

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

ГАБА КРИСТІНА ОЛЕКСІВНА



УДК 697.34 : 536.24

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ
ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ МОДИФІКАЦІЄЮ ТЕПЛОНОСІЯ

05.23.03 - вентиляція, освітлення та теплогазопостачання

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ - 2016

Дисертацією є рукопис

Робота виконана у Київському національному університеті будівництва і архітектури Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
МАЛКІН ЕДУАРД СЕМЕНОВИЧ
професор кафедри теплотехніки
Київського національного університету
будівництва і архітектури

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, старший науковий
співробітник
ДАВИДЕНКО БОРИС ВІКТОРОВИЧ
провідний науковий співробітник відділу
теплофізичних основ енергоощадних технологій
Інституту технічної теплофізики НАНУ;

кандидат технічних наук, доцент
ГУЗИК ДМИТРО ВОЛОДИМИРОВИЧ
доцент кафедри теплогазопостачання, вентиляції і
теплоенергетики Полтавського національного
університету імені Юрія Кондратюка.

Захист відбудеться «___» _____ 2016 року о ___ годині на засіданні спеціалізованої Вченої ради Д 26.056.07 Київського національного університету будівництва і архітектури за адресою: 03037, м. Київ, Повітрофлотський просп., 31, ауд. 466.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Київського національного університету будівництва і архітектури: 03037, м. Київ, Повітрофлотський просп., 31.

Відгуки на автореферат просимо надсилати у двох примірниках за підписом, завіреном печаткою організації, на адресу: 03037, м. Київ, Повітрофлотський просп., 31, КНУБА, Вчена рада Д 26.056.07.

Автореферат розісланий «___» квітня 2016 р.

Вчений секретар спеціалізованої
Вченої ради Д 26.056.07
к.т.н., професор



О.А. Василенко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В Україні гостро стоїть проблема надійності і енергоефективності централізованих систем теплопостачання. У середньому зношеність теплообмінного обладнання у комунальному секторі складає 80-85%. У 97% випадків причиною пошкоджень теплових мереж є руйнування металу трубопроводів через розвинуті корозійні процеси. До 30% всіх пошкоджень пов'язано з внутрішньою корозією локального характеру, що протікає під шаром накипних відкладень. Корозія та відкладення є причиною погіршення теплообміну, перевитрати палива теплогенеруючим обладнанням, зниження потужності; підвищення гідравлічного опору прохідних каналів і збільшення витрат електроенергії на транспортування теплоносія; пониження надійності роботи обладнання, скорочення терміну його експлуатації; погіршення екологічних характеристик.

Найпоширенішими для боротьби з утворенням накипними відкладеннями у системах теплопостачання є методи реагентного та іонообмінного пом'якшення. Для зниження швидкості корозії використовують методи зміни іонного складу води, окисно-відновного потенціалу теплоносія або пасивація металу. Попри функціонування водопідготовчих установок на котельнях комунальні підприємства змушені регулярно проводити очищення теплообмінних поверхонь із застосуванням складних фізичних та хімічних методів та виводом обладнання з експлуатації.

Для комплексної технології ведення водно-хімічного режиму котелень систем теплопостачання доцільним є модифікування теплоносія плівко утворюючими поверхнево-активними речовинами. Сформований на поверхні металу обладнання шар-плівка з молекул модифікатора є бар'єром по відношенню до зовнішніх впливів. Це дозволяє покращити теплообмін, підвищити надійність обладнання, продовжити термін його експлуатації та зменшити експлуатаційні витрати. На сьогодні технічні рішення та наукове обґрунтування процесів, які відбуваються при використанні плівкоутворюючих низькомолекулярних поверхнево-активних речовин у системах теплопостачання з водогрійними котлами недостатньо розвинені.

Таким чином, вирішення проблеми наукового обґрунтування та розробки комплексної технології ведення водно-хімічного режиму систем теплопостачання модифікацією теплоносія триетаноламіновим ефіром жирних кислот для покращення інтенсивності і стабільності теплообміну та зниження витрат енергії на генерування і транспортування теплоносія є актуальною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана відповідно з «Державною програмою створення систем енергозбереження України» і безпосередньо пов'язана з планами держбюджетної тематики Київського національного університету будівництва та архітектури на замовлення Міністерства освіти і науки України (№ державної реєстрації 0115U003825).

Мета роботи. Наукове обґрунтування та розробка більш ефективної технології обробки теплоносія – води фізико-хімічним способом для інтенсифікації теплообміну і зменшення витрат енергії на генерацію і транспорт.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

- аналіз літературних джерел існуючих технологій ведення водно-хімічного режиму систем теплопостачання;
- дослідити методом фізичного моделювання тепломасообмінні процеси, що відбуваються при модифікації теплоносія триетаноламіновими ефірами жирних кислот;
- розробити методику проведення експериментальних досліджень кінетики накопичення, очищення відкладень та теплообміну між стінкою поверхні нагріву і водним розчином триетаноламінових ефірів жирних кислот;
- оцінити ступінь захисту водогазопровідної сталі від корозії у модифікованому теплоносії в системах теплопостачання;
- отримати теплофізичні та гідравлічні властивості модифікованого теплоносія, у тому числі у полі природних магнітів;
- розробити ефективні технологічні схеми роботи системи теплопостачання з модифікованим теплоносієм, методику інженерного розрахунку запропонованих систем, провести техніко-економічне обґрунтування.

Об'єкт дослідження – модифікований теплоносій-вода для системи теплопостачання з водогрійними котлами.

Предмет дослідження – тепломасообмінні та гідродинамічні процеси, що впливають на ефективність систем теплопостачання з водогрійними котлами при модифікації теплоносія.

Методи досліджень. Виконання поставлених задач здійснювалося фізичним моделюванням. Застосовано експериментальні та чисельні методи досліджень із подальшим зіставленням отриманих результатів. Достовірність експериментальних даних забезпечується застосуванням сучасних математичних методів планування та обробки даних.

Наукова новизна полягає в наступному:

- обґрунтовано та побудовано удосконалену фізичну модель підвищення ефективності тепломасообміну між поверхнею нагріву та теплоносієм за рахунок руйнування відкладень, утворення захисної плівки зі збільшенням корозійної стійкості і зменшенням шорсткості поверхні;
- вперше отримано теплофізичні властивості (кінематичну в'язкість, густину, питому теплоємність, коефіцієнт поверхневого натягу, коефіцієнт теплопровідності) водних розчинів триетаноламінових ефірів жирних кислот з масовою концентрацією 5-20 мг/л;
- виявлено вплив комбінованого застосування водних розчинів триетаноламінових ефірів жирних кислот та поля природних магнітів напруженістю 0,1- 0,25 мТл між поверхнею нагріву та теплоносієм на ефективність тепломасообмінних процесів.

Практичне значення отриманих результатів. Проведені дослідження дозволяють використати їх результати для заощадження теплової енергії на генерацію теплоти та електричної енергії на транспортування теплоносія в системах тепlopостачання за рахунок інтенсифікації теплообміну шляхом забезпечення роботи без утворення відкладень та розвитку корозійних процесів на теплообмінних поверхнях обладнання.

Розроблена технологія ведення водно-хімічного режиму та схеми її реалізації для систем тепlopостачання, які перебувають в експлуатації, та нових систем, що вводяться в експлуатацію. Розроблено методичку інженерного розрахунку систем тепlopостачання з модифікованим теплоносієм.

Результати роботи впроваджені в системі тепlopостачання установи Коропська центральна лікарня (смт. Короп).

Особистий внесок здобувача. Наукові результати, які викладені у дисертації, отримано особисто автором на основі проведення теоретичних, експериментальних досліджень та аналізу процесів при зміні теплофізичних і гідравлічних показників теплоносія. Автор дисертації самостійно здійснив аналіз сучасного стану проблеми ведення водно-хімічного режиму систем тепlopостачання, особливостей застосування поверхнево-активних речовин. Автору належать результати оброблення теоретичних та експериментальних досліджень кінетики накопичення, руйнування відкладень, оцінки ступеня захисту від корозії, теплофізичних та гідравлічних показників модифікованого теплоносія різної концентрації, встановлено вплив поля природних магнітів. Запропоновано схеми для систем тепlopостачання, які перебувають в експлуатації, та нових систем, що вводяться в експлуатацію. Проведено техніко-економічне обґрунтування запропонованої технології.

Апробація результатів роботи. Основні результати досліджень та окремі розділи роботи доповідались: на науково-практичних конференціях Київського національного університету будівництва і архітектури (2011-2014 рр.); на IV міжнародній науково-технічній конференції «Муніципальна енергетика: проблеми, рішення» (м. Миколаїв, 2011 р.); на міжнародних науково-практичних конференціях: «Інтегровані енергоефективні технології в архітектурі та будівництві «Енергоінтеграція» (КНУБА, м. Київ, 2012-2015 рр.); на I, II міжнародних конференціях «Чиста вода. Фундаментальні та промислові аспекти» (НТУУ «КПІ», м. Київ, 2013, 2014 рр.); на I міжнародній науково-практичній конференції «Водокористування: технології, споруди, менеджмент» (КНУБА, м. Київ, 2014 р.); на XLIII міжнародній науково-практичній конференції (м. Москва, 2016 р.).

