

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ НАУКОВОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИКИ

Матеріали XV Міжнародної
науково-практичної конференції
аспірантів, магістрантів і студентів
м. Київ, 25-28 квітня 2017 року,

ТОМ 1



Київ- 2017

УДК 524.36

Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики: Матеріали XV Міжнародної науково-практичної конференції аспірантів, магістрантів і студентів, м. Київ, 25–28 квітня 2017 р. У 2 т. – К. : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – Т. 1. – 190 с.

ISBN 978-966-622-827-0

Подано тези доповідей XV Міжнародної науково-практичної конференції аспірантів, магістрантів і студентів «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики» за напрямками: атомна енергетика, теплообмін і гідродинаміка в теплопередаючих пристроях і енергетичних установках, сучасні технології в тепловій енергетиці, проблеми теоретичної і промислової теплотехніки.

Головний редактор

Є.М. Письменний, д-р техн. наук, проф.

Заступник головного редактора

Ю.Є. Ніколаєнко, д-р техн. наук, с.н.с.

Редакційна колегія:

О.Ю. Черноусенко, д-р техн. наук, проф.,

Г.Б. Варламов, д-р техн. наук, проф.,

О.В. Коваль, канд. техн. наук, доц.,

В.О. Туз, д-р техн. наук, проф.,

Ю.М. Ковриго, канд. техн. наук, проф.,

П.О. Барабаш, канд. техн. наук, доц.,

П.П. Меренгер, ст. викладач,

В.Б. Бобков, канд. фіз.-мат. наук, доц.,

С.Г. Карпенко, канд. фіз.-мат. наук, доц.,

О.О. Гагарин, канд. техн. наук, доц.,

Н.Л. Лебедь, канд. техн. наук, доц.

Відповідальний секретар

О.В. Авдєєва.

*Друкується в авторській редакції за рішенням Вченої ради
теплоенергетичного факультету Національного технічного університету
України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
(протокол № 8 від 27 березня 2017 р.)*

© Автори тез доповідей, 2017

ISBN 978-966-622-827-0

СЕКЦІЯ №1

Атомна енергетика

УДК 621.039.5

Студент 4 курсу, гр. ТЯ-33 Адільшаєв Т.Т.
Асист., к.т.н. Кондратюк В.А.

ПАЛИВНІ ЦИКЛИ ВВЕР-440 НА ОСНОВІ КАСЕТ ІЗ ЗБІЛЬШЕНИМ ЗАВАНТАЖЕННЯМ УРАНУ ТА ПІДВИЩЕНИМ ЗБАГАЧЕННЯМ.

У дипломній роботі проведена робота з аналізу можливостей повного 6-річного паливного циклу для реакторів ВВЕР-440, що в свою чергу показує перспективи подальшого поліпшення нейтронно-фізичних і експлуатаційних характеристик реакторів шляхом додаткової оптимізації конструкції паливних касет і компонування паливних завантажень.

Удосконалення розрахункових кодів, зниження консерватизму розрахунків і виконання великого циклу розрахункових робіт з обґрунтування безпеки дозволило розробити і впровадити в експлуатацію паливні цикли з паливом другого покоління (РК-2), які забезпечують експлуатацію реакторів на підвищеній тепловій потужності 105-109% номінальної з необхідною тривалістю роботи між перевантаженнями.

Тому вдосконалення палива і паливних циклів для реакторів ВВЕР-440 є актуальним завданням на сьогоднішній день. Основними напрямками вдосконалення паливного циклу реактора ВВЕР-440 є:

- підвищення початкового збагачення палива;
- зменшення частки замінного при перевантаженнях палива;
- можливість роботи на підвищеному рівні тепловій потужності активної зони при умові терміну роботи паливного завантаження не менше 315 ефективних діб;
- перехід з 5-річних на 6-річні паливні цикли (із залишенням частини касет на сьомий рік експлуатації).
- зменшення консерватизму обґрунтувань паливного циклу;

Використовуючи паливні касети з підвищеним збагаченням, можна розробити 6-річний паливний цикл із залишенням частини касет на сьомий рік експлуатації, який буде задовольняти умовам роботи на збільшеній тепловій потужності. При цьому тривалість паливного завантаження буде відповідати сучасним вимогам.

Перелік посилань:

1. Гагаринский А.А., Лизоркин М.П., Прослов В.Н., Сапрыкин В.В., Топливные циклы ВВЭР 440 на основе касет с увеличенной загрузкой урана и повышенным обогащением. Атомная энергия, 2010, т. 108, вып. 3, стр 123 – 129.
2. Адеев В.А., Панов А.Е. Основные характеристики активной зоны ВВЭР-440 с топливом 3 го поколения в сб. Ядерное топливо нового поколения для АЭС. Результаты разработки, опыт эксплуатации и направления развития. ОАО «ВНИИИНМ», Москва, 2010.

ВПЛИВ ПОСТ-ФУКУСІМСЬКИХ ЗАХОДІВ НА БЕЗПЕКУ АЕС

На сьогоднішній день одним з найпотужніших джерел електричної енергії є атомна енергетика. Виробництво ядерної енергії займає чималу долю у ряді країн світу. Наприклад Франція – 76,3 %, Словачія – 55,9%, Венгрія – 52,7%, та Україна – 56,5% [1]. Маючи такі значні обсяги виробництва та специфіку атомної генерація велику увагу слід приділяти питанням безпеки. Метою безпеки є недопущення аварії на АЕС з великою долею вірогідності[2]. Базуючись на досвіді аварій та катастроф що відбулися за той час, що людство експлуатує ядерні реактори[3], одним з над важливих питань є функціонування систем безпеки при знеструмленні. Так як в основі всіх АЕС лежить паро-водяний цикл, для створення циркуляції використовують насосні агрегати для яких необхідне джерело електричного струму. При знеструмленні потрібно відводити тепло від АЗ для недопущення її руйнування, тобто одним з головних питань стоїть створення систем пасивного відводу тепла (СПВТ), або способів відновлення електропостачання для вкрай важливих систем безпеки. У світі існують приклади систем СПВТ, вони базуються на відведенні тепла з басейну витримки (БВ) , чи від парогенератора (ПГ). Принцип у цих систем однаковий це – відведення тепла від теплообмінної поверхні, шляхом нагрівання теплоносія і подальшого його охолодження, слід зауважити, що застосування природної циркуляції теплоносіїв, обумовлює пасивність цих систем. Відведення тепла від ПГ здійснюється за допомогою встановлення додаткової незалежної системи, що складається з повітряного теплообмінника, гідро-регулятора, шибера та трубопроводів. Завдяки зміні тиску у другому контурі, гідро-регулятор відбирає частину пари з ПГ, яка конденсується у повітряному теплообміннику, та поступає назад у ПГ, таким чином збільшується кількість тепла що відводиться від теплоносія першого контуру. В роботі проаналізовано, що дана система є досить ефективна, такий висновок можна зробити із значень температури поверхні ТВЕЛ. Температура оболонки ТВЕЛ досягає позначки 1200°C приблизно за 1 годину за відсутності СПВТ ПГ, цей час збільшується приблизно у 6 разів при встановленні цієї системи. За цей час, персонал АЕС має можливість ліквідувати аварійну ситуацію. Встановлення СПВТ ПГ, також, підвищує безпеку АЕС через те що до складу цих систем входить низька кількості активних елементів що також зменшує вірогідність відмови, а отже, підвищує надійність даної системи. Також, одним із способів боротьби зі знеструмленням є використання мобільних дизель-генераторних електростанцій (МДГЕС). Було запропоновано концепцію, заміни одного ДГ 0,4 кВ 800 кВт, на два ДГ 0,4 кВ 400 кВт. Це рішення також підвищує оперативність підключення ДГ через зменшенні масо-габаритні характеристики як самого агрегату так і засобів його підключення. Проаналізувавши час розгортки МДГЕС можна зробити висновок що час знаходження систем важливих для безпеки без електропостачання суттєво зменшився, а отже і вірогідність переростання аварійної ситуації до аварії також зменшилася.

Перелік посилань:

1. NuclearShareofElectricityGeneration [Електронний ресурс] // МАГАТЭ. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/NuclearShareofElectricityGeneration.aspx>.
2. Основные принципы безопасности атомных электростанций – Вена: МАГАТЭ, 2015. – (75-INSAG-3). – (Rev.1).
3. АВАРИЯ НА АЭС "ФУКУСИМА-ДАЙТИ" ДОКЛАД ГЕНЕРАЛЬНОГО ДИРЕКТОРА – Вена: МАГАТЭ, 2015.

РОЗРАХУНОК ПОЛЯ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НАВКОЛО ЗАЛІЗОБЕТОННОГО КОНТЕЙНЕРУ СУХОГО ЗБЕРІГАННЯ ВІДПРАЦЬОВАНОВОГО ЯДЕРНОГО ПАЛИВА

Централізоване сховище відпрацьованого ядерного палива (ЦСВЯП) є ядерною установкою загальнодержавного значення. В ЦСВЯП передбачається сухе зберігання відпрацьованого ядерного палива (ВЯП) енергоблоків АЕС України з реакторами ВВЕР (ВП РАЕС, ВП ЮУАЕС, ВП ХАЕС) протягом 100 років. Основними перевагами сховищ сухого типу порівняно зі сховищами «мокрого» типу є пасивна система зберігання з надійної ізоляцією ВЯП від навколишнього середовища, незначне утворення радіоактивних відходів (РАВ) при експлуатації сховища, можливість довготермінового зберігання ВЯП.

Розрахунок поля іонізуючого випромінювання є важливою задачею для майбутнього ЦСВЯП, тому що її рішення впливає: на кількість персоналу, що будуть експлуатувати залізобетонний контейнер з ВЯП; на час виконання операцій, передбачених експлуатацією контейнеру з ВЯП. В даній роботі виконано розрахунок поля іонізуючого випромінювання навколо залізобетонного контейнеру з ВЯП консервативним методом, для отримання максимально можливого значення потужності еквівалентної дози (ПЕД), що досягається повною гомогенізацією джерела випромінювання контейнеру з ВЯП.

Розрахункова модель залізобетонного контейнеру з ВЯП, відрізняється від моделі, що була використана для розрахунку поля іонізуючого випромінювання у звіті [1], лише принципом гомогенізації паливної корзини з ВЯП. Для розрахунку було обрано точки представлені у звіті [1], кількість цих точок є необхідною і достатньою кількістю, що обумовлено конфігурацією поля енерговиділення реактору, конструкцією і експлуатацією контейнеру. Спочатку було виконано оцінку ПЕД за рахунок γ -квантів в точках, приведених у звіті [1] за допомогою програмного коду MicroShield 5 (MS5). Отримані результати мають прийнятну кореляцію з результатами розрахунків приведених у звіті [1], окрім значень ПЕД над поверхнею залізобетонної кришки контейнера зберігання відпрацьованого ядерного палива, отримані ПЕД значно нижчі ніж ті, що наведені у [1], (таблиця 1) (отримані значення ПЕД, приведені відносно відповідного значення представленого у звіті [1]). Після оцінки ПЕД програмним кодом MS5, було проведено розрахунок ПЕД за допомогою модуля SAS4 коду SCALE 4.4a. В результаті розрахунку була отримана задовільна збіжність з результатами, що наведено у [1]. Підвищення потужності дози γ -випромінювання на відстані 1 м від поверхні кришки контейнеру з ВЯП зумовлено специфікою розсіювання γ -квантів на внутрішніх елементах контейнеру. Значення ПЕД у таблиці 1 представлені тільки для кришки залізобетонного контейнеру з ВЯП. Отримані результати ПЕД свідчать про достатній ступінь консервативності розрахункової моделі і коректність розрахунку, що представлені в звіті [1].

Таблиця 1 – Результати розрахунку

Положення розрахункової точки	На поверхні кришки контейнеру		На відстані 1 м від кришки контейнеру	
	n	γ	n	γ
MS5 (без n in \rightarrow γ)	-	0.005	-	0.022
SCALE 4.4a	1.893	0.411	1.889	2.5

Перелік посилань:

1. «Отчет о результатах анализа радиационной защиты HI-STAR 190, HI-TRAC 190 и HI-STORM 190», HI-2084031, ред. 5

Студент 4 курсу, гр. ТЯ-32 Бідун А.В.
асистент Гашимов А.М.

РОЗРОБКА ПРОГРАМИ ПРОДОВЖЕННЯ СТРОКУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕНЕРГОБЛОКУ З РУ ВВЕР-1000

Існування і розвиток країни пов'язані зі споживанням електроенергії. Виробництво електроенергії на душу населення розглядається як важливіша характеристика рівня життя в країні. Україна відноситься до тих країн, що володіють потужною генеруючою ядерною галуззю. В Україні нараховується 15 енергоблоків, що виробляють половину електроенергії держави. Однак вже шість енергоблоків наразі перебувають на продовженому строку експлуатації. Актуальність даної роботи полягає у аналізі та пошуку рішень проблем пов'язаних з продовженням строку нормальної експлуатації.

В різних країнах існують різні підходи та програми для організації та виконання необхідних заходів. У розвинених ядерних державах роботи по техніко-економічній доцільності і обґрунтування можливості продовження термінів експлуатації енергоблоків АЕС проводяться з кінця 70-х років минулого століття. У результаті великого числа досліджень і узагальнення багаторічного досвіду встановлена принципова технічна можливість і економічна доцільність продовження призначеного терміну служби на 40 - 50 років і більше. Наразі припинення роботи енергоблоків після закінчення розрахункового строку експлуатації не практикується в жодній країні. Успішний досвід продовження мають США, Канада, Україна, Франція, Фінляндія. З 450 діючих у світі енергоблоків більше половини (249 реакторів – 55%) експлуатуються понад 30 років, з них 67 – більше 40 років.

Згідно Українського законодавства, рішення про доцільність здійснення заходів щодо продовження експлуатації енергоблока АЕС приймає експлуатуюча організація, виходячи із можливості забезпечення безпеки на рівні, який встановлено в чинних нормах та правилах з ядерної та радіаційної безпеки, шляхом проведення аналізу економічних факторів та технічного стану критичних елементів блока АЕС. Далі експлуатуюча організація розробляє програму з підготовки енергоблока АЕС до експлуатації у понадпроектний строк, в межах якої плануються організаційно-технічні заходи, спрямовані на забезпечення безпечної експлуатації енергоблока АЕС у понадпроектний строк.

В програмі встановлюються обсяги, склад, джерела фінансування та строки виконання конкретних організаційно-технічних заходів, спрямованих на підготовку енергоблока АЕС до експлуатації у понадпроектний строк, а саме: заходів щодо усунення або компенсації відступів від вимог чинних норм та правил з ядерної та радіаційної безпеки, які виконуються в межах галузевих програм підвищення безпеки. Заходів щодо стримування деградації в наслідок старіння, обґрунтування ресурсу, відновлення та заміни елементів енергоблока АЕС, інших заходів, розроблених за результатами виконання програми управління старінням. Саме розробка такої програми та здійснення аналізів безпеки – найважливіший етап у вирішенні доцільності та безпеки продовження строку експлуатації енергоблоків.

Ціль даної роботи полягає у дослідженні основних вимог до обґрунтування безпеки експлуатації енергоблоку АЕС з РУ ВВЕР-1000 у надпроектний термін експлуатації. Аналіз основних вимог та основних етапів програми продовження експлуатації АЕС з РУ ВВЕР-1000.

Перелік посилань:

1. Держатомрегулювання України, Наказ, Вимоги від 26.11.2004 № 181
2. Скалозубов В.І., Ключников О.О., Лещотна К.С. Основи продовження експлуатації АЕС із ВВЕР. м. Київ: "ВПОЛ", 2001.

МОЖЛИВІСТЬ РОБОТИ СЕРІЙНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ БЛОКІВ ВВЕР 1000 В РЕЖИМІ ПОДОБОВОГО РЕГУЛЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ

Внаслідок розвитку галузі атомної енергетики в основному розглядалися АЕС в умовах нормальної експлуатації. Такі режими можуть бути економічно доцільними з характерними для неї добовими та річними коливаннями споживання електроенергії. Ця проблема є актуальною з багатьох причин, таких як:

– частка електроенергії, що виробляється на АЕС України, зростає з 2013р. і у першому кварталі 2016 р. сягнула значення 54.6 % [1].

– маневрені потужності, якими володіє енергосистема України, становлять лише 9% від загального виробництва електроенергії, в той час як рекомендований рівень – 20%. Покриття «пікової» частини добового графіка агрегатами ГЕС і ГАЕС забезпечується лише на 40-50%. [1].

– більше 85% блоків ТЕС перевищили межу фізичного зносу (200 тис. год.), що підвищить частку генерації на АЕС у майбутньому [1].

В даній роботі розглянуто результати розрахункового моделювання [2] маневрених режимів експлуатації ВВЕР-1000 в режимі подового регулювання потужності АкЗ, виконаного в обґрунтування безпеки проведення випробувань по маневруванню потужністю на блоці № 2 Хмельницької АЕС з використанням різних способів здійснення маневру.

Враховуючи можливість виникнення незатухаючих аксіальних ксенонових коливань розподілу потужності на високих вигоряннях активної зони, були обрані моменти компанії, близькі до середини паливної компанії – 115 і 175 еф. год.

В роботі розглянуто два режими маневрування потужністю зі 100% до 80% на 6-8 год., з наступним відновленням вихідного значення потужності:

- Режим 1. Регулювання із використанням 10-ї групи СУЗ.

- Режим 2. Регулювання із використанням 10-ї групи СУЗ і повним зануренням центрального ОР СУЗ

За результатами розрахункового моделювання можна відзначити, що значення K_0 , K_g , K_q , K_V , A_0 не виходять за межі встановленими ТРБЕ на протязі часу маневрування потужності для режимів 1 і 2. Для режиму 2 значення K_0 , K_g , K_q , K_V вище, в середньому, на 3-4 %, але при цьому потрібне введення меншої кількості розчину борної кислоти для проведення маневру [2]. Таким чином результати експериментів (режими 1 і 2), отриманих при проведенні випробувань, підтверджують коректність виконаного моделювання [2] і вказують на можливість впровадження маневрених режимів на українських АЕС.

Перелік посилань:

1. Глушенко Р.С. Исследование ключевых аспектов внедрения режима суточного регулирования мощности на АЭС Украины [Текст] / Р.С. Глушенко// Журн. Технологический аудит и резервы производства. –2015. – №2/1(22).– С. 18 – 26.
2. Халимончук, В.А. Динамика реактора с распределенными параметрами в исследовании переходных режимов эксплуатации ВВЭР и РБМК. – К.: Основа, 2008. – 228с. – (Серия «Безопасность атомных станций»).

ТЕХНОЛОГІЯ ХІМІЧНИХ ПРОМИВОК ПОВЕРХОНЬ ТЕПЛООБМІНУ ПГ-1000

Основними вимогами при експлуатації АЕС є забезпечення надійності, безпеки та економічності роботи станції.

У 2 контурі АЕС відбуваються важливі фізико-хімічні процеси, які багато в чому визначають економічність і надійність роботи АЕС.

Зміна водно-хімічного режиму (ВХР) другого контуру повинна бути направлена на зниження швидкості ерозійно-корозійного зносу теплообмінних трубок парогенератора. Взаємодія води з конструкційними матеріалами проявляється у вигляді накопичення відкладень на цих же теплообмінних трубах ПГ, що створює умови для концентрування корозійно-агресивних домішок. Значний вплив на це надає гідродинаміка потоку, теплові навантаження, тепло- і масообмін в потоці рідини. Хімічні промивки ПГ приводять до утворення значних об'ємів тяжко перероблюючих рідких радіоактивних відходів, потребують додаткового часу на їх проведення, збільшують дозові навантаження персоналу. До того ж складність підтримки ВХР зв'язана із застосуванням для обладнання і трубопроводів різних конструкційних матеріалів (аустенітні хромонікелеві сталі, вуглецеві сталі, мідні сплави); і це не дозволяє підтримувати величину рН, яка відповідала б мінімуму швидкості корозії кожного з них, що примушує йти на встановлення компромісної величини і перешкоджає впровадженні перспективних технологій водного режиму.

Заміна матеріалу трубної системи конденсаторів турбін, ПВД і ПНД на титанові сплави або нержавіючу сталь є дорогавартісною, але ці затрати не можна порівняти з витратами, зв'язаними із заміною ПГ через пошкодження теплообмінних труб, які залежать в першу чергу від хімічних промивок[2].

Хімічні промивки поверхонь теплообміну ПГ-1000 складаються з трьох основних етапів. В даній роботі проаналізовано процеси, які відбуваються на кожному етапі:

- на 1 етапі відмивання при подачі миючого розчину спостерігається поступове зростання концентрації заліза і міді в розчині, відповідно зниженні комплексоутворюючих сполук, які витрачаються на розчинення заліза і міді.
- на 2 етапі при збільшенні концентрації миючого розчину в двое, спостерігається інтенсивне вимивання оксидів заліза, при цьому вміст окису міді витрачаються на ній, так як він був вимитий на 1 етапі.
- на 3 етапі здійснюється промивка апарата водою, при цьому рН підтримується не нижче 9, так як при менших значеннях можливе руйнування невимитих залишкових комплексів[1].

Враховуючи те що за наявності на теплообмінних трубах відкладень $150\text{г}/\text{м}^2$ і більше хімічна промивка ПГ проводиться в період ППР при температурі розчину для промивання а ПГ не вище 100°C . Склад розчину для промивання кожного етапу промивки оптимізований для ефективного видалення або оксидів заліза, або міді..

Перелік посилань:

1. Л.С. Стерман, В.Н. Покровский. Физические и химические методы очистки и обработки воды. - М.: Атоменергоиздат, 1991. – 131с.
2. Горохов А.К., Драгунов Ю.Г., Лунин Г.Л. Обоснование физической и радиационной частей проектов ВВЭР. – М.: Академкнига, 2001. - 494с.

ОЦІНКА ВПЛИВУ СЕЙСМІЧНОЇ ДІЇ НА БЕЗПЕКУ АЕС

У відповідності з нормативним документом НП 306.2.162-2010 «Вимоги до оцінки безпеки атомних станцій», імовірнісний аналіз безпеки АЕС (ІАБ) всіх рівнів повинен розглядати повний спектр вихідних подій аварії (ВПА) для всіх станів реакторної установки (РУ), включаючи зовнішні екстремальні події техногенного та природного характеру, такі як землетруси[1].

Оцінка впливу сейсмічної дії на безпеку АЕС є одним з найбільш трудомістких завдань при аналізі безпеки АЕС у зв'язку з необхідністю проведення великого комплексу геофізичних досліджень, розрахунків на міцність, кваліфікації обладнання і, власне, оцінки впливу сейсмічної дії. Усе різноманіття досліджень на дану тему виконано на основі двох підходів:

- оцінка запасу (граничної) сейсмостійкості (Seismic Margin Assessment, SMA);
- ІАБ по відношенню до сейсмічної дії (Seismic Probabilistic Safety Assessment, SPSA).

У цілях виконання оцінки впливу сейсмічної дії на безпеку АЕС найбільш широкого застосування набула методологія, яка полягає у синтезі підходів SMA і SPRA[2,3], що обумовлено наступним:

- метод SMA по своїй суті являється детерміністичним. У результаті використання методології SMA оцінюється лише достатність запасу по відношенню до рівня сейсмічної дії, обраного для оцінки;
- метод SPSA являється більш реалістичним, оскільки враховує відновлювальні дії персоналу, вклад різних груп ВПА у критерії безпеки та саму ймовірність виникнення землетрусу заданої магнітуди. Метод додатково дозволяє отримати профіль ризику по відношенню до всього спектра рівнів сейсмічної дії (Seismic Probabilistic Risk Assessment, SPRA), а також значення критеріїв безпеки;
- нормативний документ НП 306.2.162-2010 вимагає виконання сейсмічного ІАБ[1].

Головною особливістю комбінованого підходу являється визначення сейсмічної пошкоджуваності через сейсмостійкість HCLPF (High Confidence of Low Probability of Failure). Запас сейсмостійкості визначається як HCLPF систем безпечного зупину АЕС по відношенню до проектного землетрусу (ПЗ) або максимального розрахункового землетрусу (МРЗ) [3].

ІАБ по відношенню до сейсмічної дії являється новим для України методом аналізу безпеки АЕС. Враховуючи наявність зон сейсмічної активності, тенденцію до підвищення річної частоти землетрусів на територіях України та сусідніх держав, а також катастрофічні наслідки землетрусу при аварії на АЕС Фукусіма-1, результати SPSA доцільно врахувати при розрахунку частоти пошкодження активної зони (ЧПАЗ для ІАБ першого рівня) та частоти граничного аварійного викиду (ЧГАВ для ІАБ другого рівня) енергоблоків українських АЕС, як частину постфукусімських заходів по підвищенню безпеки.

Перелік посилань:

1. Вимоги до оцінки безпеки атомних станцій. НП 306.2.162-2010, затверджені наказом Держатомрегулювання України від 22.09.2010 №124, зареєстровані в Міністерстві юстиції України 21.10.2010 р. за №964/18259. – 12 с.
2. Methodology for Developing Seismic Fragilities: EPRI TR-103959: EPRI. – Palo Alto, California, 1994. – 320 p.
3. Kennedy R.P. «Overview of Methods for Seismic PRA and Margins Analysis Including Recent Innovations» /Kennedy R.P. // Proceedings of OECD/NEA Workshop on Seismic Risk. –Tokyo, Japan: –1999– P.43.

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ВАРІАНТІВ ПРОДОВЖЕННЯ ПРОЕКТНОГО ТЕРМІНУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕНЕРГОБЛОКІВ З РЕАКТОРОМ ВВЕР-1000

Термін продовження проектного терміну експлуатації енергоблока визначається двома основними факторами: технічним і економічним. До технічного фактору відноситься час, протягом якого прогнозується безпечна експлуатація критичних елементів, в першу чергу корпусу реактора. Економічним фактором являється комплекс економічних показників, які визначають інвестиційну привабливість реалізації проекту. Виходячи з оцінок ДНІЦ СКАР можна виділити такі можливі варіанти реалізації проектів по продовженню проектного терміну експлуатації:

1. Продовження проектного терміну експлуатації на 5 років;
2. Продовження проектного терміну експлуатації на 10 років;
3. Продовження проектного терміну експлуатації на 15 років.

Показники інвестиційної ефективності проекту продовження проектного терміну експлуатації енергоблоку АЕС визначаються з умов співвідношення капітальних затрат на його реалізацію, експлуатаційних витрат та прибутку від реалізації згенерованої електроенергії.

Капітальні затрати по варіантах прийняті по даних [1]. Експлуатаційні витрати та прибуток прийняті на підставі робіт ПАТ «КИЕП».

Показники інвестиційної ефективності проекту показані в таблиці 1.

Таблиця 1 – Показники інвестиційної ефективності проекту продовження терміну експлуатації енергоблоку АЕС з РУ ВВЕР-1000

Показник	Одиниця вимірювання	Значення		
		5 років	10 років	15 років
Чистий дисконтований дохід	млн. грн.	1238,432	2815,174	4350,975
Дисконтований термін окупності	років	5,37	7,63	9,03

При проведенні комплексної оцінки фінансово-комерційної ефективності проекту продовження терміну експлуатації енергоблоку АЕС з РУ ВВЕР-1000 були отримані граничні значення інвестиційних затрат, які склали для 5, 10, 15 років відповідно 5688.983, 9781.576, 12762.199. Відповідно до цього критичний відсоток збільшення капітальних затрат по варіантах склав 42%, 62%, 79%.

Можна однозначно стверджувати, що проект продовження проектного терміну експлуатації енергоблоку АЕС з РУ ВВЕР-1000 з встановленою потужністю в 1000 МВт, економічно можливий і оправданий з інвестиційної точки зору не залежно від терміну продовження експлуатації. Але найбільш перспективний варіант продовження на 15 років так, як цей варіант приносить найбільший дохід і має найбільший запас економічної ефективності. Враховуючи існуючі тренди варіант продовження проектного терміну експлуатації енергоблоків на 15 років є найбільш перспективним.

Перелік посилань:

1. Предварительный технико-экономический расчет расходов на продление эксплуатации энергоблоков АЭС Украины, Киев. ГНИЦ СКАР, 2004

АНАЛІЗ АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЙ ПРИ ВТРАТІ ТЕПЛОНОСІЯ ПЕРШОГО КОНТУРУ РЕАКТОРА ВВЕР-1000

Можлива втрата теплоносія першого контуру пов'язана з порушенням герметичності обладнання, втратою міцності і розривами трубопроводів та інших конструктивних елементів працюючих під високим тиском. Втрата теплоносія першого контуру може відбуватись в результаті розриву головних циркуляційних трубопроводів або трубопроводів під'єднаних до них допоміжних та аварійних систем, таких, як система спецводоочистки, система аварійного охолодження активної зони реактора та інші. Розміри пошкоджень можуть бути як малими, так і великим аж до поперечного розриву головного циркуляційного трубопроводу з безперешкодним витокком теплоносія через обидва його кінці. Цей випадок являє собою максимальну проектну аварію (МПА). Наслідки аварії з втратою теплоносія залежать від розміру течі. При малих течах активна зона може бути не пошкоджена, а при великих аваріях, включаючи МПА, зберегти активну зону реактора непошкодженою не вдасться, незважаючи на прийняття захисних мір.

Характер перехідних процесів при МПА в значній мірі визначається характером витокку теплоносія з першого контуру. В початковий момент аварії витрата теплоносія досягає великих значень. На АЕС з реактором ВВЕР-1000 витік відбувається приблизно за 10с, оскільки переріз головних циркуляційних трубопроводів на цих установках дорівнює $D_y=750\text{мм}$. Початкова стадія розвитку аварії характеризується хвилювими процесами в першому контурі. Перепад тиску в активній зоні коливається неодноразово змінюючи знак. В зв'язку з цим вже в самому початку МПА виникають умови для кризи теплообміну в активній зоні реактора. Температура оболонок найбільш напружених ТВЕЛів через декілька секунд після початку аварії досягає значень, перевищуючих $700-800^\circ\text{C}$. Це може призвести до пошкодження оболонок ТВЕЛів і виділенню в теплоносії радіоактивних продуктів, накопичених під оболонками. Максимальна температура оболонок ТВЕЛів, яка досягається на даному етапі, залежить від ефективності роботи системи аварійного охолодження активної зони реактора.

Розрив головного циркуляційного трубопроводу може відбутись в будь-якому місці на всій його довжині від входу в реактор до виходу з нього. Найбільш небезпечним є розрив трубопроводу на вході в реактор. В цьому випадку за рахунок гідравлічного опору довгої ділянки пошкодженої петлі, в тому числі опір гідрозатворів, якщо компоновка забезпечує умови для їх створення, в верхній камері реактора виникає підпір, що приводить до виникнення різниці рівнів води в активній зоні і в опускному каналі реактора.

Найбільш важлива радіохімічна проблема – розробка ефективних засобів утримання найбільш токсичних радіоактивних речовин в межах приміщень першого контуру шляхом сорбції, переводу в рідку фазу і т.д. для того, щоб полегшити вирішення питань герметизації приміщень і максимальним чином знизити небезпеку виходу газів за межі АЕС. Для оптимальної побудови засобів утримання активності необхідно продовжити вивчення процесів виходу радіоактивних речовин з активної зони при її пошкодженнях.

Перелік посилань:

1. Букринский А.М. Аварийные переходные процессы на АЭС с ВВЭР. - М.: Энергоиздат, 1982. - 142 с.

УДК 620.1

Студент 2 курсу, гр. ТЯ-51 Горбачов П.П.
Доц., к.т.н. Тимошенко О.В.

УДОСКОНАЛЕННЯ ВИПРОБУВАЛЬНОГО СТЕНДУ ZST ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ПОПЕРЕДНЬОГО НАПРАЦЮВАННЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛОСТІЙКОЇ СТАЛІ

При визначенні ресурсу елементів конструкцій на атомних та теплових станціях, що працюють в умовах складного термосилового навантаження особлива увага приділяється визначенню механічних характеристик матеріалів, що були використані при проектуванні. Особливо актуальним це питання є при визначенні залишкового ресурсу попередньо напрацьованих елементів, оскільки механічні характеристики безпосередньо входять до визначальних рівнянь за допомогою яких розраховується величина подальшої безпечної експлуатації об'єкта [1]. На сьогоднішній час велика кількість об'єктів теплоенергетичної галузі потребує проведення чергових регламентних робіт та аналізів поточного стану елементів їх інфраструктури, удосконалення існуючої лабораторної бази з метою підвищення точності отримання експериментальних даних. При оцінці залишкового ресурсу паропроводів у розрахунках використовується діаграма повзучості, яка отримана на зразках конструкційного матеріалу, що має напрацювання. Згадана діаграма може бути отримана на випробувальній установці ZST [2, 3], проте її система керування є застарілою. Враховуючи це, було проведено комплекс заходів, щодо модернізації випробувальної установки.

Система керування та контролю температури була побудована з використанням цифрових блоків керування, що дозволяють задавати та витримувати у заданому діапазоні необхідну температуру випробування. Зокрема, використання у схемі регулятора температури МикРА 600 дає можливість встановлювати випробувальний діапазон з дискретністю 1°C, а сам регулятор має функцію інтелектуальної стабілізації, за допомогою якої мінімізується вихід поточного значення температури камери за межі вказаного допустимого інтервалу. При цьому нелінійність контрольного значення межі діапазону не перевищуватиме 0,5% його вказаної верхньої межі. Для забезпечення виводу та запису даних на персональний комп'ютер при побудові блока керування були використані програмовані індикатори МикРА ИЗ за допомогою яких здійснюється передача даних через інтерфейс RS 232. Це дозволяє представляти дані випробувань безпосередньо у вигляді графіків, що значною мірою скорочує час, необхідний на опрацювання експериментальних даних. При розробленні блока керування була поставлена вимога, щодо можливості автоматичного контролю часу випробування, що була реалізована за допомогою введення в схему блоків МикРА СТ201, які дозволяють, контролювати час проведення експерименту шляхом встановлення його граничної величини, після якої виконується автоматичне відімкнення живлення нагрівальних елементів.

Проведена модернізація випробувальної установки дозволила підвищити точність отримання експериментальних даних, значною мірою автоматизувати процес проведення експерименту та скоротити час на обробку отриманих параметрів з можливістю відображення їх напряму у графічному вигляді.

Перелік посилань:

1. В.В. Кривенюк, Д.Р. Складяревский Особенности прогнозирования характеристик длительной прочности металлических материалов при долговечностях более 100000 ч. // Проблемы прочности, 1994, №12, с. 37-42.
2. ГОСТ 3248-81 «Металлы. Метод испытания на ползучесть»
3. ГОСТ 28845-90 «Машины для испытания материалов на ползучесть, длительную прочность и релаксацию. Общие технические условия».

НЕОБХОДИМОСТЬ ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ПОДДЕРЖАНИЯ КУЛЬТУРЫ БЕЗОПАСНОСТИ

Ядерная безопасность требует постоянного поиска в методах совершенствования производственной деятельности. Сегодня технические и организационные мероприятия по обеспечению безопасности должны осуществляться на основе благоприятных социальных изменений. Это значит, что любая деятельность, связанная с производством электроэнергии на АЭС, начиная с выбора площадки и проектирования, заканчивая эксплуатацией оборудования и подготовкой персонала, должна быть пронизана психологией безопасности. Такая психология безопасности является ключевым элементом культуры безопасности [1].

Безопасность работы АЭС напрямую зависит от надежности техники и надежности оперативного персонала. Одним из определяющих параметров надежности персонала является безошибочность, то есть вероятность безошибочной работы в течение определенного времени.

В ядерной энергетике процент аварий по вине персонала достаточно велик. По разным оценкам, примерно 15-40 % всех аварий на АЭС, в том числе и самых серьезных, прямо или косвенно связаны с ошибками персонала [2].

Целью моей работы является указать на то, как человеческий фактор влияет на нормальную эксплуатацию АЭС, и показать важность развития культуры безопасности для всех категорий руководящего персонала, занятого в эксплуатации, техническом ремонте и ремонте энергоблоков.

В данной работе установлены ключевые факторы влияния на человеческий фактор, так же, в некоторой мере были раскрыты следующие темы: "Основные положения и основные характеристики культуры безопасности" и "Роль человеческого фактора в обеспечении культуры безопасности".

Теоретическое изучение принципов культуры безопасности само по себе не обеспечит установления высокой культуры безопасности. Для этого нужна тщательная и настойчивая работа по воспитанию культуры безопасности у себя и у подчиненного персонала. Но прежде чем начать такую работу, нужно знать ее цель и содержание [3].

Так же показаны цели и задачи психофизиологического обследования персонала, который необходим для исследования уровня развития профессионально важных качеств работника и рекомендаций на должность лиц, которые по состоянию ПВК могут эффективно выполнять свои профессиональные обязанности.

Перечень ссылок:

1. Жак Либман "О ядерной безопасности" ИПСН., 1997.
2. Доклад Международной консультативной группы по ядерной безопасности (МАГАТЭ) "Основные принципы безопасности атомных электростанций", 1989 г. (INSAG-3).
3. Материалы доклада В.Л. Ерсака, представленные на конференции "Культура безопасности на АЭС Украины", проходившей 26-27 декабря 2002 года в г. Киеве.

Студент 3 курсу, гр. ТЯ-42 Дяченко А.Д.
Доц., к.ф.-м.н. Лещенко Б.Ю.

ПЛАЗМА ДЛЯ МІЖНАРОДНОГО ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ТЕРМОЯДЕРНОГО РЕАКТОРА (ITER)

Міжнародний експериментальний термоядерний реактор (ITER) – проект у якому взяли участь 34 країни світу і провідні вчені всієї наукової спільноти. Електричні станції, які базуються на розпаді важких ядер вже не можна назвати майбутнім енергетики, так як це теперішнє. І на зміну хочуть ввести ТЯЕС, де основним фізичним процесом буде синтез ядра гелію з ядром дейтерію або ядром тритію з виділенням неймовірної кількості нейтронів, що будуть сповільнюватися шаром щільної речовини. Станції такого типу будуть здатні забезпечити людство, навіть, враховуючи рівень росту технологій і колосальні потреби енергії промисловістю і населенням.

Розвиток термоядерного синтезу – перспективна галузь, так як вирішення проблем, пов'язаних з ним стане ключем до енергетичної незалежності людства і переходу на зовсім інший рівень промисловості. Але це абсолютно інноваційний проект, тому вчені зіштовхнулися з великою кількістю перепон, пов'язаних з проектними, технологічними та експлуатаційними вимогами до термоядерних реакторів.

В даній роботі розглянуто головні проблеми, пов'язані з плазмою для ITER та шляхи їх подолання. Загалом, нам необхідно, щоб у термоядерному реакторі були забезпечені 3 основні умови. Перша - температура у зоні, де відбувається реакція повинна становити 150 мільйонів градусів Цельсія. Тому ми і говоримо про плазму – високотемпературний потік позитивних іонів та електронів. По-друге потрібно підтримувати густину не нижче 100 тисяч млрд. частинок в одному сантиметрі кубічному. І найважливіша третя умова, щоб реакція не затухала, а ми могли її підтримувати на довгий проміжок часу [1].

Ще із-за надвисокої температури реактора виникає наукова проблема пов'язана з тим, що при підвищенні тиску в плазмі виникають складні і нестабільні режими роботи, що вимагає низку рішень технологічних задач. Одним з таких завдань – втримати гаряче нестабільне паливо – плазму ізотопів водню всередині реактора, не контактуючи з його стінкою. При контакті відбувається швидке охолодження і реакція зупиниться. Плазма утримується завдяки впливу магнітного поля на неї.

