.

#### РЕЦЕНЗЕНТ

Доктор фізико-математичних наук,  
професор, завідувач кафедри харчових  
технологій, легкої промисловості і  
дизайну ННІ «Українська інженерно-  
педагогічна академія»

  
(підпис)

Олег ЛИТВИН

#### РЕЦЕНЗЕНТ

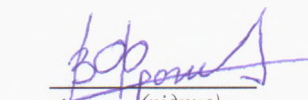
доктор технічних наук, с.н.с.,  
професор кафедри комп’ютерних  
систем та робототехніки ННІ  
комп’ютерних наук та штучного  
інтелекту

  
(підпис)

Олена ТОЛСТОЛУЗЬКА

#### РЕЦЕНЗЕНТ

доктор технічних наук, доцент,  
професор кафедри теоретичної та  
прикладної інформатики факультету  
математики та інформатики

  
(підпис)

В’ячеслав ФРОЛОВ