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковані в десяти наукових статтях, в тому числі п'ять - у фахових наукових виданнях України, одна - в міжнародному виданні, одна робота - без співавторів.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаної літератури з 150

найменувань і додатків. Робота викладена на 160 сторінках тексту, містить 68 рисунків, 18 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність проблеми зниження ефективності систем теплопостачання, сформульовані мета і завдання дослідження, визначено наукову новизну і практичне значення одержаних результатів, представлені дані з апробації результатів і особистого внеску здобувача у виконану роботу.

У першому розділі наведені результати аналізу стану проблеми зниження ефективності систем теплопостачання внаслідок утворення накипних відкладень та розвитку корозійних процесів на теплообмінних поверхнях. Викладено загальні принципи та існуючі технології ведення водно-хімічного режиму систем теплопостачання, проаналізовано їх недоліки, встановлено відсутність технологій комплексного вирішення проблеми попередження накипоутворення і корозії та усунення їх наслідків – очищення поверхонь.

Аналіз періодичних видань та патентні дослідження показали, що для водогрійних котелень систем теплопостачання доцільним може бути введення до теплоносія низькомолекулярних поверхнево-активних речовин, які змінюють його теплофізичні та гідродинамічні характеристики.

У теоретичних та експериментальних роботах Повха І.Л., Дерягіна В.Б., Ребіндера П.А., Чернюка В.В., Риженкова А.В., Філіпова Г.А., Жукова В.А., Дж. Кавасе, Дж. Улбрехта, Лукіна М.В., Анахова І.П. та інших вчених розглянуто вплив поверхнево-активних речовин різних типів на гідравлічні та тепломасообмінні процеси, зокрема на гідродинамічний опір трубопроводів у слабкоконцентрованих водних розчинах полімерів та поверхнево-активних речовин, на швидкість накопичення відкладень на теплообмінних поверхнях, оцінено вплив на процеси теплообміну. Зроблено висновок, що найбільш оптимальні властивості мають плівкоутворюючі аліфатичні аміни, що відносяться до класу низькомолекулярних поверхнево-активних речовин, для яких висока корозійна стійкість поєднується з високою технологічністю формування плівки. Виникає необхідність перевірити вплив плівкоутворюючих аліфатичних амінів на тепломасообмінні та гідравлічні показники в умовах роботи водогрійних котелень. За результатами попередніх експериментальних досліджень встановлено, що очищення теплообмінних поверхонь від накипних відкладень супроводжується інтенсивним утворенням шламу, що може видалятися за допомогою шлаковловлювачів зі вставками з природних магнітів. На основі виконаного аналізу сформульовано мету та задачі дослідження.

У другому розділі наведено теоретичне обґрунтування процесів, що відбуваються при модифікації теплоносія триетаноламіновим ефіром жирних кислот (ТЕАЕЖК), який належить до класу неіоногенних низькомолекулярних плівкоутворюючих поверхнево-активних речовин. Обґрунтовано та побудовано удосконалену фізичну модель підвищення ефективності тепломасообміну між поверхнею нагріву та теплоносієм за рахунок руйнування відкладень і утворення

захисної плівки. На основі уявлення про електрохімічний механізм формування плівки та взаємодію з твердою поверхнею обґрунтовано фізичну суть пасивації та очищення поверхонь обладнання систем теплопостачання з урахуванням основних чинників, що мають істотний вплив на процес.

Очищення поверхні від відкладень та утворення адсорбційної захисної плівки по відношенню до агресивних компонентів впливає на процес теплопередачі. Як відомо термічний опір теплопередачі $R=1/k$ для різних видів відкладень у середньому у 50 разів більший ніж для сталі. Таким чином, руйнуючи відкладення, термічний опір зменшується, а коефіцієнт теплопередачі зростає. Формування плівки призводить до зменшення шорсткості труби і зниження товщини ламінарного прошарку. Фізична модель теплопередачі через стінку, вкриту шаром відкладень та очищену стінку, вкриту захисною плівкою зображена на рис.1.

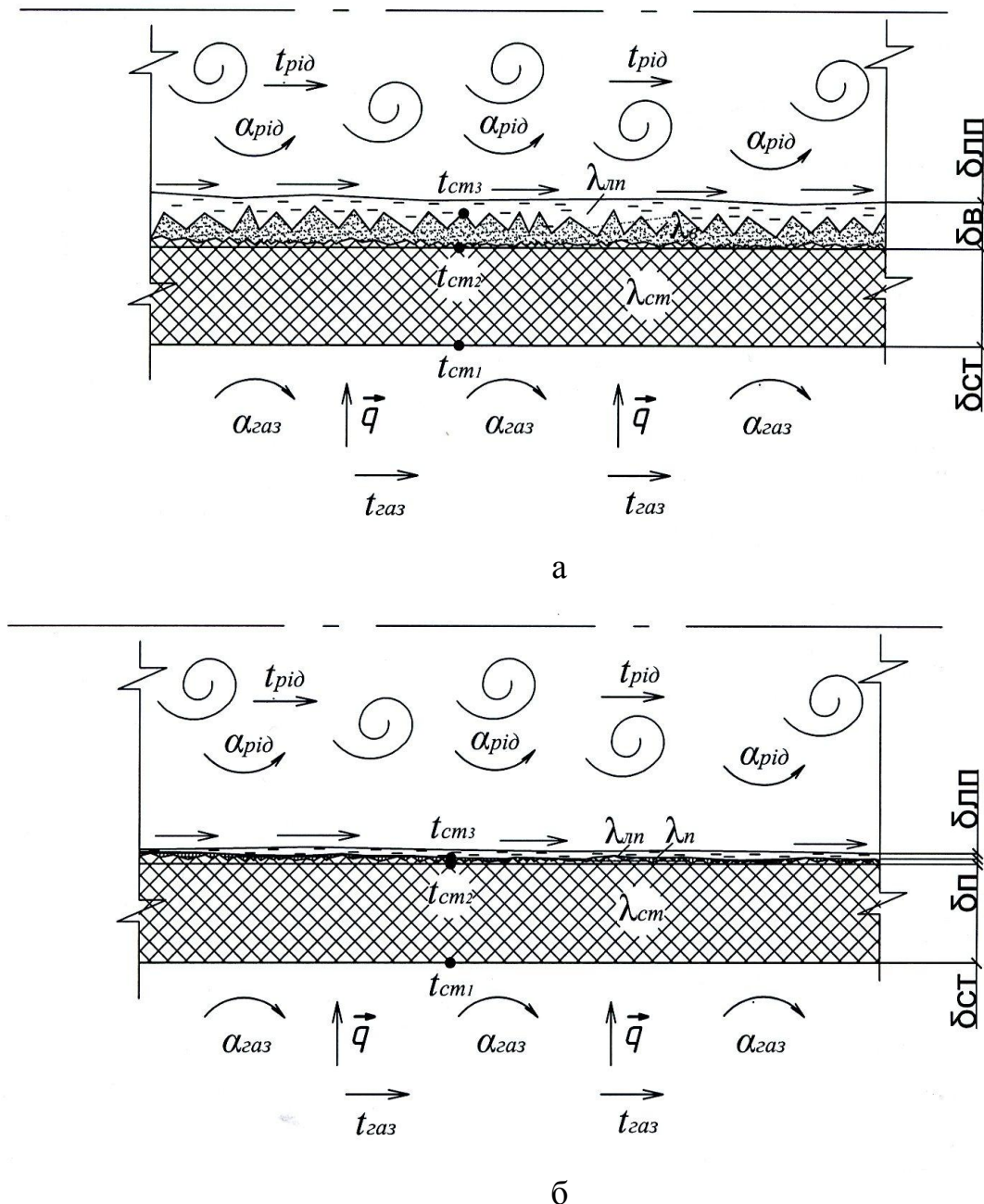


Рис.1. Фізична модель теплопередачі через а) стінку з шаром відкладень, б) стінку, вкриту захисною плівкою

Коефіцієнт теплопередачі ($\text{Вт}/\text{м}^2\text{°К}$) через циліндричну стінку для труб з шаром відкладеннями визначається за формулою

$$\kappa = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{pid}} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + \frac{\delta_{vid}}{\lambda_{vid}} + \frac{\delta_{ln}}{\lambda_{ln}} + \frac{1}{\alpha_{gaz}}}}, \quad (1)$$

де $\alpha_{gaz}, \alpha_{pid}$ - коефіцієнти тепловіддачі середовищ до зовнішньої та внутрішньої поверхні нагріву, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$; d_1, d_2 - внутрішній та зовнішній діаметр труби, м; $\delta_{cm}, \delta_{vid}, \delta_{ln}$ - товщини стінки металу труби, шару відкладень та ламінарного підшару відповідно, м; $\lambda_{cm}, \lambda_{vid}, \lambda_{ln}$ - коефіцієнт теплопровідності матеріалу труби, відкладень та ламінарного підшару, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$.

Рівняння балансу густини теплового потоку для очищеної поверхні буде мати вигляд

$$q = -\lambda \frac{dt}{dn} = \alpha(t_{cm} - t_p)$$

Адсорбція молекул амінів на поверхні металу протікає за складним механізмом (рис.2), що складається з 1) фізичної адсорбції - під дією електростатичних сил молекули розміщуються перпендикулярно поверхні вуглеводневим радикалом до водного середовища; 2) хімічної адсорбції - зовнішні електрони атому азоту вступають у взаємодію з атомом металу, утворюючи міцний ковалентний зв'язок. Створений з молекул амінів адсорбційний шар блокує анодний активний центр розчинення металу і, таким чином, запобігає дифузії і сорбції корозійно-агресивних компонентів та утворенню центрів кристалізації на поверхні.