Паливом для термоядерного реактору є дейтерій і тритій. При забезпеченні реактора дейтерієм проблем не виникає, оскільки його добувають в достатній кількості з морської води. Виникають проблеми з тритієм. А саме, напрацьовувати та зберігати тритій не вигідно, тому розробляють способи отримання його в середині реактора. Крім того, під час роботи реактора, тритій захоплюється стінкою реактора погіршуючи її міцність і теплопровідність. Радіоактивність стінок камери реактора, за рахунок насичення тритієм, буде наростати і в час зупинки токамака – тороїдальної установки для магнітного утримування плазми, людина уже не зможе зайти в середину камери, щоб провести ремонт [2].

Ціль даної роботи є дослідження фізичних процесів, що відбуваються у плазмі, яка буде використовуватися в міжнародному експериментальному термоядерному реакторі (ITER).

Перелік посилань:

1. Кадомцев Б.Б. “Физика плазмы и проблема термоядерных реакций” - 1958, Т III, Изд-во АН СССР с. 7-37.
2. Шафранов В.Д. “Первый период истории термоядерных исследований в Курчатовском институте”, УФН 171 877, 2013

АНАЛІЗ РАДІАЦІЙНИХ НАСЛІДКІВ ПРИ ТЯЖКИХ АВАРІЯХ НА АЕС

На стадії проектування АЕС розглядається набір проектних аварій і дій по локалізації і ліквідації їх наслідків. Внаслідок реалізації важких запроектованих аварій на АЕС різних країн (Three Mile Island, ЧАЕС та Фукусіма) виникла необхідність проведення аналізу радіаційних наслідків важких аварій. При виникненні важкої аварії, яка супроводжується пошкодженням ВТВЗ в активній зоні чи басейні витримки, радіоактивні викиди вище допустимих величин спостерігаються за межами території санітарно-захисної зони АЕС. Ціллю виконання аналізу важких аварій є планування протиаварійних заходів з ціллю мінімізації впливу іонізуючого випромінювання на населення.

Важкі аварії характеризуються виходом з першого контуру радіоактивних ізотопів характерних для паливної матриці, зокрема ізотопів плутонію. Важкі аварії характеризуються різними шляхами потрапляння радіоактивних аерозолів в навколишнє середовище, крізь нещільності ГО, вентиляційну систему, відкриті отвори у разі відмови ГО. Для реакторів типу ВВЕР-1000 така аварія характеризується довготривалим виходом пари в атмосферу. За час ліквідації аварії напрямок вітру може змінюватись, тому точно розрахувати розмір та конфігурацію зони зараження практично неможливо. Крім того, викинуті в атмосферу клуби пару несуть з собою дрібнодисперсні аерозолі, які можуть довгий час перебувати у зваженому стані, та поширюватись на великі відстані.

Ступінь розсіяння аерозолів в атмосфері в різноманітних погодних умовах різниться, і визначається в основному швидкістю вітру і температурним градієнтом в повітрі. Також, концентрація в атмосфері залежить від висоти труби, швидкості витoku пари з труби і її перегріву відносно навколишнього повітря. Концентрація радіоактивних речовин залежить також від їх осадження на поверхню землі, та подальшого змиву атмосферними опадами, що призведе до радіоактивного забруднення води [1].

Для аналізу приземної концентрації необхідно знати наступні параметри: висоту викиду (висоту труби); активність та об'єм радіоактивної газо-водяної суміші, що викидається з труби; напрям та швидкість вітру; частоту повторюваності напрямків та швидкостей вітру; категорію стійкості погодних умов; швидкість гравітаційного осадження радіоактивних речовин; швидкість радіоактивного розпаду та інше.

Аналіз приземної концентрації радіоактивних речовин під час аварій з розплавленням паливної матриці є дуже важливим, так як саме за допомогою нього можна визначити вплив на населення. При потрапленні в радіоактивну хмару, радіоізотопи йоду і цезію будуть накопичуватись в організмі людини. Оскільки дія радіоактивної хмари буде короткочасна, основний вклад в дозу опромінення буде давати внутрішнє опромінення за рахунок розпаду ізотопів йоду та плутонію, що потрапили всередину організму, зокрема в щитовидну залозу. Населенню, що потрапить під вплив радіоактивних викидів, необхідно буде провести йодну профілактику, а в разі перевищення допустимих доз опромінення проводити евакуацію населення.

Ціллю даної роботи є розробка алгоритму аналізу радіаційних наслідків важких аварій, який забезпечить отримання достовірних результатів аналізу, що дозволить виконати планування протиаварійних заходів для забезпечення захисту населення, що проживає у районах прилеглих до санітарно-захисної зони АЕС.

Перелік посилань:

1. Козлов В.Ф. Справочник по радиационной безопасности. - 4-е изд., Перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 352с.

Магістрант 5 курсу, гр. ТЯ-61м Кайдик Б.В.
Керівник НЦДК ІЯД НАН України, к.ф.-м.н. Гаврилюк В.І.
Ст.викладач, к.т.н. Бібік Т.В.

ВПРОВАДЖЕННЯ АІМАС НА УКРАЇНСЬКИХ ЯДЕРНИХ УСТАНОВКАХ

АІМАС (Програма автоматизованої інвентаризації матеріалів) - це комп'ютерна програма для обліку і контролю ЯМ. АІМАС спроектований, щоб відслідковувати переміщення спеціального ЯМ всередині установки і готувати інвентарні звіти для Державної інспекції ядерного регулювання України (ДІЯРУ) [1].

АІМАС має функції, за допомогою яких користувач може адаптувати базу даних за допомогою введення додаткових певних користувачем полів (ПКП), а не засобами програмування. Користувач може доповнити структуру бази даних полями, в яких зберігається специфічна для даної установки інформація про ядерний матеріал або про використувані ним або міжнародними інспекторами пломб або будь-якої іншої інформації, яка потрібна для правильного ведення обліку. АІМАС може бути встановлений, як на одному персональному комп'ютері так і на комплексі комп'ютерів.

На Україні робота з програмою АІМАС почалася в 1998 році, коли Аргонська національна лабораторія (Міненерго, США) надала українським установкам інструкції по використанню системи АІМАС і інструкції по застосуванню пристроїв, які реєструють втручання. Основні функції, які повинна була виконувати система АІМАС, це:

- Реєстрація змін інвентарної кількості ядерного матеріалу в ЗБМ та реєстрація переміщень інвентарної кількості ядерного матеріалу всередині і між КТВ однієї ЗБМ.
- Формування звітів про зміну або переміщення ядерного матеріалу, формування всіх звітних документів, які відповідають вимогам міжнародних гарантій.
- Порівняння результатів фізичної інвентаризації ядерних матеріалів з його зареєстрованою інвентарною кількістю.
- Формування головного і додаткових журналів для усіх типів ядерного матеріалу.

За результатами проведених випробувань стало ясно, що програма АІМАС може бути використана в якості базової програми для розробки автоматизованої системи обліку і контролю ядерних матеріалів для всіх українських ядерних установок, незважаючи на всі їхні відмінності і несхожість.

У 2002 Аргонська національна лабораторія (ANL) передала базовий набір кодів і документацію Навчальному Центру імені Дж. Кузьмича Інституту ядерних досліджень для подальшого доопрацювання та впровадження в систему обліку та контролю ядерних матеріалів на ядерних установках України. Для реалізації АІМАС на Україні, потрібно було розробити технічну документацію, яка б дозволила привести її у відповідність до вимог українського законодавства. Ця технічна документація була затверджена відповідно до процедур, що існують в Україні, і Навчальний центр виконав функції координатора цього процесу АІМАС.

З моменту отримання програми АІМАС і до сьогодні проводилися заходи із доопрацювання виявлених помилок і неточностей фахівцями НЦДК і AVIS Corporation (Україна), а також проведено інсталяції програми на установках для тестування працездатності програми на місцях з даними наближеними до реальних з наступним отриманням звітів про функціонування програми.

За результатами звітів отриманих з установок були зроблені висновки що після усунення деяких неточностей і доопрацюванням додаткових функцій АІМАС можна використовувати не тільки на дослідницьких реакторах, а й на АЕС.

Перелік посилань:

1. За матеріалами внутрішнього електронного ресурсу НЦДК ІЯД НАН України/Руководство пользователя системы АІМАС v.2.3.5

МЕТОДОЛОГІЯ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ ФІЗИЧНОГО ЗАХИСТУ АЕС ЗГІДНО З ВИМОГАМИ ЧИННОГО ЗАКОНОДАВСТВА УКРАЇНИ

Необхідність у дослідженні систем фізичного захисту викликано великим занепокоєнням міжнародної спільноти можливістю вчинення диверсії щодо ядерних установок та інших радіаційно-небезпечних об'єктів з наступним викидом в оточуюче природне середовище великої кількості радіоактивних матеріалів, що супроводжуватиметься значним опроміненням персоналу, населення та радіоактивним забрудненням довкілля.

Державі слід застосовуючи керування ризиками забезпечувати здатність державного режиму фізичного захисту обмежувати і утримувати ризики несанкціонованого вилучення і саботажу на прийнятному рівні. Ризиком можливо керувати шляхом підвищення ефективності системи фізичного захисту. Ефективність системи фізичного захисту може бути підвищена, наприклад, за рахунок застосування багато ешелонованого захисту чи формування і підтримання культури фізичної ядерної безпеки [1].

Основами організації фізичного захисту є те, що експлуатуюча організація, ліцензіат визначає, створює та забезпечує функціонування системи фізичного захисту [2]. Система фізичного захисту має забезпечити:

- своєчасне виявлення правопорушника;
- затримку правопорушника;
- адекватне реагування.

Система фізичного захисту створюється, виходячи з принципів:

- глибокоешелонованого захисту;
- диференційованого підходу;
- збалансованого захисту;
- мінімальних наслідків при відмові одного елемента системи.

Відповідно до зазначених вище вимог для створення надійних систем фізичного захисту ядерних установок, до яких відносяться і атомні електричні станції, та ядерних матеріалів, наявних на майданчику атомної електричної станції, необхідне проведення попереднього моделювання системи фізичного захисту, та її перевірка на спроможність відповідати на зовнішні і внутрішні загрози.

Моделювання систем фізичного захисту атомних електричних станцій і їх перевірка на надійність проводиться за наступними етапами:

1. Власно розробка моделі системи фізичного захисту з зазначенням технічних і організаційних засобів захисту.
2. Опис характеристик всіх технічних і організаційних засобів захисту.
3. Чисельне моделювання (перевірка на надійність) системи фізичного захисту.
4. Внесення необхідних коректив у модель системі фізичного захисту для приведення характеристик системи у відповідність до вимог чинного законодавства України, якщо це потрібно.

Перелік посилань:

1. Nuclear security recommendations on physical protection of nuclear material and nuclear facilities (INFCIRC/225/revision5): recommendations — Vienna: International Atomic Energy Agency, 2010.p.; 24 cm. — (IAEA nuclear security series; no 13)
2. Наказ Державного комітету ядерного регулювання України від 04.08.2006 №116 «Про затвердження Правил фізичного захисту ядерних установок та ядерних матеріалів»

Студент 4 курсу, гр. ТЯ-31 Кальян Г.А.
Доц., к.т.н. Коньшин В.І.

ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ РЕАКТОРНИХ УСТАНОВОК З ВОДЯНИМ ОХОЛОДЖЕННЯМ НА ПРИКЛАДІ РЕАКТОРУ ТИПУ ВПБЕР-600

Сучасний етап розвитку ядерної енергетики, як за кордоном, так і в нашій країні характеризується пріоритетним завданням підвищення безпеки діючих АЕС і створення реакторів підвищеної безпеки для АЕС нового покоління. Перспектива розвитку ядерної енергетики визначається можливістю гарантованої безпеки населення і навколишнього середовища. Високий рівень безпеки досягається за рахунок вдосконалення активних, введення пасивних захисних і локалізуючих систем, а також послідовної реалізації концепції внутрішньої безпеки. Створення реакторів нового покоління, що мають такі властивості, дозволяє забезпечити стійкість до відмов обладнання та помилок персоналу, обмежити радіаційні наслідки найважчих аварій, виключити необхідність евакуації населення [1].

ВПБЕР-600 - це водо-водяний інтегральний реактор, розміщений у страхувальному корпусі для локалізації аварій, пов'язаних із розгерметизацією трубопроводів допоміжних систем першого контуру або корпусу. Інтегральне виконання характеризується розміщенням в одному корпусі активної зони з робочими органами СУЗ, теплообмінної поверхні парогенератора і парогазового компенсатора тиску, функцію якого виконує верхній об'єм корпусу реактора над рівнем теплоносія [1].

Страховальний корпус є пасивним захисним і локалізуючим пристроєм, що забезпечує безпеку при розриві трубопроводів і розгерметизації корпусу реактора в межах технічно можливої величини. Він розрахований на тиск, що виникає при розриві першого контуру, і служить засобом утримання активної зони під рівнем води, розхолодження реактора і запобігання викидів радіоактивних продуктів [1].

Система безперервного відводу тепла постійно знаходиться в роботі і тому не вимагає спрацювання будь-яких пристроїв при необхідності аварійного розхолодження реактора [1].

Пасивні системи аварійного відведення теплоти включають в себе 2 блоки теплообмінників, що утворюють систему безперервного і пасивного відведення теплоти, кожен з яких відводить теплоту в баки запасу води. Ця система працює при природній циркуляції. Теплота відводиться через проміжний контур при тиску вищому, ніж в реакторі [2].

Важливою особливістю є використання самоспрацьовуючих пристроїв, за допомогою яких знеструмлюється частина приводів СУЗ, достатня для виконання функцій аварійного захисту, минаючи ланцюги автоматики по прямій дії тиску в реакторі або страхувальному корпусі [2].

Прийняті проектні рішення та якісно новий рівень безпеки виключають необхідність евакуації населення, дозволяють розміщувати АЕС недалеко від міст та інших населених пунктів, великих енергоспоживачів, що свідчить про перевагу ВПБЕР-600.

Перелік посилань:

1. Мітенков Ф.М, Водяний підвищеної безпеки енергетичний реактор ВПБЕР-600 для атомних станцій нового покоління. /Мітенков Ф.М, Пономарьов-Степовий Н.Н., Антоновський Г.М. та ін. // Атомна енергія, 1992, т. 73, вип. 1, с. 6-13.

2.Іонайтис Р.Р. Удосконалення системи аварійної зупинки ЯР. // Річний звіт НДКІЕТ-1992. М: ГУП НДКІЕТ, 1992. - С.127-129.

РОЗРОБКА КОМПЕНСУЮЧИХ ЗАХОДІВ ДЛЯ ОБЛАДНАННЯ СИСТЕМ ВАЖЛИВИХ ДЛЯ БЕЗПЕКИ АЕС, ЯКЕ МАЄ СТАТУС "КВАЛІФІКАЦІЯ НЕ ВСТАНОВЛЕНА"

Більшість атомних станцій, в світі, були введені в експлуатацію протягом останніх 30 років. З п'ятнадцяти діючих в Україні енергоблоків АЕС до 2020 року закінчується проектний термін експлуатації для дванадцятьох. Тому було розглянуте рішення про оцінку стану обладнання АЕС з метою продовження терміну експлуатації, щоб запобігти дефіциту генерації електроенергії.

За цей період часу, події, які впливали на встановлене обладнання змінили наші знання про його роботу в жорстких умовах експлуатації. В результаті, розвивалися вимоги ліцензування, були розроблені нові національні та міжнародні стандарти, а також були виявлені недоліки в проектуванні, експлуатації та продуктивності встановленого обладнання. Багато станцій зазнали змін в їхній фізичній конфігурації, в порівнянні до тих, які були введені в експлуатацію. Ці зміни можуть вплинути на поточний стан кваліфікації обладнання. Програма збереження кваліфікації є способом забезпечення безпеки АЕС, гарантуючи, що обладнання буде виконувати свої функції безпеки на їх вимогу протягом усього встановленого терміну, навіть при сейсмічних впливах та/або «жорстких» умовах навколишнього середовища [1].

При негативних результатах виконання підвищення кваліфікації обладнання підлягає заміні на кваліфіковане. У разі неможливості виконання заміни мають бути розроблені і погоджені з Держатомрегулювання компенсуючі заходи [2].

Але у будь-якому з цих випадків обраний варіант підвищення кваліфікації повинен задовольняти вимогам до ліцензування АЕС і мінімізувати загальну вартість програми модернізації. В сучасних реаліях, для заощадження фінансових ресурсів, розробка компенсуючих заходів виступає альтернативою до заміни обладнання, а іноді є навіть в пріоритеті. Існує широкий спектр обладнання, яке має статус «кваліфікація не встановлена», проте воно піддається певній категоризації. Відмінною рисою даного поділу є та, що в першу чергу потрібно звертати увагу на можливі сейсмічні впливи та/або «жорсткі» умови навколишнього середовища. Тому важливим кроком є створення типового набору заходів для окремої категорії обладнання, що в подальшому скоротить витрати по часу для їх підбору та впровадженню.

Перелік посилань:

1. IAEA Equipment qualification in operational nuclear power plants: upgrading, preserving and reviewing. Safety Reports Series No 3, 1998.
2. СТП 0.03.050-2009 Квалификация оборудования и технических устройств АЭС. Общие требования.

ЗМЕНШЕННЯ ВОДООБМІНУ ПРИ ДОБОВОМУ РЕГУЛЮВАННІ ПОТУЖНІСТЮ РУ ВВЕР-1000

На сьогоднішній день, найбільшою проблемою України у сфері енергетики є невідповідність виробленої та спожитої електроенергії. Доля атомної енергетики, на ринку зростає і на сьогоднішній день становить понад 56%, а установок, що працюють в піковому режимі - зменшується. Включення і виключення великої кількості споживачів, що відбувається одночасно, викликає коливання перетоків потужності. Тому реальні графіки навантаження виглядають не плавними кривими, а коливаннями з більшою чи меншою частотою і амплітудою з широким спектром діапазону. Всі ці коливання впливають на економічність роботи, так як в піковому режимі відпрацьовують тільки теплові та гідроелектростанції, що мають значно вищу ціну за кіловат виробленої електроенергії. Це ще більше погіршує ситуацію. Рішенням цієї проблеми є введення роботи атомних енергоблоків в маневреному режимі.

Якщо звернути увагу на досвід країн, де частка ядерної енергетики в національній структурі електроенергії є настільки великою, що енергогенеруючі компанії були змушені впровадити режими маневрування потужністю на своїх АЕС, з тим щоб мати можливість адаптувати подачу електроенергії до щоденних, сезонних або інших змін в попиті на електроенергію. Зокрема, прикладом може бути досвід Франції, де більше 75% електроенергії виробляється на АЕС, що обумовлює необхідність роботи ядерних реакторів в режимі циклічного навантаження.

Для оптимізації роботи єдиної енергосистеми з характерними для неї добовими коливаннями споживання електроенергії потрібно мати змогу регулювати потужність вироблення електроенергії в рамках 100-80% від номінальної.

Після успішної дослідної реалізації маневреного режиму на 2-му енергоблоці Хмельницької АЕС, фахівці вирахували оптимальний графік зміни теплової потужності реактора: • розвантаження з 100% до 80% за час - 1год.; • робота на потужності 80% протягом 7год.; • підйом до потужності 100% за час - 2год.; • робота на потужності 100% протягом 14год [1].

Режим маневрування супроводжується появою ксенонових коливань, які за певних умов можуть мати незатухаючий характер, що в свою чергу призводить до виникнення низки проблем, в тому числі і перекосу поля енерговиділення. Тому, реалізація режиму, призводить до ускладнення в управлінні реакторною установкою.

На сьогоднішній день, глобальною проблемою у сфері маневрених режимів є оптимізація проведення зміни потужності. Обидва засоби впливу на реактивність при зміні потужності реактора ВВЕР, зміна положення ОР СУЗ та зміна концентрації борної кислоти, мають певні недоліки їх застосування. Зокрема, зміна положення ОР СУЗ викликає значні перекоси поля енерговиділення та аксіального офсету. В свою чергу, зміна концентрації борної кислоти призводить до збільшених об'ємів водообміну теплоносія першого контуру, що в свою чергу може суттєво збільшити кількість радіоактивних відходів.

Метою роботи є спроба знайти оптимальний режим маневрування потужності, що забезпечить мінімальний об'єм водообміну теплоносія першого контуру, та забезпечить виконання критеріїв прийнятості в частині обмежень на нерівномірність поля енерговиділення.

Перелік посилань:

1. Халимончук В.А. “Ксеноновые колебания мощности на ВВЭР-1000”, Киев, Ядерная и радиационная безопасность, 2003, №2, с. 95-107с. 41-46.

ІМОВІРНІСНИЙ АНАЛІЗ БЕЗПЕКИ 1-ГО РІВНЯ ДЛЯ БАСЕЙНУ ВИТРИМКИ ЕНЕРГОБЛОКА З ВВЕР-1000

Імовірнісний аналіз безпеки є одним з найбільш дієвих і ефективних інструментів, в оцінці ризику експлуатації діючих і проєктованих енергоблоків АЕС. Виконання робіт з імовірнісного аналізу безпеки для визначення наслідків від аварій, пов'язаних з порушенням тепловідведення від басейну витримки і перевантаження палива енергоблоку АЕС можна розділити на кілька наступних етапів: розробка методичного керівництва, проведення збору і обробки баз даних, аналіз вихідних подій аварій в басейні витримки та перевантаження, кількісна оцінка, аналіз і інтерпретація результатів, моделювання аварійних послідовностей для басейну витримки, інтеграція ймовірнісної моделі.

Басейн витримки призначений для наступного: транспортування та розміщення відпрацьованого палива, витримка відпрацьованого палива до його вивезення з реакторного відділу, а також для тимчасового зберігання відпрацьованих стрижнів з поглиначом, що вигорає. При визначенні експлуатаційного стану басейну витримки враховуються наступні аспекти: режим роботи басейну витримки, концентрація борної кислоти, температура води, рівень води в басейні витримки, кількість ТВЗ у басейні витримки, готовність і конфігурація систем безпеки і системи охолодження басейну витримки [1].

На нормальну експлуатацію системи зберігання відпрацьованого палива та системи розхолодження басейну витримки впливають такі аспекти: порушення герметичності відсіків; зменшення концентрації борної кислоти у воді басейну витримки; відмови вантажопідіймальних машин; порушення тепловідведення від басейну витримки; припинення циркуляції води; неможливість подачі води від спринклерної системи в аварійних режимах; відмови систем, що забезпечують роботу системи розхолодження.

Для виконання ймовірнісного аналізу безпеки для басейну витримки енергоблоку використовувався метод малих дерев подій і великих дерев відмов. Таким чином, усі важливі деталі та аспекти були системами які в явному вигляді моделювалися тільки на рівні дерев відмов. На рівні дерев подій в явному вигляді моделюються тільки феноменологічні або функціональні залежності. Кожне дерево подій починається з конкретної вихідної події аварії, яке фактично являє собою групу однотипних вихідних аварій. За результатами моделювання аварійних послідовностей для басейну витримки, вихідні події групують та утворюють ряди з схожих подій [2].

Системи, необхідні для досягнення безпечного кінцевого стану у басейні витримки, групуються за функціями безпеки, які використовувалися при побудові дерев подій і аналізі аварійних послідовностей. При виконанні ймовірнісного аналізу безпеки басейну витримки енергоблоку АЕС були визначені наступні категорії функцій безпеки: підтримання концентрації розчину борної кислоти, відведення тепла від БВ, забезпечення необхідного рівня води в БВ, забезпечення електропостачання. При розробці дерев подій ідентифікуються послідовності подій, які можуть призводити до реалізації певного кінцевого стану. В рамках ймовірнісного аналізу безпеки, під небажаними наслідками аварійних послідовностей розуміють порушення відповідних критеріїв прийнятності.

Перелік посилань:

1. Окончательный отчет по анализу безопасности. Том 19. Глава 19 Вероятностный анализ безопасности. Хмельницкая АЭС. Энергоблок №2. ПАОКИЕП.
2. 21.1.70.ОБ.05.03 Техническое обоснование безопасности. Блок №1 Запорожская АЭС. ОАО ХИ «Энергопроект»

МЕТОДИКА ПРОДОВЖЕННЯ ТЕРМІНУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ РЕАКТОРІВ ВВЕР

Однією з основних завдань для атомної енергетики України є продовження проектних термінів експлуатації енергоблоків діючих атомних електростанцій (далі АЕС) за умови забезпечення їх безпечної та надійної експлуатації. Це визначається тим, що атомні електростанції у сучасний час генерують половину всієї електроенергії, проектний термін служби 9 енергоблоків АЕС закінчується у цьому десятилітті, а економічна криза не дозволяє здійснювати введення нових компенсуючих потужностей. Світовий досвід експлуатації АЕС показав, що проектний термін експлуатації не є граничним і може бути продовженим.

Ухвалення рішення про продовження проектного терміну експлуатації енергоблоку АЕС або його зняття з експлуатації визначається технічною реалізацією у поєднанні з економічною доцільністю. Це означає, що повинна бути доведена можливість тривалої надійної роботи обладнання, яке практично неможливо замінити (корпус реактора, трубопроводи 1 контуру і т.п.), а витрати на проведення заходів щодо забезпечення безпечної експлуатації будуть менші доходу від реалізації виробленої електроенергії. Необхідно розглядати продовження експлуатації понад призначеного терміну служби як на рівні енергоблоку в цілому так і на рівні елементів і систем, оскільки, саме вони визначають залишковий термін служби, необхідний для продовження експлуатації енергоблоку [1].

Все зводиться до різних шляхів управління ресурсними характеристиками елементів, що включає технічне обслуговування, ремонт, модернізацію, зміну умов експлуатації та перепризначення, а також заміну еквівалентну на цьому рівні виведення з експлуатації, конкретного елемента, термін служби якого вичерпано.

Одним з основних напрямків діяльності з управління ресурсними характеристиками елементів і обладнання енергоблоку АЕС є управління старінням, яке представляє собою комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на своєчасне виявлення і підтримку у прийнятних межах деградації, викликаной старінням. Воно включає в себе діяльність по оцінці та діагностуванні технічного стану, вивченні процесів деградації та виробленні заходів, що коректуються, виробленні пропозицій по продовженню терміну служби або заміни окремих елементів і устаткування. Важливим напрямком діяльності з управління старінням систем і устаткування енергоблоків АЕС є оптимізація обсягу та термінів технічного і ремонтного обслуговування і випробувань, а також модернізація систем контролю і управління, розробка і впровадження систем моніторингу технічного стану. Методи продовження термінів експлуатації реакторів, і будуть об'єктом вивчення в рамках розробки дипломної роботи.

Перелік посилань:

1. Комплексна програма робіт щодо подовження терміну експлуатації діючих енергоблоків атомних електростанцій, затверджена Розпорядженням КМУ від 29 квітня 2004 року № 263-р..

ПОПЕРЕДНЯ ОЦІНКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТЕПЛОБМІННИКІВ СИСТЕМИ РОЗХОЛОДЖЕННЯ БАСЕЙНУ ВИТРИМКИ ЕНЕРГОБЛОКУ №3 ВП ЮУАЕС

Світова ядерна енергетика характеризується тим, що до 2020 року приблизно 80% діючих енергоблоків АЕС вичерпають проектний ресурс. Водночас досвід експлуатації АЕС, зокрема і в Україні, показав, що фактичний термін служби основних елементів конструкцій і обладнання суттєво вищий, ніж це припускалось раніше, а заміна елементів, які цього потребують, може бути здійснена з прийнятними витратами. Оскільки теплообмінники басейну витримки за період експлуатації зазнають змін технічних характеристик, які впливають на надійність енергоблоку в цілому, то є необхідним дослідити вплив зовнішніх та внутрішніх факторів на дане обладнання з метою обґрунтування можливості та безпеки роботи енергоблоків у понадпроектний термін. В доповіді розглянуто сучасний стан атомної енергетики у світі та основні концепції поводження з енергоблоками, які вичерпали проектний ресурс експлуатації.

Проведено попередню оцінку технічного стану теплообмінників системи розхолодження басейну витримки TG11,12,13W01 енергоблоку №3 ВП ЮУАЕС. При аналізі технічної документації проведено збір даних про допустимі умови експлуатації, механічні властивості матеріалів, термообробку та результати гідравлічних випробувань [1].

На основі аналізу результатів контролю стану металу виконано узагальнення про поточний технічний стан металу теплообмінників басейну витримки. Проведено вивчення даних про відмови обладнання на цьому блоці, а також оцінено повноту та своєчасність заходів щодо усунення дефектів та проведення ремонту теплообмінників.

Оцінка технічного стану підтверджує відповідність фактичних значень встановлених параметрів чисельним значенням і якісним показникам, які наведені в технічній, нормативній або іншій документації для відповідних параметрів технічного стану теплообмінників басейну витримки енергоблоку [2].

Перелік посилань:

1. НП 306.2.099-2004 Общие требования к продлению эксплуатации энергоблоков АЭС в сверхпроектный срок по результатам выполнения периодической переоценки безопасности. — 2004.
2. Типовая программа оценки технического состояния и переназначения ресурса/срока службы теплообменного оборудования реакторного отделения энергоблоков АЭС. № ПМ-Т.0.03.313-12

Аспірант Кухоцький О.В.

Член-кореспондент НАН України, професор, д.т.н. Носовський А.В.

РОЗРОБКА ТЕПЛОГІДРАВЛІЧНОЇ МОДЕЛІ ЕЛЕМЕНТІВ АКТИВНОЇ ЗОНИ ЯПУ "ДЖЕРЕЛО НЕЙТРОНІВ"

В даний час Держатомрегулювання України здійснює діяльність з ліцензування та введення в експлуатацію ядерної підкритичної установки «Джерело нейтронів, засноване на підкритичній збірці, що керується прискорювачем електронів» (далі – ЯПУ «Джерело нейтронів»), яка споруджується на базі ННЦ ХФТІ [1]. Здійснення діяльності з ліцензування нових ЯУ неможливо без використання різного роду аналітичних інструментів і наявності в регулюючого органу або організації технічної підтримки власних незалежних моделей ЯУ або її критичних, що впливають на безпеку елементів.

При виконанні регулюючої оцінки обґрунтувань безпеки ядерних установок, МАГАТЕ рекомендована розробка і використання незалежних експертних моделей переважно для розрахункових кодів відмінних від застосованих при обґрунтуванні безпеки з метою об'єктивної оцінки [2]. На підставі цього проводяться роботи по розробці незалежних розрахункових моделей критичних елементів ЯПУ «Джерело нейтронів».

На сьогодні розроблені локальні теплогідравлічні моделі важливих для безпеки елементів ЯПУ «Джерело нейтронів» з використанням CFD коду ANSYS CFX:

- теплогідравлічна модель вольфрамкової нейтрон-утворюючої мішені (далі - НУМ);
- теплогідравлічна модель тепловиділяючої збірки ВВР-М2 (далі - ТВЗ).

Виконані тестові розрахунки моделей НУМ та ТВЗ ЯПУ «Джерело нейтронів» показали хорошу сумісність, а також відповідність ідентичним розрахункам, виконаним в рамках попереднього звіту з аналізу безпеки [3] з використанням відмінного інструменту. Це надає можливість для використання і модифікації моделей при проведенні державної експертизи ядерної та радіаційної безпеки матеріалів ЯПУ «Джерело нейтронів» з метою виконання перевірочних розрахунків.

Незважаючи на отримані позитивні результати, існує область для вдосконалення моделей в частині: більш точного врахування конструкційних особливостей елементів, а також умов роботи підкритичної збірки. Крім того, розроблені моделі можуть бути модифіковані з метою аналізу поведінки елементів при перехідних процесах і аваріях. Роботи по модифікації та використанні моделей вже ведуться.

Доповідь присвячена розробці незалежних теплогідравлічних моделей елементів активної зони дослідницької ядерної підкритичної установки. У роботі представлено опис процесу моделювання нейтрон-утворюючої мішені і тепловиділяючої збірки ЯПУ «Джерело нейтронів». Висвітлено результати тестових розрахунків моделей НУМ та ТВЗ ЯПУ «Джерело нейтронів». Розроблені моделі є унікальними, так як виконані вперше для критичних елементів підкритичної установки з використанням CFD коду ANSYS CFX.

Перелік посилань:

1. М.Х. Гашев, А.В. Григораш, А.В. Долотов, А.В. Носовский, А.М. Дыбач, А.І. Бережний, А.В. Кухоцький. Вопросы лицензирования ядерной подкритической установки "Источник нейтронов, основанный на подкритической сборке, управляемой линейным ускорителем электронов"// Ядерна та радіаційна безпека. - 2013. - Вип. 4. - С. 3-9.
2. Best Practice Guidelines for the Use of CFD in Nuclear Reactor Safety Applications / Nea/CSNI/R (2007)5, 154 p.
3. «Ядерная подкритическая установка «Источник нейтронов, основанный на подкритической сборке, управляемой ускорителем электронов». Предварительный отчет по анализу безопасности. ПОАБ», ННЦ ХФТИ, 2012.

МЕТОДИ ЗБІЛЬШЕННЯ ГЛИБИНИ ВИГОРАННЯ ПАЛИВА В РЕАКТОРАХ ВВЕР

Одними з найбільш поширених реакторних установок АЕС є водо-водяні легководні установки. Удосконалення реакторів даного типу, в даний час, ведеться в напрямку підвищення глибини вигорання ядерного палива, яке забезпечується тривалими паливними циклами і продовженням кампанії реактора.

Продовження кампанії дозволяє зменшити витрати енергії на власні потреби і зменшити частоту вивантаження відпрацьованого палива. Досягнення високої тривалості кампанії реактора досягається шляхом підвищення початкового збагачення палива [1]. Від збагачення залежить витрата природного урану, кількість одиниць розділових робіт, глибина вигорання палива, визначальна експлуатаційні витрати на виготовлення нових твелів.

Збільшення глибини вигорання тягне за собою і небажані наслідки - збільшений потенціал потужності руйнування палива в разі аварійних ситуацій і зростання піку потужності. Це призводить до необхідності компенсації високої надлишкової реактивності на початку паливних циклів, що досягається за допомогою введення вигораючих поглиначів (ВП), а також використання ВП дозволяє уникнути надмірного використання борного регулювання, знизити навантаження на керуючі стрижні і вирівняти розподіл енерговиділення по перетину ТВЗ і реактора в цілому.

В процесі роботи реактора ТВЗ вигорають нерівномірно, і в кожен момент часу в комірках реактора знаходяться ТВЗ з різною глибиною (ступенем) вигорання ядерного палива. Це відбувається тому, що нейтронний потік в різних точках реактора неоднаковий, ТВЗ при перевантаженні витягуються з реактора не одночасно, а частково. Використовується так званий метод часткових перевантажень, коли з певною періодичністю з реактора вивантажується тільки частина палива. У місця, що звільнилися встановлюються або свіжі ТВЗ, або частково відпрацьовані, з інших комірок реактора, а в останні встановлюються свіжі ТВЗ. Процес безперервної заміни відпрацьованого палива свіжим збільшує глибину вигорання приблизно в 1,5 рази в порівнянні з глибиною вигорання палива в нерухомій зоні.

Перелік посилань:

- 1 Широков С.В. «Глибина вигорання ядерного палива ВВЕР з різними вигораючими поглиначами» / С.В. Широков, В.В. Заєць «Глибина вигорання ядерного палива ВВЕР з різними вигораючими поглиначами». Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м.Київ, Україна 2001р

ШЛЯХИ МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМИ КОМПЕНСАЦІЇ ТИСКУ ДЛЯ РЕАКТОРІВ ТИПУ ВВЕР - 1000

У наш час велику увагу приділяють заходам, пов'язаних із підвищенням безпеки експлуатації АЕС. На енергоблоках України було модифіковано систему компенсації тиску, що підвищило її надійність. Дана система необхідна тільки для реакторів, які охолоджуються водою під тиском, і призначена для компенсації об'єму при температурних розширеннях води, що заповнює контур. Вона використовується також для створення тиску при пуску, для підтримки тиску в експлуатації і обмеження відхилень тиску в аварійних режимах. На АЕС застосовують тільки паровий компенсатор тиску. Система компенсації тиску виконує наступні вимоги безпеки:

- захист обладнання першого контуру від перевищення устанавленого тиску;
- відвід залишкових тепловиділень від активної зони через імпульсно – запобіжні пристрої компенсатора тиску;
- прийом і конденсація парогазової суміші із системи аварійного парогазовиділення.

На енергоблоках України системи захисту першого контуру від перевищення тиску (імпульсно – запобіжні пристрої компенсатора тиску) обладнані трьома незалежними запобіжними клапанами, встановленими паралельно, кожен із яких керується двома імпульсними клапанами, які спрацьовують від середовища. Два із цих запобіжних пристроїв – «робочі», третій – «контрольний», додатково обладнаний окремою лінією управління. Встановлені імпульсно – запобіжні пристрої компенсатора тиску виготовлені фірмою «Sempell» (Німеччина). Конструкція встановлених ІЗП КТ має ряд відступів від діючих норм і правил по безпеці в атомній енергетиці:

- не забезпечує можливість примусового закриття/відкриття кожного із ІЗП КТ, що необхідно для забезпечення альтернативного тепловідводу від активної зони реактора (функція скидування – підживлення «feed/bleed»);
- ІЗП КТ не розраховані для роботи на різних середовищах;
- відсутня пряма сигналізація положення імпульсних і головних клапанів ІЗП КТ;
- не передбачена функція захисту першого контуру від «холодної перепресовки».

В результаті модифікацій ІЗП КТ досягнуто і добавлено наступні функції:

- ІЗП КТ атестовані для роботи на парі, пароводяній суміші, воді і азоті;
- можливість виявлення протічок «по золотнику» як імпульсних так і головних клапанів ІЗП;
- можливість дистанційного управління кожним із ІЗП КТ від ключів БЩУ і РЩУ, реалізована функція «feed/bleed» [1].

Після успішної модифікації ІЗП КТ на енергоблоці №4 ЗАЕС та досягнення діючих норм і правил по роботі даної системи, було проведено модифікації на інших АЕС України, для забезпечення підвищення безпеки експлуатації енергоблоків України.

Перелік посилань:

1. Ровенская АЭС. Энергоблок № 3. Отчет по анализу безопасности.

АТОМНА ЕНЕРГЕТИКА УКРАЇНИ

З швидким плином часом у світі зростає велика потреба у паливі та енергії. На даний період розвитку людство використовує більшу частину органічного палива, а саме використання вугілля і природного газу як енергоресурсів. Якщо не зробити ніяких до цього змін, то це може призвести до глобального потепління, яке буде викликане широкомасштабними викидами вуглекислого газу. Але є надія - атомна енергетика. Вона має змогу стати єдиним варіантом, який здатен вирішити проблему людства, знизивши викиди вуглекислого газу в цілому.

Відкриємо деякі сторінки історії розвитку атомної енергетики. З самого початку атомна енергетика служила для створення ядерної зброї, але пройшовши технічний прогрес, вона почала використовуватись і в мирних цілях. Незважаючи на небезпеки з боку атомної енергетики, світу не обійтися без ядерних технологій, принаймні – в нинішньому столітті. Негативне ставлення до атомної енергетики склалося після низки серйозних аварій на АЕС, зокрема після Чорнобильської катастрофи 1986 р. Почалося створення і прийняття проектів на замороження і будівництва АЕС. Зокрема, в Україні у 1999 р. і 2000 р. було призупинено будівництво блоків Рівненської АЕС №4 та Хмельницької АЕС №2. Проте, на початку ХХІ століття довіру людей до мирного атома було відновлено після енергетичних і економічних чинників, що посприяли цьому [1].

