

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Шитікової Ірини Геннадіївни «Математичне моделювання та оптимізація конструкції теплообмінника змієвикового типу», подану до захисту на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

### 1. Актуальність теми дисертації.

У житловому господарстві України споживається близько 30 % теплової енергії, одержаної від спалювання твердого та газоподібного палива, що добувається в країні. Тому економія теплоти є найважливішим народногосподарським завданням, яке необхідно вирішувати негайно.

У зв'язку зі збільшенням витрат теплоти від центральних теплових пунктів і переходом частини споживачів на індивідуальне опалення, необхідно наукове і економічне обґрунтування напрямків підвищення ефективності незалежних систем опалення та гарячого водопостачання від підігрівально-акумуляторних установок (ПАУ). Крім того у сучасних умовах зростає роль використання альтернативних джерел енергії. Тому проблема, яка розглядається в даній роботі є актуальною.

Дисертаційну роботу виконано відповідно до науково-дослідних робіт Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору, де виконувалися науково-технічні роботи за темами: «Розробка обчислювальних технологій моделювання нестационарних фізичних процесів» 2013-2015рр., (№ держреєстрації 0112U007538); «Дослідження - потенціалу поверхневих вод геологічного середовища та приземної атмосфери в умовах техногенезу» (2014-2016рр., № держреєстрації 0113U004982).

Напрямок, мета і завдання дисертаційної роботи відповідають змісту Енергетичної стратегії України на період до 2030 року (затвердженій розпорядженням Кабінету Міністрів України від 27 липня 2006 р.)

**Метою дисертаційної роботи є розробка математичних моделей, чисельних методів розрахунку процесу тепломасообміну та оптимізація ефективних рішень конструкції теплообмінних апаратів для незалежної системи опалення та гарячого водопостачання.**



**Об'єкт дослідження** - процеси складного теплообміну в підігрівально-акумуляторній установці (ПАУ) з трьохконтурним теплообмінником змієвикового типу, а **предметом дослідження** – математичні моделі і методи моделювання трьохконтурних теплообмінників змієвикового типу для незалежних систем опалення та гарячого водопостачання.

## **2. Наукова новизна.**

Наукова новизна полягає у науковому обґрунтуванні можливості застосування підігрівально-акумуляторній установці з трьохконтурним теплообмінником змієвикового типу для систем опалення та гарячого водопостачання.

Розроблено статичні і динамічні математичні моделі для теплообмінників змієвикового типу з підігрівально-акумуляторною установкою для аналізу і розрахунку їх параметрів.

Встановлено температурні залежності від конструктивних параметрів, які стали основою розрахунку оптимальних конструкцій теплообмінних апаратів для реальних систем гарячого водопостачання і опалення.

Вперше розроблена чисельна процедура параметричної ідентифікації математичних моделей теплообмінних апаратів у стаціонарних режимах роботи, яка базується на методах Ньютона-Рафсона та послідовних наближень.

## **3. Обґрунтованість і достовірність отриманих результатів, наукових висновків і рекомендацій.**

Отримані наукові результати забезпечені використанням сучасних методів математичного і фізичного моделювання теплообмінних процесів у підігрівально-акумуляторній установці з трьохконтурним теплообмінником змієвикового типу із використанням чисельних і аналітичних методів розв'язку окремих задач. Графічні залежності є результатом математичної обробки отриманих даних експериментальних досліджень теплообмінних процесів. Достовірність і обґрунтованість наукових результатів, методів, висновків і рекомендацій зумовлені коректним використанням основних положень аналітичної динаміки, а також методів імітаційного комп'ютерного моделювання.

Всі розділи дисертаційної роботи змістовно підпорядковані меті дослідження, логічно взаємопов'язані.



Дисертація та автореферат відповідають паспорту спеціальності 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальна техніка.

#### **4. Практична цінність роботи.**

Розробки, які запропоновані в дисертаційній роботі, використовувались для підвищення ефективності експлуатації багатоконтурних теплообмінних установок на індивідуальних теплових пунктах для незалежних систем опалення та гарячого водопостачання для різних умов експлуатації.

Розроблені математичні моделі запропонованої конструкції трьохконтурного теплообмінного апарату змієвикового типу є основою аналізу динаміки тепломасообмінних процесів при різних режимах і конструктивних параметрах теплообмінних апаратів.