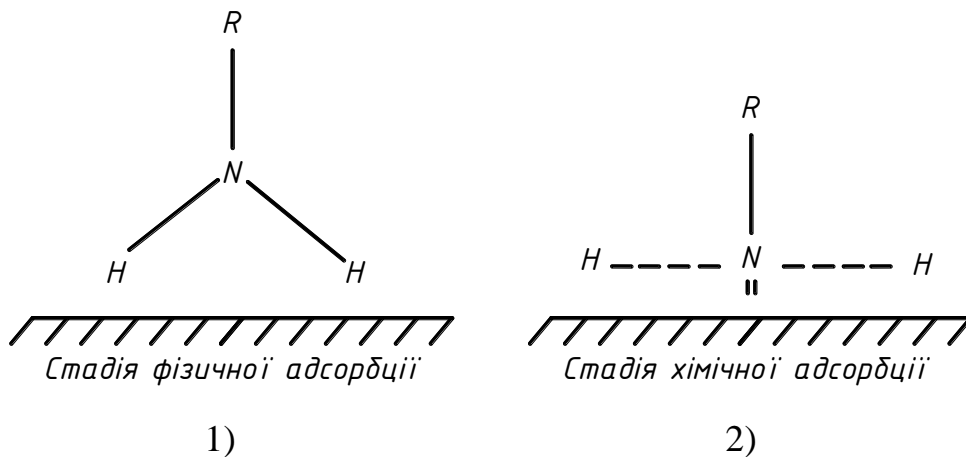


Рис. 2. Механізм адсорбції молекул ТЕАЕЖК на поверхні металу

Аміни на поверхні розділу тверде тіло – розчин адсорбуються у пограничному шарі, знижуючи поверхневу енергію. Зв'язок між поверхневою енергією та адсорбцією виражається рівнянням Гіббса

$$\Gamma = -\frac{c}{RT} \frac{d\sigma}{dc}, \quad (2)$$

Механізм впливу адсорбційно-активних середовищ на міцність і кінетичні характеристики руйнування твердих поверхонь був сформований Ребіндером П.А. Згідно його концепції зниження міцності твердої фази полягає у ослабленні

взаємодії атомів твердого тіла при адсорбції активного компонента середовища на поверхні з дефектами. Модельна схема розвитку тріщини представлена на рис.3.

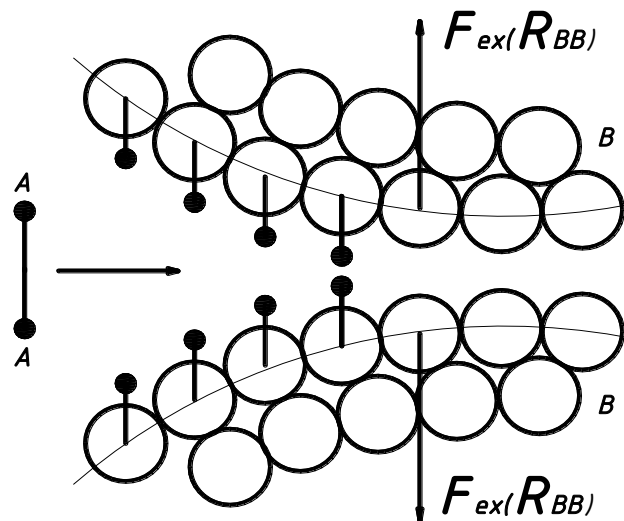


Рис. 3. Модельна схема розвитку тріщини на поверхні відкладень у присутності адсорбційно-активного середовища (амінів)

Адсорбція ПАР з міцністю твердої фази при ефекті АПМ пов'язана рівнянням

$$\Gamma = -2 \left(\frac{\sigma_0}{P_0^2} \right) \frac{P_c}{RT} \frac{dP_c}{d \ln c}, \quad (3)$$

де Γ - адсорбція, моль/г; c – концентрація ПАР у розчині, мг/л; R - газова стала, Дж/кг°К; T - температура, °С; P_0 – початкова міцність твердої фази у відсутності ПАР, кг/см²; P_c – міцність твердої фази, яка контактувала з ПАР, кг/см²; σ_0 – початкова поверхнева енергія, ерг/см².

У **третьому розділі** наведено методику та результати експериментальних досліджень кінетики накопичення та очищення відкладень на гріючих поверхнях з модифікованого теплоносія, оцінено його захисну інгібуючу здатність.

Розроблено стенд для проведення експериментальних досліджень накопичення та очищення відкладень на гріючих поверхнях, який у лабораторних умовах моделював роботу закритої системи тепlopостачання (рис. 4).

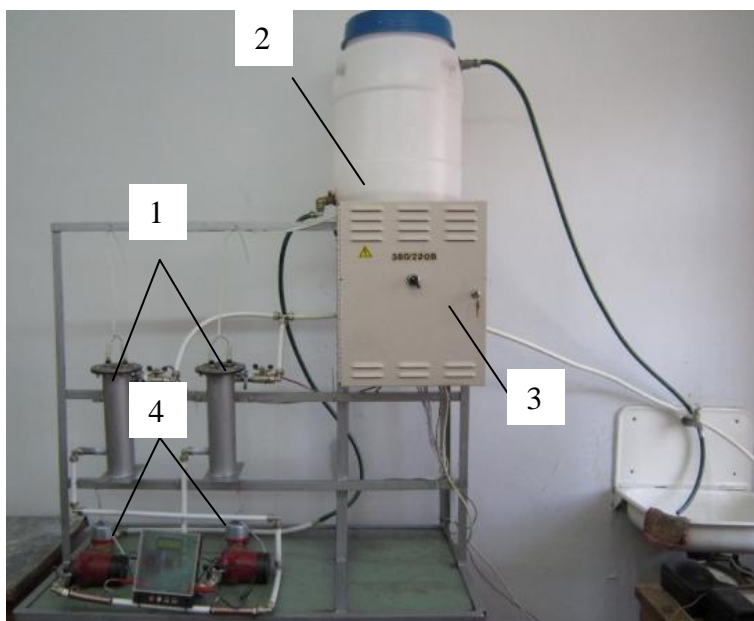


Рис. 4 Фото експериментального стенду

- 1- котли-ємності з нагрівачами;
- 2 - бак з теплоносієм;
- 3 - блок автоматичного керування стендом;
- 4 – циркуляційні насоси

Стенд представляє собою контур циркуляції, до складу якого входять: бак робочою ємністю 60 л, два циркуляційні насоси Grundfos Alpha 2 продуктивністю 0,4 - 1,5 м³/год, два котли-ємності з електронагрівачами, запірна арматура, блок природних магнітів, прилади контролю температури, блок автоматичного керування стендом. Витрата регулювалась з баку або насосу за допомогою запірної арматури. Підживлення контуру - з баку робочою ємністю 60 л за допомогою насосу Sprut.

Приготування експериментального розчину потрібної концентрації здійснювалось безпосередньо у баку шляхом вливання концентрату ТЕАЕЖК та ручного перемішування. У якості розчинника використовувалась вода із системи водопостачання міста Києва, якісний склад якої наведений у таблиці 1.

Таблиця 1

Якісний склад водопровідної води

pH _{25°C}	Fe ³⁺ , мг/дм ³	Жз, мг-екв/дм ³	Жк, мг-екв/дм ³	Завислі речовини, мг/дм ³	Розчинений кисень, мг/дм ³	Вільна вуглекислота, мг/дм ³
7,8-7,85	0,12-0,2	4,1-4,6	3,8-4,2	0,3-0,5	12,2-18,52	29,92-36,5

Після відпрацювання одного циклу вимірювань відбувалась зупинка стенду, електронагрівачі вимикались, виймалися, висушувались і зважувались. За результатами зважування на аналітичних вагах ВЛА-200 визначалась інтенсивність накипоутворення та очищення. У підживлювальному баку готувався водний розчин модифікатора. Установка вмикалась у роботу, на виході з котлів за допомогою термометрів опору накладного типу Stw-03 вимірювалась температура теплоносія. Витрата рідини контролювалась періодично об'ємним способом. Температура теплоносія підтримувалась автоматично з використанням контролера Waterheat S1 з точністю підтримання до 1 °С. Результати досліджень наведені на рис. 5.