Вагомою перевагою атомної енергетики є відносна дешевизна та відсутність небезпечних викидів у навколишнє середовище при виробництві електроенергії. Атомна енергія є найбільш продуктивною через свою концентрацію, адже при розділі 1 граму ядра урану виділяється енергія яка рівна $8 \cdot 10^{10}$ Дж, що є у три мільйони разів більше чим згорання 1 граму вугілля. Врахуємо також те, що при вироблені 1 кВт енергії виділяється всього на всього 2-6 грамів вуглецю, що є таким самим як і виділення вуглецю при використанні енергії сонця та вітру [2].

В Україні ядерна енергетика є важливим компонентом у загальному паливно-енергетичному комплексі. Україна входить у вісімку провідних країн світу по масштабам і обсягам виробництва електроенергії. На сьогодні в нашій державі на експлуатації перебувають 15 енергоблоків, що мають загальну потужність приблизно 14 млн. кВт. За положеннями які складені Енергетичною стратегією України до 2030 року відбудеться збільшення виробництва електроенергії. За запасами урану ми посідаємо шосте місце у світі і перше місце у Європі, що дає нам можливість на сотні років забезпечити наші енергетичні потреби за сучасного стану ядерних водяних реакторів [3].

На сьогоднішній день ядерна енергетика не конкурентоспроможна. Якщо станеться так, що все ж таки буде велика кількість викидів вуглекислого газу, то атомна енергетика буде відігравати надзвичайно важливу роль у світі. Необхідно, щоб ядерна енергетика була збережена і розвивалась надалі, тому що вона є основним джерелом енергії, яка не виробляє вуглецю, що є життєво важливим для суспільства у майбутньому. Активна участь України в міжнародних ядерних проектах та розвиток власного потенціалу на цьому напрямі є запорукою виваженого підходу щодо прийняття рішень у сфері розвитку вітчизняної ядерної енергетики, що сприятиме виконанню завдань Енергетичної стратегії, підвищенню рівня енергетичної безпеки та інноваційному розвитку економіки країни у цілому.

Перелік посилань:

- 1.http://www.energoatom.kiev.ua/ru/press/nnegc/17219-budushee_atomnoyi_energetiki/
- 2.<http://www.seu.ru/programs/atomsafe/books/FAE1.pdf>
- 3.<http://referat-ok.com.ua/inshe/problemi-ta-perspektivi-atomnoji-energetiki-v-ukrajini>

ПАСИВНІ СИСТЕМИ БЕЗПЕКИ ЯК РІШЕННЯ ЩОДО МІНІМІЗАЦІЇ НАСЛІДКІВ ЗАПРОЕКТНИХ АВАРІЙ НА АЕС

Світовий багаторічний досвід показує, що використання ядерних технологій може призводити до небезпечних наслідків для людини і довкілля. Важка аварія на АЕС «Фукусіма-1» примусила переглянути технології забезпечення безпеки при протіканні запроектованих аварій на ядерних енергетичних реакторах. Тому в нових проектах передбачається, що основний вклад в запобіганні важкого пошкодження активної зони при запроектованих аваріях мають вносити пасивні системи безпеки. Вони не потребують електроживлення, а їх принцип дії полягає на застосуванні фізичних явищ. Використання пасивних систем безпеки у нових проектах АЕС з РУ типу ВВЕР забезпечує умови для запобігання переходу широкого спектра запроектованих аварій у важку стадію [1].

Для переведення реактора в підкритичний стан в умовах відмови спрацювання аварійного захисту передбачена пасивна система швидкого введення бору (СШВБ), яка знаходиться на байпасній лінії ГНЦ. У випадку вищевказаної аварії відкривається запірна арматура і під дією перепаду тиску на ГЦН розчин бору витісняється з ємкості СШВБ в перший контур.

Для забезпечення охолодження палива та контрольованого тепловідводу від активної зони в умовах втрати теплоносія і відмови активної частини САОЗ передбачені гідроємності другого ступеня (ГЕ-2) та система пасивного відведення тепла від парогенераторів (СПВТ). СПВТ дозволяє перевести парогенератор в конденсаційний режим та довгий час відводити залишкові тепловиділення, в той час як ГЕ-2 підтримує рівень теплоносія вище тепловиділяючих збірок. Додатковою можливістю ГЕ-2, в порівнянні з ГЕ-1, є можливість збору нею газів, що не конденсуються, які утворюються в реакторі та зменшують конденсаційну потужність парогенератора, заповнюючи його трубчатку.

Система утримання розплаву палива є останнім бар'єром на шляху розповсюдження радіоактивних продуктів ділення в навколишнє середовище при важкій аварії з проплавленням корпусу реактора. Вона здатна вмістити, утримувати та забезпечувати зниження температури всього розплаву активної зони реактора, і таким чином запобігти проплавленню шахти реактора і руйнуванню основних конструкцій контейнента всередині герметичної оболонки, що й відбулося на АЕС «Фукусіма-1».

Експериментальне обґрунтування працездатності та ефективності описаних систем проведено в ГНЦ РФ-ФЕІ і ОКБ «Гідропрес» на великомасштабних експериментальних установках [2]. Але попри задовільні результати на експериментальних стендах, виникають питання та проблеми по обґрунтуванню натуральних установок, як нових пасивних систем, так і вже спроектованих. Тому, дослідження, розробка і впровадження пасивних систем в поєднанні з удосконаленням активних систем безпеки є одною з основних цілей в підвищенні надійності сучасних енергоблоків АЕС та методом зменшення наслідків запроектованих та важких аварій.

Перелік посилань:

1. Колтаков В.И. Эволюция проектов реакторных установок ВВЭР-1000 / В.И. Колтаков, Н.А. Стефанишин, С.А. Остапчук. – 2011. – №52. – С. 33–39.
2. Логвинов С.А. Экспериментальное обоснование теплогидравлической надежности реакторов ВВЭР / С.А. Логвинов, Ю.Г. Драгунов. — М.: ИКЦ «Академкнига», 2004. — 255 с.

Магістрант 6 курсу, гр. ТЯ-51м Орехов А.Ю.
К.т.н., ст. викладач Бібік Т.В.

ПОДОВЖЕННЯ СТРОКУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОБЛАДНАННЯ ТА ТРУБОПРОВОДІВ ЯДЕРНОЇ УСТАНОВКИ ЕНЕРГОБЛОКУ №1 ВП ЗАЕС МЕТОДОМ РОЗРАХУНКУ НА СТАТИЧНУ ТА ЦИКЛІЧНУ МІЦНІСТЬ

На сьогоднішній день з п'ятнадцяти діючих енергоблоків в Україні термін експлуатації декількох вже продовжено. А саме: енергоблоки №1 та №2 Рівненської АЕС. Строк служби цих енергоблоків продовжили на 20 додаткових років. Також проводяться роботи, щодо аналізу можливості подовження строку експлуатації обладнання енергоблоку №1 Запорізької АЕС методом розрахунку на статичну і циклічну міцність [1].

Щоб подовжити термін експлуатації АЕС у надпроектний період необхідно провести ряд дослідів, розрахунків та аналізів, що будуть підтверджувати повну відповідність обладнання та трубопроводів даної АЕС до певних норм.

Даний метод вимагає проведення робіт з перепризначення допустимої кількості експлуатаційних циклів навантаження обладнання та трубопроводів енергоблоків АЕС. Фундаментальним дослідженням є перевірочний розрахунок на циклічну міцність відповідно до норм ПНАЕГ-7-002-86 "Норми розрахунку на міцність обладнання і трубопроводів АЕУ".

Перепризначення допустимої кількості експлуатаційних циклів навантаження передбачає виконання наступних етапів:

- складання переліків обладнання та трубопроводів для перепризначення допустимої кількості експлуатаційних циклів навантаження;
- аналіз технічної документації та історії експлуатації, включаючи проектні перевірочні розрахунки на циклічну міцність, дані по реєстрації режимів експлуатації, результати експлуатаційного контролю, технічного обслуговування і ремонту;
- виконання перевірочних розрахунків на циклічну міцність;
- перепризначення допустимої кількості експлуатаційних циклів навантаження.

Для обрання та прогнозування можливості подовження строку експлуатації, була обрана система захисту другого контуру від перевищення тиску. Побудовані, з допомогою програмних продуктів, моделі паропроводу, ІЗП ПГ, ШРУ-А та ШЗВК, а також використання розрахункових кодів, дозволили зробити позитивні висновки стосовно подальшого використання обладнання [2].

Перелік посилань:

1. Филатов В.М. Предельные состояния по образованию макротрещин при циклическом нагружении//ВАНТ - Сер. «Физика и техника ядерных реакторов».- 1978.- Вып. 1 (21).- С. 114-123.

2. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. ПНАЭ Г-7-002-86.- М.: Энергоатомиздат, 1989.

**АНАЛІЗ ЗАГАЛЬНИХ ПІДХОДІВ ДО ПРОДОВЖЕННЯ ТЕРМІНУ
ЕКСПЛУАТАЦІЇ АЕС З РЕАКТОРОМ ТИПУ ВВЕР-1000**

У період з 2010 р. по 2020 р. більшість діючих енергоблоків АЕС України вичерпають проектний термін експлуатації, у зв'язку з цим, наразі основною задачею для атомної енергетики в Україні є продовження експлуатації енергоблоків з забезпеченням їх надійної та безпечної експлуатації, з урахуванням як міжнародного так і набутого національного досвіду з проведення таких робіт.

У 2011 році термін експлуатації був продовжений для двох найбільш старих українських енергоблоків – 1-го і 2-го енергоблоків ВП «Рівненська АЕС» типу ВВЕР-440. У 2013 році продовжено термін експлуатації першого українського ВВЕР-1000 – енергоблоку №1 ВП «Южно-Українська АЕС». В 2015 році продовжено термін експлуатації енергоблоку №2 ВП «Южно-Українська АЕС». У 2016 році закінчився проектний термін експлуатації енергоблоку №2 ВП «Запорізька АЕС».

Відповідно до національних вимог [1] продовження експлуатації енергоблоку АЕС може проводитись за одним із двох варіантів:

- здійснення протягом проектного строку експлуатації організаційно-технічних заходів для продовження експлуатації;
- зупинка енергоблоку після завершення проектного строку експлуатації, здійснення організаційно-технічних заходів для продовження експлуатації та поновлення експлуатації.

Продовження експлуатації енергоблоку передбачає виконання комплексу заходів спрямованих на: усунення чи компенсацію відступів від вимог з ядерної та радіаційної безпеки, стримування деградації внаслідок старіння, відновлення та заміну елементів, обґрунтування ресурсу, впровадження і реалізацію програми управління старінням [1].

Досягнення науки та техніки, багаторічний досвід експлуатації АЕС дозволяє обумовлено продовжити термін експлуатації понад проектного та це є стійкою тенденцією передових ядерних держав [2].

У доповіді буде розглянуто основні підходи до обґрунтування продовження терміну експлуатації, а саме досвід багаторічної безпечної експлуатації атомних електростанцій різними державами у понадпроектний термін, економічна доцільність, можливість провести повну перевірку обладнання, що в свою чергу є гарантією безпеки на основі аналізу міжнародного досвіду.

Перелік посилань:

1. НП 306.2.099-2004 Загальні вимоги до продовження експлуатації енергоблоків АЕС у понадпроектний строк за результатами здійснення періодичної переоцінки безпеки
2. Основы продления эксплуатации АЭС с ВВЭР: монография / В.И. Скалозубов, А.А. Ключников, Е.С. Лещетная; под ред В.И. Скалозубова; НАН Украины, Ин-т проблем безопасности АЭС. - Чернобыль (Киев. обл.): Ин-т проблем безопасности АЭС, 2011. – 384с.

АНАЛІЗ СТРАТЕГІЙ З УПРАВЛІННЯ ВАЖКИМИ АВАРІЯМИ ДЛЯ ВВЕР-440

Першим пріоритетом в ядерній безпеці є запобігання важкої аварії на атомних електростанціях. Відповідні превентивні заходи по збереженню критичних функцій безпеки робляться в рамках СОАІ, однак, слід визнати що, залишається мала ймовірність, що ці превентивні заходи можуть бути невдалими. Отже, доречно звернути увагу на заходи з управління аварією, як в найближчій, так і в довгостроковій перспективі з тим, щоб запобігти, або пом'якшити наслідки тих аварій, для яких існує ймовірність невиконання превентивних заходів на стадії запобігання розвитку аварії аж до моменту пошкодження активної зони .

Важливо розробити специфічні керівництва з управління важкими аваріями, щоб краще використовувати наявні системи і зупинити розвиток аварії в межах першого контуру, контаймента, а також будь-які додаткові системи і структури, які збільшують функції охолодження активної зони і затримку продуктів поділу, такі як фільтри, спринклери, басейни і допоміжні будівлі, щоб знизити температуру палива і максимізувати довжину і складність траєкторії, через яку продукти ділення будуть виводитися в навколишнє середовище [1].

Цілі управління важкої аварією полягають у забезпеченні наступних трьох ЗАХОДІВ:

- припинення пошкодження активної зони на ранній стадії розвитку;
- підтримання локалізуючої здатності ГО настільки довго, наскільки це можливо;
- мінімізація наслідків радіаційного викиду, як на майданчику, так і за її межами.

Дії персоналу, передбачені в стратегіях з управління важкими аваріями, спрямовані на:

- збереження цілісності фізичних бар'єрів на шляху поширення радіоактивного забруднення;
- підтримання локалізуючої здатності гермооболочки (ГО) настільки довго, наскільки це можливо;
- мінімізацію наслідків радіаційного викиду, як на майданчику, так і за її межами;
- довгостроковий контроль стабільного стану РУ;
- організацію виконання робіт по ліквідації наслідків аварії, включаючи невідкладні;

Для виконання приписів РУТА на АЕС встановлюється обладнання, засоби зв'язку, контролю та діагностики, необхідні для отримання оперативним персоналом повної і достовірної інформації для ефективного управління залишилися в роботі обладнанням енергоблоку.

Однак, ефективність дій з управління важкими аваріями, особливо з огляду на характеристики обладнання АЕС, яка не спроектовано для управління ТА, повинна бути належним чином обґрунтована.

Перелік посилань:

1. 38-172.203.001.ОБ03. Дополнительная целевая переоценка безопасности энергоблоков ОП РАЭС с учетом уроков, извлеченных из аварии на АЭС Фукусима-1. Глава 3. 2012

МЕТОДОЛОГІЯ ЗНЯТТЯ З ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕНЕРГОБЛОКІВ ВВЕР - 440

Життєвий цикл будь-якої реакторної установки складається з етапів проектування, будівництва, експлуатації та виведення з експлуатації. Після закінчення проектного терміну служби реакторна установка повинна бути переведена в ядерно-безпечний стан і виведена з експлуатації [1].

За приблизними оцінками, загальні витрати на виведення з експлуатації і демонтаж одного ядерного енергоблоку становлять орієнтовано 30% вартості будівництва відповідного енергоблоку. Істотний вплив на витрати мають національні особливості – сюди відноситься обсяг необхідних робіт, а також способи поводження з радіоактивними відходами (РАВ), зокрема, від кількості РАВ, методів їх переробки і відділення від відходів, використання яких допускається. Високу активність мають частини корпусу реактора, внутрішньокорпусні пристрої, обладнання шахтного об'єму, а також частини бетон біологічного захисту, що прилягає безпосередньо до конструкцій реактора (90 – 95 % сумарної активності). Інша активність зосереджена у трубопроводах першого контуру та деяких допоміжних системах [2].

Витрати на демонтаж систем, що мають радіаційне забруднення будуть більші, ніж витрати на демонтаж ідентичних «чистих» систем за рахунок збільшення часу робіт, необхідність використання захисних заходів.

Тому постає питання оптимізації процесу зняття з експлуатації за для зменшення грошових витрат та витрат часу шляхом використання методу оптимізації.

Суть даного методу полягає у тому, що для досягнення оптимального варіанту демонтажу потрібно розробити гнучкий графік робіт, який дозволить максимально ефективно використати людський ресурс, підібрати необхідну кількість працівників та оптимальний рівень захисту. Для цього проаналізуємо можливі варіанти виконання робіт та поведемо їх оцінку використовуючи системний аналіз та лінійне програмування. Отже, оперуємо змінними: розбиваємо об'єкт демонтажу (об'єктом може виступати як окремий трубопровід так і система або цілий технологічний контур) на зони із однаковим радіоактивним забрудненням, підбираємо варіанти індивідуального захисту робітників з урахуванням максимально можливого часу перебування поряд із джерелом іонізуючого випромінювання.

Перелік посилань:

1. Снятие с эксплуатации ядерных энергетических установок / А.В. Носовский, В.Н. Васильченко, А.А. Ключников, Я.В. Яценко; Под ред. А.В. Носовского - К.: Техніка, 2005. – 288 с. – (Безопасность атомных станций).
2. <http://uatom.org/index.php/ru/obschie-svedeniya/vyvod-aes-yz-ekspluatatsyy/>

ПРИМЕНЕНИЕ BEST-ESTIMATE+UNCERTAINTY EVALUATION ПОДХОДА ПРИ АНАЛИЗЕ РЕАКТИВНОСТНЫХ АВАРИЙ РУ ТИПА ВВЭР-1000

На сегодняшний день украинская атомная энергетика столкнулась с проблемой малого запаса до критериев приемлемости при реализации консервативного подхода (используемого в настоящее время) при анализе проектных аварий. Данная проблема приобретает актуальность в связи с планами НАЭК «Энергоатом» по увеличению тепловой мощности энергоблоков [1].

Согласно действующих нормативных документов, таких как НП 306.2.162-2010 [2] регламентируется консервативный подход для детерминистического анализа безопасности в рамках проектных аварий и реалистический подход в рамках запроектных аварий. Анализ последних материалов (например, ОППБ ЗАЭС-1) для проектной аварии «выброс органа регулирования системы управления защиты» (далее ОР СУЗ) из активной зоны (далее АкЗ), показал, что запас температуры топлива и оболочки ТВЭЛ до максимальных значений, крайне мал [3]. Легко заметить, что с повышением разрешенной тепловой мощности, в данной модели, существует высокая вероятность достижения максимальных значений (или превышение). Выходом из этой ситуации может стать применение подхода улучшенной оценки в комплексе с анализом неопределенности [1].

НП 306.2.162-2010 [2] допускает использование подхода улучшенной оценки, который предполагает анализ реалистичного развития аварий в комбинации с анализом неопределенности, что может стать решением данной проблемы для анализа реактивных аварий. В свою очередь анализ неопределенности сводится к оценке влияния таких факторов как точность расчетных моделей, допустимый диапазон изменений НУ и ГУ для заданного топливного цикла и т.д. Улучшенный анализ может быть реализован с помощью многих подходов, среди которых подход, разработанный компанией GRS, является одним из наиболее перспективных. Как пример, можно привести работу чешского ИЯИ Ржеж «Selected Safety and Best-Estimate Analyses of NPP with VVER-1000» в которой представлены первые попытки реализовать улучшенный подход для реактивной аварий, связанных с разрывом паропровода и выбросом ОР СУЗ с использованием модели нейтронной кинетики кода DYN3D 3.2.

Таким образом, можно сделать вывод, что внедрение подхода улучшенной оценки при анализе реактивных аварий является одной из самых актуальных задач на данный момент. Кроме того, переход к использованию улучшенной оценки безопасности, по сравнению с консервативным методом, даст инженерам более точную картину протекания аварий, что в свою очередь позволит более корректно оценить масштабы повреждений АкЗ и возможные последствия.

Список литературы:

1. I.Ovdiienko Aspects of use of best-estimate approach for WWER safety analysis in RIA / I.Ovdiienko, Y.Bilodid, M.Ieremenko.
2. Вимоги до оцінки безпеки атомних станцій НП 306.2.162-2010.
3. Отчет по периодической переоценке безопасности энергоблоков № 1, 2 ОП ЗАЭС 21.1.59.ОППБ.05.01.1.

АНАЛІЗ БЕЗПЕКИ ПРИ ЗНЕСТРУМЛЕННІ ЕНЕРГОБЛОКУ ВВЕР-1000 З ПРИПИНЕННЯМ ВІДВОВУ ТЕПЛА ВІД БАСЕЙНА ВИТРИМКИ

Басейн витримки відпрацьованого ядерного палива - споруда, що входить до складу ядерної установки або пункту зберігання ядерних матеріалів, призначене для тимчасового зберігання відпрацьованого ядерного палива у воді або іншому рідкому середовищі.

В роботі, розглянемо аварію з тривалим знеструмленням і порушенням тепловідведення з накладенням течі, без подачі аварійного електропостачання від дизель-генераторів або від інших джерел. Припинення подачі охолоджуючої води відбувається «миттєво» на початок вихідної події. Моделюється витікання води з нижньої частини касетного відсіку басейну витримки з початковим витратою $\sim 3,8$ кг / с.

Початкова витрата в течі відповідає заданому значенню, але, у зв'язку зі зниженням рівня води в басейні витримки і гідростатичного напору, вода розігрівається, і її рівень падає.

За результатами аналізу, початок оголення ділянки ВТВЗ, що обігрівається, починається на 31100с. Повне оголення паливного стовпа ВТВЗ настає на 45200с. До 54500с. відбувається повне спустошення касетного відсіку в басейну витримки. Оголення паливного стовпа супроводжується різким збільшенням температури оболонок ТВЕЛ. З 141500с. починається руйнування ВТВЗ [1].

Генерація водню починається з 79360-ї секунди, маса якого становить 7,2 кг. Незначна кількість згенерованого водню обумовлено відсутністю води в БВ внаслідок течі, а також низької концентрації водяної пари в атмосфері, навколо ВТВЗ. Після інтенсивної початкової стадії взаємодії розплаву з бетоном і вичерпання запасів цирконію відбувається зменшення інтенсивності в результаті переходу до окислення заліза, що міститься як в уламках конструкцій СУЗП, так і в арматурі бетону. Швидкість виділення водню обмежується вмістом води в бетоні (іншого джерела води немає). На 124 532 секунд глибина пошкодження бетону стін БВ досягає 0,4 м. До цього часу через реакцію дебриса з бетоном в приміщенні А405 / 2 виділяється 1,85 т водню

Розгляд ВПА закінчується на 288000 секунд, внаслідок припинення роботи ПАРВ, зважаючи на зниження концентрації кисню менше 0,1%. На цей момент, розплав знаходиться в приміщеннях А405 / (1,2), де продовжує взаємодіяти з бетоном, збільшуючи при цьому масу згенерованого водню на ~ 300 кг. Загальна маса згенерованого водню в касетному відсіку TG20B01 до і після взаємодії дебриса з бетонною склала 2,15 т.

Робота ПАРВ дозволяє рекомбінувати 1456,2 кг водню і запобігає виникненню високих (вибухонебезпечних) концентрацій водню (в порівнянні зі сценарієм без моделювання ПАРВ) в приміщеннях ГО. Максимальна концентрація водню в ГО зафіксована на 288000-й секунд і становить 7,4%.

На основі проведеної роботи, зробимо висновок, що при аварії на БВ з накладенням течі і за рахунок більш швидкого осушення оболонки ТВЕЛ, маса згенерованого водню знижується. Відсутність втручання призводить до генерації водню, виходу активності, руйнування палива і відмови стіни касетного відсіку (проплавлення перегородки між відсіками БВ).

Перелік посилань:

1. Южно-Украинская АЭС. Энергоблок №1. Анализ уязвимости энергоблока в условиях тяжелых аварий. Итоговый отчет. 2011. ЕР4-2010.500.ОД.1.

МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ПРОДУВКИ ПАРОГЕНЕРАТОРА ДЛЯ РАЕКТОРА ТИПУ ВВЕР

Парогенератори (ПГ) відносяться до найбільш відповідального обладнання АЕС. Від їх працездатності залежить ефективність роботи АЕС в цілому. Робота в умовах високих напружень в поєднанні з корозійними процесами обумовлює виникнення тріщин в теплообмінних трубках та колекторах. Одним із способів зниження пошкоджуваності теплообмінної поверхні ПГ та підвищення його експлуатаційної надійності являється ефективне видалення розчинених корозійно-активних солей із зон з максимальною їх концентрацією. У зв'язку з нерівномірним паровим навантаженням трубного пучка і зменшеній подачі води в зоні вхідного колектору концентрація розчинених солей в даному перерізі являється максимальною. Метою модернізації є видалення зони максимальної концентрації солей від колекторів теплоносія в “холодний” торець і організація постійної продувки з цієї зони [1].

З метою вирішення цієї проблеми в середині корпусу ПГ поперек зануреного дірчастого листа (ЗДЛ) в “холодному” торці була встановлена перегородка висотою 240мм під ЗДЛ і 200мм над ЗДЛ з метою організації сольового відсіку шляхом зменшення перетікання води до “холодного” торця і її циркуляції в поздовжньому напрямку. Для постійної продувки сольового відсіку встановлений короб, прикріплений до ЗДЛ, з якого видаляється котлова вода з високим вмістом розчинених корозійно-активних солей. Періодична продувка була організована шляхом об'єднання ліній продувки із карманів колекторів теплоносія та корпусу ПГ. При цьому існує можливість роздільної продувки із карманів колекторів та корпусу ПГ.

За рахунок модернізації системи продувки ПГ були досягнуті позитивні результати зі зниженням концентрації домішок в робочому тілі. Досліди показали, що вміст солей біля вхідного колектору знизився більш ніж в 50 разів, а біля клину вихідного колектору в 1,5 рази.

Перелік посилань:

1. Ануркин Р.П. “Повышение эксплуатационной надежности парогенератора ПГВ-1000м на основе теоретического и натурного исследований способов снижения повреждаемости в локальных зонах концентрирования примесей” Дисс. канд. техн. наук. – Москва, 2014г.

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕПЛОВИДІЛЯЮЧІ ЗБІРКИ ДЛЯ ВВЕР

Робота з модернізації конструкції тепловиділяючої збірки (ТВЗ), почалася одночасно з початком накопичення досвіду роботи першого реактору типу ВВЕР. Вона спрямована на поліпшення експлуатаційних характеристик, що дає можливість вдосконаленню топливовикористання на АЕС. Завдяки такій роботі, була сформована тепловиділяюча збірка, яка використовується в сьогоденні, із середнім вигоранням 50 МВт добу/кг. При цьому, тривалість експлуатаційного ресурсу становить 30000 ефективних годин [1].

У 1998 році була створена тепловиділяюча збірка із жорстким каркасом, яка має назву ТВЗА. До теперішнього часу, існує значний експлуатаційний досвід використання такого типу палива на українських АЕС, який підтверджує високу надійність тепловиділяючих елементів та якість ТВЗА в цілому.

Успіх експлуатації ТВЗА, визначив розробку ТВЗ нового покоління. У 2005 році був розроблен технічний проект ТВЗА-5М, яка дає можливість реалізації 18-місяцевого паливного циклу. Основа модернізації полягає в зміні геометричних характеристик самої ТВЗ та її конструкційних елементів. Зменшення товщини оболонки ТВЕЛ та використання паливних таблеток без центрального отвору, дало можливість збільшити загрузку ядерного палива [2], при цьому середнє вигорання палива становить 60 МВт добу/кг [3]. З 2008 року, ТВЗА-5М переведена у промислову експлуатацію, результати якої, демонструють покращену стійкість каркасу ТВЗ при терморадіаційних процесах у ТВЕЛ.

Початок накопичення досвіду експлуатації ТВЗ компанії Westinghouse, почався з 2005 року, коли 6 дослідних ТВЗ-W були завантажені в активну зону з ТВЗА в складі сумісного паливного завантаження, на енергоблоці №3 ЮУАЕС. Позитивні результати експлуатації 6 дослідних ТВЗ-W, дозволили розпочати впровадження ТВЗ-W в дослідно-промислову експлуатацію. У 2009 році, була виготовлена перша перевантажувальна партія із 42 ТВЗ-W. В процесі виготовлення ТВЗ в її конструкцію були внесені модифікації, спрямовані на підвищення бічної жорсткості збірки і поліпшення її економіки. Виявлені конструкційні недосконалості, що проявилися в змішаній активній зоні з ТВЗА, стали підставою для модифікації головки, хвостовика та внутрішніх конструкційних елементів, при впровадженні зміцненої тепловиділяючої збірки ТВЗ-WR, перша дослідно-промислова експлуатація якої, була розпочата у 2015 році.

Результати проведених нейтронно-фізичних та тепло гідравлічних аналізів, підтверджують, що в умовах змішаної активної зони для ТВЗ-WR і ТВЗА, задовольняються діючі проектні межі.

Перелік посилань:

1. Семченков Ю. Близость к сценарию, перспективы эволюционного развития топлива ВВЭР / Ю. Семченков, А. Павловичев, А. Чибеняев // РСА. – 2011. – №10. – С. 75.
2. Васильченко, И.В. Конструкция активных зон новых ВВЭР [Текст] / И.В. Васильченко // Росэнергоатом. - 2011. - №10. - С. 8.
3. Самойлов О.Б. Результаты эксплуатации ТВСА на АЭС с ВВЭР-1000 / Подольск, 2005.

КСЕНОНОВІ КОЛИВАННЯ В АКТИВНІЙ ЗОНІ ВВЕР-1000

Збільшенням частки АЕС в загальній встановленій потужності що є наразі актуальним для України вимагає від них підвищеної маневреності.

Експлуатація реактора ВВЕР-1000 в перемінному режимі навантаження пов'язана із виникненням ксенонових коливань потужності, в процесі яких поперемінно збільшується потужність то у верхній, то в нижній половині активної зони. Розробка алгоритмів для їх придушення є актуальним завданням для забезпечення безпечної експлуатації РУ в маневрених режимах, оскільки некоректне управління ОР СУЗ в перехідних процесах може призводити до збільшення аксіального офсету (відношення різниці потужностей нижньої і верхньої половини активної зони до їх суми) навіть у випадку стійкого стану активної зони до ксенонових коливань потужності [1].

Зазначені коливання обумовлені періодичними відхиленнями від рівноважного розподілу йоду, ксенону і щільності потоку нейтронів в різних ділянках активної зони. При досить великій амплітуді ці коливання можуть привести до підвищення гранично допустимих значень коефіцієнтів нерівномірності енерговиділення за об'ємом активної зони, а отже, до збільшення лінійного навантаження на твेलі і відповідно, порушення теплотехнічної надійності твелів, їх розгерметизації. [2].

Нестійкість реактора ВВЕР-1000 до аксіальних ксенонових коливань залежить від рівня потужності та стану активної зони які можуть мати як затухаючий так і незатухаючий характер. [2].

На основі аналізу досвіду експлуатації АЕС та результатів розрахункових так експериментальних досліджень були розроблені вдосконалені алгоритми управління енерговиділенням АЗ ВВЕР-1000 - У-алгоритми, які наразі впроваджені для низки енергоблоків України і Росії. В рамках зазначених алгоритмів підвищення безпеки та надійності експлуатації ядерного палива під час перехідних процесів відбувається шляхом попередження розвинення ксенонових коливань та їх гасіння, а також забезпечення експлуатації в межах обмежень на нерівномірність енерговиділення [3].

В доповіді буде наведена інформація щодо особливості поведінки активної зони реактору ВВЕР-1000 з точки зору ксенонових коливань для різних її станів, розглянуто результати аналізу алгоритмів придушення ксенонових коливань, в тому числі У-алгоритмів, а також висвітлено шляхи їх подальшого доопрацювання

Перелік посилань:

1. Халімончук, В. А. Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки. Впровадження в експлуатацію на українських АЕС нових типів палива: стану, конструкційні особливості, переваги, проблеми, можливість реалізації маневрених режимів [Текст]: / А.В. Кучін

2. Дослідження аксіальних ксенонових коливань в активній зоні ВВЕР-1000 і їх впливу на величину критичної концентрації борної кислоти в реакторі [Текст]: навчальний посібник / В.А. Терешонок, В.В. Івченко, В.А. Пітілімов, Москва, Росія А.Н. Лупішка, В.А. Хватів, В.М. Чапаєв Калінінська АЕС, Удомля, Росія та ін.;

3. Борис В.П., Інструкція по управлінню енерговиділенням активної зони реактора ВВЕР-1000 за допомогою удосконалених алгоритмів. [Текст]: / Грабко В.В., – ОП «РАЕС», 2009.

СИСТЕМА ПРИМУСОВОГО СКИДАННЯ ТИСКУ ІЗ ПІД ГО

Загальна інформація про проблематику захисту контейнменту (ГО) від руйнування в результаті некерованого зростання тиску при «важких аваріях»

Необхідність у розробці та реалізації концепції примусового скидання тиску із зони локалізації аварії енергоблоків ВП АЕС з ЯУ типу В-320 передумовлена проблематикою розвитку «важких аварій» на реакторних установках. Як відомо, в ході розвитку «важких аварій» на АЕС відбувається генерація великої кількості пари, не конденсованих газів, у складі яких велику частку складає водень, що призводить до значного зростання параметрів (тиску, температури) середовища в зоні локалізації аварії (ЗЛА). При цьому можуть виникати умови для горіння або детонації водню, які можуть призвести до додаткового зростання тиску в ЗЛА понад проектної здатності герметичного огороження (ГО), при яких всі технічні заходи і стратегії управління «важкою аварією» виявляються не досить ефективними, що в свою чергу може призвести до руйнування ГО РУ і, як наслідок, до неконтрольованого виходу радіоактивної парогазової суміші в навколишнє середовище.

Для запобігання таких негативних наслідків на ряді АЕС за кордоном передбачена система аварійного примусового скидання тиску з ЗЛА, завдяки якій запобігається пошкодження ГО – останнього фізичного бар'єру безпеки глибокоешелонованого захисту на шляху розповсюдження радіоактивних речовин.

Зростання тиску середовища в ЗЛА при «важких аваріях» обумовлено такими фізичними явищами [1]:

- викид теплоносія з першого контуру і його випаровування;
- розігрів середовища ЗЛА в результаті відсутності відведення залишкового тепловиділення від розплавленої активної зони реактора (коріуму);
- додаткове виділення енергії в результаті пароцирконієвої реакції;
- утворенням великої кількості горючих, неконденсованих газів (H_2 і CO_2);
- виділення теплової енергії на пасивних автокаталітичних рекомбінаторах водню (при їх наявності на енергоблоці);
- горіння і детонація водню.

Відповідно для збереження цілісності СГО необхідні дії в наступних напрямках:

- відновлення працездатності СБ;
- запобігання горіння і детонації водню (установка пасивних автокаталітичних рекомбінаторів водню);
- примусове кероване скидання тиску з ЗЛА.

Заходи з пом'якшення наслідків «важких аварій» вже реалізовані на АЕС в деяких країнах. Причому, проектні рішення і рівень реалізації значно варіюється в різних країнах і навіть на різних енергоблоках однієї АЕС. Тому перед розробкою вимог до проектування системи примусового скидання тиску (СПСД) корисно познайомитися з підходами та досвідом з даної проблематики в різних країнах. Аварія на АЕС Фукусіма (11 березня 2011) підтвердила необхідність запровадження на енергоблоках АЕС систем примусового скидання тиску з ЗЛА.

Перелік посилань:

1. ЕР18-2010.400.ОД1. Запорожская АЭС. Энергоблок №1. Анализ уязвимости энергоблока №1 ЗАЭС в условиях «тяжелых аварий». Финальный отчет. ОП ЗАЭС, 2011.

ОСНОВНІ ПРИЧИНИ КОРОЗІЇ ТЕПЛООБМІННИХ ТРУБОК ПАРОГЕНЕРАТОРІВ ПГВ-1000М В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕНЕРГОБЛОКУ З РЕАКТОРОМ ВВЕР-1000 ТА МЕТОДИ БОРОТЬБИ.

Базовою метою безпеки атомних електростанцій є захист персоналу, населення і навколишнього природного середовища від недопустимого радіаційного впливу при введенні в експлуатацію, при експлуатації і знятті з експлуатації атомної станції.

Корозія на обладнанні, що застосовується в атомній енергетиці, може викликати багато серйозних проблем. Цей процес відбувається безперервно, і кожен метал, що входить до складу устаткування, піддається впливу певного типу корозії, або й кількох типів. Не зважаючи на те, що усунути корозію повністю неможливо, нею можна керувати.

Парогенератор ПГВ-1000 АЕС з реакторами типу ВВЕР-1000 конструктивно являє собою корпусну посудину з 11000 теплообмінних трубок. Тонкостінні ТОТ парогенераторів є важливою частиною межі першого контуру і для забезпечення функції ефективного бар'єру не повинні мати значних або наскрізних дефектів [1].

Забезпечення надійної роботи ТОТ є найважливішим завданням для АЕС.

Пошкодження теплообмінного пучка має місце на всіх АЕС і в даний час є основним фактором, що визначає залишковий ресурс парогенераторів.

Протікання в теплообмінній трубці або у зварному шві її кріплення в колекторі викликає тривалий простій блоку і суттєві економічні втрати від недовиробітку електроенергії.

Корінною причиною є недостатній аналіз умов експлуатації парогенераторів.

Супутніми факторами розвитку корозії у ПГ є :

1. Присутність корозійно-агресивних йонів (Cl^- , SO_4^{2-}), які потрапляють до ПГ з присосами охолоджуючої води в конденсаторах турбіни (SD 11÷14). Неefективне видалення солей з об'єму ПГ сприяє їх сорбції у пористих відкладеннях (hide-out).

2. Теплові та гідродинамічні навантаження на т/о трубки. Так, температура середовища першого контуру становить $318^{\circ}C$, тиск у першому контурі становить 160 атм ($кгс/см^2$); температура насиченої пари 2 контуру складає $174^{\circ}C$, тиск насиченої пари – 60 атм ($кгс/см^2$), температура живильної води $218^{\circ}C$. Особливої шкоди теплообмінним трубкам завдають гідровипробування першого контуру перед пуском блоку після ППР, під час яких всередині ТОТ створюють тиск у 250 атм ($кгс/см^2$).

3. Електрохімічна корозія, що може виникати в наслідок утворення пари залізо-мідь. Джерелом надходження міді у ПГ є теплообмінні трубки конденсатора турбіни, які виготовлені з мідно-нікелевого сплаву МНЖ-5-1.

Таким чином морфоліновий ВХР-2 значно знижує надходження у ПГ продуктів корозії конденсатно-живильного тракту, однак не захищає ПГ від небезпечних домішок, які потрапляють у ПГ через нещільність трубних систем конденсаторів турбіни.

Враховуючи масовий характер пошкодження трубок, а також важливість і пріоритет виключення мідних сплавів у другому контурі для підвищення коефіцієнта використання встановленої потужності енергоблоків, продовження ресурсу всього теплообмінного обладнання другого контуру, включаючи парогенератори, заміна трубних систем конденсаторів турбіни на трубки з нержавіючої сталі або титанового складу є вже актуальною.

Перелік посилань:

1. План дійствий по повышению надежности парогенераторов и конденсаторов турбоустановок АЭС ГП НАЭК «Энергоатом» на период 2014-2020гг.