Розроблена чисельна процедура параметричної ідентифікації математичних моделей теплообмінних апаратів, яка базується на методах Ньютона-Рафсона та послідовних наближень, є ефективним практичним методом оптимізації конструктивних параметрів теплообмінних апаратів.

Моделювання отриманих в роботі математичних моделей в середовищі Solidworks flow simulation системи Solidworks дозволило оптимізувати конструкцію базового варіанту теплообмінного апарату, в результаті чого забезпечено значне підвищення ефективності теплообмінника за рахунок зменшення металоємності контурів і визначення оптимальної довжини установки, яка складає 2,2 - 3 м.

Результати дослідження доцільно використовувати у проектних та науково-дослідних організаціях, пов'язаних з проектуванням, розробкою та застосуванням енергозберігаючих теплообмінних апаратів у системах теплопостачання промислових підприємств та в житлово-комунальному господарстві.

#### **5. Повнота викладення основних результатів дисертаційної роботи.**

Основні результати дисертаційної роботи викладені в сімнадцяти друкованих наукових працях, включаючи дев'ять статей у наукових фахових виданнях України, одну статтю у науковому фаховому виданні іноземної держави, три матеріали у збірниках наукових праць міжнародних науково-практичних конференцій в Україні, чотири патенти України на корисні моделі.



Основні теоретичні та практичні результати дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на науково-технічних конференціях у 2012-2014 рр.

## **6. Структура роботи, стиль та оформлення дисертації.**

Дисертаційна робота викладена на 116 сторінках друкованого тексту основної частини, має вступ, чотири розділи, загальні висновки, список використаних джерел із 115 найменувань та одинадцяти додатків. Повний обсяг дисертації складає 146 сторінок і включає 45 рисунків, 3 таблиці.

Застосована в роботі наукова термінологія є загальноновизнаною, стиль викладення результатів теоретичних і експериментальних досліджень, наукових положень, висловів і рекомендацій забезпечує доступність їх сприйняття. Оформлення дисертації відповідає вимогам міністерства освіти і науки України.

## **7. Відповідність тексту автореферату і дисертації.**

Текст автореферату відповідає структурі, змісту та основним положенням, наведеним в дисертації.

## **8. Аналіз основного змісту роботи.**

Дисертація містить всі необхідні структурні частини – вступ, чотири розділи з висновками в кінці кожного розділу, загальні висновки, список використаних джерел та додатки, що містять акти впровадження результатів роботи.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовані мета і завдання наукового дослідження, викладена наукова новизна, практична цінність і реалізація результатів роботи.

У першому розділі значна увага наділялась аналізу літературних джерел, які мали відношення до теплообмінних апаратів, що використовуються в системах опалення та гарячого водопостачання. Наведена класифікація та розглянуті типові конструкції існуючих теплообмінних апаратів, обґрунтовано вибір багатоконтурного теплообмінника змієвикового типу з акумулюючою ємністю в якості основного об'єкту дослідження. В результаті аналізу існуючих теплообмінних установок зроблено висновок, що існуючі конструкції дозволяють ефективно очищувати поверхні теплообміну. Сформульовано мету та завдання дослідження, які полягають у розробці математичних моделей та методів розрахунку процесу теплообміну, а також імітаційному моделюванні теплообмінних апаратів.



У другому розділі автором розроблені статичні і динамічні математичні моделі багатоконтурних теплообмінників змієвикового типу різних конструкцій. Запропонована статична модель є основою розрахунку базових параметрів теплообмінних апаратів, які у подальшому потребують уточнення. Динамічні моделі використовуються в імітаційному моделюванні тепломасообмінних процесів при варіюванні режимів і параметрів теплообмінних апаратів. Слід відзначити, що отримані моделі є одномірними, тобто спрощеними відносно рівняння Стокса – Навьє, але достатніми з точки зору запропонованої конструкції теплообмінників.

У третьому розділі побудована система імітаційного моделювання, яка дозволяє, на відміну від існуючих, моделювати широке коло тепломасообмінних процесів з графічною інтерпретацією отриманих результатів і оптимізувати параметри теплообмінних апаратів в інтерактивному режимі. Крім того, розроблена чисельна процедура вирішення задачі параметричної ідентифікації стаціонарних моделей теплообмінників, яка є гарним практичним інструментом проектування майбутніх конструкцій, аналізу існуючих і їх ефективною модернізацією. Проведений аналіз теплообміну в багатоконтурних теплообмінних апаратах змієвикового типу для незалежних систем опалення і гарячого водопостачання показав, що величина коефіцієнта теплопередачі знаходиться в межах  $200 \dots 2800 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$ .