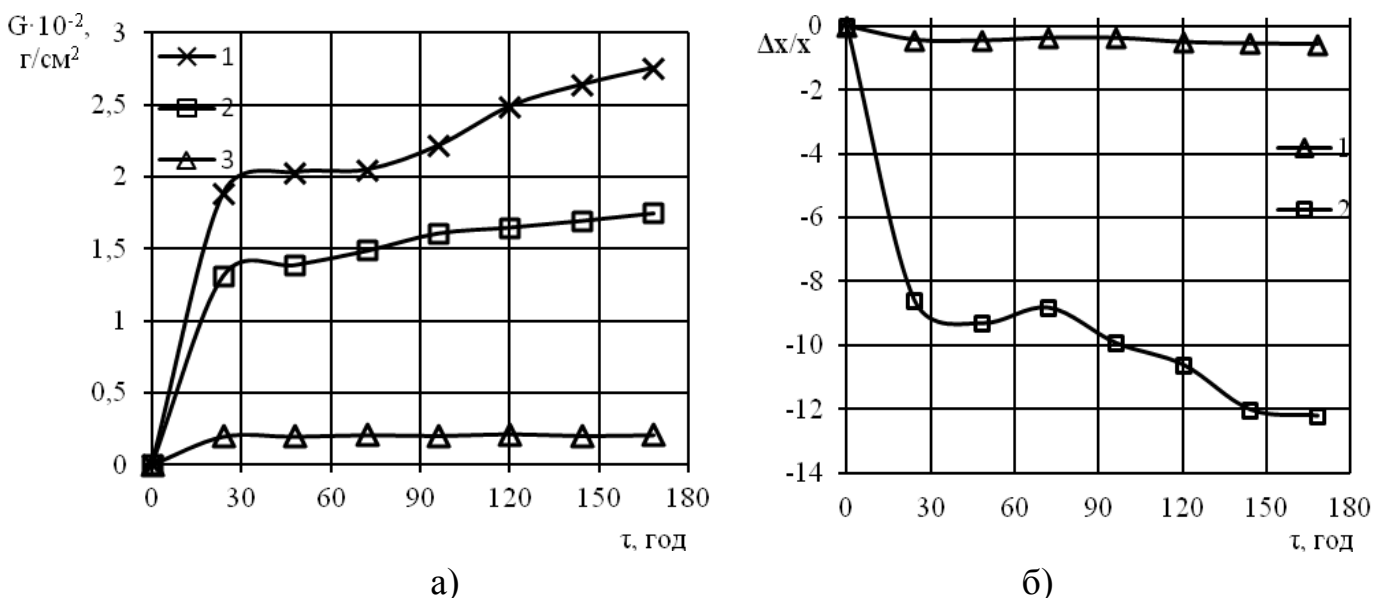


Рис. 5. Результати експериментальних досліджень:

- а) кінетика накопичення відкладень з води (×), води, що перебувала у полі природних магнітів Н= 0,12 Тл (□), води після модифікації ТЕАЕЖК (Δ);
 б) протинакипний ефект магнітної обробки води (Δ), модифікації теплоносія (□).

Встановлено, що інтенсивність накопичення відкладень з водних розчинів концентрацією ТЕАЕЖК 5-20 мг/л до 10-15 разів нижча ніж з води. Кінетика накопичення відкладень з модифікованого теплоносія не залежить від швидкості в діапазоні 0,8-1,3 м/с. За час проведення випробувань на теплообмінних поверхнях утворюється стійка блискуча плівка, центрів кристалізації на поверхні не знайдено.

Дослідження кінетики очищення відкладень дозволило зробити висновок про інтенсифікацію процесу після перебування розчину у полі природних магнітів. Найкращі результати досягнуто для концентрації 20 мг/л та температурі 85-90 °С. Проникна здатність водного розчину ТЕАЕЖК у котельний камінь після перебування у полі природних магнітів підвищується на 5-6%. При зміні послідовності приготування розчину та оброки у полі проникна здатність збільшується до 8-9%. (рис.6).

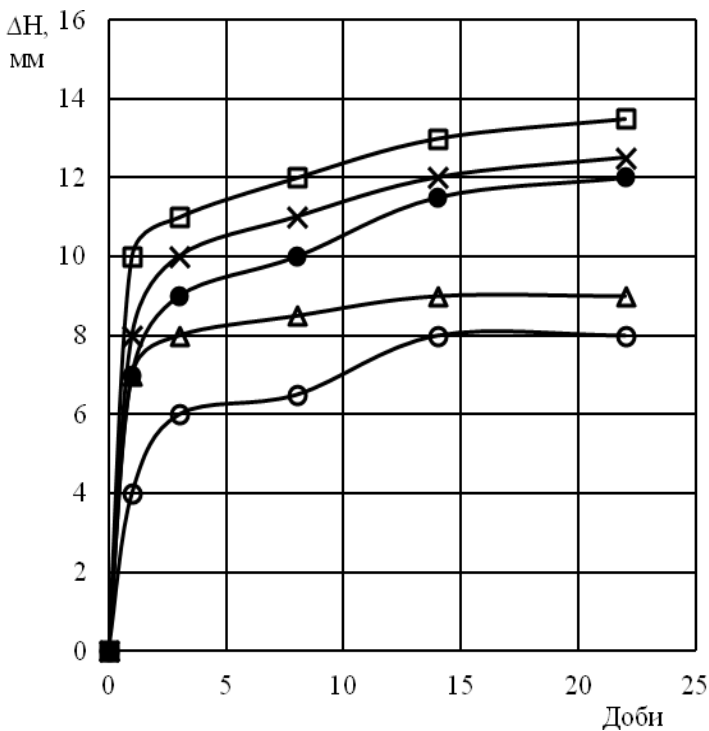


Рис.6 Результати експериментальних досліджень. Проникна здатність модифікованого теплоносія масовою концентрацією:

- (×) $c = 20$ мг/л, що перебував у полі природних магнітів;
- (□) $c = 20$ мг/л, що готувався на воді, що попередньо оброблена у полі природних магнітів;
- (●) $c = 20$ мг/л;
- (Δ) $c = 5$ мг/л;
- (○) вода.

Корозійний вплив на метал залежить від властивостей плівок на металевих поверхнях, захисні властивості яких підвищуються з ростом рН. У розділі наведено опис методики та результати оцінки ступеня захисту водогазопровідної сталі на прикладі сталі марки Ст.3 від корозії у присутності ТЕАЕЖК. Контрольним середовищем було обрано розчин соляної кислоти, приготований розбавленням 36% соляної кислоти марки чда дистильованою водою. Швидкість корозії сталі визначався масометричним методом при температурі 18 ± 1 °С.

Швидкість корозії розраховувалась за різницею мас зразків за формулою

$$K_{cor} = \frac{\Delta m}{S_3 \tau} \quad (4)$$

де Δm - втрата маси зразка, г; S_3 - площа поверхні зразка, см^2 ; τ - тривалість експерименту, год.

Ефективність захисної дії модифікованого теплоносія оцінювалась коефіцієнтом захисної дії (ступінь захисту від корозії), який розраховується за формулою

$$Z = \left(1 - \frac{1}{\gamma}\right) 100\% = \frac{K_{cor} - K'_{cor}}{K_{cor}} \cdot 100\% \quad (5)$$

Результати досліджень представлені у вигляді таблиці 2.

Таблиця 2

Результати масометричних досліджень ступеня захисту від корозії

Корозійне середовище	$\bar{\Delta}m$, г	K_{cor} , г/см ² ·год	K , мм/год	i_{cor} , А/см ²	γ	$Z, \%$
10% водний розчин НСІ	0,0292	$7,60 \cdot 10^{-5}$	0,865126	$7,3 \cdot 10^{-5}$	-	-
10% водний розчин ТЕАЕЖК	0,0001	$2,60 \cdot 10^{-7}$	0,002963	$2,5 \cdot 10^{-7}$	292	99,66
2% водний розчин ТЕАЕЖК	0,00015	3,91	0,004444	$3,75 \cdot 10^{-7}$	194,7	99,49
0,1% водний розчин ТЕАЕЖК	0,0004	$10,4 \cdot 10^{-6}$	0,011851	$10,0 \cdot 10^{-5}$	73	98,63

Аналіз результатів експерименту показав, що ТЕАЕЖК концентрацією 5-100 мг/л уповільнює корозію сталі ст.3 на два порядки. Не залежно від масової долі ступінь захисту досягає 99%. Втрата маси зразків наближена до точності вимірювання. Масометричні вимірювання підтвердили лабораторні візуальні дослідження на сталевих трубах систем теплопостачання.

У четвертому розділі наведені методи чисельних та експериментальних досліджень теплофізичних властивостей теплоносія, тепловіддачі між теплоносієм і стінкою труби та втрат гідравлічного опору трубопроводу, методи обробки результатів досліджень.

Для встановлення впливу модифікування теплоносія на зміну теплофізичних властивостей проведено чисельне та експериментальне дослідження густини ρ , коефіцієнту кінематичної в'язкості ν , теплоємності c_p , коефіцієнту поверхневого натягу σ та коефіцієнту теплопровідності λ водних розчинів ТЕАЕЖК концентрацій 1-20 мг/л. Методи дослідження представлені у таблиці 3.

Для отримання температурної залежності теплофізичних властивостей у межах 20-90 °С використовувався рідинний термостат СЖМС-19/2,5 – И1. Для контролю температури середовища використовувався рідинні ртутні термометри ТЛ-4 з ціною поділки 0,1 °С. Зважування проводилось на аналітичних вагах ВЛА-200.

Встановлено, що густина водного розчину ρ з концентрацією 1 мг/л ТЕАЕЖК у діапазоні температур 20-90 °С практично не відрізняється від густини водопровідної води. Це пояснюється тим, що густина модифікатора близька до густини води. Подальше збільшення концентрації до 20 мг/л компонента модифікатора не створює помітного впливу на величину густини.