РЕАКТОРИ ВВЕР З ПАЛИВОМ ПІДВИЩЕНОГО ЗБАГАЧЕННЯ

Використання ТВЗ з паливом підвищеного збагачення в реакторах ВВЕР ставить перед собою мету збільшення тривалості кампанії реактора. Це забезпечить максимальну ефективність роботи реактора, реалізацію циклів з різною тривалістю робочої кампанії, що дозволить оптимально адаптувати виробництво електроенергії на енергоблоці, орієнтуючись на особливості конкретної енергосистеми, а також підвищить глибину вигорання палива.

Оскільки підвищення збагачення і маси палива в ТВЗ веде за собою зменшення кількості нових ТВЗ, це призводить до збільшення максимальних відносних потужностей ТВЗ на 1 - 3%. Саме тому, використання палива підвищеного збагачення на реакторах типу ВВЕР тісно пов'язане з розробкою нових перспективних паливних циклів на базі ТВЗ нового покоління (ТВЗ-2М, ТВЗА, ТВЗ-2) з паливом більшого збагачення (до 5%, у перспективі до 6%).

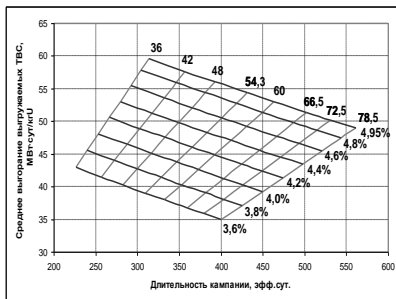


Рисунок №1. Залежність вигорання і тривалості кампанії від кількості завантажених ТВЗ-2М або ТВЗА+ та їх збагачення.

C ₂₃₅ , %	K _{infinity}
1.6	1.160954
3.6	1.358221
4	1.377130
4.5	1.396566
5	1.412617
5.5	1.426022
6	1.437617

Таблиця №1. Залежність коефіцієнта розмноження безкінечного реактора від збагачення палива ураном-235.

На рисунку №1 приведена залежність вигорання і тривалості кампанії від кількості завантажених ТВЗ-2М або ТВЗА+ та їх збагачення [1].

З рисунку №1 видно, що необхідно обирати оптимальні значення для циклів, оскільки максимальна глибина вигорання відповідає низькій тривалості кампанії, що

негативно впливає на коефіцієнт використання встановленої потужності. З іншого боку, найбільш тривалі кампанії не забезпечують прийнятної глибини вигорання палива [2].

В даній роботі показано, що використання палива підвищеного збагачення у реакторах типу ВВЕР дозволить збільшити тривалість кампанії реактора, зменшити кількість ТВЗ підживлення а також підвищити коефіцієнт використання встановленої потужності. Однак паливо більшого збагачення потребує нових рішень в питанні виготовлення і безпечної експлуатації, оскільки згідно даних, отриманих за допомогою нейтроно-фізичного розрахунку реактора типу ВВЕР-1000, підвищення збагачення палива призводить до зростання розмножуючих властивостей активної зони.

Перелік посилань:

1. Тепловыделяющая сборка ТВСА ВВЭР-1000: направления развития и результаты эксплуатации / В.Б. Кайдалов [та ін.]//Атомная энергия. – 2007. Т. – 102.– С. 43- 48.
2. Fuel cycles of VVER / V.V. Morozov, V.V. Saprykin, RRC Kurchatov Institute, Russia [Електроний ресурс]: матеріали 20th Symposium of AER on VVER Reactor Physics and Reactor Safety, 2010, Helsinki, Finland. - Режим доступу: <http://www.aer-web.com/paper/224>

Магистрант 5 курсу, гр. ТЯ-61м Филонов В.В.; магистрант 5 курсу, гр. ТЯ-61м Филонова Ю.С.

ОЦЕНКА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАСХОДОВ ПО ВКУ РЕАКТОРА ВВЭР-1000

Задача анализа формоизменения ВКУ реактора ВВЭР-1000, в частности выгордки есть наиболее комплексной в рамках продления ресурса украинских энергоблоков. Существующие модели распухания особо чувствительны к накопленной дозе, а так же распределению температуры по объему металла.

С физических соображений граничные условия на геометрии выгордки в тепловой задаче задаются условиями Неймана в виде зависимости Ньютона-Рихмана. Следовательно, вариация коэффициентов теплоотдачи может приводить к существенному различию оценок. В последнее время результаты теплогидравлических расчетов одного и того же источника могут существенно отличаться из года в год, создавая дополнительные вопросы при выборе соответствующих коэффициентов теплоотдачи, особенно если они постоянно разнятся более чем на 50%.

Существует практика детализирования теплогидравлических характеристик с помощью трехмерных CFD кодов, но и они требуют в себе граничные условия, которые не всегда могут быть получены из одномерных кодов типа RELAP (например, поканальный расход теплоносителя в ВКУ). Таким образом, существует необходимость проводить дополнительную оценку распределения расходов через ВКУ реактора для дальнейшего детального моделирования в CFD пакетах (CFX, STAR-CD) [1]. В предположении отсутствия перемешивания подобный первичный анализ может быть реализован постулируя равенство перепада давления на каждом эквивалентном элементе. Точная геометрия каналов заменяется на эквивалентную, а перепад давления определяется по активной зоне реактора. Решая интегральное уравнение для активной зоны и систему трансцендентных уравнений относительно расходов в остальных элементах можно определить и средние значения коэффициентов теплоотдачи в каждом эквивалентном канале.

Критерия миправильности есть максимальная температура топливного сердечника (1600°C), а так же суммарный расход при заданной тепловой мощности реактора. Полученные распределения расходов и средние значения коэффициентов теплоотдачи в дальнейшем применяются для трехмерного CFD моделирования с целью определения распределения температуры по объему выгордки с учетом энерговыделения в ней.

Перечень ссылок:

1. M. Niffenegger Coupled, RELAP5, 3D CFD and FEM analysis of postulated cracks in RPVs subjected to PTS loading, Nuclear Engineering and Design, 2015 – 12 с.

ВИБІР ОПТИМАЛЬНОЇ ДВОПАРАМЕТРИЧНОЇ МОДЕЛІ ТУРБУЛЕНТНОСТІ ДЛЯ CFD АНАЛІЗУ ТЕПЛООБМІНУ ПРИ НАДКРИТИЧНИХ ПАРАМЕТРАХ

Суттєвий програвш АЕС в металоємкості та ККД машинного залу сучасним тепловим електростанціям є досить вагомою запорукою подальшого розвитку. На сьогоднішній день концепції сучасних реакторних установок, так званого IV покоління, базуються на нових фізичних принципах забезпечення ефективного та надійного виробітку теплової енергії. Однією із найбільш перспективних концепцій є реактори на надкритичних параметрах теплоносія (РНПТ).

В рамках розвитку концепції реактора IV покоління експерименти по отриманню температурних режимів поверхонь, що охолоджуються водою на надкритичних параметрах є дуже важливими. Проблемою проведення таких експериментів є надзвичайно висока вартість та складність експериментальних стендів.

Сучасні числові схеми та моделі турбулентності дають нові можливості використання CFD пакетів для прогнозування температурних режимів. Основною проблемою теплообміну при надкритичних параметрах теплоносія є існування зон локального зниження коефіцієнту тепловіддачі, що призводить до розігріву гріючої поверхні. Використання CFD пакетів є незамінною складовою сучасних досліджень в цій області, оскільки може не тільки звузити границі експерименту, а й дати обґрунтування отриманим експериментальним даним. Можливість використання самих прикладних пакетів засновано на верифікації моделей на так званих тестових задачах (Benchmark) у тому числі і експериментах.

В рамках обґрунтування експериментальних даних режиму теплообміну на різних геометріях, зокрема на пучку ТВЕЛ, був проведений аналіз придатності двопараметричних моделей турбулентності сімейства $k-\epsilon$ (RNG), $k-\omega$ (SST). В якості тестової задачі було використано експериментальні дані розподілу температури на внутрішній стінці вертикального каналу ($d=10$ мм, $G_f=1500$ кг/с, $q_s=884$ кВт/м²) [1]. Результати (рис. 1) показали, що при $k-\omega$ (SST) модель може використовуватися при більш високому значенні безрозмірної координати $y^+ = 1-4$, що із-за специфіки пакету є найбільш оптимальним для CFX. При більш деталізованому ($y^+ = 0,1-0,5$) пограничному шарі, що характерний для низькорейнольдсівських моделей, $k-\epsilon$ (RNG) та $k-\omega$ (SST) моделі дають однаково прийнятні результати. Для вибраної задачі результати отримані в Fluent найбільш придатними.

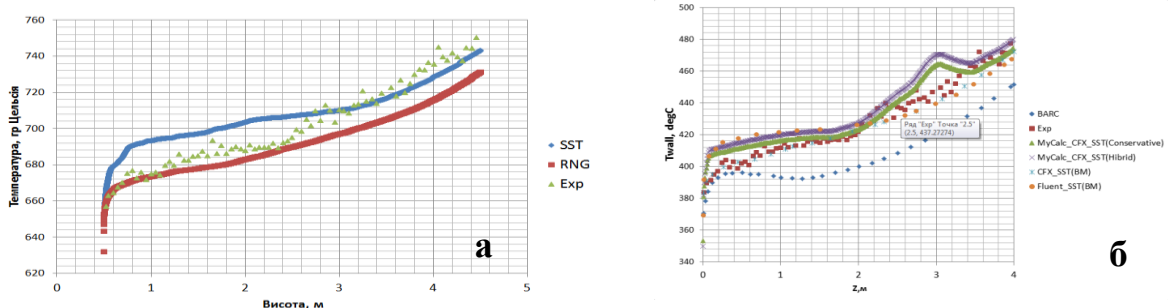


Рисунок 1. Результати моделювання: а. Fluent, б. CFX, індійської групи BARC та корейської KAERI

Перелік посилань:

1. Heat transfer behaviour and thermohydraulics code testing for supercritical water reactors (SCWRs) /IAEA, 2014 – 494 с.

ВИКОРИСТАННЯ CFD АНАЛІЗУ ТЕРМОШОКУ КОРПУСА РЕАКТОРА ПІД ТИСКОМ

Аналіз механіки руйнування корпусу реактора (КР), що піддається термоударам під тиском – одне з найважливіших питань при проведенні оцінки залишкового ресурсу енергоблоків АЕС. Це викликано неможливістю його заміни з техніко-економічних причин. Отже, цілісність конструкції КР виступає лімітуючим фактором для строків можливої експлуатації енергоблоків. Більш того, корпус реактора піддається впливу нейтронного потоку, що викликає крихкість конструкційних матеріалів та робить їх схильними до крихкого руйнування. Це може мати негативні наслідки для цілісності КР, особливо в умовах протікання аварійних ситуацій (аварій).

Однією з потенційних небезпек для цілісності реакторів типу ВВЕР є виникнення термоударів під тиском, пов'язаних з різким охолодженням теплоносія, що супроводжується високим тиском [1]. Першопричиною цього може бути низка вихідних подій, таких як течі теплоносія першого контуру, непередбачене відкриття запобіжного клапану компенсатора тиску, або ж розрив паропроводу. За умов наявності дефектів або тріщин в корпусі, термоудар під тиском може сприяти їх зростанню, або навіть в найгірших випадках призводити до руйнування. Тому корпус реактора має бути оцінений з точки зору крихкого руйнування при протіканні перехідних процесів, викликаних вихідними подіями аварій. Параметр, який зазвичай виступає критерієм міцності крихких матеріалів – коефіцієнт інтенсивності напружень.

Точний розподіл температур та коефіцієнтів тепловіддачі є важливим для розрахунку викликаних напружень в металі КР, а значить і для оцінки імовірності його руйнування. Одновимірні теплогідрравлічні коди, такі як RELAP5, не можуть точно відобразити явища перемішування в опускній камері корпусу реактора, де виникають «холодні язички» при спрацюванні систем аварійного охолодження активної зони [2]. Тому для моделювання ефекту струменевого охолодження виправдано використовувати моделі обчислювальної гідродинаміки, які враховують точну геометрію, використовують метод кінцевих об'ємів та мають змогу отримувати багатовимірні особливості процесів перемішування між гарячим теплоносієм та введеною холодною водою з великою точністю. Отримані таким методом температурні розподіли використовуються для подальшого детального аналізу напружень (рис.1) і в результаті – розрахунку коефіцієнтів інтенсивності напружень.

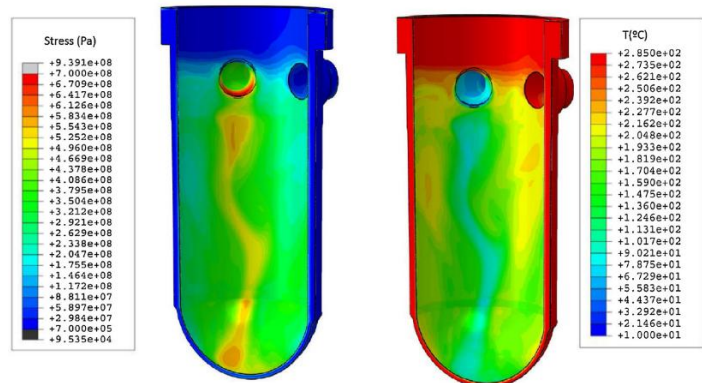


Рис.1. Розподіл температур та викликаних напружень в металі корпусу реактора

Перелік посилань:

1. M. Niffenegger Coupled, RELAP5, 3D CFD and FEM analysis of postulated cracks in RPVs subjected to PTS loading, Nuclear Engineering and Design, 2015 – 12 c.
2. V.F. González-Albuixech, Integrity analysis of a reactor pressure vessel subjected to a realistic pressurized thermal shock considering the cooling plume and constraint effects/ G. Qian, M. Sharabi, Engineering Fracture Mechanics, 2016 – 25 c.

УДК 621.6

Студент 4 курсу, гр. ТЯ-31 Філонюк А.К.
Асистент Гашимов А.М.

СТРАТЕГІЯ КЕРУВАННЯ АВАРІЯМИ ЗІ ЗМЕНШЕННЯМ ВИТРАТИ ТЕПЛОНОСІЯ ЧЕРЕЗ АКТИВНУ ЗОНУ РЕАКТОРА ВВЕР-440.

Основною метою забезпечення безпеки під час експлуатації АЕС є контроль та запобігання виникненню порушень нормальної експлуатації, проектних аварій та запобігання переростання проектних аварій в запроектні. Одними з найнебезпечніших є аварії зі зменшенням витрати теплоносія через активну зону реактора [1].

Метою роботи є визначення основних вихідних подій, що можуть призвести до зменшення витрати теплоносія через активну зону. Встановлення хронології розвитку аварій та їх наслідків. Після проведення мною аналізу основних звітів з безпеки Рівненської АЕС було визначено ряд вихідних подій, які призводять до зменшення витрати теплоносія через активну зону реактора.

Відключення трьох і менше ГЦН. Ймовірним причинами відключення електродвигуна ГЦН можуть бути порушення в електричних ланцюгах керування або помилка персоналу. При відключенні циркуляційних насосів забезпечується зменшення теплової потужності РУ до допустимих рівнів. Відключення ГЦН призводить до зменшення витрати теплоносія, збільшення тиску та температури першого контуру. Що дає сигнал для спрацювання АЗ та введення в роботу клапанів для аварійної компенсації тиску [2].

Відключення чотирьох ГЦН. При відключенні чотирьох ГЦН потужність реактора знижується дією аварійного захисту АЗ-1 за сигналом «Відключення чотирьох працюючих ГЦН». Контроль рівня теплоносія в КТ і тиску в першому контурі забезпечується регулятором рівня системи продувки-підживлення і регулятором тиску шляхом впливу на клапани уприскування і групи ТЕН в компенсаторі тиску [2].

Заклинювання одного ГЦН. Дана вихідна подія розглядається, як зупинка одного з ГЦН при роботі енергоблоку на потужності. Ймовірними причинами заклинювання валу ГЦН можуть бути механічні пошкодження робочого колеса або вузла ущільнення вала.

Зрив вала головного циркуляційного насоса. Це призводить до припинення передачі крутного моменту на одному з шести ГЦН без відключення електродвигуна при роботі енергоблоку на потужності. Причиною зриву може бути механічне розчеплення валів електродвигуна і насоса. При обриві вала ГЦН, витрата теплоносія через «аварійну» петлю зменшується в міру зупинки робочого колеса насоса. Після зупинки, починається зворотне обертання колеса, викликане виходом із ладу анти-реверсного пристрою. При зворотному потоці зменшується гідравлічний опір «аварійної» петлі, що призводить до більш низької витраті теплоносія через активну зону реактора [2].

На основі аналізу сценаріїв розвитку вихідних подій, що можуть призвести до зменшення витрати теплоносія через активну зону, необхідно виконати розробку найбільш ефективної системи керування порушенням експлуатації та аваріями даного класу, з ціллю мінімізації негативних наслідків для роботи АЕС [3].

Перелік посилань:

1. Требования к содержанию отчета по анализу безопасности действующих энергоблоков АЭС с реакторами типа ВВЭР. Руководящий документ. 1995.
2. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций. НП 306.2.141-2008. Киев. 2008.
3. Отчет по анализу безопасности. Энергоблок №1 РАЭС. Анализ проектных аварий. Итоговый отчет. 22.1.123.ОБ.01. 2007.

ЗАХОДИ ТА АНАЛІЗ БЕЗПЕКИ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ РУ ВВЕР-1000 НА ПІДВИЩЕНОМУ ДОЗВОЛЕНОМУ РІВНІ ПОТУЖНОСТІ

ВВЕР-1000 — водо-водяний енергетичний реактор, теплоносієм і сповільнювачем у якому служить вода під тиском. Являє собою друге покоління легководних реакторів великої потужності. Електрична потужність енергоблоків, становить 1000 МВт. Теплова — 3000 Мвт. Ядерні реактори цього типу в Україні встановлені на Запорізькій, Рівненській, Хмельницькій, Південноукраїнській АЕС [1].

Нарівні з нарощуванням нових потужностей на АЕС, в умовах інвестиційних труднощів в атомно-енергетичній галузі, вельми важливим стає також більш ефективне використання і розвиток існуючих потужностей вище встановленого значення. Як відомо, розроблені і останнім часом широко впроваджуються різні способи і шляхи підвищення ефективності, надійності, безпеки енергоблоків АЕС з корпусними водоводяними реакторами (PWR) і ВВЕР середньої і підвищеної потужності. Сьогодні прийнятними можна визнати тільки такі шляхи підвищення потужності та ефективності, які, по-перше, не знижують надійність і безпеку по всьому регламентуються, по-друге, які при обов'язковому виконанні першої умови характеризуються найбільшою економічністю при їх реалізації. До таких пріоритетних способів підвищення енерговиділення вже діючих енергоблоків з ВВЕР-1000 слід віднести переведення їх на роботу з підвищеною понад номінального рівня потужністю.

Принципово, робота реактора на підвищеній потужності сьогодні стає можливою з причин: 1) у безперервний спосіб уточнюються нейтронно-фізичні константи і розрахункові коди, завдяки чому вдається обґрунтовувати забезпечення прийнятих (нормативних) коефіцієнтів запасів при меншій консервативності підходів; 2) в процесі вдосконалення методів і апаратури контролю нейтронного потоку, нерівномірності полів енерговиділення в активній зоні, поліпшення показності і точності обробки даних СВРК реактора і підрахунку теплової потужності і ККД знижуються потрібні запаси на неточність оцінок потужності; 3) більш раціональні методи управління нерівномірно енерговиділення в осьовому і радіальному напрямку, перехід до стратегій перевантажень, що поєднує принципи "незначного витоку" і "низькою нерівномірності", більш досконале і ефективне паливо (вдосконалені ТВС з жорстким каркасом, з цирконієвими ДР і НК і з гадолінієм, подовженим паливним стовпом, зменшеним об'ємом газозбірників і ін.), "вирівнювання" полів енерговиділення в процесі тривалого вигорання палива також призводять до можливостей підвищення експлуатаційної надійності при роботі на потужності вище номінального рівня [2].

Сьогодні перехід до роботи на потужності вище номінальної визнаний доцільним на ряді вже експлуатованих і нововведених АЕС. З цією метою запланована програма ступеневої підвищення максимальної потужності енергоблоків в початковому періоді до 104, 107 і 110%.

Перелік посилань:

1. Андрющенко А.І. Оптимизация режимов работы и параметров тепловых электростанций / А.И. Андрющенко. М.: Высшая школа, 1983.254 с.
2. Анализ возможностей увеличения тепловой мощности энергоблоков ВВЭР-1000, оценка затрат и возможного экономического эффекта от повышения мощности. ОАО ВНИИАЭС: отчет №0-311-129/03-0-311-134/03. Этапы КБ. Москва.

ТЕПЛОГІДРАВЛІЧНІ ПРОЦЕСИ ПРИ ОМИВАННІ ПУЧКІВ ТРУБ ВОДОЮ НАДКРИТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

На сьогодні однією з найголовніших вимог, що висувається до реакторів IV покоління, є підвищення конкурентоспроможності АЕС за рахунок істотного скорочення капіталовкладень при значно посиленіх вимогах до безпеки реакторних установок. Технології реакторів III покоління, які успішно застосовуються в даний час, в основному базуються на водоохолоджувальних РУ із застосуванням турбінного циклу на насиченому парі. Цей цикл попри свою розповсюдженість характеризується відносно низьким ККД, що тягне за собою значні капіталовкладення на 1 кВт год, що відпускається.

Таким чином, помітне підвищення конкурентоспроможності АЕС з водоохолоджувальними РУ має досягатися при переході на турбінний цикл з перегрівом пари, що характеризується високим ККД. Максимальне ж збільшення ККД досягається шляхом підвищення температури і тиску пари до надкритичних значень [1]. АЕС з таким реактором повинна мати досить високий ККД (до 45%) і відносно просту одно контурну теплову схему охолодження реактора, що зумовлено в першу чергу теплофізичними властивостями води при надкритичних тисках.

Таким чином, комерційна привабливість реакторів з надкритичним тиском забезпечується за рахунок високого ККД і пов'язаного з цим зменшенням питомих капіталовкладень в численні системи АЕС, вартість яких залежить від теплової потужності реакторів, і за рахунок скорочення кількості та обсягу обладнання внаслідок спрощення конструкції реактора.

Певний обсяг науково-дослідних робіт може бути запозичений з досвіду теплової енергетики. На сьогодні вивчені питання теплофізичних властивостей води, водо-хімічного режиму, вибору матеріалів, накоплений достатній досвід експлуатації теплотехнічного обладнання, налагоджено виробництво турбін і котлів.

Однак залишається ще багато питань стосовно особливостей протікання теплогидравлічних процесів в каналах з теплоносієм надкритичних параметрів, до яких сучасні теплогидравлічні розрахункові коди мають досить низьку адаптованість. Окрім того, переважна більшість наукових робіт присвячена тепловіддачі від гладких труб і дуже мало публікацій висвітлюють перенесення тепла в іншій геометрії потоку (канали з одним нагрітим стрижнем або канали з пучком труб) [2].

Одним з найперспективніших напрямів дослідження є вивчення особливостей теплогидравлічних процесів при обтіканні теплоносієм пучків труб з гвинтовим оребренням. Стрижні з гвинтовим оребренням збурюють потік теплоносія, що в свою чергу призводить до інтенсифікації теплообміну.

Перелік посилань:

1. A technology roadmap for Generation IV nuclear energy systems [Електронний ресурс]: Generation IV International Forum (December 2002). – Режим доступу: http://nuclear.inl.gov/gen4/docs/gen_iv_roadmap.pdf.
2. Семечков Ю.М. Проблемы и перспективы реакторов нового поколения со сверхкритическим давлением / Ю.М. Семечков, А.С. Духовенский, П.Н. Алексеев и др. // Теплоэнергетика. 2008. – №5. – С.6–11.

УДК 621.039.58

Студент 4 курсу, гр. ТЯ-33 Шарун В.І.
Асист. Серафим Р.І.

АНАЛІЗ ВПРОВАДЖЕННЯ КЕРІВНИЦТВ З УПРАВЛІННЯ ВАЖКИМИ АВАРІЯМИ НА ЕНЕРГОБЛОКАХ АЕС УКРАЇНИ

Розгляд запроектованих аварій на атомних електростанціях є важливим елементом забезпечення ядерної безпеки та дотримання принципів глибокоешелюваного захисту.

Для запобігання переходу запроектованої аварії в важку стадію оперативний персонал блочного щита управління використовує інструкцію з ліквідації аварій (ІЛА) в форматі симптомно-орієнтованої аварійної інструкції. При виникненні умов переходу запроектованої аварії в важку стадію виконання ІЛА припиняється і починається робота відповідно до керівництва з управління важкими аваріями.[1]

Керівництва з управління важкими аваріями (КУВА) представляють собою набір спеціальних інструкцій та керівництв направлених на мінімізацію наслідків важких аварій на АЕС.

Основними цілями КУВА є:

- припинення пошкодження палива в активній зоні і басейні витримки на ранній стадії розвитку;
- підтримання локалізуючої здатності гермооб'єму настільки довго, наскільки це можливо;
- мінімізація радіаційного викиду як на майданчику, так і за його межами.

Розробку КУВА свого часу прискорили події на атомній електростанції Фукусіма, які сталися в березні 2011 року. Розроблені керівництва пройшли верифікацію та валідацію і після узгодження з Державною інспекцією ядерного регулювання були запроваджені на АЕС України.

Разом з тим, слід зазначити, що під час розробки КУВА було виявлено низку проблем, які наразі потребують усунення та подальшого доопрацювання КУВА, зокрема:

- підтвердження кваліфікації обладнання, яке може бути застосоване при управлінні важкими аваріями;
- дослідження властивостей розплаву, шляхів його переміщення та охолодження;
- визначення актуальних хімічних складів бетонів енергоблоків;
- обґрунтування пріоритету застосування керівництв пакету КУВА;
- усунення невизначеностей валідації КУВА;
- впливу протікання важкої аварії на одному енергоблоці на інші енергоблоки на майданчику АЕС.

У доповіді буде розглянуто аналіз міжнародного досвіду впровадження КУВА, підходи до розробки КУВА, що були використані в Україні, а також розглянуто специфіку актуальних наразі проблем.

Перелік посилань:

1. 01.ГТ.00.РУ.01-14. Керівництво з управління важкими аваріями на енергоблоці №1 Запорізької АЕС. – Відокремлений підрозділ НАЕК «Енергоатом» Запорізька АЕС.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ПАССИВНОГО ОТВОДА ТЕПЛА ПРИРЕАКТОРНОГО БАСЕЙНА ВЫДЕРЖКИ ОТРАБОТАННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

На эксплуатируемых сегодня АЭС с ВВЭР и PWR, а также в эволюционных проектах РУ с ВВЭР-1000/В-392 и АЭС-2006 специальных технических средств для предотвращения повреждения ОЯТ в БВ в условиях полного длительного обесточивания не предусмотрено. В проекте ВВЭР-ТОИ принят гораздо больший объем БВ по сравнению с ВВЭР-1000/В-320 за счет увеличения глубины бассейна до 20 м. Подобное техническое решение позволяет существенно увеличить продолжительность процесса испарения воды из БВ при полном обесточивании, однако полностью проблемы обеспечения безопасности ОЯТ при продолжительной потере электроснабжения собственных нужд с отказом (потерей) аварийных источников электроснабжения не решает.

Целью работы является сравнение тепловой эффективности вариантов конструкций термосифонной СПОТ приреакторного бассейна выдержки ОЯТ РУ АЭС с ВВЭР- 1000. Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

- разработка схемного решения СПОТ приреакторного БВ ОЯТ с использованием кольцевых двухфазных термосифонов (ДТС);
- анализ возможности его реализации в составе реакторного отделения РУ АЭС с ВВЭР-1000;
- разработка расчетной модели термосифонной СПОТ БВ;
- проведение расчетной оценки эффективности вариантов СПОТ БВ с трубной и пластинчатой конструкциями испарителя и конденсатора кольцевого ДТС.

Для организации пассивного отвода остаточных тепловыделений в приреакторном БВ РУ АЭС с ВВЭР-1000 в условиях ЗПА с полным длительным обесточиванием предлагается схема СПОТ БВ с использованием испарительно-конденсационных устройств замкнутого типа – низкотемпературных кольцевых двухфазных термосифонов (ДТС) [1]. ДТС за счет переноса скрытой теплоты парообразования своего промежуточного теплоносителя, обеспечивает эффективный теплоперенос от БВ конечному поглотителю – атмосферному воздуху [2].

СПОТ БВ представлен в виде замкнутого двухфазного контура, состоящего из испарительного и конденсационного участков (теплообменники в БВ и за пределами гермообъема, соответственно) и двух транспортный участков – паропровод от испарителя к конденсатору и возвратный трубопровод конденсата от конденсатора к испарителю. Разность высотных отметок испарителя и конденсатора принята равной 15 м, что соответствует реальной компоновке отсеков БВ ОЯТ в составе реакторного отделения энергоблока РУ с ВВЭР-1000/В-320.

Внедрение СПОТ БВ в состав систем безопасности РУ позволит исключить возможность повреждения ОЯТ в приреакторных БВ в условиях запроектной аварии с полным длительным обесточиванием.

Перечень ссылок:

1. Пат. № 83014 Україна, МПК⁸ G21C15/18. Басейн витримки відпрацьованого ядерного палива / Свириденко І.І., Москаленко О.Ю.; заявник і патентовласник СевНТУ. – № а 2005 05436; заявл. 07.06.2005; опубл. 10.06.2008, Бюл. № 11.
2. http://www.nbu.gov.ua/old_jrn/natural/znpnu/2012_4/Z44R1S7.pdf

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ РОБОТИ РЕАКТОРУ ВВЕР-1000 В МАНЕВРЕНОМУ РЕЖИМІ

В енергосистемі України існує невідповідність між споживанням і виробленням електроенергії протягом доби. У зв'язку з невеликою часткою установок, призначених для регулювання добового графіка навантаження енергосистеми, актуальною є задача адаптації діючих АЕС до нових специфічних умов роботи.

Енергоблоки АЕС з ВВЕР-1000 призначені для експлуатації в базовому режимі на номінальному рівні потужності, однак є можливість їх експлуатації і в маневреному режимі.

Аналіз можливостей реактору ВВЕР-1000 як об'єкта управління, показав, що, з усіх притаманних активній зоні параметрів, на його стійкість в маневреному режимі впливають температурний та потужнісний ефекти реактивності, а також зміна реактивності, спричинена отруєнням ксеноном, яке в деяких випадках може привести до нестійкої роботи реактора та навіть до його вимушеної зупинки [1].

Для безпечної експлуатації енергоблоку з реактором ВВЕР-1000 в маневреному режимі необхідно, щоб реактор ВВЕР-1000 знаходився в стійкому стані і підтримувався рівномірний розподіл енерговиділення в активній зоні, з урахуванням цього експлуатація реактора призводить до необхідності врахування низки аспектів, зокрема:

ксенонових коливань, які спричиняють періодичну зміну розподілу енерговиділення по висоті активної зони реактора, що є негативним фактором для безпечної експлуатації енергоблоку [2];

необхідності удосконалення автоматичної системи регулювання потужності енергоблоку, для реалізації зміни потужності в автоматичному режимі з мінімальною участю оператора;

зміна потужності може вимагати зміну концентрації розчину бору у першому контурі, що може бути проблематично під кінець паливної кампанії;

реалізація маневреного режиму в першу чергу передбачається на енергоблоках завантаження активної зони яких сформовано із ТВЗ одного типу, що наразі не виконується для низки енергоблоків;

виконання аналізу впливу регулярної зміни потужності на обладнання енергоблоку.

Метою роботи є аналіз можливостей роботи реактора в маневреному режимі, виявлення проблем, та винайдення шляхів їх подолання. Також, буде розглянуто вплив регулярної зміни потужності на обладнання енергоблоку та проаналізовано доцільність використання реакторів розроблених для роботи на номінальній потужності для маневрування з метою перекривання піків енергоспоживання.

Перелік посилань:

1.Тодорцев Ю.К. Автоматизированная система регулирования мощности энергоблока для управления ЯЭУ в маневренных режимах с постоянной температурой входа в реактор / Ю.К. Тодорцев, Т.А. Цисельская, М.В. Никольский // Ядерная та радіаційна безпека. – 2013. – № 4. – С. 20-25.

2.Фощ Т.В. Удосконалена автоматизована система управління потужністю енергоблоку з ВВЕР-1000 при підтримці постійного аксіального офсету і початкового тиску пари у другому контурі в маневреному режимі / Т.В. Фощ// Труды одесского политехнического университета – 2014. – №1 – С. 97-103.

ПЕРЕПРИЗНАЧЕННЯ ЦИКЛІВ НАВАНТАЖЕННЯ ОБЛАДНАННЯ ТА ТРУБОПРОВІДІВ ЯДЕРНОЇ УСТАНОВКИ ЕНЕРГОБЛОКУ №1 ВП ЮНАЕС У НАПРОЕКТНИЙ ПЕРІОД ДО 60 РОКІВ

З п'ятнадцяти діючих в Україні енергоблоків термін експлуатації трьох вже було продовжено для їх роботи у понадпроектний період. Це енергоблоки №1 і 2 Рівненської АЕС, строк служби яких продовжили на 20 років, та енергоблок №1 Южно-Української АЕС, який працюватиме протягом додаткових 10 років. До 2020 року спливає термін проектної експлуатації ще 9 атомних енергоблоків. Схожа ситуація склалася й у світовій атомній енергетиці, де протягом 2010-2020 рр. приблизно 80% енергоблоків АЕС, вичерпають проектний ресурс [1]. Український уряд планує продовжити строк експлуатації цих реакторів ще на 10-20 років.

Для такого, щоб продовжити термін експлуатації АЕС у надпроектний період необхідно провести ряд робіт, що будуть підтверджувати працездатність даної АЕС.

Дана методика встановлює вимоги до виконання робіт з перепризначення допустимої кількості експлуатаційних циклів навантаження обладнання та трубопроводів енергоблоків АЕС. В її основу покладені принципи і методологія перевірочних розрахунків на циклічну міцність відповідно до ПНАЕГ-7-002-86 "Норми розрахунку на міцність обладнання і трубопроводів АЕУ" за наступним граничним станом: виникнення макротріщин при циклічному навантаженні [2]. Згідно із згаданими принципами експлуатація обладнання в проектний/понадпроектний період експлуатації енергоблоку АЕС допускається, якщо виконується умова $a \leq [a_N]$, де a - накопичена утомлююча пошкодження, $[a_N]$ - допустима накопичена утомлююча пошкодження (приймається $[a_N] = 1$).

Проведений в програмному забезпеченні APM Structure 3D розрахунок на статичну міцність ГЕ САОЗ блоку №1 ЮУАЕС показав наступні результати: сумарна накопичена утомлююча пошкодження гідроємностей САОЗ $\Sigma a = 0.0212$, сумарна накопичена утомлююча пошкодження трубопроводів САОЗ $\Sigma a = 0.2024$. Після отриманих результатів може прийти до висновку, накопичене утомлююча пошкодження не перевищує допустимих величин, що вказує на можливість експлуатації розрахованого обладнання і трубопроводів у надпроектний термін до 60 років.

Перелік посилань:

1. E.V. Steinfelds, T.K. Ghosh, M.A. Prelas, R.V. Tompson, S.K. Loyalka; Development of Radioisotope Energy Conversion Systems – Efficient Radioisotopic Power; Córdoba, Spain; 2003.
2. M.A. Prelas, F.P. Boody, D.J. Charlson, G.H. Miley; Progress in Nuclear Energy; Vol.23 №3; Pergamon Press, plc.; 1991.

АНАЛІЗ СТАНУ ПРОБЛЕМ ТРАНСПОРТУВАННЯ ВІДПРАЦЬОВАНОВОГО ЯДЕРНОГО ПАЛИВА

На даному етапі розвитку атомної енергетики в Україні гостро стоїть питання поводження з відпрацьованим ядерним паливом (ВЯП). Наразі йде процес отримання ліцензії на будівництво і введення в експлуатацію сухого сховища ВЯП (ЦСВЯП), яке буде знаходитися на майданчику, розташованому поруч з заводом для переробки РАВ «Вектор» в Зоні Відчуження. Для зберігання буде використана технологія компанії HOLTES International – система з трьох контейнерів: перевантажувальний HI-TRAC, транспортний HI-STAR і контейнер зберігання HI-STORM. Основним елементом технології буде БЦК–сталева каністра з двох обичайок, в якій буде розташовуватися паливний кошик, виконаний з композитного борвмісного матеріалу.

Відпрацьоване паливо з АЕС буде транспортуватися за допомогою контейнера HI-STAR. Оскільки транспортування буде здійснюватись за допомогою мереж залізниць загального користування, а час транспортування вимірюється десятками годин, забезпечення безпеки при перевезенні ВЯП є ключовою задачею. Необхідно на стадії розробки звіту з аналізу безпеки розглянути всі ймовірні аварійні ситуації.

Особливо небезпечними є можливі аварії, вихідними подіями для яких може служити падіння контейнера з великої висоти, падіння на штир, пожежа, занурення у воду на велику глибину [1]. В історії транспортування відпрацьованого ядерного палива таких аварій не було, але випадки з виходом радіоактивних речовин, пожежі при перевезенні небезпечних речовин мали місце. У 2001 році в залізничному тунелі міста Балтімор (США) сталося перекидання декількох вагонів із соляною кислотою, внаслідок чого почалася пожежа, яка тривала за деякими оцінками від трьох до п'яти діб. Температура у епіцентрі вогнища становила близько 820° С [2].

Згідно з нормативними документами МАГАТЕ, транспортний контейнер для перевезення відпрацьованого ядерного палива повинен забезпечувати безпеку при пожежі протягом 30 хвилин з температурою полум'я 800°С. Але, оскільки, в історії перевезень довготривалі пожежі також мали місце, задля забезпечення безпеки додатково варто так само розглянути процес протікання запроектої аварії – події, при якій пожежа триватиме більш ніж 30 хвилин. Тому, на основі аналізу стану даної проблеми було сформульовано мету та завдання наукового дослідження. Ставиться мета змодельовати процес протікання запроектої аварії для транспортного контейнера HI-STAR– пожежі тривалістю більше ніж 30 хвилин. Завдання – визначити температури основних конструктивних елементів контейнера для подальшого висновку щодо придатності його безпечної експлуатації та стану ВЯП, яке транспортується.

Перелік посилань:

1. Regulations for the safe transport of radioactive material : specific safety requirements. — 2012 edition. — Vienna: International Atomic Energy Agency, 2012.
2. “Investigation into the Derailment of CSX Train L41216 in Howard Street Tunnel, Baltimore, Maryland,” National Transportation Safety Board Advisory, Washington, D.C. (Aug. 7, 2001).

ПРОБЛЕМИ МІЖНАРОДНОГО ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ТЕРМОЯДЕРНОГО РЕАКТОРА (ITER)

Вирішення проблеми підтримання термоядерного синтезу є метою створення міжнародного експериментального термоядерного реактора (ITER). Даний проект – це повна протилежність сучасним реакторам АЕС, де відбувається розпад важких ядер. Реакція синтезу в ITER не буде підтримувати себе сама, так як базується на поєднанні ядер дейтерію та тритію з виділенням колосальної кількості енергії. Тому розвиток термоядерного синтезу є перспективним напрямком розвитку енергетики, на відміну від атомної. Розглянуте нами питання є актуальним, оскільки успіх проекту буде вирішенням енергетичної проблеми людства.

Перші наукові основи ITER були закладені в інституті імені Курчатова в Москві. Перші досліді проводили академіки Андрій Сахаров та Ігор Тамм. Тут і був створений перший у світі токомак – тороїдальна установка з магнітними котушками, що і є “серцем” реактора [1].