У четвертому розділі представлена натурна модель дослідно-експериментального стенду теплообмінного апарату змієвикового типу з акумулюючою ємністю.

На цьому стенді був досліджений вплив зміни температури первинного теплоносія на температуру нагріву вторинних теплоносіїв. Отримані результати дозволяють визначити витрати і швидкості у змієвиках контурів систем опалювання і гарячого водопостачання. Також доведено, що поєднання двох теплових поверхонь нагріву для незалежних систем опалення і гарячого водопостачання в одній конструкції ПАУ з двома змієвиками усередині бака-акумулятора, повністю стабілізує роботу цих систем за рахунок перерозподілу їх теплових потоків протягом доби.

У висновку сформульовані основні результати дисертаційної роботи.

## **9. Зауваження до дисертації.**

1. Аналіз існуючих рішень конструкцій теплообмінних апаратів (розділ 1.1) крім якісних показників повинен містити і кількісні показники – гідравлічні



опори, масогабаритні характеристики, показники енергетичної ефективності, які впливають на конструкцію теплообмінних апаратів в цілому.

2. В дисертації слід було б проаналізувати вплив на роботу теплообмінних апаратів змієвикового типу параметрів теплоносія від геотермальних джерел (температура, ступінь мінералізації води та ін.), забруднення тепловіддаючих поверхонь та корозію металу.

3. При розробці конструктивних рішень та відповідно у статичної та динамічних математичних моделей багатоконтурних теплообмінних апаратів змієвикового типу не враховано необхідність періодичного підвищення температури води, що надходить на гаряче водопостачання, до  $70^{\circ}\text{C}$  для боротьби з легіонелою.

4. Зі змісту дисертаційної роботи не зрозуміло, яка температура первинного «гріючого» теплоносія вважається оптимальною при різних режимах роботи підігрівально-акумуляторної установки з трьохконтурним теплообмінником змієвикового типу.

5. При моделюванні динамічних моделей багатоконтурних теплообмінних апаратів змієвикового типу в середовищі Solidworks flow simulation системи Solidworks, автором не розглянуто питання вибору кроку дискретизації змінних і часу, що є важливим для якісного вирішення задачі.

6. В розділі 4.1 доцільно навести сумарну похибку вимірювальної системи дослідно-експериментальної фізичної моделі та дослідженню різних конструкцій підігрівально-акумуляторної установки з багатоконтурним теплообмінником.

7. В дисертації і авторефераті однакові величини позначаються різними символами (зокрема температура –  $t$ ,  $\theta$ ,  $T$ ,  $\tau$ ; швидкість –  $w$ ,  $\omega$ ), що ускладнює сприйняття інформації.

8. В дисертації необхідно було б чітко окреслити, для яких вихідних даних проводилось імітаційне моделювання.

9. В дисертаційній роботі та авторефераті є незначна кількість синтаксичних, орфографічних та граматичних помилок.

Зазначені вище зауваження та побажання не впливають на загальну позитивну оцінку даної дисертаційної роботи і не зменшують ступеня наукової обґрунтованості та достовірності основних результатів та висновків.

## **Висновки**

Дисертаційна робота за змістом є закінченим науковим дослідженням і цілком відповідає вимогам «Паспорту» спеціальності 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

1. Сукупність наукових положень сформульованих та обґрунтованих в дисертаційній роботі має практичну цінність, що підтверджується актами про впровадження.

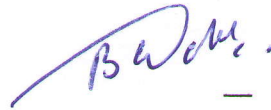
2. Дисертаційна робота виконана на високому науковому рівні, відповідає вимогам до дисертаційних робіт пп. 9,11 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 № 567, а її автор, Шитікова Ірина Геннадіївна, заслуговує присудження їй наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

Офіційний опонент, к.т.н., професор

завідувач кафедри теплогазопостачання та

вентиляції Київського національного

університету будівництва та архітектури

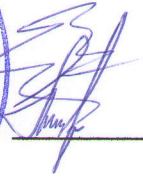


В.Б. Довгалюк

Підпис канд. техн. наук

професора Довгалюка Володимира Борисовича

засвідчую



О.С. Петренко