Методи дослідження теплофізичних властивостей рідин

Параметр	Методи дослідження
Густина, г/см ³	Пікнометричний метод Д.І. Менделєєва $\rho_p = \frac{m_2 - m_1}{m_1 - m} \rho_e$
Кінематична в'язкість, мм/с ² φ	Метод капілярної віскозиметрії $\nu = \frac{g}{9,807} K\tau$
	Уточнене рівняння Соудерса $\lg(\lg 10\mu_{Lm}) = \rho_{Lm} \frac{(x_1 I_1 + x_2 I_2)}{(x_1 M_1 + x_2 M_2)} - 2,9$ <p>рівнянням Тамура і Курата для бінарних систем</p> $\mu_{Lm} = x_1 \varphi_1 \mu_{L1} + x_2 \varphi_2 \mu_{L2} + 2(x_1 x_2 \varphi_1 \varphi_2)^{1/2} \mu_2$
Теплоємність, Дж/кг°	Калориметричний метод $C = \frac{Q}{G(t_2 - t_1)}$
	Метод групових складових Міссенара та правило адитивності $C = \frac{1}{100}(x_1 C_1 + x_2 C_2)$
Коефіцієнт поверхневого натягу, Н/м	Сталогмометричний метод $\delta = \frac{m_k g}{2\pi r_0}$
	Метод Тамури, Курати і Одані $\sigma_m^{1/4} = \varphi_{sw} \sigma_w^{1/4} + \varphi_{s0} \sigma_0^{1/4}$
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/мК	Метод коаксіальних циліндрів $\lambda = \frac{Q \ln(d_2 / d_1)}{2\pi l(\bar{t}_1 - \bar{t}_2)}$
	Правилом Філіпова та за рівнянням $k_{Lm} = k_{L1} x_1 + k_{L2} x_2 - C x_1 x_2, C = 0,72(k_{L1} - k_{L2})$

де m - маса пікнометра, г; m_1 - маса пікнометра з водою, г; m_2 - маса пікнометра з досліджуваною рідиною, г; g - прискорення вільного падіння м²/с; K – стала віскозиметра; τ – час стікання, с; σ_w, σ_0 - поверхневий натяг компонентів, дин/см; φ_w, φ_0 - поверхневі об'ємні доли води і органічної речовини; x_w, x_0, x_1, x_2 - мольні доли компонентів в об'ємі; V_w, V_0 - мольні об'єми компонентів, см³/моль; ρ_{Lm} - густина, г/см³; I - стала в'язкості; M –молекулярна маса; μ_{L1}, μ_{L2} -в'язкість чистих компонентів, спз; Q – тепловий потік, Вт; G – об'ємна витрата, м³/с; t_1, t_2 – температура рідини на вході та на виході з калориметру, °С; m_k - маса краплі, кг; r_0 - радіус шийки, м, d_1, d_2 - внутрішній та зовнішній діаметрциліндру, м; l –довжина циліндру, м; \bar{t}_1, \bar{t}_2 - середні температури на поверхнях циліндрів, °С.

Кінематична в'язкість ν у аналогічному діапазоні температур змінюється у межах 7-21%. Залежність зміни кінематичної в'язкості від концентрації у дослідженому діапазоні концентрацій повторює залежність для води. Дослідження коефіцієнту теплопровідності λ показали його зменшення по відношенню до

водопровідної води на 1 % для концентрації модифікатора 1 мг/л та 3% для концентрації 20 мг/л. У даному діапазоні температур поверхневий натяг σ водних розчинів ТЕАЕЖК лежить у діапазоні від 0,063 до 0,045 Н/м при концентрації 20 мг/л і від 0,08 Н/м до 0,06 Нм при концентрації 5 мг/л.

Порівняння результатів експериментального дослідження теплофізичних властивостей з результатами чисельного дослідження підтвердило вірогідність результатів чисельного дослідження.

У розділі наведено опис експериментальної установки для встановлення впливу водного розчину ТЕАЕЖК на коефіцієнт тепловіддачі від стінки до модифікованого теплоносія. Описано методику проведення експерименту, проведено математичну обробку результатів досліджень та оцінено похибку вимірювань. Виконано аналіз отриманих даних.

Інтенсивність тепловіддачі горизонтальної труби визначається теплообміном на границі стінка-рідина. Для модифікованого теплоносія суттєвим є те, що додавання ТЕАЕЖК впливає на теплофізичні властивості. Для оцінки впливу модифікації теплоносія на теплообмін були проведені лабораторні дослідження при течії рідини у горизонтальній трубі (рис. 7).

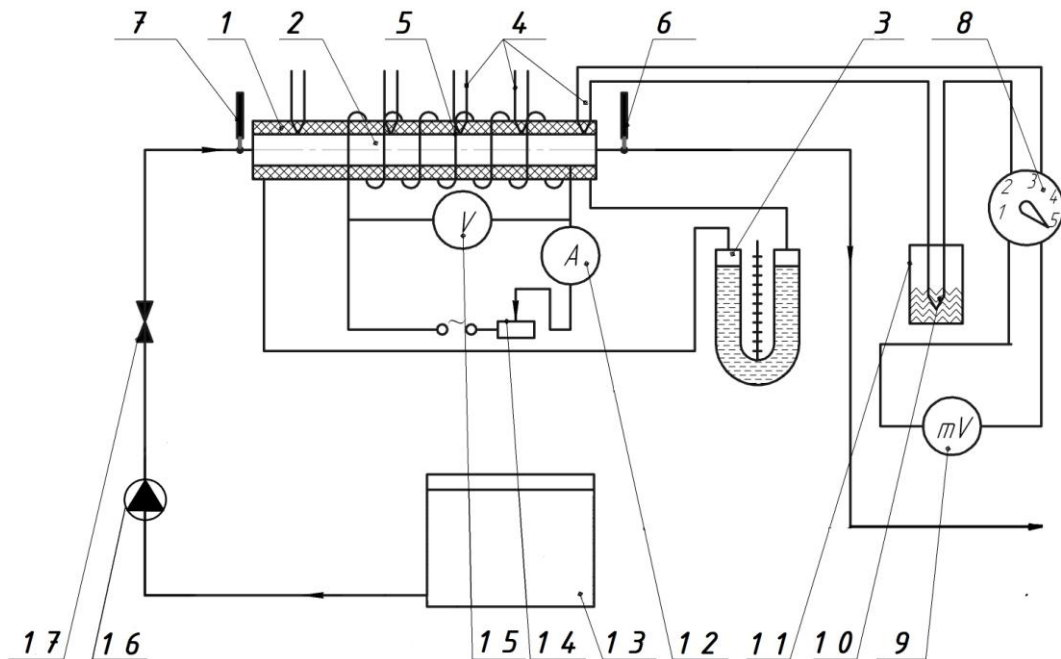


Рис. 7. Експериментальний стенд для дослідження теплообміну
1–теплоізоляція, 2– труба, 3 – диференційний манометр, 4 – термопари, 5 – нагрівач, 6, 7 – ртутні термометри, 8 – перемикач, 9 – милівольтметр, 10 – холодний спай, 11 – термостат, 12 – амперметр, 15 – вольтметр, 14 – реостат, 13 – бак з досліджуваною рідиною, 16 – циркуляційний насос, 17 – запірна арматура.

Середньоповерхневий конвективний коефіцієнт тепловіддачі ($\text{Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$), визначався з результатів вимірів за формулою

$$\alpha = \frac{Q}{F_m(\bar{t}_{cm} - \bar{t}_p)}, \quad (6)$$

де Q - тепловий потік, Вт; F_m – площа поверхні нагріву труби-калориметра; \bar{t}_{cm} , \bar{t}_p – усереднені температури поверхні нагріву калориметра та рідини- теплоносія.

Далі визначався критерій Nu за формулою Нусельта-Крауссольда

$$Nu = 0,023 Pr^{0,4} Re^{0,8} \quad (7)$$

де Re – критерій Рейнольдса, $Re = wd / \nu$; Pr – критерій Прандтля, $Pr = \nu / a$; a – коефіцієнт температуропровідності $a = \lambda / c_p \rho$, m / c^2 .

За допомогою диференційного манометру було отримано значення втрат тиску на експериментальній ділянці.

Чисельне дослідження гідравлічного опору прямої горизонтальної ділянки труби довжиною 2 м при русі модифікованого теплоносія з масовою концентрацією модифікатора ТЕАЕЖК 0,5 -2 мг/л у діапазоні швидкості 0,8-1,3 м/с в ізотермічних умовах за температури 20°C. Базою для порівняння слугувала водопровідна вода. Величини кінематичної в'язкості рідин отримано експериментально. Визначалася

відносна зміна коефіцієнту гідравлічного опору у гладких трубах $\bar{\zeta} = \frac{\zeta_{\epsilon}}{\zeta_{TEA}}$, де ζ_{ϵ} ,

ζ_{TEA} - коефіцієнти гідравлічного опору у гладких трубах для турбулентного режиму відповідно для води і водних розчинів ТЕАЕЖК.

Гідродинамічний опір, Па, визначений за рівнянням Дарсі-Вейсбаха

$$\Delta p = \zeta \frac{l}{d} \frac{\rho w^2}{2} \quad (8)$$

Оскільки з літературних джерел відомо, що формування на поверхні металу упорядкованих шарів поверхнево-активних речовин зменшує шорсткість труби, коефіцієнт місцевого опору був визначений для першої $\zeta = 0,3164 / Re^{0,25}$ та другої області турбулентної течії $\zeta = 0,11 / (\Delta_e / d + 68 / Re)^{0,25}$ для гладких труб.