В даній роботі розглянуто головні проблеми, з якими зіштовхнулися науковці при проектуванні термоядерного реактора. Вартість проекту ITER, розпочатого у Франції складає 13 млрд. євро, але ця сума постійно зростає, оскільки дана технологія є новою і авантюрою, бо досі ніхто не впевнений, що вона спрацює. Не зважаючи на це, 34 країни-учасниці забезпечують даний проект усім необхідним. Проект настільки унікальний, що розробляють нові матеріали. Наприклад, для виготовлення теплообмінних елементів дивертора реактора винайшли біметалічні пластини з хромо-цирконієвої бронзи та сталі 316L-IG (підвищена міцність на розрив шарів – не менше 300 МПа при 150°C та абсолютний рівень суцільності). Всі метали, що будуть входити в склад шарів повинні відповідати спеціально розробленій специфікації ITER – “ITER Grade” [1].

Одним з головних завдань – втримати гаряче нестабільне паливо – плазму ізотопів водню в середині реактора, не контактуючи з його стінкою. При контакті в швидке охолодження і реакція зупиниться. Форма камери реактора специфічна, адже необхідно створити відповідні умови для існування плазми. Цю камеру оточують дуже потужні магніти, вони створюють магнітну пастку [2].

Метою даної роботи є аналіз шляхів вирішення основних проблем створення реактора ITER і підтримання реакції термоядерного синтезу легких ядер. Дослідження енергетичного палива ITER та його найбільш вигідні варіації.

Перелік посилань:

1. Глухих В.А., Беляков В.А., Минеев А.Б. Физико-технические основы управляемого термоядерного синтеза. Учебное пособие для вузов, 2006. – 348 с.
2. Фридман В. ITER // В мире науки. - 2014. –№6– с. 62-69.

СЕКЦІЯ №2

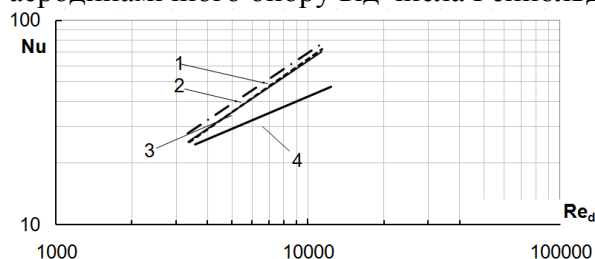
**Теплообмін і
гідродинаміка в
теплопередаючих
пристроях і
енергетичних
установках**

ТЕЧІЯ ТА ТЕПЛОБМІН В ПУЧКАХ ГВИНТОПОДІБНИХ ТРУБ

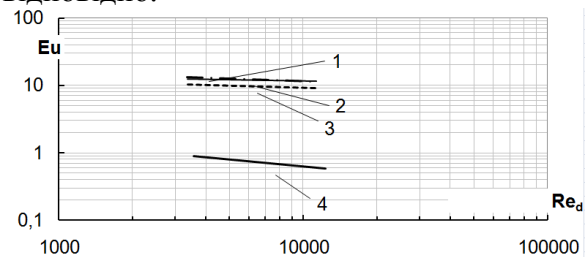
На сьогоднішній день існує проблема підвищення теплоаеродинамічної ефективності, зменшення ваги та габаритних розмірів теплообмінних апаратів, в яких теплообмінна секція з пучками оребрених труб становить основну частину.

Для визначення оптимальних геометричних розмірів і конфігурації турбулізаторів проводилося досить багато досліджень [1-2]. Більшість з цих робіт носило експериментальний характер, в яких визначалися середні значення теплогідрравлічних параметрів, що не дозволило отримати детальну інформацію про структуру течії, полях швидкості і температури в пристінній області потоку, про розподіли локальних коефіцієнтів тепловіддачі в середині труби. Оскільки дані турбулізатори (кільцеві діафрагми, гвинтові стрічки, вставки) мали ряд недоліків, було запропоновано використання пучків гвинтоподібних труб з рівнорозвинутою поверхнею [3].

Конструкція гвинтоподібних труб дозволяє одночасно збільшити як зовнішню, так і внутрішню поверхню теплообміну (приблизно в 1,15-1,4 рази) [4]. На рис.1 та рис.2 представлено залежність числа Нуссельта від числа Рейнольдса та залежність аеродинамічного опору від числа Рейнольдса відповідно.



1. 8мм, 2. 12мм, 3. 20мм, 4. гладка труба.
Рисунок 1. Залежність $Nu=f(Re)$ для різних гвинтових ліній.



1. 8мм, 2. 12мм, 3. 20мм, 4. гладка труба.
Рисунок 2. Залежність $Eu=f(Re)$ для різних гвинтових ліній.

З рис.1 можна зробити висновок, що при застосуванні гвинтоподібних труб, інтенсивність теплообміну зростає майже на 50% в порівнянні з гладкою циліндричною трубою такого ж зовнішнього діаметру та довжини. На рис. 2 показано вплив числа Рейнольдса на аеродинамічний опір. Так для гвинтоподібної труби з кроком гвинтової лінії 8мм, зростання інтенсивності теплообміну на 50% супроводжується ростом аеродинамічного опору в 9...10 разів.

Тому виникає завдання встановити оптимальні геометричні характеристики гвинтоподібної труби та пакетів таких труб: крок гвинтової канавки, висота (глибина) виступів (впадин) для створення високоефективних теплообмінних поверхонь, для яких значення аеродинамічного опору значно менше.

Перелік посилань:

1. Калинин Э.К. Интенсификация теплообмена в каналах / Э.К. Калинин, Г.А. Дрейцер, С.А. Ярхо. – М.: Машиностроение, 1990. – 200 с.
2. Щукин В.К. Теплообмен и гидродинамика внутренних потоков в полях массовых сил. – М.: Машиностроение, 1980. – 240 с.
3. Письменный Е.Н. Теплообмен и аэродинамика пакетов винтообразных труб с равноразвитой поверхностью / Е.Н. Письменный, В.А. Рогачев, А.В. Баранюк, С.А. Рева, А. П. Панасюк – Современная наука №1(12).
4. Баранюк О.В. Міцність гвинтоподібної труби з рівнорозвиненою поверхнею з урахуванням внутрішньої течії потоку / О.В. Баранюк, С.І. Трубочов, В.С. Мельник - Scientific Journal «ScienceRise» №2(31) 2017.

ТЕПЛОТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛОВИХ ТРУБ З СІТЧАСТОЮ КАПЛІЯРНОЮ СТРУКТУРОЮ

На сьогоднішній день змінилася тенденція розвитку новітніх комп'ютерних технологій і радіо-електронної апаратури (РЕА) у зв'язку з постановкою більш складних задач перед виробниками даної техніки. Відповідно до цього для ефективної роботи системи постає проблема охолодження РЕА і підтримки її відповідного температурного режиму роботи. Актуальним вирішенням поставленого завдання є використання теплових труб (ТТ). ТТ це автономні, двофазні, тепло-передавальні пристрої замкнутого типу з низьким термічним опором.

Характерною особливістю ТТ являється наявність капілярної структури (КС) для руху теплоносія проти сил тяжіння. Існує різновид використання КС в ТТ. Розглянемо ТТ з різними найпоширенішими КС та їх недоліки:

- ТТ з волокнистою КС (складна в конструкції, дорога);
- ТТ з порошковою КС (наявність закритих пор, низька тепло-передавальна здатність);
- ТТ з канавчастою КС (використання певних типів конструктивних матеріалів).

Менш поширеним є використання дешевої і простої сітчастої КС. ТТ з сітчастою КС можуть використовуватись з більшим діапазоном конструктивних матеріалів і типами теплоносіїв. На даний момент відносно не велика кількість експериментальних даних по тепло-транспортним характеристиках таких КС. Тому при застосуванні таких ТТ у пристроях, необхідно більш детально дослідити їх тепло-технічні параметри. В ТТ як КС використовувалися шари металевих сіток. Сітчасті матеріали, як показав досвід їх використання в теплових трубах в якості КС, мають незадовільні теплофізичні та експлуатаційні характеристики. Шари металевих сіток при виготовленні ТТ, призводять до утворення локально-великих термічних опорів тепловіддачі, в тому числі - контактних термічних опорів [1].

Був проведений дослід ТТ з сітчастою КС. Отримані дані зображені на рисунку 1. Була відображена залежність термічного опору від температури насичення.

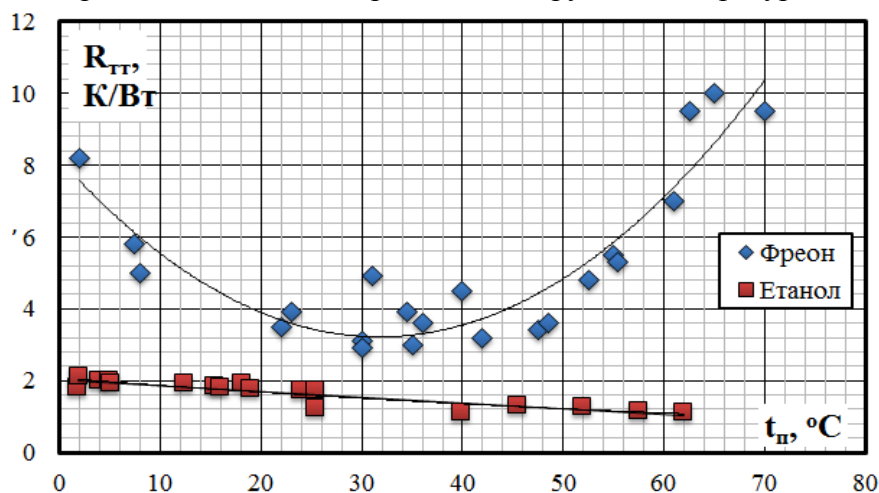


Рисунок 1. Залежність термічного опору ТТ від температури пара

Перелік посилань:

1. Шаповал А.А. Исследование характеристик низькотемпературных тепловых труб для энергосберегающего оборудования [Тест]/ Шаповал А.А, Стрельцова Ю.В // Технологический аудит и резервы производства. -2016.-Vol 3.-P.74-78.

ІНТЕНСИВНІСТЬ ТЕПЛООБМІНУ ТРУБ КРАПЛЕПОДІБНОЇ ФОРМИ

В роботі [1] представлені результати дослідження аеродинамічного опору труб краплеподібної форми, візуалізація течії на їх поверхні та за ними. Отримані експериментальні дані показали, що аеродинамічний опір таких труб при $L/D > 1,8$ суттєво нижчий, ніж у труб з круглим поперечним перерізом. У зв'язку з цим, можливо припустити, що труби краплеподібного профілю можуть бути альтернативою круглим трубам, які традиційно використовуються в якості елементів теплообмінних поверхонь рекуперативних апаратів. Саме тому продовження досліджень є актуальним.

Дослідженням течії на поверхні труб краплеподібного типу, а також інтенсивності теплообміну для таких форм труб присвячена невелика кількість публікацій. Аналіз літератури дозволяє зробити висновки, що дослідження інтенсивності теплообміну та теплоаеродинамічних характеристик труб краплеподібної форми практично відсутні. Відомі роботи містять уривчасті дані, не мають ніяких розрахункових методик і носять, як правило, окремий характер. Результати числового моделювання представлені у більшості робіт, як правило, експериментально не підтвержені.

Мета даної роботи - експериментальне дослідження інтенсивності конвективного теплообміну труб краплеподібного профілю, впливу розташування труб відносно напрямку їх обтікання на інтенсивність теплообміну та порівняння отриманих результатів з інтенсивністю теплообміну труб інших форм поперечного перетину.

В якості об'єкта дослідження вибраний макет труби краплеподібного профілю, що мала такі геометричні розміри [2]: $h = 60$ мм, $D = 24$ мм, $d = 10$ мм, $L = 51$ мм, $L/D = 2,125$, зовнішній периметр $\Pi = 122,9$ мм (рис. 1).

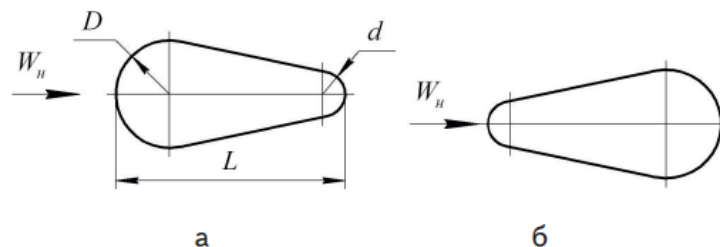


Рис. 1. Загальний вид і умови обтікання труб краплеподібного профілю:
а – «прямий» краплеподібний профіль; б – «зворотній» профіль

Дослідження проводились в аеродинамічній трубі розімкненого типу з прямокутним перерізом $H \times B = 60 \times 70$ мм в діапазоні зміни чисел Рейнольдса $Re_D = (4..25) \cdot 10^3$.

Проведені дослідження інтенсивності теплообміну труб краплеподібного профілю, обробка і співставлення експериментальних даних дозволяють стверджувати про необхідність подальших досліджень таких поверхонь з точки зору варіювання їх геометрії та оцінки теплоаеродинамічної ефективності.

Перелік посилань:

1. Терех, А.М. Аэродинамическое сопротивление одиночных труб каплеобразной формы и визуализация их обтекания [Текст] / А.М. Терех, А.И. Руденко, Ю.В. Жукова, А.В. Семеняко, В.А. Кондратюк // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2012. – №6/8(60). – С. 63-68.
2. Трубы стальные каплевидные. Сортамент: ГОСТ 8638-57

ТЕПЛОПЕРЕДАЮЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВУХФАЗНЫХ МИНИАТЮРНЫХ ТЕРМОСИФОНОВ

В связи с развитием новой современной техники, которая обладает низкими массогабаритными характеристиками и при этом огромным функционалом - поддержание безопасного температурного режима становится актуальной проблемой. Решением данной проблемы является создание новых эффективных систем отвода теплоты от отдельных наиболее нагруженных элементов, которые выделяют значительные тепловые потоки. Для отвода таких тепловых потоков, с целью поддержания заданного температурного режима широко применяются устройства, которые выполнены на основе закрытого двухфазного термосифона [1]. Данные устройства обладают рядом преимуществ: автономность, высокая интенсивность процессов теплопереноса, возможность применения различных теплоносителей. Также преимуществом является простота создания таких охлаждающих систем. Однако, несмотря на простоту создания, возникают сложности при использовании их на практике, связанные с недостаточной изученностью процессов внутреннего теплопереноса и явлений, которые ограничивают теплопередающую способность термосифонов [2].

Цель работы: на основании ряда экспериментов с миниатюрными термосифонами (МТС) $d_{нар}=3$ мм (теплоноситель: метанол) определить факторы, влияющие на стабильную работу систем охлаждения.

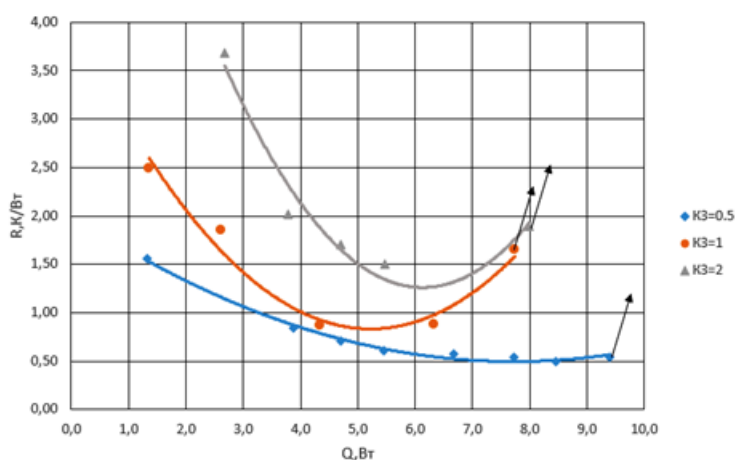


Рисунок 1 – Зависимость термического сопротивления R МТС $d_{нар}=3$ мм, $l=700$ мм, теплоноситель: метанол от передаваемого теплового потока Q

Анализ процессов теплообмена в МТС показал, что на суммарное термическое сопротивление влияет много факторов, одним из основных факторов является коэффициент заполнения K_z .

На рис.1 видно, что увеличение K_z приводит к росту термического сопротивления. С увеличением K_z минимальное термическое сопротивление возрастает. Это связано с тем, что сопротивление столба жидкости над зоной нагрева препятствует движению паровых пузырей в зону конденсации. С другой стороны, поскольку жидкость

находится в метастабильном состоянии, растущие паровые пузыри выталкивают часть теплоносителя в зону конденсации.

Список литературы

1. Безродный М.К. Процессы переноса в двухфазных термосифонных системах. Теория и практика [Текст] / М.К. Безродный, И.Л. Пиоро, Т.О. Костюк. – К: Факт, – 2005. – 704 с.
2. Teng H. Instability of condensate film and capillary blocking in small-diameter-thermosyphon condensers [Text] / H. Teng, P. Cheng, T.s. Zhao// Int. J. of Heat and Mass Transfer. – 1999. – 42. – pp. 3071–3083.

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НА ТЕПЛОПЕРЕДАЮЩИЕ СВОЙСТВА МИНИАТЮРНЫХ ТЕПЛОВЫХ ТРУБ

В наше время компактность имеет очень большое значение, особенно если она не идет в ущерб мощности. С развитием технологий повышается мощность аппаратуры, также повышается и количество выделяемой теплоты при ее работе. В связи с этим необходимо оснащать такую аппаратуру соответствующими системами охлаждения. А так как минимизация размеров часто является одной из приоритетных целей при создании устройств, то необходимо минимизировать размеры систем охлаждения. В таких миниатюризованных системах охлаждения нередко используют тепловые трубы. Одним из видов тепловых труб являются миниатюрные тепловые трубы (МТТ) [1]. Минимализация пространства, в котором может быть установлена такая система охлаждения, принуждает к исследованию влияния геометрических характеристик на теплопередающие характеристики МТТ.

Основными показателями, которые качественно характеризуют работу миниатюрных тепловых труб, являются: распределение температур по длине трубы, термическое сопротивление, максимальный передаваемый тепловой поток и интенсивность теплоотдачи в зонах нагрева и охлаждения.



Для исследования влияния геометрических характеристик на данные свойства было изготовлено три образца МТТ из меди (1 и 2 с внешними диаметрами 2 мм, 3 – 4 мм), два из которых (2 и 3) показаны на рис.1. Их параметры приведены в таблице 1.

Рисунок 1. Экспериментальные образцы МТТ № 2 и 3

№ МТТ	1	2	3
Диаметр парового пространства, мм	1	1	2
Пористость капиллярной структуры, %	80	80	80
Длина зоны нагрева, мм	42	30	61
Длина транспортной зоны, мм	46	56	21
Длина зоны охлаждения, мм	37	29	68
Теплоноситель	Вода	Вода	Вода

Для исследования влияния геометрических характеристик на данные свойства было изготовлено три образца МТТ из меди (1 и 2 с внешними диаметрами 2 мм, 3 – 4 мм), два из которых (2 и 3) показаны на рис.1. Их параметры приведены в таблице 1.

На данных образцах проводились опыты для определения влияния на теплопередающие свойства диаметра парового пространства, длины зоны нагрева.

Таблица 1. Параметры образцов

Перелік посилань:

1. Кравец В.Ю., Письменный Е.Н., Некрашевич Я.Н., Сологуб Д.Э. Интенсивность теплоотдачи в зоне испарения миниатюрных тепловых труб. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий – 2011. – №6(54). – С.26-30.

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПЛІВКОВОГО ОХОЛОДЖЕННЯ ПОВЕРХНІ ПРИ ПОДАЧІ ОХОЛОДЖУВАЧА ЧЕРЕЗ ПАРНІ ОТВОРИ

В лопатках газових турбін застосовуються дворядні системи похилих циліндричних отворів для плівкового охолодження поверхні, що дозволяє підвищити температуру перед турбіною і, як наслідок – підвищити ККД газових турбін. При використанні системи парних отворів зі складними кутами подачі охолоджувача відбувається складна взаємодія охолоджуючих струменів першого і другого ряду отворів. Така система характеризується більш рівномірним покриттям поверхні плівкою охолоджувача у порівнянні з традиційними системами отворів. Було виконано верифікацію результатів комп'ютерного моделювання, отримані математична модель і схема розрахунку була використана для вивчення основних особливостей фізичної структури потоку за парними отворами.

Геометрія комп'ютерної 3D-моделі (рис. 1а) має такі ж розміри що і умовах фізичного експерименту раніше проведеного в ІТТФ НАНУ. Детальний опис експериментальної установки і результатів експериментального дослідження ефективності плівкового охолодження за парними отворами наведені в роботі [1].

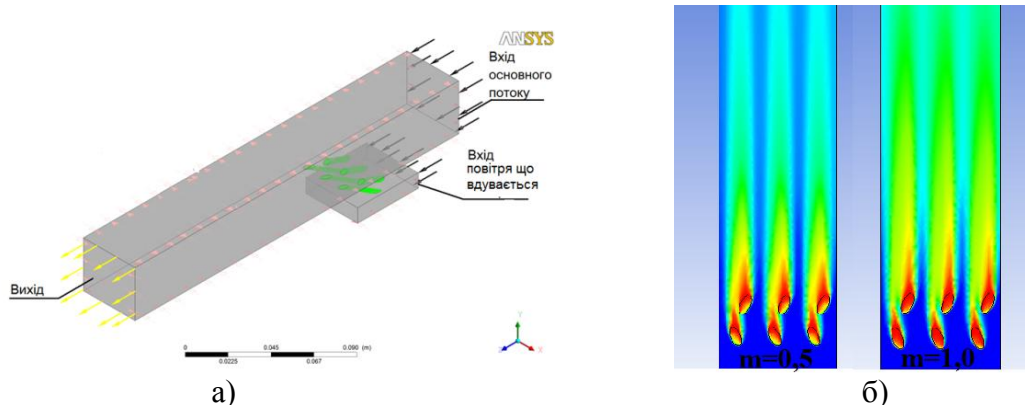


Рис. 1. а) Геометрична 3D-модель плівкового охолодження поверхні за парними отворами; б) локальна ефективність плівкового охолодження поверхні

При числовому моделюванні використовувалась неструктурована комбінована розрахункова сітка. На поверхні пластини, біля отворів і поблизу стінок пленуму для отримання точних розрахунків, було виконано локальне згущення сітки. Граничні умови на вході і виході були задані такі ж, як при виконанні фізичного експерименту.

Було отримано значення локальної ефективності поверхні плівкового охолодження за парними отворами (рис. 1б). Отримані результати моделювання підтверджують результати експерименту та показують більшу ефективність схеми парних отворів в порівнянні з традиційними [1]. Таким чином можна зробити висновок що, досліджена схема парних отворів становить практичний інтерес для подальшого використання в системі зовнішнього охолодження лопаток ГТУ та елементів енергетичних установок.

Перелік посилань:

1. Халатов А.А. Пленочное охлаждение плоской поверхности системой парных отверстий: влияние внешней турбулентности и ускорения потока/ Халатов А.А., Панченко Н.А., Борисов И.И. и др. // Теплофизика и аэромеханика. –2014. – Т. 21, №5. – С. 571-578.

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ТЕПЛООБМІНУ ЗА РАХУНОК ЗАГЛИБЛЕНЬ

Практично будь-яке виробництво пов'язане з процесами виділення або поглинання теплоти. Саме тому, внаслідок стрімкого розвитку технологій та появи великомасштабних промислових виробництв, в останні десятиліття в світі гостро вирізняється обмеженість енергетичних та сировинних ресурсів. Це призводить до необхідності створення енергозберігаючих технологій, що дозволяють раціонально і з максимальною ефективністю використовувати існуючі ресурси.

Використання заглиблень в якості інтенсифікаторів теплообміну привернуло до себе увагу. Було помічено, що спортивне знаряддя, які мають на своїй поверхні елементи шорсткості у вигляді канавок, траншей, заглиблень різної форми мають тенденцію пролітати більшу відстань. Наприклад м'ячик для гольфу.

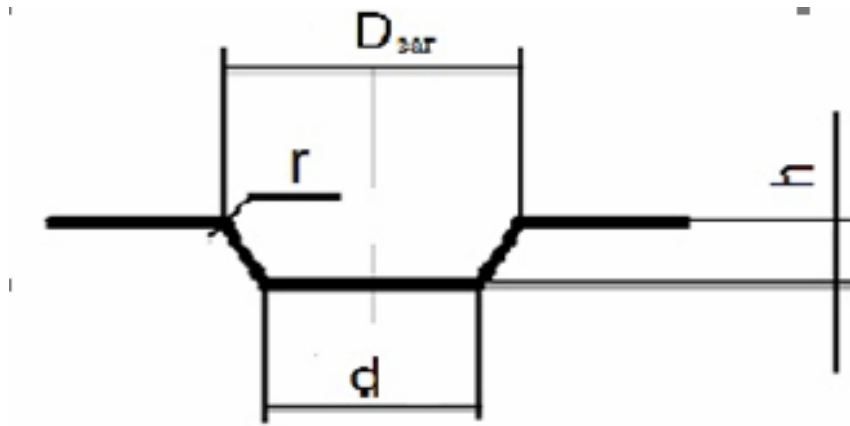


Рисунок 1. Заглиблення

Заглиблення сферичної форми можна класифікувати як:

- а) дрібні ($h/d \leq 0,1$),
- б) глибокі ($h/d > 0,2$),
- в) проміжної глибини ($h/d = 0,1 \dots 0,2$).

У дрібних заглибленнях не виникає відриву потоку, на увігнутій поверхні заглиблення генеруються вихори Гортлера і доріжка Кармана за ним.

Пульсуючий вихор не виникає у заглибленні з $h/d < 0,13$. У заглибленнях з $h/d > 0,15$ слабо пульсуючий вихор виникає при $Re_{fd} \approx 4000$, який трансформується в стійку вихрову структуру при $Re_{fd} \approx 5500$. Для проміжних і глибоких заглиблень доріжка Кармана за заглибленням виникає при $Re_{fd} = 600 \dots 800$, а парний вихор всередині заглиблення - в інтервалі $Re_{fd} = 1000 \dots 3200$. У проміжному заглибленні ($h/D = 0,13$) парний вихор може існувати аж до значень $Re_{fd} = 100000$ [1].

Перелік посилань:

1. Mahmood G.I. Local heat transfer and flow structure on and above a dimpled surface in a channel / Mahmood G.I., Hill M.L., Nelson D.L., Ligrani P.L., Moon H.-K., Glezer B. // Journal of Turbomachinery. – 2001. – Vol.12, №3.

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ БУДІВЛІ

В контексті постійного підвищення цін на енергоресурси постає питання найефективнішого використання останніх. При цьому, витрати на підтримання оптимального температурного рівня зростають. Аналіз втрат енергії первинного палива свідчить про те, що вагомі надлишкові втрати теплоти відбуваються у її кінцевих споживачів, тобто у будинках.

Іншою важливою проблемою при проектуванні та реконструкції будівель є зміна клімату, та її вплив на термостабілізацію будівель. Наприклад, результати досліджень [1] показують зниження річних потреб в тепловій енергії для швейцарських житлових будинків на період з 2050 по 2100 роки на 33...44 %. Річна потреба в електроенергії для охолодження офісних будівель з внутрішніми теплопритоками 20...30 Вт/м² збільшиться в 2,23...10,5 разів, а потреби в тепловій енергії скоротяться на 36...58 %. Очікується скорочення опалювального сезону на термін до 53 днів. Тобто без врахування впливу зміни клімату проектування ефективних систем термостабілізації для довгострокового використання не можливо.

Метою даної роботи є отримання температурного режиму типових українських будівель, з використанням нових ефективних шляхів термостабілізації.

Для дослідження даних питань кращим методом є експериментальний. Але він є дуже складним, адже для отримання результатів високої точності вимагається і висока точність постановки експериментів. Крім того, короткострокові експерименти можуть не показати повної картини впливу всіх вищезгаданих факторів, і не дадуть змогу спроектувати системи термостабілізації з врахуванням факторів зміни клімату в довгостроковій перспективі.

Для досягнення поставленої мети було обрано чисельний метод дослідження, який дозволяє врахувати велику кількість факторів впливу, може якісно показати цей вплив для подальшого аналізу та визначення рекомендацій.

Таким чином, встановлення особливостей теплопереносу в будівлях з використанням сучасних розрахункових моделей, що враховуватимуть ефект глобального потепління та зміни клімату в цілому є актуальною задачею, особливо при проектуванні нових будинків та реконструкції старих. При цьому важливо дослідити вплив зміни клімату на енергоспоживання будівель, ефективність роботи систем охолодження. Також при розробці нових, ефективних систем охолодження варто правильно підібрати запас потужності для їх ефективної роботи в майбутньому.

Перелік посилань:

1. Frank T. Climate change impacts on building heating and cooling energy demand in Switzerland / T. Frank // Energy and Building, Elsevier, – 2005. – Vol. 37 p.p. 1175-1185.

ВПЛИВ ПОВІТРОПРОНИКНОСТІ СВІТЛОПРОЗОРИХ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ НА ТЕПЛОВИЙ РЕЖИМ БУДІВЛІ

Одним з головних кроків України до подолання енергетичної кризи являється зменшення енергетичних потреб в секторі житлового господарства, який є найбільш енергоємним у нашій країні.

У 2017 набуває чинності новий стандарт України – ДБН В.2.6-31:2016 «Теплова ізоляція будівель», який регламентує вимоги з теплоізоляційних показників огорожувальних конструкцій. Ці норми встановлюють вимоги до теплотехнічних показників огорожувальних конструкцій (теплоізоляційної оболонки) будинків і споруд і порядку їх розрахунку з метою забезпечення раціонального використання енергетичних ресурсів на обігрівання, забезпечення нормативних санітарно-гігієнічних параметрів мікроклімату приміщень, довговічності огорожувальних конструкцій під час експлуатації будинків та споруд. Одним з показників що регламентується цим стандартом являється кратність повітрообміну.

Вплив інфільтрації або ексфільтрації є дуже важливим, за аналітичними розрахунками [1] в деяких випадках температура під впливом інфільтрації знижується на $1,1^{\circ}\text{C}$, що повинно враховуватись при складанні енергетичного паспорту будівлі. Питанням встановлення фактичного значення кратності повітрообміну займаються спеціально акредитовані лабораторії.

Призначення даної роботи полягає в оцінюванні фактичних показників опору повітропроникності фасадних систем зі світлопрозорими огорожувальними конструкціями стійково-ригельного типу та фальш фасадом, а також відповідність отриманих результатів нормативним вимогам. Випробування повітропроникності огорожувальних конструкцій в натурних умовах проводилися у відповідності до [2]. Випробування проводилися для приміщень номерів зі світлопрозорими огорожувальними конструкціями стійково-ригельного типу: номер 311 – конструкції з фальш фасадом, номер 1013 – типові стійково-ригельні світлопрозорі конструкції.

В результаті досліджень було встановлено значення опору повітропроникності, які становили $R_{g\text{нк}}=1,48$ ($\text{м}^2\cdot\text{год}\cdot\text{Па}$)/кг – для номеру 311 та $R_{g\text{нк}}=0,68$ ($\text{м}^2\cdot\text{год}\cdot\text{Па}$)/кг – для номеру 1013, що не відповідає існуючим нормативним вимогам. Також встановлено, що огорожувальні конструкції характеризуються значною повітропроникністю (негерметичністю). При цьому, відносна повітропроникність приміщень номерів зі світлопрозорими огорожувальними конструкціями стійково-ригельного типу та фальш фасадом більша, ніж у приміщеннях з типовими стійково-ригельними світлопрозорими конструкціями.

Перелік посилань:

1. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий / К.Ф. Фокин. – (4-е изд. перераб. и доп.). – М.: Стройиздат, 1973. – 287 с.
2. Будинки і споруди. Метод визначення повітропроникності огорожувальних конструкцій в натурних умовах: ДСТУ Б В.2.2-19:2007. – [Чинний від 01.07.2008]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2008. – 43 с. – (Нац. стандарт України)

УДК 536.248

Магістрант 5 курсу, гр. ТФ-61м Розум Т.В.

Доц., к.т.н. Шевель Є.В.

ВПЛИВ ОРІЄНТАЦІЇ В ПРОСТОРІ НА ГРАНИЧНІ ТЕПЛОВІ ПОТОКИ В АЛЮМІНІЄВИХ ТЕПЛОВИХ ТРУБАХ

За останні роки інтерес до теплових труб, як високоефективних теплопередаючих пристроїв, неперервно зростає. Пояснюється це не лише тим, що вони використовуються у майже всіх нових областях науки, та досліджень, але і тим, що успішно вирішують технічні проблеми. [1].

Теплова труба характеризується багатьма параметрами, найважливішими із яких являються загальний термічний опір, який використовується для оцінки ефективності роботи теплових труб, як теплопередаючого елемента, та максимальний тепловий потік. Під термічним опором розуміють відношення сумарного перепаду температур до теплового потоку.

Зважаючи на складність аналітичного дослідження термічного опору, визначають його, як правило експериментально.

На даний час швидкі темпи розвитку різного електронного обладнання та апаратури ставлять задачу створення нових систем охолодження, які спроможні підтримувати необхідний температурний рівень такого обладнання, із збереженням чи зменшенням його масогабаритних показників, та зростанням теплових потоків, тобто створення пасивних систем терморегулювання на основі теплових труб [2].

Для підтримання заданого температурного режиму приладів необхідні ефективні системи охолодження, які при малих габаритах здатні відводити значні теплові навантаження і при цьому мати низькі значення термічного опору.

Для цього проводяться дослідження режимів роботи та впливу положення в просторі на теплопередаючі характеристики алюмінієвих теплових труб, за умов їх реалізації в режимі «On/Off» роботи.

Проведено розрахунки впливу орієнтації в просторі на граничні теплові потоки в алюмінієвій трубі з аміаком.

Досліджено вплив зміни теплофізичних властивостей аміаку в області потрійної точки на термічний опір та максимальний тепловий потік.

Перелік посилань:

1. Чи С. Тепловые трубы: теория и практика: [предисловие] / С.ЧИ; [пер. с англ. Я. Сидорова] – М. Машиностроение, 1981. – 207 с.
2. Дан П.Д. Тепловые трубы / Дан П.Д.; [пер. с англ. Ю.А. Зейгарника] – М. Энергия, 1979. – 272с.

ВДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ АПО ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ ПЛОСКООВАЛЬНИХ ТРУБ З НЕПОВНИМ ОРЕБРЕННЯМ

В умовах подорожчання матеріальних і енергетичних ресурсів актуальною проблемою є зменшення маси і габаритів теплообмінних апаратів. Найбільш перспективний спосіб вирішення цієї проблеми - інтенсифікація теплообміну, шляхом розробки та застосування нових типів ребрених поверхонь в теплообмінних апаратах.

Важливе місце в промисловості посідають апарати повітряного охолодження (АПО), що не мають альтернатив, в зв'язку з дефіцитом прісної води та обмеженістю її застосування як охолоджуючого агента [1]. Застосування АПО також дозволяє зменшити забруднення природних водних потоків. Даний апарат є теплообмінником типу рідина-газ, що має значно менший коефіцієнт тепловіддачі зі сторони газу порівняно з рідиною (наприклад у води 2500-5000 Вт/(м²К), у повітря 50-100 Вт/(м² К)), тому дуже ефективним є використання ребрених труб.

Існуючі типи ребрених труб мають деякі недоліки, такі як: слабкий термічний контакт ребрення з несучою трубою та висока вартість алюмінію (труби з накатаним гвинтовим ребренням), невисокий ступінь розвитку поверхні та складність, енергомісткість і велика собівартість технологічного обладнання (сталеві труби з привареним струмами високої частоти гвинтовим ребренням).

Як альтернатива запропоновані плоскоовальні труби з неповним ребренням, конструкція та принцип виготовлення яких розроблені в НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» та виготовлені завдяки спеціалістам Інституту електрозварювання імені Є.О. Патона. Такі труби поєднують у своїй конструкції кращі якості тих типів ребрих труб, що знайшли розповсюдження в промисловості: високий ступінь розвитку поверхні теплообміну; практично ідеальний термічний контакт ребер з несучою трубою; зручнообтічний профіль поперечного перерізу несучої труби.

Проведені дослідження [2], результати яких показали, що запропоновані труби з неповним ребренням відрізняються найвищою інтенсивністю конвективного теплообміну, при цьому маючи низький аеродинамічний опір (як у профільованих) [3].

Проведений в роботі аналіз літературних джерел свідчить, що застосування плоскоовальних труб в якості поверхонь нагріву є перспективним і актуальним. В майбутньому будуть проводитись дослідження направлені на визначення оптимальних геометричних розмірів плоскоовальних труб з метою їх подальшого застосування в АПО.

Перелік посилань:

1. Кунтыш В.Б., Кузнецов Н.М. Тепловой и аэродинамический расчеты ребренных теплообменников воздушного охлаждения – К.: Энергоатомиздат, 1992 – 278с.
2. Письменный Е.Н. Исследование течения на поверхности ребер поперечно-ребренных труб // Инж.; физ. журн. – 1984. – Т. 47, № 1. – С. 28–34.
3. Письменный Е.Н. Новые эффективные развитие поверхности теплообмена для решения задач энерго- и ресурсосбережения // Пром. теплотехника. – 2007. – Т. 29, № 5. – С. 7-16.

ДЕЯКІ АНАЛІТИЧНІ ОЦІНКИ ВИХРОВОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО ЕФЕКТУ ПРИ ЗАКРУТЦІ ДОЗВУКОВИХ ГАЗОВИХ ПОТОКІВ

Теорія Л. Прандтля переносу кількості руху призводить до збігу відносних профілів температури T та швидкості \vec{U} в задачах про вільні струмені або про турбулентні сліди за тілом для потоків при подібності відповідних крайових умов [1].

Формально цей результат відповідає значенню турбулентного числа Прандтля $Pr_t = 1$.

Це відповідає температурі гальмування $T_0 = T + v^2 / 2c_p = const$ за відсутністю інтегрального теплообміну між потоком і оточуючим середовищем з умови локального збереження енергії у кожній точці поля течії. Тобто, будь-яке місцеве прискорення газу має супроводжуватися еквівалентним зниженням термодинамічної температури, а гальмування потоку — її зростанням. Однак, практично у жодному випадку вільного руху газових потоків не спостерігається подібність профілів T і \vec{U} . В реальних турбулентних газових потоках завжди $Pr_t < 1$: тепловіддача здійснюється швидше, ніж перенос кількості руху, обумовлений турбулентною в'язкістю. Наслідком цього незбігу є більш згладжене поле температури порівняно з розрахунковим при $T_0 = const$. У точках розрахункового максимуму T (мінімуму U) температура є вищою, ніж це передбачала б сталість температури гальмування. Виникає місцевий перерозподіл енергії при інтегральній умові збереження енергії для потоку в цілому: швидкі струминки газу збагачуються енергією за рахунок більш повільних струминок. За дослідями І. Гарнетта і Б. Еккерта щодо, так званих, «вихрових труб» [2] максимальна різниця температур гальмування між периферійною та осью зонами течії в циліндричній частині труби з тангенціальним підведенням газу в поперечному перерізі 0-0, наближеному до соплового апарату, може досягати величин $T_{0,0} - T_0 = 75 \div 80^\circ C$ і, навіть, більших значень при швидкостях газу на вході $v_\infty \geq 250 м/с$. Таким чином, ентальпія гальмування h_0 у потоках в'язкого газу є змінною величиною, і інтеграл рівняння енергії у вигляді $h_0 = const$ не може слугувати характеристикою течії за реальних умов. Практичний інтерес мають оцінки зазначеної трансформації енергії при розрахунках та проектуванні вихрових камер (ВК) змішування різного призначення при більш типових для них величинах характерних швидкостей v_∞ .