За розрахованими значеннями втрати тиску ΔP_n визначались числа Ейлера

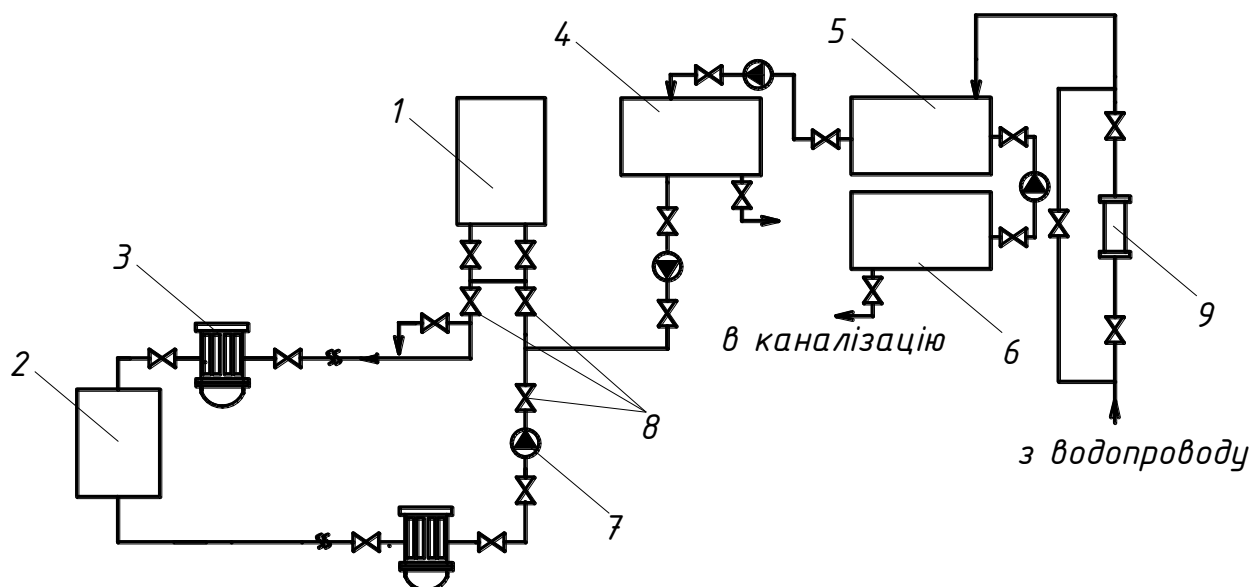
$$Eu_0 = \frac{\Delta P_n}{\rho w^2} \quad (9)$$

Виконано зіставлення інтенсивності тепловіддачі (експериментальні дані Жукова В.А.) та гідродинамічного опору (експериментальні дані Риженкова В.А.) у присутності ПАР.

В кінці розділу наведена величина похибок визначення чисел $\bar{\alpha}$, Nu та Eu_0 .

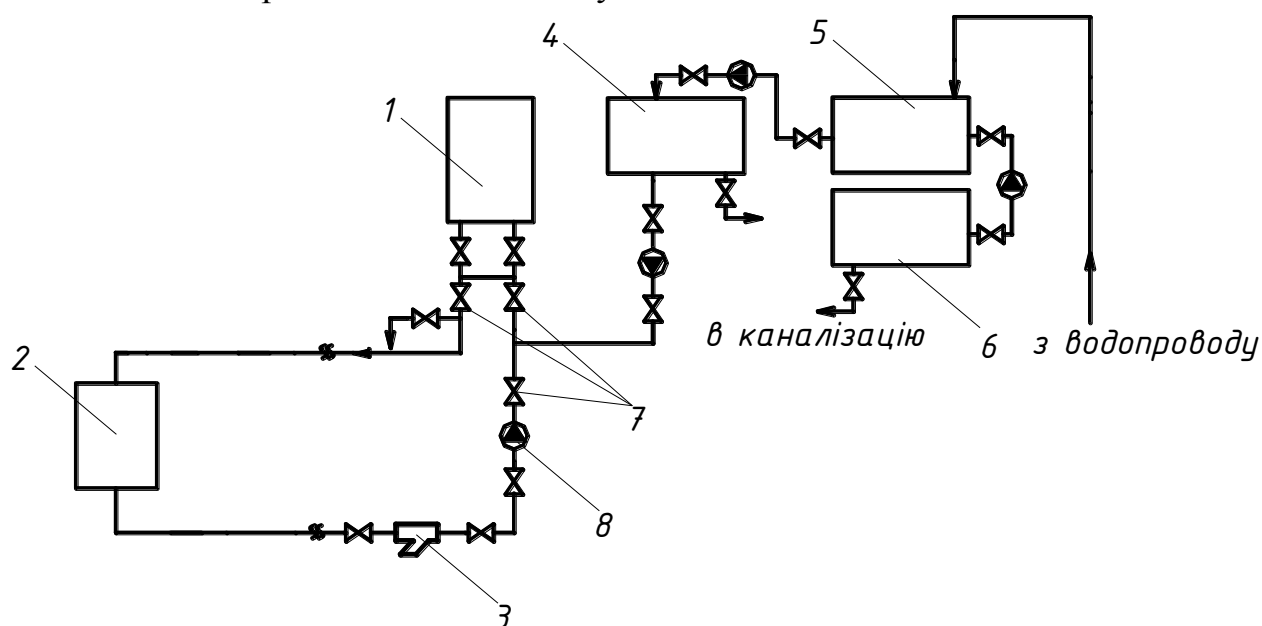
У п'ятому розділі розроблено технологічні схеми систем теплопостачання з використанням модифікованого теплоносія. Наведені результати промислових досліджень, проведено техніко-економічний аналіз розробленої технології.

Враховуючи результати експериментальні досліджень, було запропоновано технологічні схеми для систем теплопостачання двох типів: для систем, які перебувають в експлуатації (рис. 8а), та нових систем, що вводяться в експлуатацію (рис. 8б).



а) 1-водогрійний котел; 2 – система опалення; 3 – магнітний фільтр-шламовідокревлувач; 4 – бак запасу теплоносія; 5 – бак приготування розчину модифікатора; 6 – бак концентрату модифікатора; 7 – насос; 8 – запірна арматура; 9 – магнітний активатор.

Для експлуатації систем тепlopостачання за схемою б застосовується теплоносій з масовою концентрацією ТЕАЕЖК 5 мг/л. За такої схеми внутрішні теплообмінні поверхні вкриті захисним адсорбційним шаром з молекул ТЕАЕЖК. Корозійні та накипні процеси таким чином уповільнюються.



б) 1-водогрійний котел; 2 – система опалення; 3 – мережний фільтр; 4 – бак запасу теплоносія; 5 – бак приготування розчину модифікатора; 6 – бак концентрату модифікатора; 7 – запірна арматура; 8 – насос.

Рис. 8. Принципові технологічні схеми систем тепlopостачання з модифікованим теплоносієм а) систем, які перебувають в експлуатації б) для нових системи, що вводяться в експлуатацію.

Для експлуатації систем теплопостачання за схемою а застосовується модифікований теплоносій з масовою концентрацією ТЕАЕЖК 20 мг/л, що готується на попередньо обробленій у полі природних магнітів воді. У зв'язку з інтенсивним шламоутворенням внаслідок очищення поверхонь у схему включено два фільтри-шламовідокремлювача з магнітними вставками.

Дослідження технології модифікації теплоносія ТЕАЕЖК у промислових умовах було проведене в системі теплопостачання з водогрійною котельнею, у якій на момент експерименту працювало 2 водогрійні котли НІСТу-5: №1 та №2. Початок досліджень випав на середину опалювального сезону. Для вимірювання гідравлічного опору котлів на них було встановлено зразкові манометри класу точності 0,15. При паспортному значенні $0,1 \text{ кг/см}^2$ гідравлічний опір обох котлів склав $0,25 \text{ кг/см}^2$, що свідчило про наявність накипних відкладень на внутрішніх теплообмінних поверхнях.

Відповідно до схеми а до теплоносія було влито концентрат ТЕАЕЖК. Робочий персонал усі операції з обслуговування котлів виконував у штатному режимі, об'єкт перебував у експлуатації. Реєстрація параметрів роботи котельні здійснювалася згідно робочого розпорядку щодві години.

Впродовж всього експериментального періоду, який тривав 85 діб, на мережному фільтрі фіксувалися відшаровані відкладення різних фракцій. По закінченню опалювального сезону котли були відкриті та оглянуті. В нижніх колекторах спостерігалися відшаровані відкладення, що свідчило про очищення системи, що підтверджували покази манометрів. В результаті експерименту котел №1 вийшов на паспортний режим гідравлічного опору. Котел № 2 закінчив опалювальний сезон із перепадом $0,15 \text{ кг/см}^2$, та на початку наступного опалювального сезону також вийшов на паспортне значення гідравлічного опору. Зміна гідравлічного опору котлів за два опалювальні сезони (рис. 9).