Диференціальне рівняння збереження енергії за умов рівномірності профілів осьових проекцій швидкості в проточній частині ВК та циліндричності концентричних поверхонь течії обертового руху дає загальний інтеграл, отриманий Л.А. Вулісом:

$$h + Pr \frac{v_\theta^2}{2} = Pr \int v_\theta^2 \frac{dr}{r} + const.$$

Аналіз радіальних розподілів безрозмірних ентальпій та температур гальмування в діапазоні вхідних швидкостей $v_\infty = 40 \div 100 м/с$ для двох граничних зон — циркуляційної та квазітвердотільної — показав максимальні відмінності цих параметрів для них до 1%.

Перелік посилань:

1. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа / Л.Г. Лойцянский. — М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. — 840 с.
2. Дейч М.Е. Техническая газодинамика / М.Е. Дейч — М.—Л.: Госэнергоиздат, 1961. — 671 с.

Аспірант Баскова О.О.
Проф., д.ф.-м.н. Воропаєв Г.О.

УПРАВЛІННЯ ВИХРОВИМ ТЕПЛОМАСООБМІНОМ В ЕЛЕМЕНТАХ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

Гофрування - один з найбільш поширених на сьогоднішній день методів інтенсифікації теплообміну. Даний вид структурування обтічних поверхонь сприяє суттєвому підвищенню ефективності роботи теплообмінного обладнання шляхом генерації вихрових збурень на них. Інтенсивність тепловідведення і супутнє гофруванню зростання гідравлічного опору досить складним чином залежить від геометричних параметрів гофрованої поверхні при зміні чисел Рейнольдса і Прандтля. Чисельне моделювання впливу форми гофрованих труб на їх теплові і гідравлічні характеристики проводилося для круглих, хвилеподібних гофрів і для крученого гофрування [1]. Особливістю досліджень спірального гофрування труб, проведених авторами [1, 2], є врахування змінності властивостей води в залежності від температури. Кожен вид гофрування ефективний в певному діапазоні чисел Рейнольдса.

Більшість досліджень проведено на структурованих поверхнях, що загромаджують потік і тим самим збільшують гідравлічний опір. Даних по теплогідравлічним характеристикам течій на гофрованих поверхнях, що не загромаджують потік і враховують змінність фізичних властивостей теплоносія в залежності від температури, та одночасно охоплюють як ламінарний, так і турбулентний режими течії, дуже мало.

В даному дослідженні розглянуто діапазон швидкостей теплоносія $V = 0,03 \div 0,1$ м/с, що відповідає діапазону чисел Рейнольдса $2,3 \cdot 10^3 \div 1,4 \cdot 10^4$ і Прандтля $Pr = 9,41 \div 3,00$ в діапазоні температур теплоносія від 10°C до 60°C . Довжина заглиблень гофров варіювалася: 10 мм, 20 мм, 30 мм, 40 мм, 60 мм при висоті заглиблення 6 мм.

При малих числах Рейнольдса ефективність місцевої тепловіддачі залежить від напрямку теплового потоку, величини швидкості і геометричних параметрів гофров. На гарячій поверхні теплообмін інтенсивніше, а гідравлічний опір нижче в порівнянні з холодною поверхнею при одному і тому ж значенні температурного напору. Зі збільшенням числа Рейнольдса ростуть гідравлічні втрати і інтенсивність теплообміну. Так при збільшенні швидкості в три рази гідравлічні втрати зросли в п'ять разів, у той час як теплові потоки зросли лише в 1,8 рази.

Зі збільшенням довжини гофра значення напруження зсуву на стінці та коефіцієнти тепловіддачі зростають. Гідравлічний опір при цьому незначно коливається в межах $5,1 \div 5,32$ Па.

При довжині заглиблень $L \geq 30$ мм потік в трубі стає нестійким і при стаціонарній постановці задачі отримати усталені значення характеристик потоку всередині поглиблень і в вихідному патрубку неможливо. Амплітуда осциляцій характеристик швидкості, тиску і температури залишаються кінцевими, що говорить про виникнення і руйнуванні вихрових структур всередині поглиблень і транспортування їх в вихідному патрубку. Тільки нестационарна постановка задачі дає можливість відстежити виникають осциляції і простежити їх зміна в часі.

Перелік посилань:

1. Nazri, M.N. Corrugation Profile Effect on Heat Transfer enhancement of laminar flow Region / M.N Nazri, Tholudin M. Lazim, Shahrir Abdulla, Zaid S. Kaeem, Ammar F. Abdulwahid // International Conference on Mechanical And Industrial Engineering (ICMAIE'2015), Kuala Lumpur (Malaysia), 2015. – P. 93-98.
2. Zaid, S. Heat transfer enhancement in two-start spirally corrugated tube / S. Zaid, M.N. Mohd Jaafar, Tholudin M. Lazim, A. Shahrir, Ammar F. Abdul Wahid [Текст] // Alexandria Engineering Journal. – 2015. – Vol. 54. – P. 415-422.

ТЕРМІЧНИЙ ОПІР АЛЮМІНІЄВОЇ ТЕПЛОВОЇ ТРУБИ З РІЗЬБОВОЮ КАПІЛЯРНОЮ СТРУКТУРОЮ З ІЗОБУТАНОМ

З метою зменшення вартості та маси світлодіодних освітлювальних приладів з тепловими трубами (ТТ) доцільним є використання в них ТТ з відносно дешевих та легких матеріалів, наприклад, алюмінієвих сплавів, які б мали технологічну у виготовленні капілярну структуру. В [1] запропонована нова конструкція гравітаційної ТТ з різьбовою капілярною структурою, виготовлення якої можна здійснити на існуючих підприємствах. В [2] показано, що термічний опір такої теплової труби, виготовленої з міді та заправленої хладоном 141b, в 4,4–2,0 рази (при природній конвекції) і в 1,2–1,3 рази (при вимушеній конвекції) менше, ніж у термосифона однакових розмірів.

При виготовленні ТТ з різьбовою капілярною структурою з алюмінієвих сплавів перспективним є застосування в них екологічно безпечного теплоносія – ізобутану (R600a), але теплові характеристики таких теплових труб досі не вивчені.

Метою даної роботи є експериментальне дослідження термічного опору гравітаційної ТТ з різьбовою капілярною структурою, корпус якої виготовлено з алюмінієвого сплаву АД 31, заправленої ізобутаном. Зовнішній діаметр ТТ – 12 мм, внутрішній – 9 мм. Діаметр різьби в зоні випаровування 10 мм, крок різьби – 0,5 мм. Довжина ТТ – 830 мм, довжина зони випару – 50 мм, довжина зони конденсації – 210 мм. Теплоносій – ізобутан (R600a). Охолодження зони конденсації здійснювалося рідинним теплообмінником з температурою рідини на вході +9 °С.

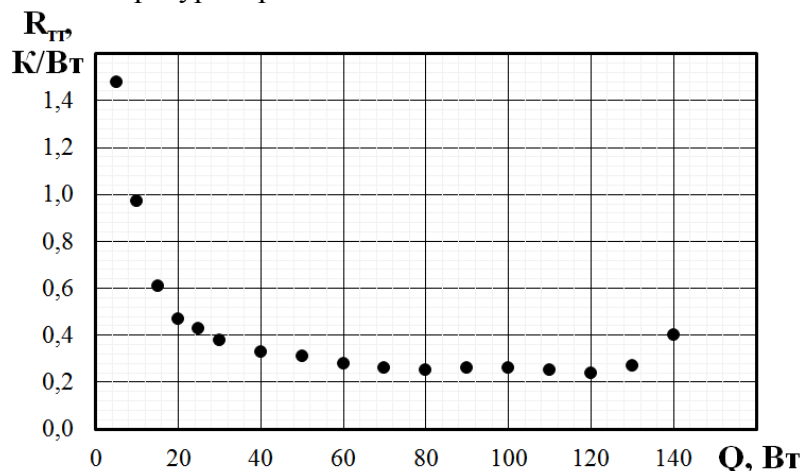


Рисунок 1. Залежність термічного опору $R_{гр}$ алюмінієвої теплової труби з теплоносієм ізобутан від потужності імітатора теплового потоку Q

Як видно з рис. 1, термічний опір ТТ зменшується від 1,48 до 0,24°С/Вт в діапазоні потужності імітатора теплового потоку від 5 до 120Вт, після чого починає зростати внаслідок настання кризи теплообміну в зоні випару.

Перелік посилань:

1. Патент України на корисну модель № 109840, МПК (2006.01) F28D 15/02). Гравітаційна тепла труба // НТУУ «КПІ» / Ю.Є. Ніколаєнко. – Опубл. 12.09.2016. Бюл. № 17.

2. Козак Д.В. Термическое сопротивление гравитационной тепловой трубы с резьбовидной капиллярной структурой / Д.В. Козак, Ю.Е. Николаенко // Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики: Матеріали XIV Міжнародної науково-практичної конференції аспірантів, магістрантів і студентів, присвяченої 85 річчю теплоенергетичного факультету, м. Київ, 18 – 21 квітня 2016 р. У 2 т. – К.: НТУУ «КПІ», 2016. – Т. 1. – С. 81.

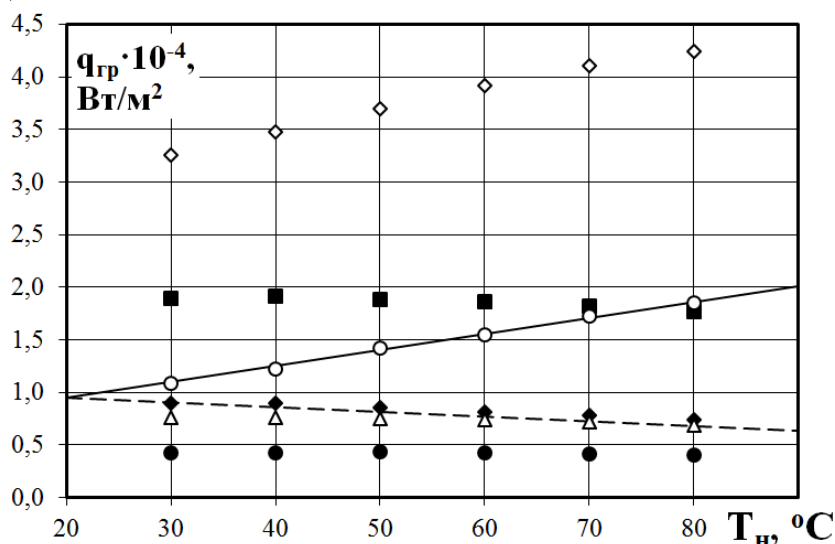
ТЕПЛООБМЕН ПРИ КИПЕНИИ В КАНАВЧАТЫХ ТЕПЛОВЫХ ТРУБАХ

Исследование процесса кипения жидкости на развитых поверхностях нагрева является актуальной задачей для науки и техники. С физической точки зрения данный процесс обладает рядом особенностей по сравнению с кипением жидкости в большом объеме, каналах и трубах [1].

В частности, результаты исследований являются важным инструментом для разработки методик, математических и компьютерных моделей расчетов терморегулирующих систем охлаждения радиоэлектронной аппаратуры (РЭА). В данной работе проводились исследования процессов теплообмена при кипении в алюминиевых канавчатых тепловых трубах (АКТТ), а именно интенсивность теплообмена и граничные плотности тепловых потоков.

Надежность и работоспособность РЭА в значительной степени определяется характером процесса теплоотдачи при кипении на поверхности нагрева в АКК. Для выбора той или иной АКТТ для системы охлаждения и температурного поддержания необходима соответствующая методика расчета. Поэтому целью работы являлось исследование процессов теплообмена и его характеристик в зависимости от: типа теплоносителя и его коэффициента заполнения; геометрических параметров АКТТ; температурного уровня работы; расположения относительно горизонта.

На рис. 1 представлены данные по зависимости граничной плотности теплового потока для разных теплоносителей в диапазоне температуры насыщенных паров (30...80)°С. Как видно, для разных теплоносителей граничная плотность теплового потока имеет различный характер вследствие влияния комплекса теплофизических свойств исследуемых веществ.



■ - ацетон; ○ – этиловый спирт (96-ти %); — - расчетная зависимость для этилового спирта; ◇ - метиловый спирт; ◆ - н-пентан; --- - расчетная зависимость для н-пентана;
● – фреон-113; Δ - фреон-141.

Рисунок 1. Зависимость граничной плотности теплового потока от температуры насыщения теплоносителя

Список литературы:

1. Безродный М.К. Процессы переноса в двухфазных термосифонных системах [Text] / М.К. Безродный, И.Л. Пиоро, Т.О. Костюк. - 2-е доп. и перераб. изд. - Киев: Факт, 2005. – 700 с.

ТЕПЛОГІДРАВЛІЧНІ ПРОЦЕСИ В АЛЮМІНІЄВИХ ТЕПЛОВИХ ТРУБАХ З ВОДОЮ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ІНГІБІТОРІВ КОРОЗІЇ

Теплові труби в алюмінієвому корпусі та зі сплавів на його основі давно та успішно використовують в різних галузях техніки. Невелика питома вага і високі технологічні властивості алюмінію дозволяють застосовувати теплові труби як елементи конструкції кінцевих теплотехнічних рішень. Найбільш широке застосування вони отримали в системах термостабілізації в космічній галузі, та у системах теплообміну в енергетиці.

Найбільш суттєвим обмеженням, що до використання алюмінієвих теплових труб в рішеннях де потрібно передавати значні теплові потоки є неможливість використання води в якості теплоносія. Враховуючи її доступність та високі теплопередаючі властивості, саме вода є оптимальним теплоносієм як з теплотехнічної, так і з економічної точок зору. Її використання дозволить збільшити в рази кількість тепла, що передається тепловою трубою. Так, у замкнутих випарно-конденсаційних системах теплопередачі (ТТ, ТС, циркуляційний контур і т.д.) корозія пари «вода - алюміній» різко погіршує їх теплотехнічні характеристики внаслідок утворення газоподібних і твердих продуктів корозії, які блокують паровий канал і частину поверхні теплообміну. Тому, строк роботи алюмінієвих теплових труб з водою в якості теплоносія вимірюється годинами.

Для алюмінієвих ТС і ТТ проблема зниження обсягу утворених несконденсованих газів є досить складною. Зупинити процеси корозії з водневою деполаризацією виникаючі при роботі алюмінієвих ТТ при роботі на підвищених температурах лише шляхом збільшення рН середовища - неможливо, так як оксиди алюмінію добре розчиняються в лужному середовищі, а металевий алюміній взаємодіє з водою з виділенням водню як в кислому, так і в лужному середовищах. Для вирішення цієї проблеми пропонується використання інгібіторів корозії які підтримують оксидну плівку на поверхні алюмінію, тим самим стримуючи процес окислення.

Метою роботи є дослідження теплогидравлічних і теплообмінних процесів в теплових трубах при врахуванні впливу інгібіторів корозії в воді на теплофізичні характеристики. Також, будуть виявлені закономірності, що виникають при зміні концентрації та кислотності певних інгібіторів. В роботі планується пошук найбільш ефективного рішення з використанням інгібіторів для пари «вода - алюміній», що дозволить зберегти стабільно високі теплотехнічні характеристики алюмінієвих теплових труб з водою на протязі десятків тисяч годин. Слід зазначити, що провести оцінку ефективності інгібітору можливо тільки при використанні експериментальних зразків теплових труб чи термосифонів. Звичайні методи контролю процесів корозії алюмінію (ваговий, об'ємний, контроль концентрації алюмінію в розчині [1,2]) не дозволяють точно змоделювати процес роботи ТТ і ТС, а також не забезпечують необхідну точність вимірювань.

Важливо також відмітити що весь світ все більше і більше стурбований екологією планети, відмовляється від токсичних теплоносіїв для різних систем. Тому використання води для алюмінієвих теплових труб великий крок в напрямку збереження екології.

Перелік посилань:

1. Гомеля Н.Д., Радовенчик В.М., Шулько Г.Л. "Исследование процессов коррозии стали в воде" // Экология и ресурсосбережение. - 1996. -N1/ - С. 36 - У1.
2. A.Rudenco, A. Nishchik, A.Gershuni, A.Pleskonos. "Development of Corrosion Protection Methods in Heat Pipes and Two-Phase Thermosiphons with Aluminium-Water System". IX International Heat Pipes Conference, May 1995, Albuquerque, USA.

ТЕПЛОГІДРАВЛІЧНІ ПРОЦЕСИ В ТЕПЛОВИХ ТРУБАХ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ В ЯКОСТІ ТЕРМОВИМИКАЧА

Теплові труби (ТТ) представляють високоефективні теплопередаючі пристрої (у порівнянні з іншими теплопровідними матеріалами) що використовуються для створення систем термостабілізації радіоелектронної апаратури, в тому числі для підтримання оптимального теплового режиму обладнання.

Добре відомими є ТТ з постійним термічним опором, яка дозволяє передавати постійні теплові потоки при однаковому градієнті температур між зоною нагріву та зоною конденсації. Такі ТТ часто використовуються тільки в випадках, коли ТТ може передавати постійне значення теплового потоку. Але в ході космічних місій (часто довготривалих, наприклад, при дослідженні планет Сонячної системи чи інших об'єктів, таких як комети чи астероїди) необхідно забезпечувати змінні їх властивості.

Технологія заснована на використанні звичайних ТТ з постійним термічним опором, які працюють в нехарактерних експлуатаційних режимах [1]. Ці режими відповідають температурним діапазнам, які визначають режими переходу, наприклад, пуску теплової труби (при температурі близькій до потрійної точки теплоносія) або зупинення функціонування (при температурі близькій до критичної точки теплоносія).

Як результат, варіюючи властивостями теплоносіїв (ацетон, метанол, етанол, дистильована вода, аміак і т.і.), типу капілярної структури (металоволокниста, канавчата і т.і.), параметрів капілярної структури (форма, розміри, пористість, діаметр пор), можна створювати пасивні системи терморегулювання космічних апаратів зі змінними характеристиками до теплопередачі, простої конструкції і високою ефективністю.

Метою даної роботи є дослідження теплогідролічних процесів в теплових трубах зі змінними теплопередаючими характеристиками, що включають металоволокнисті, канавчаті та сітчасті капілярні структури для наступних теплоносіїв ацетон, метанол, пентан, аміак. В ході роботи необхідно буде виявити температурні діапазони різкого збільшення/зменшення їх термічного опору і теплових потоків, що передаються; фактори, що впливають на дані температурні діапазони і рівні збільшення/зменшення термічного опору і теплових потоків. Також планується узагальнення експериментальних результатів у вигляді емпіричних залежностей, для оцінки можливостей використання кожного типу теплових труб в елементах систем забезпечення теплового режиму космічних апаратів при різноманітних теплових та конструктивних умовах. Додатково планується створення програм та методик наземного відпрацювання даного типу теплових труб.

Перелік посилань:

1. Кравець В.Ю., Хайрмасов С.М., Алексеик О.С., Алексеик Е.С. [и др.] Влияние характеристик пористой структуры на теплопередающие способности миниатюрных тепловых труб // Труды XV Международной научно-практической конференции «Современные информационные и электронные технологии» – Одесса, 2014г. – т.2. – с. 14-15.

УЗАГАЛЬНЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ З ТЕПЛООБМІНУ ТА АЕРОДИНАМІКИ ПРИ ЗОВНІШНЬОМУ ОМИВАННІ ПАКЕТІВ ГВИНТОПОДІБНИХ ТРУБ

Застосування технологій утилізації теплоти для газотурбінних установок є важливим напрямком збільшення їх енергетичної ефективності [1].

Так як теплообмінні поверхні повітропідігрівачів - регенераторів виготовляються зі звичайних гладких труб, що вичерпали свої можливості в плані покращення теплоаеродинамічних характеристик, то їх вдосконалення можливе лише за рахунок розвинення поверхні та інтенсифікації теплообміну. Таким вимогам відповідають гвинтоподібні труби з рівнорозвиненою поверхнею, що розроблені спеціалістами в НТУУ "КПІ ім. Ігоря Сікорського"[2].

В даній роботі представлені узагальнення експериментальних даних з теплообміну та аеродинамічного опору при поперечному омиванні повітряним потоком пакетів гвинтоподібних труб в діапазоні зміни чисел Рейнольдса від 6000 до 80000. Висота та шаг виступів (впадин), що утворюють профіль гвинтоподібної труби, змінювались від 3 до 5мм та від 8 до 12мм відповідно, кількість заходів гвинтової канавки (Z) змінювалась від 1 до 3. В залежності від вказаних геометричних величин ступінь розвинення поверхні гвинтоподібної труби складала від 1.15 до 1.27.

Експериментальні дані дозволяють отримати наступні узагальнені залежності з теплообміну шахових пакетів гвинтоподібних труб:

$$Nu = Cq \cdot Re^m$$

де $Cq = C_1 \cdot (S_1 / S_2)^{0.3}$, $m = 0.64 \cdot S_1 / S_2^{-0.01 \cdot Z}$, C_1 - емпіричний коефіцієнт.

Узагальнені залежності з аеродинамічного опору пакетів гвинтоподібних труб мають наступний вигляд:

$$Eu = Cs \cdot Re^{-n}$$

де $Cs = \exp \left[3.54 \cdot e^{-(S_1/S_2)} - 1.1 \cdot S_1 / S_2^{-1} \right] \cdot 0.55 \cdot (H / F)^{0.27}$,

$$n = 5.54 \cdot (S_1 / S_2) - 6.2 \cdot \ln(S_1 / S_2)^{-1} \cdot 0.84 \cdot (H / F)^{0.08}.$$

Відхилення експериментальних даних від розрахункових для теплообміну складає $\pm 7\%$ та аеродинамічного опору - $\pm 17\%$.

Розрахункові залежності можуть бути покладені в основу методики теплового та аеродинамічного розрахунків теплообмінного обладнання з пакетів гвинтоподібних труб.

Перелік посилань:

1. Юращик І.Л., Глущенко Л.Ф., Маторин А.С. Утилизация теплоты приводных газотурбинных установок. – К.: Техника, 1991. – 152 с.

2. Pis'menniy E.N. Ways for improving the tubular heaters used in gas turbine units// Thermal Engineering. – 2012. – Vol.59. – no.6. – pp.485 – 490.

ПРОЦЕС ВИГОРАННЯ ВУГІЛЛЯ В ЦИРКУЛЮЮЧОМУ КИПЛЯЧОМУ ШАРІ

Вугілля є стратегічно важливим паливом для України, адже більшість котлів, що експлуатуються в теплоенергетиці держави використовують саме його. Переважна частина енергетичного обладнання вичерпала свій робочий ресурс і експлуатується понад 250 тис. год. Також ці установки не відповідають новим екологічним стандартам, які обумовлюються співпрацею з Євросоюзом. Тому необхідність модернізації є дуже гострою.

Україна вже почала долучатися до світових енергетичних тенденцій впровадженням чистих вугільних технологій.

В рамках реконструкції енергоблоку №4 Старобешівської ТЕС пиловугільний котел ТП-100 продуктивністю 640 т/год було замінено на котел з циркулюючим киплячим шаром (ЦКШ) атмосферного типу АЦКШ-670 продуктивністю 670 т/год конструкції «Lurgi».[1]

Основними перевагами систем ЦКШ є відповідність високим екологічним стандартам, маневреність, а також здатність спалювати низькоякісне тверде паливо (навіть сміття та відходи).

Але є проблема недостатнього дослідження процесів, що протікають в нових конструкціях, а саме вигорання палива. При факельному спалюванні вугільний пил [2] перебуває в камері згорання кілька секунд, що є причиною механічного недопалу, а це веде до пониження ефективності котельної установки. За рахунок реалізації циркуляції паливної суміші у топковому просторі, час перебування частинки [3] зростає, але як даний факт впливає на вигорання вугілля відомо замало. Розуміння та вивчення питань вигорання та тривалості перебування паливних частин в зоні випромінювального теплообміну дадуть змогу удосконалення та універсалізації конструкцій. Це дасть змогу забезпечити здешевлення експлуатації та обслуговування таких чистих вугільних технологій, як ЦКШ, котрі є дуже вигідними для України з огляду можливості їх роботи на пікових навантаженнях.

З огляду на наведені аргументи було проведено дослідження спалювання вугільних частинок з використанням лабораторної печі. Експериментальні данні дали змогу проаналізувати кінетику взаємодії палива з газовим середовищем в залежності від часу перебування та температурного режиму в печі, а також гранулометричні показники. Отримані дані дають підстави для більш точних досліджень даної теми.

Перелік посилань:

1. Перспективи впровадження чистих вугільних технологій в енергетику України/ [Вольчин І.А., Дунаєвська Н.І., Гапович Л.С., Чернявський М.В., Топал О.І., Засядько Я.І.]. – К.: ГНОЗІС, 2013. – 308 с.
2. Бабій В.І. Горіння вугільного пилу та розрахунок пиловугільного факела: вироб.видав. / В.І. Бабій, Ю.Ф. Куваєв. – М.: Енергоатомвидав, 1986. – 208 с.
3. Методичні вказівки до проектування топкових пристроїв енергетичних котлів: метод. вказівки / Ю.Л. Маршак, А.Д. Горбаненко, Е.Х. Вербо́вський та ін.; під заг. ред. Е.Х. Вербо́вського і Н.Г. Жмерика – С-П.: ВПІ ЦКТИ, 1996. – 270с.

УДК 621.18-182.2

Спеціаліст 6 курсу, гр. ТК-51с Горячий В.М.
Доц., к.т.н. Мариненко В.І.

ЗНИЖЕННЯ ВМІСТУ ОКСИДІВ АЗОТУ В ПРОДУКТАХ ЗГОРІННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДУ ДВОСТАДІЙНОГО СПАЛЮВАННЯ

Очищення продуктів згорання від оксидів азоту технічно складна і в більшості випадків економічно нерентабельна задача. Найбільш доцільним є впровадження технологій придушення оксидів азоту на стадії спалювання палива, які передбачають організацію топкового процесу при можливо більш низькій температурі в зоні горіння і малому надлишку повітря [1].

Основними режимно-технологічними методами зниження емісії оксидів азоту є:

- спалювання палива з низьким коефіцієнтом надлишку повітря.
- двоступінчате спалювання палива.
- рециркуляція частини димових газів в зону горіння;
- зниження температури підігріву повітря.

Одним з найбільш розповсюджених реалізуємих заходів є двоступеневе спалювання палива, при якому процес горіння має таку структуру: через пальники з паливом подається повітря в кількості, меншій стехіометричного значення (зазвичай $\alpha = 0,8 \div 0,95$), а решта, необхідна за балансом кількість повітря, вводиться в топку далі по довжині факела. Таким чином, на першому етапі горіння здійснюється спалювання палива при нестачі окислювача, а на другому - допалювання продуктів газифікації при знижених температурах. Завдяки цьому на початку факела через знижену концентрації кисню зменшується утворення паливних оксидів азоту, а зниження температурного рівня на другій стадії зменшує утворення термічних NO_x .

Інститутом Газу НАН України запропонований пальник двостадійного спалювання [2], рисунок 1.

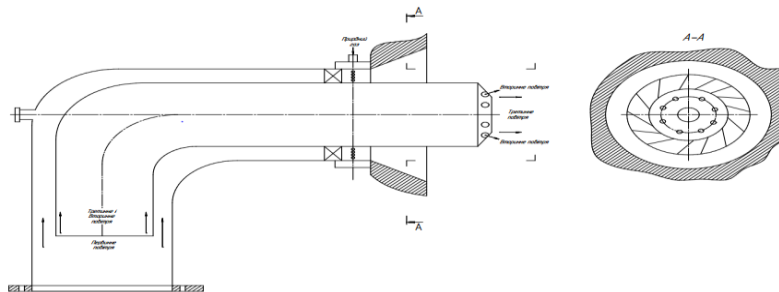


Рисунок 1- Пальник двостадійного спалювання Інституту Газу НАН України

Порівняння ефективності роботи стандартного пальника і пальника Інституту Газу НАНУ наведено в таблиці 1.

Таблиця 1- Порівняння ефективності роботи пальників

Найменування параметру	Пальник МГМ-6	Пальник Інституту Газу НАНУ
Викиди NO_x , мг/м ³	250	100

Використані джерела:

1 Сигал І.Я. Защита воздушного бассейна при сжигании топлива. / И.Я. Сигал - Л.: «Недра», 1988 г. - 312 с.: ил.

2 Пат. 47928 Україна. Пальник багатостадійного спалювання природного газу / Сигал І.Я., Сигал О.І., Сміхула А.В.; винахідники і власники: Сигал І.Я., Сигал О.І., Сміхула А.В.; заявл. 07.10.09 ; опубл. 25.02.10, Бюл.

РЕКОНСТРУКЦІЯ КОТЛА ТП-100 ПРИ ПЕРЕВОДІ З АШ НА ГАЗОВЕ ВУГІЛЛЯ

Оптимальним шляхом для заміщення донецького антрацитового і пісного проектного вугілля на шести ТЕС України є імпорт близького за характеристиками вугілля. В Україні є досвід використання пісних марок вугілля Кузнецького кам'яновугільного басейну і вугілля з ЮАР.

Профіцит вугілля газової групи, що видобувається в Україні, повинен бути використаний для заміщення антрацитового вугілля на ТЕС.

Орієнтовна сумарна потужність енергоблоків, які необхідно перепроектувати для повного заміщення антрацитового і пісного вугілля газовими на ТЕС України, становить близько 3,8 ГВт. Повне заміщення антрацитового і пісного вугілля на ТЕС України газовими потребує всебічних економічних розрахунків [1].

При переході ТЕС з антрацитових марок вугілля на газові необхідно здійснити реконструкцію системи пилоприготування, обладнати нову систему вибухо- і пожежобезпеки, замінити або реконструювати пальники, визначити максимальну паропродуктивність котлоагрегату та робочий діапазон навантажень на нову марку вугілля, а також умови евакуації шлаку і відкладень золи на поверхнях нагріву.

Одним із ключових питань при реконструкції ТЕС з заміною проектного палива з антрацитових марок вугілля на газові є система пилоприготування. Надійним способом експлуатації системи пилоприготування на газовому вугіллі є переведення її на газовий тип сушіння з концентрацією кисню в пилосистемі менше 16%.

В якості одного з тимчасових маловитратних методів швидкого переведення ТЕС з антрацитового вугілля на газове може бути розглянутий варіант відключення підігрівачів високого тиску для зниження температури підігріву повітря з метою досягнення необхідних температур після млинів, але його практична реалізація вимагає додаткового всебічного вивчення, особливо з позицій вибухопожежобезпеки [2].

Перспективним напрямком при заміні антрацитового вугілля газовими на ТЕС України є застосування середньоходових валкових млинів (МВС, МШС) замість ШБМ з прямим вдуванням пиловугільного палива.

Для переведення котлів з антрацитового вугілля на газове на першому етапі в обов'язковому порядку необхідно виконати проект реконструкції котельного та допоміжного обладнання спеціалізованої організації для визначення можливості та доцільності такої реконструкції. У випадку позитивного рішення після реалізації розроблених заходів необхідно провести випробування котла на різних режимах при спалюванні нового палива [3].

Перелік посилань:

1. Чернявский Н.В., Рохман Б.Б., Приватов А.Ю., Косячков А. В. Опыт сжигания импортных углей в котлоагрегатах ТЭС и ТЭЦ // Энерготехнологии и ресурсосбережение. - 2015. V 4. — С. 15-23.
2. ДСТУ 3472-96. Вугілля буре, кам'яне та антрацит. Класифікація. Київ: Держстандарт України. 2007. - 6 с.
3. Чернявський М.В Сучасні проблеми паливозабезпечення та паливоспоживання ТЕС України Энерготехнологии и ресурсосбережение. 2015 - St 3. - С. 5-19.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ПАРОВОГО КОТЛА Е-1-0,9Г ПРИ НИЗЬКИХ ПАРАМЕТРАХ НАВАНТАЖЕННЯ

Основним шляхом оптимізації та підвищення ефективності конструкцій котельного обладнання є поділ поверхні теплообміну [1] на функціональні складові з різними тепловими потенціалами. Для парових котлів серії «Е» такий поділ можливо шляхом скорочення парогенеруючої поверхні з підвищенням її температурного напору (для збереження заданої паропродуктивності) і введенням хвостової низькопотенціальної поверхні нагріву. Використання в якості хвостової поверхні повітропідігрівача для підігріву повітря, яке використовується для горіння газу є менш привабливим варіантом в порівнянні з водяним економайзером для підігріву живильної води, виходячи з низьких коефіцієнтів тепловіддачі для газоподібних середовищ, а отже великими масогабаритними характеристиками поверхонь нагріву. Основною небезпекою підвищення температурного напору конвективного пучка є збільшення паровмісту труб і відсутність опускного контуру в гідравлічній системі котла. Такі особливості парових котлів серії «Е» дозволяють припустити зменшення кратності циркуляції в разі збільшення температурного напору по поверхні нагріву, що є небажаним для нормальної роботи котла.

Метою даної роботи є підвищення надійності контуру природної циркуляції парового котла Е-1-0,9Г при низьких параметрах навантаження та підвищення ККД котла за рахунок застосування опускного контуру та хвостової поверхні нагріву.

Для досягнення мети, були поставлені наступні завдання:

- зменшити масогабаритні характеристики котла шляхом скорочення кількості парогенеруючих труб конвективного пучка, відмова від роздавальних та збиральних колекторів, в такому випадку підвід екранних труб виконується безпосередньо у верхній та нижній барабани;
- використати в якості «хвостової» поверхні нагріву водяний економайзер, який виготовлено з біметалічних труб з круглими алюмінієвими ребрами;
- провести теплотехнічні випробування котла для визначення його теплофізичних властивостей, а саме: температури відхідних газів, коефіцієнту надлишку повітря, коефіцієнту корисної дії, максимальної паропродуктивності.
- на основі теплових розрахунків [2] провести порівняльний аналіз типової та модернізованої конструкції котла.

Перелік посилань:

1. Лебедев И.К. Гидродинамика паровых котлов [Текст]: учеб. пособие для вузов / И.К. Лебедев.—М.: Энергоатомиздат, 1987.—240с.
2. Тепловой расчёт промышленных парогенераторов: Учеб. пособие для вузов / под ред. В.И. Частухина. – Киев.: Главное изд-во, 1980. – 184 с.

Студент 4 курсу, гр. ТК-31 Колодін С.В.
Проф., д.т.н. Туз В.О.

ПРОБЛЕМИ ПРИ СПАЛЮВАННІ ВИСОКОСІРЧАНИХ МАЗУТІВ.

Найважливішою характеристикою будь-якого рідкого палива є в'язкість. Саме цей параметр покладено в основу маркування нафтових мазутів. Існують марки: флотські Ф5 і Ф12, топкові 40 і 100. Саме ці марки мазуту найбільш поширені, згідно їхнього використання в котельнях.

У межах зазначених марок топковий мазут діляться на 3 сорти в залежності від вмісту сірки: малосірчасні ($Sr \leq 0,5\%$), сірчасні ($Sr = 0,5-2,0\%$) і високосірчасні ($Sr = 2,0-3,5\%$). Вміст сірки в мазуті знаходиться в прямому зв'язку з технологією переробки, та з сірчаністю нафти, з якої було отримано даний мазут [1].

Головною проблемою при використанні мазуту в якості основного палива в промислових та опалювальних котельнях є його сірчаність. Сірка, що знаходиться в мазуті у вигляді різних сполук, створює проблеми ще до надходження мазуту в котел: при зберіганні високосірчаного мазуту в паливних ємностях утворюються донні відкладення.

При згорянні сірка окислюється з утворенням, головним чином, діоксиду SO_2 і в невеликих кількостях (1-2% загальної кількості оксидів сірки) - триоксида сірки SO_3 . Концентрація сірчаної кислоти досягає 60-95%, і її взаємодія з металом призводить до утворення сульфатів заліза - $FeSO_4$ і $Fe_2(SO_4)_3$. Саме цей процес є причиною корозійних пошкоджень металу низькотемпературних (хвостових) поверхонь нагріву.

При спалюванні в промислових котлах мазутів з високим вмістом сірки, найбільш відпрацьованим і ефективним способом боротьби з низькотемпературної корозією є створення умов, що зменшують утворення сірчаного ангідриду SO_3 . Розрахункові і експериментальні результати підтверджують, що зниження надлишку повітря помітно зменшує вміст SO_3 . Завдяки цьому «точка роси» димових газів наближається до «точки роси» водяної пари, тобто до 50-60°C, і швидкість корозії знижується в кілька разів. Використання методу малих надлишків повітря ($\alpha = 1,01-1,02$) в поєднанні з попереднім підігрівом повітря дозволило збільшити безперервну робочу кампанію до семи-восьми місяців, знизити в кілька разів інтенсивність низькотемпературної корозії і підвищити ККД котла.

Іншим ефективним засобом запобігання забруднення і корозії поверхонь нагріву є застосування присадок. Ще в середині минулого століття для усунення проблем при спалюванні сірчистого мазуту почали застосовувати тверді (порошкові) мінеральні присадки (каустичний магнезит та ін.). Пізніше широкого поширення набули рідкі присадки, при використанні яких зазнає суттєвого спрощення система введення присадок і підвищується їх ефективність. Частіше за інших використовувалися рідкі присадки на органічній основі [2].

Висновки: Враховуючи склад і фізико-хімічні властивості мазуту, а також з урахуванням екологічних вимог до експлуатації котельного обладнання, слід дотримуватись як технологічних вимог ($\alpha < 0,2$), так і використання домішок.

Перелік посилань:

1. Котельні установки промислових підприємств./ Сидельковський Л.Н.
2. Пристрої і експлуатація опалювальних котелень малої потужності./ Борщов Д.Я.

УДК 662.73

Спеціаліст 6 курсу, гр. ТК-51с Корольов В.С.

Доц., к.т.н. Мариненко В.І.

СУМІСНЕ СПАЛЮВАННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ І БІОГАЗУ В КОТЛІ ДКВР-20-13ГМ

Біогаз значно відрізняється за своїми фізико-хімічними властивостями від природного газу, що не дозволяє спалювати його в пальникових пристроях, призначених для природного газу. Це підтверджує основний показник взаємозамінності газів - число Воббе, значення якого для біогазу відрізняється від значення для природного газу майже на 60% (стандарти допускають відхилення значень числа Воббе у взаємозамінних газах не більше ніж на 5%).

Проблеми з одночасним спалюванням природного газу і біогазу в промислових парових котлах на станціях аерації виникли ще під час проектування подібних станцій аерації в СРСР. Наприклад, при недостатньому утворенні біогазу пропонувалося додавати в біогазопровод природний газ і спалювати газову суміш в існуючих пальниках. Однак при використанні такого способу істотно зменшується діапазон регулювання пальника - через суттєву різницю щільності природного газу (0,73 кг/м³) і біогазу (1,0-1,2 кг/м³). Таким чином, використовувати існуючі пальники, розроблені для природного газу, не можна, так як для досягнення необхідної потужності через сопловий апарат пристрою потрібно подати біогазу більше, ніж природного газу, що неможливо без істотного збільшення тиску перед пальником [1].