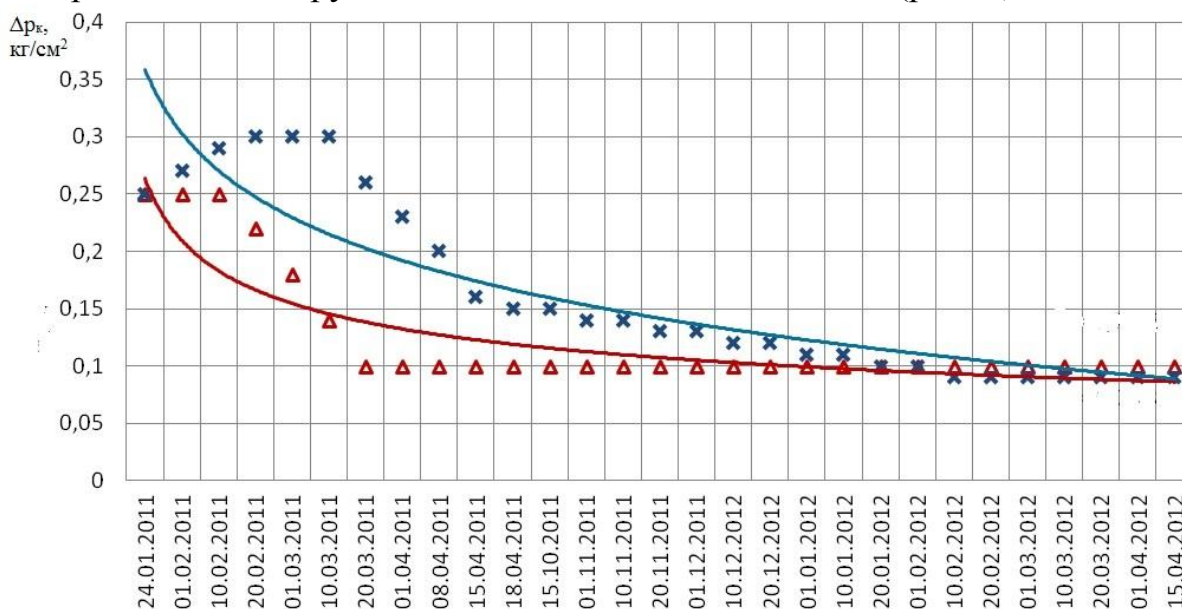


Рис. 9. Результати промислових досліджень. Зміна гідравлічного опору котлів №1 (Δ), №2 (×)

За показами приладу обліку параметрів роботи котельні було визначено питомі витрати природного газу, проаналізовано споживання електричної енергії. Зміна добових витрат палива на протязі експерименту представлена на рис.10.

Питомі витрати газу були нерівномірними і змінювалися у широкому діапазоні. Математична обробка методом найменших квадратів показала, що характер зміни питомих витрат за час випробувань відповідає їх зменшенню на 13-17% з урахуванням відносної похибки вимірювання $\pm 4\%$.

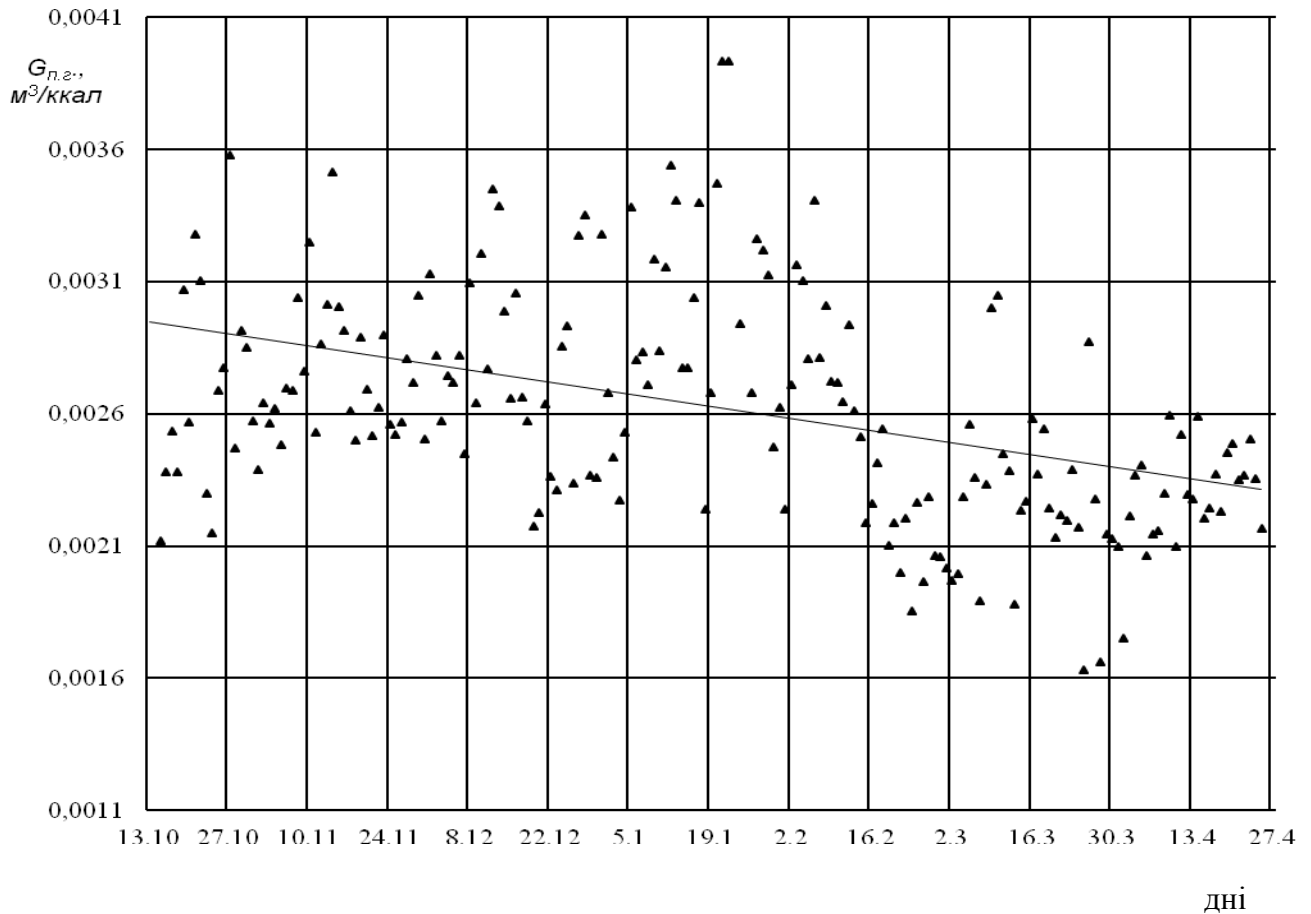


Рис. 10 Результати промислових досліджень. Зміна добових витрат палива

Термограмне дослідження опалювальних приладів показало очищення чавунних радіаторів, а тепловим лічильником було зафіксовано збільшення тепловіддачі на 25%. $\Delta p_k, \text{кг/см}^2$

Техніко-економічний аналіз дав змогу порівняти експлуатаційні та капітальні витрати при реалізації технології модифікування теплоносія та застосування класної технології ведення водно-хімічного режиму водогрійної котельні. Крім економічного ефекту відбувається зниження антропогенного навантаження на навколишнє середовище. Таким чином підтверджена доцільність використання запропонованих схем та обладнання.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано і вивчено особливості технологій ведення водно-хімічного режиму систем тепlopостачання. Визначено необхідність наукового обґрунтування застосування триетаноламінових ефірів жирних кислот.

2. Розглянуто особливості тепломасообмінних та гідравлічних процесів, що відбуваються у системах тепlopостачання, при зміні його теплофізичних та гідравлічних властивостей.

3. Методом фізичного моделювання побудовано та обґрунтовано підвищення ефективності тепломасообміну між поверхнею нагріву та теплоносієм за рахунок руйнування відкладень, утворення захисної плівки зі збільшенням корозійної стійкості і зменшенням шорсткості поверхні.

4. Досліджено кінетику накопичення і очищення відкладень. Встановлено, що сформований шар-плівка на внутрішніх теплообмінних поверхнях є стійкою, зберігає свої властивості в умовах роботи систем теплопостачання на протязі двох років. Для руйнування відкладень найбільшу ефективність показує водний розчин триетаноламінового ефіру жирних кислот масовою концентрацією 20 мг/л після перебування у полі сталих магнітів напруженістю 0,1-0,25 Тл. Ступінь захисту від корозії сталі марки ст.3 у модифікованому теплоносії досягає 99%.

5. За результатами теоретичних і експериментальних досліджень у діапазоні $t_m=30-90$ °С отримано температурні залежності теплофізичні властивості водних розчинів триетаноламінового ефіру жирних кислот від концентрації. Встановлено, що модифікація теплоносія ТЕАЕЖК помітно змінює коефіцієнт поверхневого натягу та кінематичну в'язкість.

6. Оцінено вплив модифікованого теплоносія у діапазоні $Re = 18540 - 40921$ на теплообмін тепловіддачею та втрати гідродинамічного опору у трубопроводах водогрійних котлів систем теплопостачання. Одержана похибка вимірювання не перевищує 5%.

7. На підставі теоретичних та експериментальних досліджень створено технологічні схеми для систем теплопостачання двох типів: для систем, які перебувають в експлуатації, та нових систем, що вводяться в експлуатацію. Розроблено методику інженерного розрахунку систем теплопостачання з модифікованим теплоносієм

8. Виконано апробацію запропонованих рішень. Впровадження такої технології дозволяє знизити витрати природного газу на 13-17% за рахунок інтенсифікації теплообміну на поверхнях обладнання шляхом очищення від відкладень. Техніко-економічний аналіз технології водно-хімічного режиму систем теплопостачання показує її високу економічну ефективність.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Габа К.О. Оценка эффективности нового ингибитора для защиты систем теплоснабжения от коррозии. / К.О. Габа // Научная дискуссия: вопросы технических наук (індексується у РИНЦ). – М., 2016. № 2(32). – С. 25 – 29.

2. Гламаздин П.М. Методи підготовки води для систем теплопостачання. / П.М. Гламаздин, К.О. Цикал // Науково-технічний збірник «Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання». – К.: КНУБА, 2010. – Вип.14. – С.134 – 138.

Особистий внесок Габи К.О полягає у в аналізі існуючих відомих методів підготовки теплоносія для систем теплопостачання.

3. Гламаздин П.М. Дослідження в'язкості водних розчинів естерів жирних кислот під впливом магнітного поля. / П.М. Гламаздин, К.О. Цикал // Збірник наукових праць «Будівництво та техногенна безпека». – С.: НАПКБ, 2012. – Вип.41.

– С. 70 – 73.

Особистий внесок Габи К.О. полягає у проведенні лабораторних досліджень кінематичної в'язкості водних розчинів ТЕАЕЖК, обробці результатів, побудові графічних залежностей.

4. Гламаздин П.М. Особливості теплообміну у пластинчастих теплообмінниках з розчином ПАР у якості теплоносія. / П.М. Гламаздин, К.О. Цикал. // Науково-технічний збірник «Енергоефективність у будівництві та архітектурі». – К.: КНУБА, 2014. – Вип. 6. – С. 59 – 62.

Особистий внесок Габи К.О. полягає у проведенні аналітичних дослідження для оцінки теплообміну у пластинчастих теплообмінниках.

5. Гламаздин П.М. Фізичний механізм очищення накипих відкладень на поверхнях елементів централізованих систем тепlopостачання. / П.М. Гламаздин, К.О. Цикал // Науково-технічний збірник «Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки». – К.: КНУБА, 2014, Вип. 24. – С. 56 – 62.

Особистий внесок Габи К.О. полягає у обґрунтуванні механізму очищення теплообмінних поверхонь, проведенні лабораторних досліджень просочування котельного каменю, обробці результатів, побудові графічних залежностей.

6. Гламаздин П.М. Порівняльний аналіз економічності технологій підготовки води для систем централізованого тепlopостачання. / П.М. Гламаздин, К.О. Цикал // Науково-технічний збірник «Енергоефективність в будівництві та архітектурі». Вип. 7. – К.: КНУБА. – 2015. – С. 58 – 65.

Особистий внесок Габи К.О. полягає у розробці схем матеріальних та енергетичних потоків, методики і розрахунку експлуатаційних витрат технологій підготовки води для систем тепlopостачання.

7. Гламаздин П.М. Повышение эффективности работы систем теплоснабжения с использованием ПАВ-технологии. / П.М. Гламаздин, К.О. Цикал // Муніципальна енергетика: проблеми, рішення. Матеріали ІV міжнародної науково-технічної конференції. – М.: НУК – 2011. – С. 82 – 86.

Особистий внесок Габи К.О. полягає у розробці схеми та методики промислових досліджень, проведенні термографічних досліджень, обробці експериментальних даних, побудові графічних залежностей.

8. Цикал К.О. Оцінка потенціалу енергозбереження сучасних технологій підготовки води для систем централізованого тепlopостачання. /К.О. Цикал, П.М. Гламаздин // Чиста вода. Фундаментальні, практичні та промислові аспекти. Матеріали ІІ Міжнародної науково-практичної конференції. – К.: НТУУ «КПІ», 2014. – С.68 – 69.

9. Цикал К.О. Екологічні аспекти підготовки води для систем централізованого тепlopостачання. /К.О. Цикал, П.М. Гламаздин // Технології очищення води – технічні, біологічні та екологічні аспекти. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. – К.: НТУУ «КПІ», 2013. – С.20 – 21.

10. Цикал К.О. Вплив магнітної обробки на її теплофізичні властивості. / К.О. Цикал // Матеріали наукової конференції молодих вчених, аспірантів і студентів. Ч.1 (16-18 листопада 2010 р., м. Київ). – С. 184.

АНОТАЦІЯ

Габа К.О. Підвищення ефективності систем тепlopостачання модифікацією теплоносія. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.03 – вентиляція, освітлення та теплогазопостачання. – Київський національний університет будівництва та архітектури, Київ, 2016.

Дисертація присвячена вирішенню актуальної науково-практичної задачі підвищення ефективності систем тепlopостачання. Модифікації теплоносія-води триетаноламіновими ефірами жирних кислот сприяє інтенсифікації теплообміну, зменшенню витрат енергії на генерацію і транспорт за рахунок руйнування відкладень, утворення захисної плівки зі збільшенням корозійної стійкості та зменшенням шорсткості поверхні. За результатами чисельних та експериментальних досліджень отримано наукове обґрунтування доцільності застосування такої технології.

Приведено теоретичний опис процесів, які відбуваються на теплообмінних поверхнях при зміні фізико-гідралічних показників теплоносія. Обґрунтовано та побудовано удосконалену фізичну модель підвищення ефективності тепломасообміну між поверхнею нагріву та модифікованим теплоносієм. Виконані експериментальні дослідження кінетики накопичення та руйнування відкладень на поверхнях теплообміну, оцінено ступінь захисту модифікованого теплоносія від корозії. Чисельно та експериментально визначено його теплофізичні властивості, оцінено вплив поля природних магнітів, досліджено тепловіддачу теплообмінної поверхні до модифікованого теплоносія та зміну гідралічного опору трубопроводів. Запропоновано технологічні схеми систем тепlopостачання з модифікованим теплоносієм для систем різного терміну експлуатації. Проведено промислові дослідження. Проведено техніко-економічне обґрунтування запропонованої технології ведення водно-хімічного режиму.

Ключові слова: централізовані системи тепlopостачання, поверхнево-активні речовини, відкладення, корозія, теплообмін, гідродинамічний опір, магнітне поле.

АННОТАЦИЯ

Габа К.О. Повышение эффективности систем теплоснабжения модификацией теплоносителя. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.23.03 – вентиляция, освещение и теплогазоснабжение. – Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев, 2016.

Диссертация посвящена решению актуальной научно-практической задачи повышения эффективности систем теплоснабжения путем модификации теплоносителя триэтаноламиновым эфиром жирных кислот, относящихся к классу неионогенных низкомолекулярных поверхностно-активных веществ, для обеспечения безнакипного и безкоррозионного режима работы элементов системы. На основании результатов численных и экспериментальных исследований обоснована целесообразность использования такой технологии.

Дано теоретическое описание процессов, происходящих на теплообменных поверхностях при изменении физико-химических и гидравлических показателей теплоносителя. Дано научное обоснование и разработана усовершенствованная физическая модель повышения эффективности тепломассообмена между поверхностью нагрева и модифицированным теплоносителем. Проведены экспериментальные исследования кинетики образования и разрушения отложений на поверхностях теплообмена, испытания защиты от коррозии водогазопроводной стали в модифицированном теплоносителе. Численно и экспериментально установлено теплофизические свойства теплоносителя, оценено влияние поля природных магнитов. Исследовано теплоотдачу поверхности к модифицированному теплоносителю, а также изменение гидродинамического напора в трубопроводах. Проведены промышленные испытания.

На основании результатов проведенных исследований разработаны схемы систем теплоснабжения с модифицированным теплоносителем разного срока эксплуатации. Проведен технико-экономический анализ целесообразности применения технологии ведения водно-химического режима систем теплоснабжения с модифицированным теплоносителем.

Ключевые слова: системы теплоснабжения, поверхностно-активные вещества, отложения, коррозия, теплообмен, гидродинамическое сопротивление, магнитное поле.

ABSTRACT

Gaba K.O. Increased the efficiency of heat transfer coolant modification of heating systems. – Manuscript.

Thesis for a PhD degree in technical sciences on the specialty 05.23.03 – Ventilation, lighting and heat and gas supply. Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, 2016.

The dissertation is devoted to solving actual scientific-practical task of improving the efficiency of heating systems by changing the coolant trietanolamin esters of fatty acids belonging to the class of low molecular weight non-ionic surfactants for the system without deposits and corrosion. The results of numerical and experimental studies conducted in the dissertation, made a scientific justification for the use of technology.

The theoretical description of the processes that occur on heat transfer surfaces by changing the coolant physical and hydraulic properties. Created a physical model improved efficiency heat transfer between the surface and modified heat coolant. Experimental study of the kinetics of accumulation and destruction of deposits on heat transfer surfaces, evaluated the degree of protection against corrosion modified coolant. Numerically and experimentally determined thermal properties, assessed the natural field of magnets impact. Experimentally and analytical investigated heat exchange surface to heat a modified coolant and hydraulic resistance change of pipelines. Created technological scheme of heating with a modified coolant systems for different lifetime. An industrial research. Were carried out industrial research. It was a feasibility study of the proposed technology of water-chemical mode.

Keywords: heating systems, surfactants, deposition, erosion, heat transfer, hydrodynamic resistance, magnetic field.