З ростом тиску збільшується швидкість витікання біогазу, порушується оптимальне співвідношення швидкостей газ - повітря і, відповідно, змінюється глибина проникнення струменів біогазу в потік повітря, що призводить до порушення режиму роботи пальникового пристрою і зриву факела.

Тому Інститутом газу запропоновано інше рішення зазначеної проблеми — підключення до котла двох незалежних газопроводів для природного газу і біогазу (причому кожен газ подається в свій колектор, а звідти струменями - у топку). Приклад пальникового пристрою такої конструкції наведено на рисунку 1.

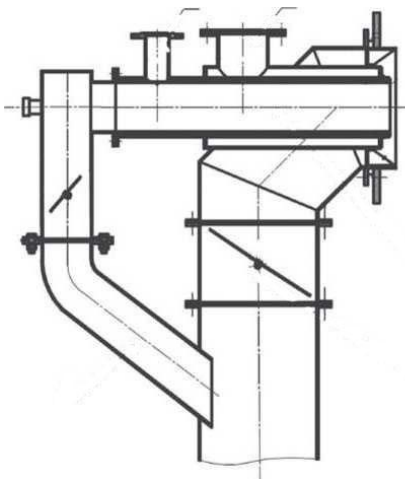


Рисунок 1. Пальник Інституту Газу НАН України для сумісного спалювання природного газу і біогазу

Перелік посилань:

1. Сигал И.Я. Экспериментальное исследование биогаза как топлива для существующих котлов / И.Я. Сигал, А.В. Смихула, А.В. Марасин (и др.) // Энерготехнологии и ресурсосбережение. - 2013. - № 5. - С. 26-32

Студент 4 курсу, гр. ТК-31 Кошкіна Т.М.
Проф., д.т.н. Туз В.О.

ПРОБЛЕМИ ВИБОРУ СУЧАСНИХ ПАЛЬНИКОВИХ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ГАЗОВОГО КОТЛА

Одним із шляхів підвищення техніко-економічної характеристики котлів є використання сучасних конструкцій пальників. Існують наступні конструкції: вихрові, прямотокові та плоскофакельні.

Перевагами вихрових пальників є: якісна організація змішування потоків окислювача та палива, універсальність при виборі палива, висока одинична теплова потужність, аеродинамічні умови підтримки та стабілізації процесу горіння. До недоліків можна віднести: вони мають складну конструкцію, порівняно високий аеродинамічний опір, значний вихід оксидів азоту в порівнянні з іншими пальниками.

В прямотокових пальниках циркуляційні зони майже відсутні, що робить умови займання в значній мірі залежними від загальної аеродинамічної організації процесу горіння в топці, тобто від взаємного розташування пальників. Необхідна інтенсивність перемішування реагентів досягається лише за рахунок великих різниць швидкостей первинного та вторинного повітря в порівнянні з вихровими пальниками.

Плоскофакельні пальники. Вони мають досить просту конструкцію: газ проходить через тангенціальний завихрювач, на виході з котрого до нього відсмоктується первинне повітря і вся суміш подається на стінку, яка на 90° змінює рух газо-повітряної суміші. Кут повороту фіксується стабілізатором, після чого подається вторинне повітря. На виході факел направлений не по прямій траєкторії в середину топкової камери, а вздовж стінок. За рахунок цього забезпечується краще спалювання палива з більш високими показниками. Для плоскофакельних пальників характерна наступна аеродинаміка: факел розвивається віялоподібно уздовж осі пальника, зверху і знизу площині факела утворюється чотири вихору зворотних струмів топкових газів, осі яких розташовані паралельно осі пальника і по одному вихору по сторонам пальника близько фронтовий стіни з осями обертання перпендикулярними площині факела. За ступенем турбулізації потоку плоскофакельні пальники близькі до вихровим пальників. Також перевагами плоскофакельних пальників у порівнянні з вихровими і прямотоковими пальниками: низька вартість виготовлення і металоємність; для встановлення потрібні мінімальні витрати на реконструкцію бічних екранів; можливість регулювання теплосприйняття топки за рахунок перерозподілу витрат повітря, що подаються в нижні і верхні канали пальника, що призводить до відповідного зміщення максимуму температур по висоті топки; низький рівень аеродинамічного опору, що дозволяє при тій же потужності пальника знизити витрати на модернізацію котла та його подальшу експлуатацію (витрати на прокачування повітря). Недоліками є те що, екранні труби які розміщені на стінках топкової камери піддаються високотемпературному впливу топкових газів і руйнуються. Одним із варіантів є зосередження їх в центрі топкової камери, або встановлення додаткової обмурівки з середини, щоб зменшити прямий контакт з трубами, але при цьому залишити максимальну теплопередачу.

Висновки: Для кожної конструкції топкової камери в залежності від призначення і параметрів котла виникає потреба у виборі пальникових пристроїв, які визначаються на підставі техніко-економічного розрахунку, налагоджувальних та ресурсних випробувань.

Перелік посилань:

1. Котельні установки промислових підприємств. / Сидельковський Л.Н
2. ПРИМЕНЕНИЕ ПЛОСКОФАКЕЛЬНЫХ ГОРЕЛОК ДЛЯ СЖИГАНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА / Юрьев Е.И.

СОНЯЧНИЙ КОЛЕКТОР НА ОСНОВІ ТЕПЛОВИХ ТРУБ

Для конверсії енергії сонця в теплову енергію використовують плоскі сонячні колектори (СК). Найпростіші плоскі СК являють собою теплообмінні апарати, що виконані у вигляді звичайних трубчатих радіаторів. Трубчатий радіатор розміщують у теплоізований короб який з однієї сторони закритий склом. За рахунок поглинання сонячної теплової енергії вода, що циркулює в трубках, нагрівається. Для збільшення площі поглинання тепла трубки забезпечують алюмінієвими плавниками. Однак, такі конструкції мають ряд недоліків: 1) достатньо високий гідравлічний опір; 2) нерівномірна течія теплоносія при колекторній роздачі; 3) наявність термосифонних ефектів. Ці недоліки можна вирішити шляхом використання в конструкції плоских СК теплових труб (ТТ). Висока еквівалентна теплопровідність ТТ дозволяє ефективно зняти і передати теплоту сонячного випромінювання замість проточних труб плоского колектора.

В СК, що розроблений співробітниками теплоенергетичного факультету «КПІ ім. Ігоря Сікорського» використовується ізотермічна високотеплопровідна поглинаюча панель на основі ТТ – високоефективних теплопередаючих пристроїв з замкнутим випарувально-конденсаційним циклом руху теплоносія. Панель колектора, що поглинає теплоту сонячних променів, складається з восьми алюмінієвих ТТ, які виготовлені з плоского пресованого алюмінієвого профілю [1]. Недоліками цього СК є теплові втрати за рахунок випромінювання плоскої поглинаючої пластини у довгохвильовому діапазоні.

Автори пропонують виготовити конструкцію СК, що дозволяє підвищити його ефективність за рахунок реалізації додаткового радіаційного теплообміну в довгохвильовому діапазоні між поглинаючою панеллю і ТТ з теплоносієм. Поставлена технічна задача вирішується за рахунок спеціальнопрофільованого елемента поглинаючої панелі, що замінює плоский. Спеціальнопрофільований поглинаючий елемент виконаний у вигляді циліндричної поверхні – сегменту з ребром, розташованим у нижній частині внутрішньої поверхні. Циліндрична поверхня сегменту грає роль концентратора відбитої частини випромінювання і власного випромінювання панелі в районі ТТ. За допомогою ребра кріплення ТТ виконується фокусування відбитого і власного випромінювання циліндричного сегменту в районі ТТ з теплоносієм [2]. Планується підвищення теплової ефективності СК за рахунок реалізації додаткового радіаційного теплообміну в межах 5-10 %. Розріз конструкції запропонованого авторами СК показано на рисунку 1.

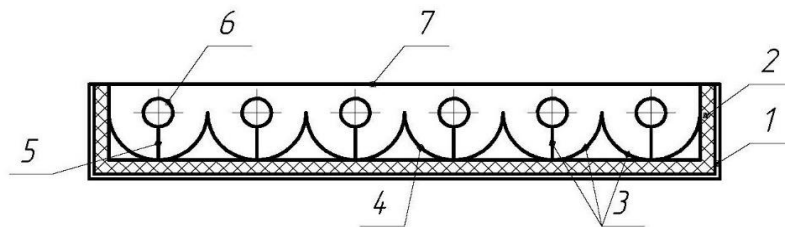


Рисунок 1. Розріз сонячного колектора, що виготовлений з циліндричних сегментів і теплових труб закріплених на ребрах. 1 – корпус сонячного колектора; 2 – теплоізоляція; 3 – абсорбер; 4 – циліндричний сегмент; 5 – ребро; 6 – теплова трубка; 7 – скляна кришка.

Перелік посилань:

1. Хайрнасов С.М., Экпериментальное исследование эффективного плоского солнечного коллектора на тепловых трубах / С.М. Хайрнасов // Відновлювана енергетика. – 2010. – №2 (21). – С. 35-39.
2. Заявка на винахід на корисну модель U201701760 від 24.02.2017 р.

ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ГАЗОГОРЕЛОЧНЫХ УСТРОЙСТВ

Современные тенденции развития утилизаторов теплоты заключаются в объединении в одном аппарате горелочных и теплообменных устройств и разработке на этой основе рекуперативных и регенеративных горелок, а также радиационных труб с такими устройствами. Такие устройства называют горелками – утилизаторами теплоты (ГУТ).

Безусловным достоинством ГУТ является высокая температура нагрева воздуха-окислителя (воздуха горения) t_a . Приняв критерием эффективности работы теплоутилизатора $\epsilon = t_a / t_{g,ex}$ (при прямом сопоставлении t_a с температурой уходящих газов перед утилизатором теплоты t_{ex} °С) считается, что для централизованных рекуператоров характерная область значений $\epsilon \leq 0,4 \dots 0,5$; для рекуперативных горелок $\epsilon \leq 0,6 \dots 0,7$; для регенеративных горелок $\epsilon \leq 0,8 \dots 0,9$.

Оснащение печей ГУТ сопряжено с рядом осложнений, включая высокую стоимость таких горелок, сложность их эксплуатации и управления тепловым режимом работы, включая необходимость «синхронизации» работы регенеративных горелок в различных зонах с целью предупреждения случайного одновременного включения или выключения отдельных горелок из пары регенеративных устройств [1]. Упомянутые причины вызывают ограничения типов и конструкций печей, где возможно использование ГУТ.

Использование в печах ГУТ: рекуперативных и регенеративных горелок – по сравнению с печами, оборудованными централизованным рекуператором, однозначно связано (помимо изменения системы отопления печи и сопутствующего повышения потенциала (температуры) теплоносителя – воздуха горения) с изменением системы дымоудаления и с переходом на рассредоточенное дымоудаление – по числу и месту расположения отдельных ГУТ. Это указывает на то, что использование ГУТ не является универсальным решением, обеспечивающим экономию топлива в печах. Во-первых, их применение относится к высокотемпературным процессам, во-вторых, эти устройства имеют ограничения по тепловой мощности, в третьих – по их областям применения. Второе замечание в большей степени относится к рекуперативным горелкам, поскольку регенеративные горелки, например фирмы «Bloom Engineering» (США), имеют различную единичную мощность – от 100кВт до 10МВт. Последние ограничения, связанные с типами и конструкциям печных агрегатов и систем их управления в большей степени относятся к регенеративным горелкам.

Что касается регенеративных горелок, то к числу их недостатков относят и необходимость установки двойного количества горелок по отношению к числу работающих, и сложность обеспечения равномерного температурного поля, особенно при пониженных температурах, когда излучение перестает быть основной составляющей тепловых потоков.

Заключение. В отличие от распространенного мнения, само по себе применение ГУТ в печах не является гарантией высокой энергетической эффективности печного агрегата, а лишь условием, позволяющим добиться такой цели при оптимизации системы «печь – ГУТ»

1. Tschapowetz E. Use of regenerative burner systems in batch-wise furnace operation/ E. Tschapowetz, H. Krammer, J. Geidies // Heat Processing, 2, 2013. –P. 61– 66.

ЕЛЕМЕНТ СОНЯЧНОГО КОЛЕКТОРА

Одним з пріоритетних напрямків розвитку науки і техніки в Україні є розробка і впровадження сонячних підігрівачів води. Головним елементом таких установок є сонячний колектор (СК), від конструкції якого, в основному, залежить ефективність нагріву води.

На світовому ринку найпоширеніші СК з плоскою теплопоглинальною поверхнею. В СК, що розроблені співробітниками теплоенергетичного факультету «КПІ ім. Ігоря Сікорського» використовується ізотермічна високотеплопровідна поглинаюча панель на основі теплових труб (ТТ) – вискоелективних теплопередаючих пристроїв із замкнутим випаровувально-конденсаційним циклом руху теплоносія.

Панель колектора [1], що поглинає теплоту сонячних променів, складається з восьми алюмінієвих теплових труб, виготовлених із плоского пресованого алюмінієвого профілю. Теплота, що сприймається плоскою поверхнею зони випаровування ТТ, передається рідинному теплообміннику, розташованому на зонах їх конденсації. Така система теплопередачі забезпечує низький гідравлічний опір теплообмінника СК і, відповідно, малі енергозатрати на роботу насоса.

Недоліком вищевказаного СК є те, що плоска поглинаюча поверхня має теплові втрати радіаційного теплообміну в довгохвильовому діапазоні між поглинаючою плоскою панеллю і ТТ. Щоб підвищити ефективність елемента сонячного колектора за рахунок реалізації додаткового радіаційного теплообміну в довгохвильовому діапазоні між поглинаючою панеллю і ТТ з теплоносієм, авторами пропонується спеціально профільована поглинаюча панель у вигляді циліндричної поверхні – сегменту з ребром, розташованим у нижній частині внутрішньої поверхні [2].

Циліндрична поверхня грає роль концентратора відбитої частини випромінювання і власного випромінювання панелі в районі теплової труби. За допомогою ребра-кріплення теплової труби виконується фокусування відбитого і власного випромінювання панелі в районі теплової труби з теплоносієм.

Збільшення теплової енергії сонячного випромінювання в районі теплової труби, що закріплена на ребрі алюмінієвої панелі, яка виконана у вигляді циліндричної поверхні – сегменту, досягається за рахунок циліндричної форми поверхні поглинання, що фокусує власне і відбите випромінювання, а також за рахунок збільшення поглинаючої поверхні панелі.

Експериментальна ділянка, що дозволить відчути ефективність елемента СК за рахунок реалізації додаткового радіаційного теплообміну в довгохвильовому діапазоні між поглинаючою панеллю і ТТ, показана на рисунку 1.

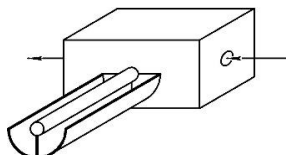


Рисунок 1 – Експериментальна ділянка елемента сонячного колектора

Перелік посилань:

1. Рассамакін Б.М. Розробка та дослідження теплових труб нового профілю для сонячних колекторів з використанням селективного покриття поглинаючої поверхні: Звіт з НДР/ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» - 2434 – п; Номер держреєстрації теми – 0111U000567. – К., 2012.

2. Заявка на винахід на корисну модель u201701760, МПК F24J 2/30 від 24.02.2017р.

ПІДВИЩЕННЯ ТЕПЛОВОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПЕЧІ ВТОРИННОЇ ПЛАВКИ АЛЮМІНІЮ

В останні десятиріччя у процесах вторинної плавки алюмінію застосовують сучасні енергозберігаючі технології, завдяки чому витрати енергії постійно зменшуються. Наприклад, у США у 1991 р. питомі витрати енергії на виробництво тони вторинного алюмінію склали ~23 ГДж/т, а у 2006 р. вони склали вже ~7,4 ГДж/т [1], тобто за цей період скоротились втричі. Проте, один із найефективніших засобів скорочення витрат палива – утилізація теплоти викидних газів шляхом використання рекуперативних підігрівачів повітря горіння – використовується в печах вторинного плавлення алюмінію дуже обмежено [2].

Печі вторинної плавки алюмінію являють собою плавильні агрегати, де за рахунок теплоти згорання органічного палива відбувається розплавлення алюмінієвого брухту та чушок.

Здебільшого, печі вторинного плавлення алюмінію являють собою застарілі агрегати з низькою ефективністю використання палива.

Причини того, що рекуператори в печах плавлення алюмінію майже не використовують полягають у тому, що, конструкції печей за час свого історичного розвитку практично не змінювались. Існує два основних типи плавильних печей відповідного призначення: нахильні циліндричні та відбивні.

Особливостями роботи обох вказаних типів печей є те, що розплавлений метал після завершення циклу плавлення виливають з ванни печі шляхом нахилу печі засобами механізації, тому встановлення і експлуатація рекуператорів в таких умовах дуже ускладнена.

Нахильні циліндричні печі призначені для плавлення шихти у розплавленому флюсі при постійному перемішуванні завантаженого у піч матеріалу, причому перемішування відбувається завдяки постійному обертанню печі навколо своєї осі. Нагрів та плавка металу відбувається завдяки теплообміну між продуктами згорання, обмурівкою та металом.

Оскільки для підвищення теплової ефективності печей одним з найбільш ефективних засобів є утилізація теплоти та використання відповідних теплоутилізаторів – рекуператорів, то відповідно запропоновано схему реконструкції нахильної циліндричної печі з встановленням радіаційного рекуператора на склепінні печі.

Зазначимо, що встановлення рекуператора на існуючий димохід є нераціональним кроком з конструкційної точки зору, оскільки велика частина рекуператора знаходиться над зливною алюмінієвою ванною та потребує додаткового захисту від дії високих температур та більш складного монтажу. Тому, раціонально перенести димохід та рекуператор до бічної стіни печі. Використання рекуператора дозволяє підвищити ККД печі, та знизити споживання палива на 25...30%.

1. Aluminum: The Element of Sustainability. A North American Aluminum Industry / Sustainability Report, 2011. – 70 p.
2. Галевский В.Г. Металлургия вторичного алюминия. / В.Г. Галевский, Н.М. Кулагин, М.Я. Минцис // Новосибирск: Наука. Сибирское предприятие РАН, 1998. – 289 с.

Студент 4 курсу, гр. ТК-31 Прокопенко С.М.
Доц., к.т.н. Мариненко В.І.

ФОТОЕЛЕКТРИЧНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ СОНЯЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Один із основних напрямів прямого перетворення сонячної енергії в електричну реалізується у напівпровідникових фотоелементах (ФЕ) [1]. До теперішнього часу виробництво більшості комерційних модулів сонячних елементів засноване на кристалічному кремнію з ККД менше 20%. Низька вартість кремнію є визначальною при виборі матеріалу для фотоелементів.

Для виготовлення наземних фотоелектричних перетворювачів (ФЕП) найбільш придатними вважаються напівпровідники Si, CdTe, GaAs.

Більшість сучасних сонячних елементів (СЕ) володіють одним р-n-переходом. Подолати це обмеження дозволяють багатошарові структури з двох і більше СЕ. Такі елементи називають багатоперехідними, каскадними або тандемними.

Основний напрямок досліджень в області каскадних елементів пов'язано з використанням арсеніду галію в якості одного або кількох компонентів. Ефективність перетворення подібних СЕ досягає 35%.

Для збільшення потужності фотоелектричного перетворення використовують, також, попередньо сконцентроване сонячне випромінювання за допомогою лінз Френеля.

Гетероперехідні сонячні фотоелементи на основі арсеніду галію можуть ефективно працювати при значному (в сотні і навіть в тисячі разів) концентруванні світлового потоку і вигідно відрізняються в цьому відношенні від кремнієвих.

При перетворенні концентрованого сонячного випромінювання з ефективністю близько 40% з використанням пристроїв для стеження за сонцем, питома (на одиницю площі) перетворена кількість електроенергії збільшується в 2-2,5 рази в порівнянні з установкою на основі кремнієвих ФЕП, що перетворюють пряме сонячне випромінювання.

Збільшення концентрації потоку сонячного випромінювання на ФЕП не завжди приводить до збільшення електрорушійної сили СЕ, тому що з підвищенням концентрованого сонячного випромінювання росте температура і знижується ККД ФЕП.

З метою утримання сталого ККД ФЕП при підвищених потужностях автори пропонують використовувати високоефективні тепловідвідні алюмінієві профільні теплові труби (ТТ), що стабілізують температурний режим роботи ФЕП [2].

Перелік посилань

1. Фреїк Д.М. Фотоелектричний перетворювач сонячного випромінювання. Досягнення, сучасний стан і тенденції розвитку./Д.М. Фреїк, В.М. Чобанюк, М.О. Галушак, О.С. Криницький, Г.Д. Матеїк//Фізика і хімія твердого тіла.-2012.-№1(т.13).-С.7-20.

2. Хайрнатов С.М. Экспериментальное исследование эффективного плоского солнечного коллектора на тепловых трубах / С.М. Хайрнатов // Водновляемая энергетика.-2010.-№2(21).-С. 35-39.

УДК 532.529

Студент 4 курсу, гр. ТК-31 Прокопенко С.М.

Доц., к.т.н. Новаківський Є.В.

АНАЛІЗ ПИЛОВЛОВЛЮЮЧИХ СИСТЕМ

На сьогодні Україна прийняла Європейські екологічні норми, що до концентрації шкідливих речовин в відходящих газах. Норми та фактичний викид шкідливих речовин приведені в таблиці 1 [1].

Таблиця 1

Тип палива	Пил(мг/м ³)		SO _x (мг/м ³)		NO _x (мг/м ³)	
	Фактичний	Норма	Фактичний	Норма	Фактичний	Норма
Тверде	50-30	20-10	400-200	400-200	700-2000	300-200
Рідке	50-30	20-10	30-20	20-10	500	300-100
Газоподібне	5-50	5-30	35-200	35-200	500	100

Більше 35% вугільних котлів України використовують батарейні циклони та мокрі способи очистки димових газів від твердих частинок. Скрубера, як правило, забезпечують коефіцієнт уловлювання часток до 98%, але нормативи вимагають підвищення цього показника до 99%. Батарейні циклони мають коефіцієнт уловлювання часток до 96%. Переваги мокрих в тому, що при однаковій продуктивності мають менші розміри, забезпечують більший ступінь очищення, мають не великий гідравлічний опір, працюють в значному діапазоні запилення до 100г/м³. До недоліків відносяться: складність виготовлення та значна металоємкість апаратів. Батарейні циклони ефективно працюють тільки при очищенні сухих газів та пилу, що не злипається. Системи пилоочищення в більшості котлоагрегатах мають термін експлуатації більше 30-40 років. Та як правило, вугільні не мають систем сіркоочищення. Для того, щоб забезпечити низький викид оксидів азоту й сірки, потрібно зменшувати температуру горіння та подавати разом з вугіллям вапняк. Тоді, летка зола та тверді продукти десульфуризації ефективно уловлюються в сучасному електрофільтрі. В мокрих способах уловлення оксидів сірки в скрубера подають вапнякове молоко, що також знижує температуру продуктів згорання.

Концентрація діоксиду сірки у відхідних газах визначається характеристиками палива. Концентрація оксидів азоту залежить від температури в зоні горіння й вмісту в ній вільного кисню. Викиди золи залежать як від зольності вугілля, так і від ефективності існуючих золоуловлювачів. Більшість палив українських кар'єрів мають низьку концентрацію СаО та MgO в складі золи, що дозволяє використовувати мокрі скрубера, але вміст сірки більше 2%, що потребує застосування сіркоуловлюючих систем.

Висновки:

Для досягнення ефективності пиловловлювання мокрих скрубєрів вище 99% питома витрата води, на зрошення, повинна приблизно дорівнювати 1л/м³ ДГ. Це призводить до зниження температури ДГ, тому потрібно або підігрівати очищені димові гази (що призводить до великих теплових затрат), або використовувати «мокру» димову трубу для викиду «вологих» ДГ. В мокрих золоуловлювачах можливе зв'язування діоксиду сірки при додаванні вапнякового молока, що усуває низькотемпературну корозію. Недоліками є високий гідравлічний опір апарату, витрата води на зрошення й отримання на виході мокрих відходів-суміші води і золи.

Перелік посилань

1. Вольчин І.А., Перспективи впровадження чистих вугільних технологій в енергетику України./І.А.Вольчин, Н.І. Дунаєвська, Л.С. Гапонич.//Законодавство України та ЄС щодо зменшення викидів забруднюючих речовин від теплоелектростанцій.-2013.(3.1.3).-С. 138-160.

ЭНЕРГОТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИЙ ГАЗОВИХ ПАЛИВ МЕТАЛУРГІЙНИХ ВИРОБНИЦТВ

Использование альтернативных газовых топлив является эффективным способом замещения природного газа во многих технологических процессах и в малой энергетике, однако для эффективного их использования необходимо учитывать индивидуальные свойства таких топлив и особенности их получения.

Например, коксовый и доменный газы – основные газы металлургических производств получают соответственно как бросовый продукт в коксовых батареях и доменных печах. Раньше их утилизировали, сжигая в открытом факеле.

Особенностью альтернативных газов, полученных в качестве побочных продуктов указанных процессов, является их сильная запыленность и высокая температура. В связи с технологическими особенностями, для последующего эффективного сжигания и использования коксового и доменного газов, необходимо очистить их от пыли и охладить, что в свою очередь эффективно осуществляют в мокрых скрубберах или других очистительных устройствах.

Особенностью такой «мокрой» очистки является то, что горючий газ будет насыщен водяным паром и все компоненты указанных газов, с учетом их парциального давления, будут существовать только в газовой фазе [1]. Причем концентрация водяных паров в топливе будет резко увеличиваться с ростом температуры.

Таким образом, если горючий газ не подвергнуть специальной осушке, то факел будет забалластирован водяным паром. Это, в свою очередь, вызовет снижение теоретической температуры горения и КПД установки (в соответствии с теоремой Карно), возрастут удельные выбросы CO_2 , как основного парникового газа на единицу полезно используемой теплоты.

Единственным положительным аспектом такого «мокрого» сжигания является существенное снижение образования NO_x , как наиболее токсичного компонента в продуктах сгорания. Это объясняется тем, что NO образуется на пике температур, а само его появление связано со скоростью химической реакции, которая резко падает со снижением температуры и концентрации реагирующих компонентов.

Важным является то, что такое же влияние на процессы сжигания оказывает влага, находящаяся в окружающем воздухе, но, поскольку в наших широтах умеренный климатический пояс, то абсолютное влагосодержание в окружающем воздухе незначительно и влияние влаги на процессы горения не учитывают. В тоже время, для условий тропиков и субтропиков, в частности для Юго-Восточной Азии, Индокитая и др., для окружающего воздуха характерна высокая температура и влажность (относительная влажность может достигать $\phi = 100\%$, влагосодержание достигать $d \sim 90\text{г/Н}_2\text{О/кг.сух. в-ха}$, при $t = 50^\circ\text{C}$), что очень сильно сказывается на процессах горения, изменении КПД и образования вредных веществ. Поэтому, в таких условиях просто необходимо производить соответствующие оценки и вводить поправки на влагу.

Отметим также, что обычно теплоты сгорания топлив определяются в условиях их сжигания с сухим воздухом – окислителем, а в условиях влажности воздуха, связанной с климатическими особенностями, теплоты сгорания будут меньше.

Использованный источник:

1. Физический энциклопедический словарь // Гл. редактор А.М. Прохоров.– М.: Советская энциклопедия. 1984.– 944с.

ГАЗИФІКАЦІЯ БІОМАСИ З НАСТУПНИМ СПАЛЮВАННЯМ ГЕНЕРАТОРНОГО ГАЗУ

Газифікація біомаси з наступним спалюванням генераторного газу є найбільш капіталомісткою технологією спільного спалювання, але забезпечує сумісність з енергетичними установками, що працюють на різних видах традиційного палива (вугілля, мазут, природний газ). За такою технологією біомаса надходить в газифікатор з метою виробництва генераторного газу, який потім використовується замість природного газу в газових двигунах або турбінах, а також може спалюватися в паровому котлі або котлі утилізаторі установок комбінованого циклу. Можливо вельми широке розмаїття технологій газифікації біомаси [1].

Серед нових технологій, які перебувають в стадії розвитку, можна виділити спільне спалювання вугілля або природного газу та рідкого піропалива з біомаси. Піропаливо отримують технологіями швидкого піролізу біомаси, його щільність становить 1200кг/м^3 , Q_n – близько 18МДж/кг . Перевагою такої технології є можливість виробництва піропалива в місцях наявності дешевої біомаси з післянаступним транспортуванням продукту з високою енергетичною щільністю на електростанцію.

Для порівняння: енергетична щільність піропалива складає 28ГДж/м^3 , тоді як деревної тріски - 8ГДж/м^3 , соломи - 2ГДж/м^3 . Основною вимогою до піропалива для спільного спалювання є його висока якість. На рис.1 показана загальна схема використання технології газифікації біомаси з використанням газифікатора ЦКС на електростанції [2].

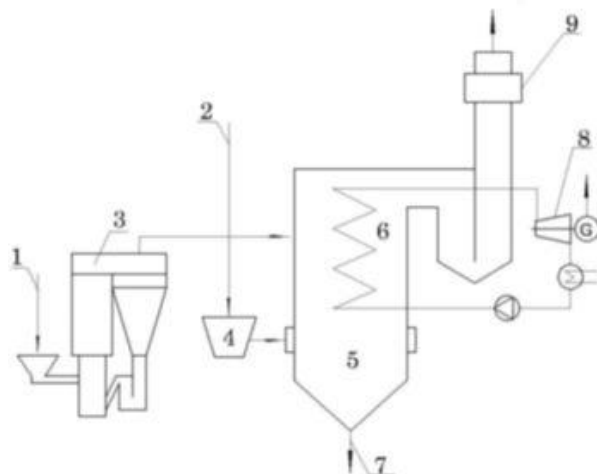


Рисунок 1 – Схема газифікації біомаси на електростанції.

1 – подача біомаси; 2 – подача вугілля; 3 – газифікатор з ЦКС; 4 – млин; 5 – паровий котел; 6 – зона доспалювання; 7 – відвід золи; 8 – парова турбіна і електрогенератор; 9 – система очищення продуктів салювання.

Перелік посилань:

1. Tillman D. Biomass cofiring: the technology, the experience, the combustion consequences // Biomass and bioenergy. – 2000. – v. 19, № 6 – p. 365 – 384.
2. Wiltsee G. Lessons learned from existing bio; mass power plants // NREL / SR;570; 26946. – 2000. – 144 p.

СТУПІНЧАСТЕ ВИПАРОВУВАННЯ В БАРАБАННИХ КОТЛАХ

Ступінчасте випаровування використовується для зменшення солевмісту у насиченій парі, шляхом застосування продувки з сольових відсіків барабану, яка змінюється в діапазоні: $P = 0,01 - 5\%$ [1]. Сольові відсіки існують як всередині барабану (Рис.1а), так і у вигляді виносних циклонів (Рис.1б). Виносні циклони складніші і дорожчі, але надійніші та простіші в експлуатації.

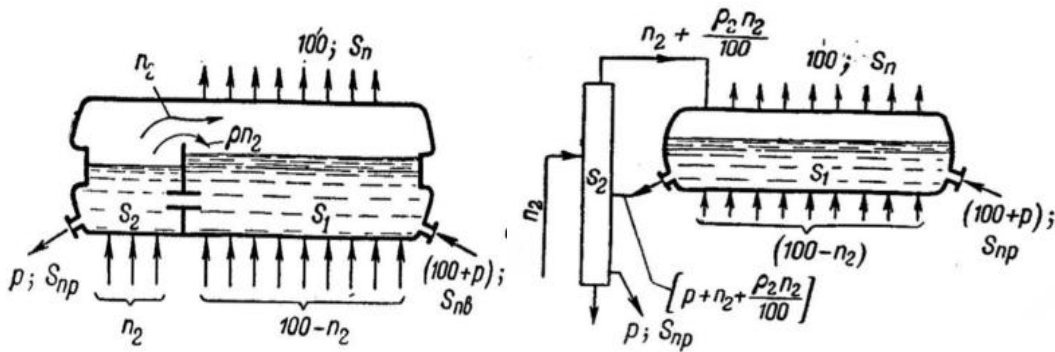


Рисунок 1. Схеми ступінчастого випаровування:

а) двоступенева всередині барабана, б) двоступенева з виносним циклоном.

Переливання води з чистого відсіку в сольовий є внутрішньою продувкою чистого відсіку. На відміну від зовнішньої, внутрішня продувка не супроводжується втратою ні теплоти, ні робочого середовища, і тому її значення вибирають тільки з міркування максимально можливого поліпшення якості пари.

Ступінчасте випаровування дозволяє підвищити чистоту пари при даному значенні продувки та при заданій якості живильної води. Також воно дозволяє одержати задовільну чистоту пари при воді більш низької якості, що спрощує й робить дешевшим водопідготовку. Ступінчасте випаровування дозволяє так само підвищити економічність паротурбінної установки внаслідок зменшення продувки без помітного зниження якості пари [2].

Ефективність ступінчастого випаровування зростає зі збільшенням числа відсіків: чим більше відсіків, тим менша різниця концентрацій домішок у парі та воді. Також зростає величина продувки і збільшуються втрати теплоти, що йде на підготовку води.

Використані джерела:

1. Резников М.И., Липов Ю.М. Паровые котлы тепловых электростанций. 1981. 239 с.
2. Бойко Е.А. Паровые котлы. /Красноярск: КГТУ, 2005. – 135с.

ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ ПОПУТНИХ ГАЗІВ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

При спалюванні попутних технологічних газових палив (ПТГП) металургійних виробництв: доменного і коксового газів, в атмосферне повітря відбувається викид наступних забруднюючих речовин: діоксид вуглецю, залізо, магній, канцерогенні і багато інших. При цьому основними компонентами, що потрапляють в атмосферу при спалюванні ПТГП, є діоксид вуглецю (CO_2) і активна сажа (C)⁺.

Основними забруднювачами є при цьому оксид вуглецю (CO), з його можливими похідними - 64%, сажа - 13%, оксид азоту - 10% діоксид сірки - 7%. Крім цих речовин, при згорянні ПТГП в атмосферу надходять викиди понад 100 різних елементів, включаючи такі небезпечні для життєдіяльності людини як ртуть, миш'як, магній [1].

Високі концентрації забруднюючих речовин в атмосфері несприятливо впливають на здоров'я населення і об'єкти тваринного світу. Викиди діоксиду вуглецю викликають парниковий ефект, що визначає глобальну зміну клімату. Крім того, спалювання газу у факелі супроводжується тепловим і хімічним забрудненням з руйнуванням ґрунту в радіусі від 100 до 350 метрів від факелу.

Для зниження шкідливого впливу на атмосферу використовують очищення продуктів згоряння від пилу. Цей спосіб очищення ґрунтується на контакті запиленого газу з рідиною і забезпечує високий ступінь очищення. Мокре очищення газу застосовують в тих випадках, коли допустимо зволоження і охолодження газу, що очищується і коли виловлюються частки, які утворюють з рідиною шлами, і які просто вилучати та транспортувати з апарату - очищувача.

Очищення продуктів згоряння від оксиду вуглецю (CO) - більш складне завдання. Таке очищення проводять в спеціальних хімічних реакторах - промислових катализаторах конверсії. Як хімічний реагент використовують суміш 70 до 85% Ge_2O_3 і 5-15% Cr_2O_3 , яка зберігає активність при температурах до 600°C , цей катализатор має форму таблеток розміром $6,4 \times 6,4$ мм або $9,6 \times 9,6$ мм. Після виснаження катализатора проводять його регенерацію. Недоліком такого способу очищення є високі капіталовкладення.

Іншим ефективним методом очищення є поглинання оксиду вуглецю мідно-аміачним розчином. Цей метод очищення застосовують в тому випадку, коли оксид вуглецю необхідно повністю виділити з газу, що очищується. У цьому процесі оксид вуглецю під високим тиском поглинається в протитоківому абсорбері розчином мідно-аміачного реагенту – сполуки міді $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]^+$. Недоліком є висока вартість реагенту.

Використання сучасних способів очищення газу має забезпечити виконання вимог ЄС щодо шкідливих викидів, де граничні норми CO на рівні 100 мг/м^3 [2]. В Україні, в свою чергу, для стаціонарних паливовикористовуючих агрегатів норми по викидах CO – 250 мг/м^3 [3]. Що стосується запиленості газів, то необхідно відповідати нормам щодо викидів не більше $0,1 \text{ мг/м}^3$.

Перелік посилань:

1. Сталинский Д.В. Совершенствование работы газоочисток доменного газа при применении ГУБТ / Д.В. Сталинский, Г.М. Каненко, В.В. Алхасова // *Металлург. и горноруд. пром-сть.* - 2005. - № 5. - С. 79-81.
2. Директива Европейского Союза 2010/75/ЕС «О промышленных выбросах» (о комплексном предотвращении загрязнения и контроле над ним) от 24 ноября 2010г.
3. Нормативи граничнодопустимих викидів забруднюючих речовин із стаціонарних джерел (затв. наказом Міністерства охорони навколишнього середовища 27.06.06 № 309).

ПІДВИЩЕННЯ ТЕПЛОАЕРОДИНАМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКОНОМАЙЗЕРНИХ ПОВЕРХОНЬ НАГРІВУ КОТЛІВ ДКВР

Економайзер парового котла є важливою поверхнею нагріву, яка обігривається продуктами згорання палива. Він призначений для підігрівання живильної води, яка поступає в паровий котел.

Залежно від металу, з якого виготовляють економайзери, вони можуть бути чавунними і сталевими. Виготовляються економайзери з ребристих або гладких чавунних труб на тиск 2,2 МПа, а на більш високу температуру і тиск - як правило, із сталевих гладких або ребристих труб. Основними недоліками чавунних економайзерів є великі габарити, чутливість до гідравлічних ударів, низька теплопередача, а також швидке забруднення міжтрубного простору золою, що впливає на теплоаеродинамічну ефективність даного типу економайзерів. В котлах типу ДКВР, як правило, застосовуються чавунні економайзери [1].

Впровадження сталевих економайзерних поверхонь нагріву виконаних з плоскоовальних труб з неповним поперечним оребренням (Рисунок 1) дозволяє поліпшити питомі масогабаритні показники і збільшити теплоаеродинамічну ефективність у 1,3 – 1,5 рази порівняно з існуючими поверхнями з круглоребристих труб.

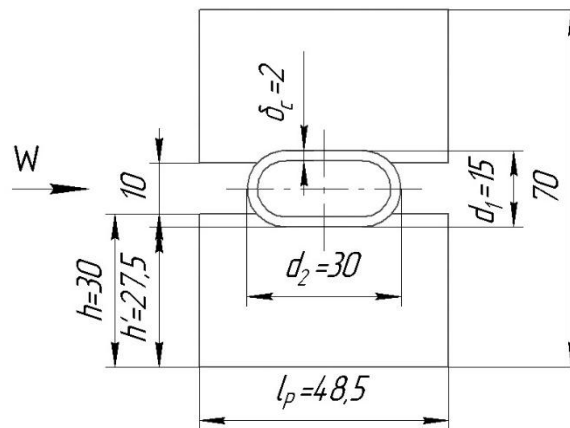


Рисунок 1- Профіль плоскоовальної труби з неповним поперечним оребренням.
W – напрям руху димових газів

На теплообмін та аеродинамічний опір економайзерної поверхні нагріву виконаної з плоскоовальних труб з неповним оребренням впливають: геометричні параметри оребрення, які враховують коефіцієнт оребрення ψ та крокові характеристики пучків S_1/S_2 , а також компоновка пакетів (інтенсивність тепловіддачі при варіюванні ступеня оребрення в межах $\psi = 16.5 - 21.0$ змінюється на 10 – 25 %, в межах одного типу труб ($\psi = \text{const}$, $S_1/S_2 = \text{var}$) на 15-30%) [2].

Перелік посилань:

1. Сидельковський Л.Н., Юренев В.Н. Котельные установки промышленных предприятий, 1988.
2. Бойко Е.А. Паровые котлы. Учебное пособие, 2005.

СЕКЦІЯ №3

Сучасні технології в тепловій енергетиці

УДК 621.1

Студентка 4 курсу, гр. ТС-31 Шкута Т.Ю.
Асист. Шелешей Т.В.

ВПЛИВ ТЕПЛОВИХ ВИКИДІВ В АТМОСФЕРУ

Рішення проблеми охорони навколишнього середовища від шкідливого впливу підприємств теплової енергетики потребує комплексного підходу. Ряд обмежень і технічних вимог при виборі майданчику під будівництво диктується екологічними міркуваннями. При спорудженні електростанцій, перш за все ТЕЦ, у містах або передмістях передбачається створення лісових смуг між станцією і житловими масивами. Вони зменшують вплив шуму на прилеглі райони, сприяють затриманню пилу при вітрах в напрямку житлових масивів. При проектуванні і будівництві ТЕС необхідно планувати їх оснащення високоефективними засобами очищення та утилізації відходів, скидів та викидів забруднюючих речовин, використання екологічно безпечних видів палива. Захист повітряного басейну. Якщо виходити з рівня споживання ПЕР 2000 р. в усьому світі в кількості 30 млрд т умовного палива на рік і вважати, що вся енергія розсіюється в тому або тому вигляді в навколишньому середовищі, то при теплоті згорання умовного палива 29 300 кДж/кг можна оцінити валовий викид теплової енергії в кількості 900 ексаджоулів на рік (префікс «екса» означає 10^{18}). Водночас основне природне джерело теплової енергії – сонячна енергія – становить $2,4 \times 10^6$ ЕДж/рік. Отже, розмір антропогенного теплового забруднення не перевищує 0,04% від кількості сонячної енергії, що надходить до поверхні Землі. Будь-яке місцеве джерело теплоти достатньої інтенсивності сприяє утворенню термічної циркуляції, яка чітко виявляється, якщо немає вітру. Цей ефект спостерігають на висотах до декількох сотень метрів. У круглого «острова теплоти» діаметром 10 км при швидкості вітру близько 1 м/с вертикальна швидкість течій, що виникають у шарі завтовшки до 500 м, досягає 10 м/с. Основним фактором теплового впливу на ріки або водойми є підвищення температури води в місці скидання нагрітої води, що зумовлює підвищення середньої температури поверхні водоймища.

Відомо, що теплові викиди в атмосферу призведуть до підвищення середньої температури Землі на 2–3 °С в помірних широтах і до 10 °С на полюсах. В результаті такого потепління і пов'язаного з ним танення криги може підвищитися (на 5–6 м і більше) рівень Світового океану. Одним із напрямів підвищення екологічної ефективності енергетики є енергозбереження. Цей напрям дозволяє зменшити енергоємність одиниці продукції за рахунок модернізації та вдосконалення виробничих процесів.

Важливим напрямом підвищення екологічної безпеки енергетичних об'єктів є впровадження екологічного моніторингу і розвиток систем екологічної інформації. Екологічний моніторинг проводять на чотирьох рівнях:

- локальному – на території окремих об'єктів, міст, на ділянках ландшафтів, промислових об'єктів і прилеглих до них територій;
- регіональному – у межах адміністративно-територіальних одиниць, території екологічних і природних регіонів;
- національному – на території країни, зокрема з використанням космічних засобів спостереження;
- глобальному – спеціалізовані організації на підставі міжнародних угод.

Перелік посилань:

1. Екологія: Навчальний посібник / За ред. проф. В.В. Денисова.
2. Теплоенергетичні установки та екологічні аспекти виробництва енергії / Г.Б. Варламов, Г.М. Любчик, В.А. Малярєнко / «Політехніка» 2003.
3. Журнал «Новини енергетики» №12, 2015 / За ред. Т.Є. Удод.

УДК 662.66:662.767.1.

Магістрант 5 курсу, гр. ТС-61м Ардашніков А.Ю.
Доц., к.т.н. Грановська О.О.

АЕРОДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТРУМЕНЕВО-НІШОВОГО ПАЛЬНИКА

Як відомо [1], вугільні поклади в Україні мають високий вміст метану. Метан відноситься до парникових газів. Він безперервно виділяється в процесі метаморфозу вуглїв, а також в процесі добування та переробки. Інтенсивність поглинання довгохвильового випромінювання Землі метаном в 21 раз вище, ніж вуглекислим газом. При середньому вмісті метану в донецькому вугіллі 15 м³/т та добуванні вугілля 80 млн. т кількість метану, який виділяється при добуванні, транспортуванні та подрібненні вугілля складає 1,2 млрд. м³, що по вкладу в парниковий ефект еквівалентно спалюванню 9 млрд. м³ природного газу.

Але при широкому практичному використанню метану виникають проблеми, яку ще не знайшли свого вирішення.

Наприклад, різний та нестабільний у часі склад шахтних метано-повітряних сумішей затруднює використання стандартних паливних пристроїв, які вимагають в таких випадках штучної стабілізації паливного газу за допомогою порівняно складних та коштовних пристроїв. Для успішного використання палив типу шахтного метану потрібна технологія спалювання, в якій характеристики повноти та сталості горіння дозволяють використовувати паливо зі змінним складом. Подібна проблема актуальна і для інших областей, наприклад, для камер згорання газових турбін, які працюють на природному газі (до 97–99 % CH₄), де попереднє змішування газу з повітрям широко використовується як складова частина технології «сухого» подавлення емісії NO_x і до складу горючої суміші змінюється при змінні навантаження.

Розроблена модель струменево-нішевого пальника для спалювання паливних газів типу шахтного метану, який складається з двох систем подачі газу – в першій низькорекційне паливо типу шахтного метану подається струменями в обтічний повітряний потік. Стабілізація горіння відбувається в нішевому поглибленні, яке розташоване системою газових отворів.

Друга частина модуля-стабілізатора також містить отвори для струменевої подачі високореакційного палива в обтічний повітряний потік. Стабілізація горіння запалюючого високореакційного палива відбувається за рахунок утворення сумісної зони рециркуляції за двостороннім уступом і торцевою вихідною кромкою стабілізатора.

Проведено випробування характеристик у ряді струменевої подачі газу в обтічний повітряний потік.

Перечень ссылок:

1. Христич В.А. Микрофакельное горение метано-воздушных смесей переменного состава/ В.А. Христич, С.А. Левчук, Н. Н. Ольховская// Экотехнологии и ресурсосбережение, 1998. – №3. – С. 43-47.

ЗНИЖЕННЯ ВИТРАТ НА ПЕРЕКАЧУВАННЯ ТЕПЛОНОСІЯ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

З введенням в потік рідини спеціальних добавок можливо значно (до 40–60%) знизити гідравлічний опір трубопроводів. Такими добавками можуть бути деякі поверхнево-активні речовини (ПАР), синтетичні (поліакриламід, поліоксетилен) і природні (гуарова смола) високомолекулярні полімери, а також полісахариди, які є продуктом життєдіяльності ґрунтових бактерій.

Добавки полімерів однаково знижують коефіцієнти гідродинамічного опору і тепловіддачі в теплообмінних системах рідина-рідина. Тому бажано застосовувати незалежну схему підключення споживачів, в якому джерело теплоти і споживач мають самостійні замкнуті контури циркулюючого теплоносія з полімерними добавками, сполучені між собою через теплообмінні апарати, розміщені в центральних та індивідуальних теплових пунктах.

Ефект від застосування активованого теплоносія може проявлятися в збільшенні пропускної здатності або переданої теплової потужності теплоносіїв при заданих діаметрах труб, в зменшенні діаметра труб при заданій переданій тепловій потужності або в збільшенні дальності транспорту теплоносія при тих же діаметрах і переданій тепловій потужності.

Розрахунки показують, що періодичне введення полімерних добавок збільшує вартість відпущеної одиниці тепла на 0,7–1%, але в той же час ця добавка дозволяє економити 20% електроенергії, що витрачається на перекачування теплоносія.

На сьогодні за всіма показниками кращими добавками є полісахариди. Ці добавки виявилися практично нечутливими до високих температур, механічний темп деградації у них в порівнянні з іншими добавками з такою ж ефективністю в 10 разів нижче, а порівняно низька молекулярна маса майже не впливає на теплообмін. Поряд з високою термічною і механічною стійкістю, полісахариди мають ще низку цінних якостей. Вони виробляються у великих кількостях для потреб сільського господарства, вимагають мінімальних енергетичних витрат на виробництво, дешеві і екологічно чисті. Одночасно підтверджено і такий позитивний ефект від застосування полімерних добавок, як загальмування корозійних процесів на внутрішніх поверхнях трубопроводів, а також зменшення кавітаційних явищ в насосах і згладжування гідроударів.

Перелік посилань:

1. Беляйкина И.В, Витальев В.П., Громов Н.К. Водяные тепловые сети: Справочное пособие по проектированию. М.: Энергоатомиздат, 1988. 376с .
2. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. Учебник для вузов. М.: Издательство МЭИ, 2001. 472с.

Магістрантка 6 курсу, гр. ТС-61м Беднарська І.С.
Ст.вик., к.т.н. Нікуленкова Т.В.
Проф., д.т.н. Черноусенко О.Ю.

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ПАРОВИХ ТУРБІН НА ЗМІННИХ РЕЖИМАХ

У зв'язку із збільшеними періодами експлуатації енергетичних турбін на часткових режимах (пуски, зупинки, холостий хід, максимальний теплофікаційний режим) виникає досить гостра необхідність в переоцінці ефективності традиційних способів захисту від ерозійного зносу робочих лопаток останніх ступенів циліндрів низького тиску (ЦНТ). Ця обставина пояснюється тим, що робочі лопатки останніх ступеней ЦНТ парових турбін працюють в умовах високих каплеударних навантажень, що часто призводить до інтенсивного ерозійного зношування вхідних і вихідних кромek [1]. На режимах з великими тепловими навантаженнями турбіни для підвищення економічності витрату пару через ЦНТ зменшують до значення, що забезпечує допустиме підвищення температури проточної і вихлопної частин і небезпечну експлуатацію обладнання. За даними вібраційних випробувань ці режими можуть супроводжуватись підвищенням динамічних напружень в робочих лопатках, а за даними газодинамічних випробувань структура потоку по окружності і радіусу робочих коліс відрізняється значною нерівномірністю, великими відривними зонами в ступенях і замкнутими вихревыми течіями. При цьому в кореневій і периферійній областях останніх ступеней виникають вихреві зони з великими температурними градієнтами, що здатні впливати на роботу стелітового захисту та демпферних зв'язків. Очевидно, що проблема підвищення надійності останньої сходинки повинна вирішуватись в сукупності з проблемою досить точного прогнозування характеристик ерозійного зносу робочих лопаток на весь життєвий цикл паротурбінної установки.

Отже, для забезпечення надійності роботи ступеней на режимах, що є базовими для теплофікаційних турбін, необхідне виключення факторів, що призводять до збільшення напружень в робочих лопатках цих ступеней.

Забезпечення допустимого теплового стану лопаточного апарату і вихлопного патрубкa ЦНТ досягається в турбінах різними конструктивними рішеннями, що відрізняються робочим тілом, місцем підводу охолоджувача, його кількісними і якісними характеристиками [2]:

1. Пристрій охолодження вводом охолоджувача в вихлопну частину ЦНТ.
2. Охолодження ступеней низького тиску введенням охолоджувача в паровприскную частину ЦНТ.
3. Охолодження ступеней низького тиску введенням охолоджуючого пару між ступенями.
4. Вприск конденсату в ресиверні труби.
5. Заградительное охолодження ЦНТ.
6. Пристрій охолодження при закритих поворотних діафрагмах підведенням пару з камери паровпуску в камеру 10 го відбору (для Т-250/300-240)
7. Нанесення протиерозійного захисного покриття методом атомно-іонного розпилення матеріалів.

Перелік посилань:

1. Шубенко А.Л. Кинетическая модель каплеударной эрозии рабочих лопаточных аппаратов паровых турбин / Л.А. Шубенко-Шубин, А.А. Тарелин., Ю.П. Антипцев. – Киев: Наук. думка, 1980. – 228 с.
2. РД 153-34.1-17.462-00. Методические указания о порядке оценки работоспособности рабочих лопаток паровых турбин в процессе изготовления, эксплуатации и ремонта. М., 2001

МОДЕРНИЗАЦИЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ УКРАИНЫ С ПОМОЩЬЮ СТРУЙНО-НИШЕВОЙ ТЕХНОЛОГИИ СЖИГАНИЯ ТОПЛИВА

На рынке Украины присутствует большое количество различного типа горелочных устройств (ГУ) ведущих мировых производителей. Основные усилия при их разработках таких направляются на обеспечение рационального распределения горючего в потоке окислителя, турбулизацию топливной смеси и создание зон обратных токов в области стабилизации факела. Однако это удается лишь в очень узких диапазонах изменения режимных факторов и поэтому не обеспечивается вся полнота требований, в совокупности предъявляемых к топочному процессу [1].

В отличие от других ГУ, рабочий процесс горелок СНТ обеспечивает получение продуктов сгорания необходимого качества. Эффективность работы самого ГУ определяется шириной диапазона устойчивой работы по скорости окислителя и коэффициенту избытка воздуха (α). Чем шире диапазон работы по скорости воздуха, тем безопасней работа ОУ (отсутствие срыва факела, «хлопков» и вибраций). Ширина диапазона работы по α определяет диапазон температур в топочном пространстве, особенно это актуально для печей различного типа и сушил. Для котлов качество ГУ определяется степенью приближения избытка воздуха, проходящего через горелочное

устройство, к нулю, при этом коэффициент избытка воздуха $\alpha_{ГУ} \rightarrow 1$.
$$\alpha_{ГУ} = \frac{G_o}{L_0 \times G_r}$$
,

где G_o – расход окислителя, G_r – расход горючего, L_0 – стехиометрический коэффициент.

За счет образования компактных устойчивых вихревых структур с температурой более 1000 °С и высокой концентрацией активных центров, СНТ обеспечивает необычайно широкий рабочий диапазон.

Равномерность распределения горючего в потоке окислителя, которая приводит к формированию равномерных температурных, концентрационных и скоростных полей, на экологических показателях это отражается следующим образом на эмиссии веществ:

- CO – снижается на 20–40% благодаря отсутствию в топочном пространстве зон с недостаточным количеством кислорода;
- CH₄ – снижается так же за счет полного сгорания топлива;
- CO₂ – снижается благодаря непосредственному снижению расхода газа (экономия газа на ОУ составляет около 5–15%);
- NO_x – снижается благодаря тому, что при более равномерном распределении температурных полей, снижается максимальная температура по топочному пространству.
- Бенз(а)пирен – снижается благодаря отсутствию зон переобогащенных кислородом.

При равномерном распределении концентрационных полей появляется возможность снизить показатель избытка воздуха α до необходимого уровня, что в свою очередь также влияет на уменьшение эмиссии. Уровень шума и вибрации снижается благодаря устранению источников пульсаций в топочном пространстве ОУ в несколько раз. Срок окупаемости такой модернизации только за счет экономии топлива не превышает одного года эксплуатации. При этом, получаем экономию электроэнергии и увеличение межремонтного периода работы, повышение уровня безопасности [2].

Перечень ссылок:

1. К основным положениям концепции развития малой энергетики Украины // Долинский А.А., Черняк В.П., Сигал А.И., Базеев Е.Г./ Промтеплотехника, 1998.– т.14.– №4.– С.88–91
2. Некоторые аспекты повышения экономичности и экологической безопасности горелочных устройств // Абдулин М.З./ Энергетика, экономика, технология, 2000.-№4-с.65

УДК 621.43.056:632.15

Магістрант 5 курсу, гр. ТС-61м Галдінов М.В.,
Доц., к.т.н. Риндюк Д.В.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ГОРІННЯ В ПОБУТОВИХ ТВЕРДОПАЛИВНИХ КОТЛАХ

Створена геометрична модель за розмірами реального котла Vissmann Vitolig 150 в пакеті програм SolidWorks. В побудованій моделі було використано ряд спрощень, необхідних для прискорення розрахунку (рис. 1).

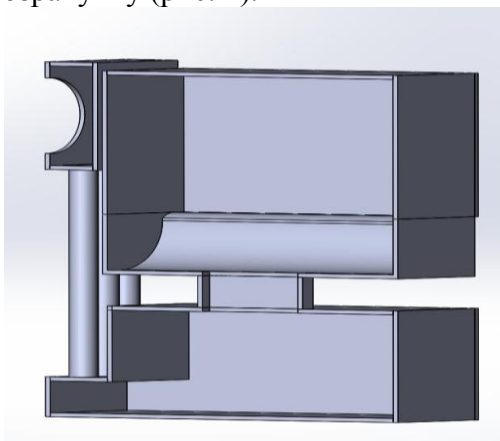


Рис. 1. Поперечний переріз спрощеної моделі котла Vissmann Vitolig 150

Базуючись на відомих закономірностях процесу двофазного горіння було створено математичну модель та проведено числові експерименти, що враховують конструктивні та технологічні особливості твердопаливного побутового котла [1]. Приклад отриманих результатів показано на рис. 2.

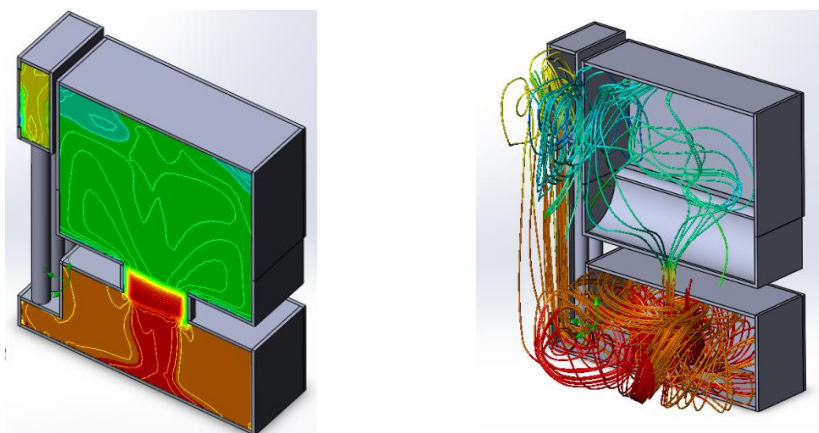


Рис. 2. Приклад результатів моделювання горіння, поле розподілу температур та потоків в перерізі

Представлена робота є першим етапом у створенні математичної моделі твердопаливного побутового котла, отримані результати будуть використовуватися в подальшому для розробки методів дослідження конструктивно-технологічних параметрів основних процесів ТПК [2].

Перелік посилань:

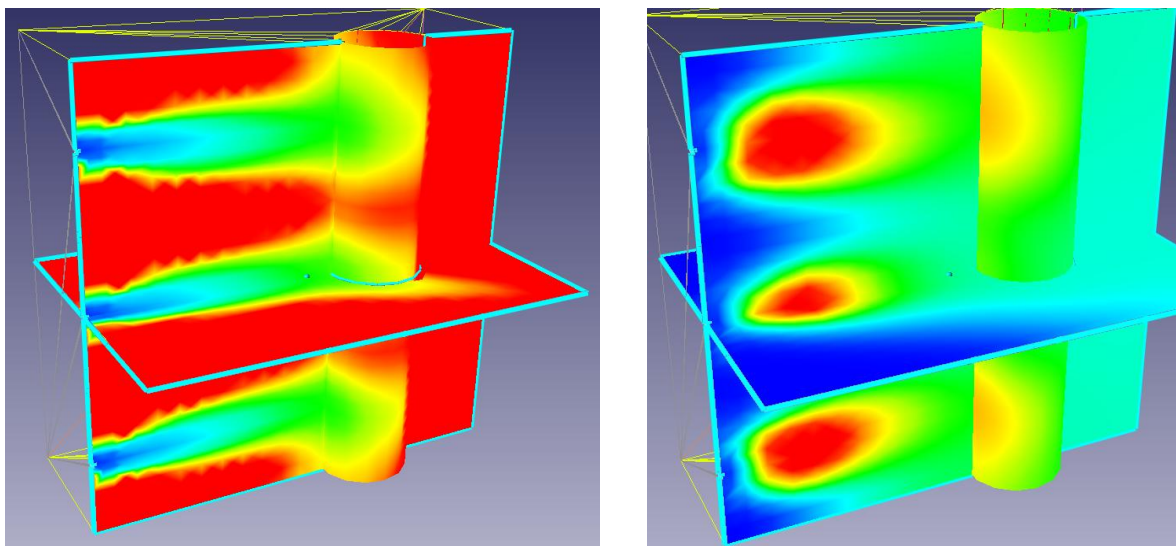
1. Енергія навколо нас / А.С. Конеченков, М.М. Федосенко, Г.А. Шиловіч – 1999. – 192 с.
2. Энергетические установки и окружающая среда / Маляренко В. – Харьков, 2002.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ОДНОФАЗНОГО ГОРІННЯ

Модель горіння є однією з найбільш складних моделей течій [1]. Данна модель описує процеси горіння газових сумішей при дозвукових числах Маха. Ця модель представляє собою розвиток моделі течії слабостиских рідин з усіма її обмеженнями, але при цьому враховується горіння газової суміші.

Якщо газова суміш попередньо не перемішана, то розрахунок такої течії розділяється на два етапи: розрахунок «холодної течії» (розрахунок без горіння, для перемішування газів), підпал та горіння перемішаної суміші [2].

Розглянуто трьохмірну задачу моделювання процесу горіння газів. Особливістю даного типу задач є те що, розрахунок поділяється на два ступені. Перше розрахунок холодного потоку, друге підпал та горіння газу. Для розрахунку цього процесу використовувалась модель горіння, що включає в себе наступні рівняння: рівняння Нав'є-Стокса, рівняння енергії, рівняння стану, модель Зельдовича, кінетична модель горіння, турбулентна модель горіння, пульсаційна модель горіння [3]. Результати моделювання продемонстровані на рисунку 1.



а)

б)

Рис. 1. Результати моделювання:

а) розподіл коефіцієнту надлишку повітря;

б) температурне поле

Данна робота є початковим етапом, результати якої, будуть використовуватися у подальшому.

Перелік посилань:

1. Энергия навколо нас / А.С. Конеченков, М.М. Федосенко– К., 1999. – 192 с.
2. Энергетические установки и окружающая среда / Маляренко В. – Харьков, 2002.
3. Галдин В. Д. Сжигание газа. Газогорелочные устройства: Учебное пособие. — Омск: Изд-во СибАДИ, 2008. — 136 с.

АКУМУЛЮВАННЯ ТЕПЛОТИ ВИВІЛЬНЕННОЇ ПРИ ЇЇ ГЛИБОКІЙ УТИЛІЗАЦІЇ

Підвищення ефективності використання палива – одна з найважливіших завдань енергетики. Глобальне світове потепління атмосфери, виснаження запасів рідкого і газоподібного палива роблять її ще більш актуальною. Одним з методів використання теплоти відхідних газів є вироблення електроенергії для споживання на власні потреби котельні(привід вентиляторів, димососів, циркуляційних насосів і т.д.) [1].

Перешкодою для утилізації теплоти утворення водяної пари газів служить не тільки технічна складність реалізації цього процесу, але і низька потенційна одержуваного тепла і обмежена внаслідок цього можливість його застосування. Найбільш прийнятний спосіб споживання низько потенційної енергії – опалення житлових і виробничих будівель. Однак сезонна циклічність, притаманна цим споживачам енергії призводить до додаткового ускладнення технології.

Для глибокої утилізації тепла відхідних газів пропонується модернізувати теплову схему електростанція - споживач. У цій схемі має передбачатися: зниження температури теплоносія при використанні тепла теплоспоживачем до мінімально можливого рівня; акумулювання надлишкової теплової енергії в між опалювальний період; акумулювання енергії холодного агента в період використання акумулятора теплової енергії як джерело тепла.

Спосіб утилізації тепла відхідних газів сумісний з існуючою системою централізованого тепlopостачання за умови адаптації теплоспоживача в частині зниження температури теплоносія до мінімально можливого рівня (5 °С), виконується за допомогою десяти артезіанських свердловин. Акумулятори ГСВ і речовинами, що містять хлор з'єднуються з ТЕЦ, що забезпечується використанням більш ефективних теплових приладів, а також теплонасосних установок.

Акумулювання надлишкової теплової енергії холодного агента не тільки дозволить експлуатувати систему утилізації тепла в міжопалювальний період, але й розширить можливості узгодження режимів роботи основного обладнання ТЕЦ [2].

Отримана теплова енергія може застосовуватися на котлах, працюючих як на рідкому, так і на газоподібному паливі. Ефективність використання енергії палива підвищується на (7–25)%, крім того, цей спосіб має досить високими техніко-економічними показниками: питомі капітальні витрати на встановлену теплову потужність на (24–50)% нижче галузевих для подібного обладнання; окупність (при коефіцієнті приведення капітальних витрат $E=0,15$) близько 8 років.

Для підвищення рентабельності виробництва теплової енергії цим способом необхідно продовжувати роботи по його доведенню і застосування в енергетиці.

Відмінною рисою даного способу тепlopостачання є використання теплоносія з більш низьким (95/5 °С), ніж традиційний (150/70 або 130/70 °С) потенціалом, що дозволяє високопотенційне енергію направити на виробництво електроенергії. Крім того, зниження початкової температури теплоносія підвищує безпеку його застосування.

Перелік посилань:

1. Миропольский З.Л., Чарьев А.И. Повышение экономичности и уменьшение вредных выбросов на ТЭС при использовании тепла уходящих газов в контактных водно-воздухонагнетателях. Обзорная информация // Энергетика и электрификация. Сер. 7. М. Информэнерго, 1983.

2. Кожевников В.П., Кулешов М. И., Губарев А.В. О преимуществах перехода от централизованного к индивидуальному теплоснабжению жилых, общественных и промышленных зданий // Промышленная энергетика, 2009.– № 5.– С. 7–9

ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНІ ЗАСАДИ МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ МЕГАПОЛІСУ

Аналіз графіка коефіцієнта теплофікації $\alpha_{\text{ТЕЦ}}$ по місяцях року показує, що резервом підвищення ефективності є можливість більш повного завантаження теплофікаційних відборів турбін в літній період за рахунок переведення теплопостачання міста виключно від турбін ТЕЦ [1].

Оскільки значна частина теплоспоживання є комунально-побутовим, то в літній період теплове навантаження визначається потребами гарячого водопостачання, яке для зони окремого теплоджерела є рівномірним протягом місяця, кварталу і становить від $\frac{1}{4}$ до $\frac{1}{3}$ розрахункового теплового навантаження.

Наявність двох ТЕЦ Києва на протилежних частинах міста дає можливість перевести на них літнє теплоспоживання розташованих між ними районів та відключити на цей час районні котельні, що влітку працюють не постійно, з мінімальними тепловими навантаженнями.

Для переведення літнього теплового навантаження котельнь, крім РК "Микільська Борщагівка", додаткових капітальних вкладень не потрібно. Відпуск теплоти відборами турбін ТЕЦ в літній період збільшиться на 280 тис. Гкал, що надає можливість економії палива до 25 тис. т у.п. щорічно і дозволить окупити капітальні вкладення по переведенню літнього теплового навантаження котельних від ТЕЦ Київенерго за 10 років.

Подальшим розвитком цього напрямку є переведення системи теплопостачання на спільну роботу за гнучким графіком [2].

Запропоновано введення єдиного гнучкого режиму навантаження в залежності від поточних потреб споживачів. Основною відмінністю є відсутність поняття опалювального сезону, оскільки підключення і відключення опалювальних систем буде визначатися термінами, що встановлюються самими споживачами незалежно від пори року. Очікується, що періоди включення/відключення опалювального навантаження будуть розтягнуті у часі до 1 місяця, в інші періоди тепломережа буде працювати з параметрами, аналогічними існуючим.

Для згладжування і вирівнювання незбалансованих гідравлічних параметрів при роботі тепломережі за гнучким графіком в місцях розрізів суміжних зон теплопостачання районних котельнь і ТЕЦ запропонована організація поетапного переходу по відокремлених зонах теплоджерел з подальшою реалізацією режиму роботи об'єднання цих зон в одну та відкриття роз'єднувальних засувки на перемичках між зонами.

Для організації роботи системи в режимі гнучкого графіка запропоновано до впровадження трирівневу автоматизовану систему диспетчерського управління тепловими мережами, яка в режимі реального часу відображає дійсний стан теплоджерел та тепломереж Києва на основі показання датчиків основних параметрів в контрольних точках [3].

Перелік посилань:

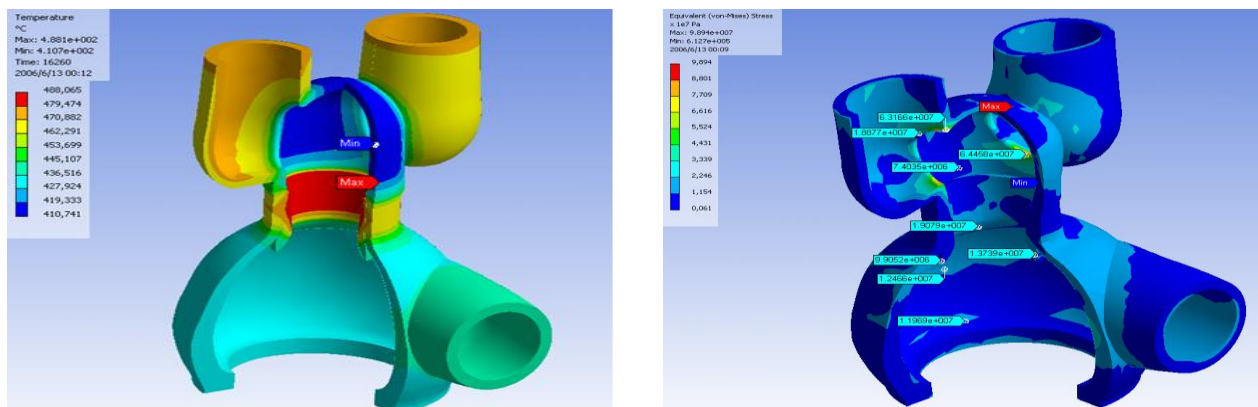
1. Маккаев В.В., Батухтин А.Г. Математическая модель ряда абонентских вводов закрытых систем теплоснабжения // Научно-технические ведомости / СПбГТУ, 2009.– №3.
2. Батухин А.Г., Маккаев В.В. Застосування оптимізаційних моделей функціонування систем теплопостачання для зниження собівартості теплової енергії і збільшення розполагаємої потужності станції // Промислова енергетика, 2010.– №2
3. Хрилев Л.С. Основные направления и эффективность развития теплофикации // Теплоэнергетика, 1998.– №4

УЧЕТ ПОВРЕЖДЕННОСТИ АВТОМАТИЧЕСКОГО СТОПОРНОГО КЛАПАНА (АЗК) ЦСД В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Анализ результатов неразрушающего контроля АЗК ЦСД в период планово-предупредительных ремонтов турбины показал, что за весь период эксплуатации на наружных и внутренних поверхностях защитных клапанов трещин не обнаружено. Необходимо выполнить цветную или магнитопорошковую дефектоскопию наружных и внутренних поверхностей литых корпусов защитных клапанов [1].

Выполнены исследования теплового, напряженно-деформированного состояния и малоциклового усталости корпусов стопорных клапанов цилиндров среднего давления (АСК ЦСД) паровой турбины К-200-130 блока 200 МВт. В геометрии учтены результаты неразрушающего контроля АЗК ЦСД в период планово-предупредительных ремонтов. Расчетная модель для АЗК ЦСД в программном комплексе ANSYS представляется в трехмерной постановке. Граничные условия теплообмена для АСК ЦВД соответствуют рассматриваемым эксплуатационным режимам.

Расчетное поле температур и НДС (распределения эквивалентных интенсивности напряжений по Мизесу) для АЗК ЦСД в пространственной постановке при эксплуатационных режимах НС-2, НС-1 показано на рис. 1.



а) тепловое состояние

б) напряженно-деформированное состояние

Рис.1. Тепловое и напряженно-деформированное состояние АЗК ЦСД. Пуск из неостывшего состояния НС-1

Степень износа металла в защитном клапане АЗК ЦСД определяется 9,4%. При температурном ударе (заброс конденсата и др.) температурные напряжения в стенке клапана в местах конденсатных пятен максимальны и могут достигать 350 МПа и более. Таких режимов следует избегать. Трещины в ребре жесткости клапана АСК ЦВД могут возникнуть на начальных этапах пусков, поэтому надо строго придерживаться режимных карт пусков по температурным разностям [2].

Перечень ссылок:

1. Иванов В.А. Проблема покрытия переменной части графиков энергопотребления. – Теплоэнергетика, 1983, №6, с.2-6.
2. Лейзерович А.Ш. Продление срока службы паровых турбин. – Энергохозяйство за рубежом, 1985, №1, с.5–8.

ПРОДОВЖЕННЯ РЕСУРСУ РОТОРА СЕРЕДНЬОГО ТИСКУ ПАРОВОЇ ТУРБИНИ К-300-240 З ОЦІНКОЮ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ

На даний момент в Україні працює 42 блоки (всього в нашій країні 104 блоки теплових електростанцій) з турбінами К-300-240 з яких приблизно 90% відпрацювали свій парковий ресурс, який складає 220 тис. годин при кількості пусків – 800.

Заміна обладнання, що відпрацювали свій термін служби на нові, сучасні та більш ефективні є найкращим вирішенням проблеми вичерпання паркового ресурсу, але це не завжди доцільно з економічних міркувань [1].

Подальша експлуатація турбін, які відпрацювали свій парковий ресурс може неодноразово поетапно продовжуватися на обмежений період за умови позитивних результатів розширеного контролю технічного стану турбіни, проведеного в періоди ремонтів, а також розрахункового обґрунтування можливості і строків продовження подальшої експлуатації [2].

Метою даної роботи є аналіз поточного стану енергоблоків потужністю 300 МВт, розрахунок пошкоджуваності, індивідуального залишкового ресурсу високотемпературних елементів турбіни К-300-240 та винесення рекомендацій щодо можливості подальшого функціонування, надійної та безперебійної роботи діючих енергоблоків.

Методи дослідження включають математичне моделювання теплового стану (ТС), напружено-деформованого стану (НДС) та оцінку залишкового ресурсу ротора парової турбіни К-300-240, що базуються на програмних продуктах SolidWorks та SolidWorks Simulation.

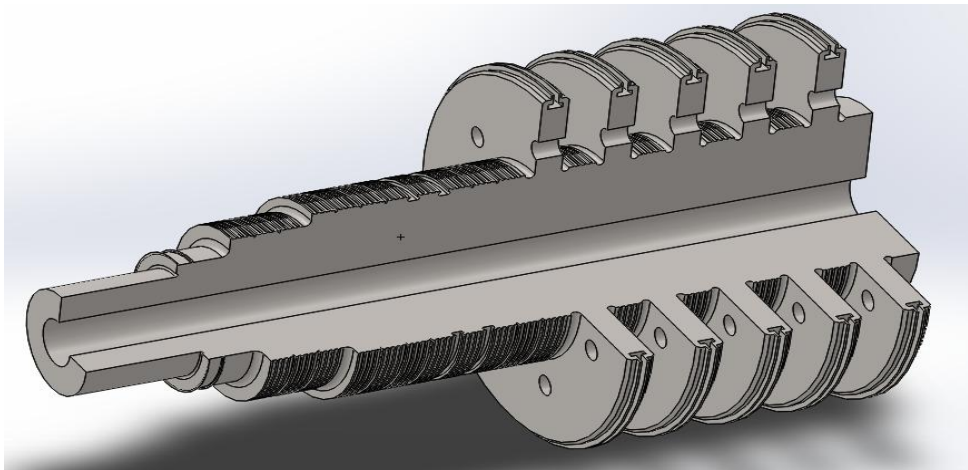


Рис. 1 Ротор середнього тиску турбіни К-300-240

Перелік посилань:

1. Гринь Е.А. Возможности механики разрушения применительно к задачам прочности, ресурса и обоснования безопасной эксплуатации тепломеханического энергооборудования // Теплоэнергетика. – 2013. – №1. – С. 25–32.
2. Резинских В.Ф., Гринь Е.А. Современные проблемы обеспечения безопасности тепломеханического оборудования при продлении сроков его службы // Теплоэнергетика. – 2013. – №1. – С. 17–24.

УДК 621

Магістрант 5 курсу, гр. ТС-61м Дорофій П.С.

Проф., д.т.н. Кесова Л.О.

ОСВОЄННЯ І ДОВЕДЕННЯ ДО ПРОЄКТНИХ ПОКАЗНИКІВ ОБЛАДНАННЯ ЕНЕРГООБЛОКУ 1200 МВт

Комплексні промислові дослідження головних зразків турбін і установок в цілому на електростанціях в період їх освоєння на початковому етапі дослідно-промислової експлуатації є невід'ємним і завершальним етапом створення нового енергетичного обладнання. На цьому етапі виявляються конструкторські, технологічні, системні та експлуатаційні недоліки, усунення яких сприяє підвищенню техніко економічних показників і поліпшення експлуатаційних характеристик серійно вироблення основних показників, що визначають енергетичні характеристики турбоустановки, економічності її окремих елементів і вузлів.

Турбіна К-1200-240 з номінальною потужністю 1200 МВт Ленінградського металевго заводу є одновальний п'ятициліндровий агрегат з циліндрів високого, середнього тиску (ЦВТ і ЦСТ) і трьох циліндрів низького тиску (ЦНТ) з дросельними паророзподіленням [1]. Система регенерації турбоустановки складається з п'яти підігрівачів низького тиску, підігрівача замкнутого контуру газоохолоджувачів генератора, охолоджувача пара лабіринтових ущільнень, деаератора, двох груп підігрівачів високого тиску і насосів [2].

Питома витрата палива на відпущену енергію при навантаженні 1200 МВт,

г / (кВт·год):	
при роботі на мазуті і під надувом	313
при роботі на врівноваженою тязі	314

Витрата електроенергії, %:

на власні потреби	1,4
при роботі на врівноваженість тязі	2,0

Питома витрата теплоти турбоустановки, кДж / (кВт·год) 7650

У турбіні К-1200-240-3 застосовано дросельний паророзподіл, що характеризується високою економічністю при роботі з повністю відкритими регулюючими клапанами та істотним зниженням ККД ЦВТ при роботі на часткових навантаженнях з номінальними або близькими до них параметрами свіжої пари.

Схема трубопроводів гострої пари виконана без головної парової засувки (ГПЗ). Паровий тракт високого тиску після вбудованої засувки чотирьохпоточної, не має перемішування між потоками.

Регулювання температури первинного пара забезпечується підтримкою відповідності між витратами води і палива [3].

Перелік посилань:

1. Рыжков В.К., Сорокин Н.А., Михайлов М.Ф. Паровая турбина К-1200-240-3 ЛМЗ. – Теплоэнергетика, 1976.– №5
2. Ремизов А.Н. Исследование эксплуатационных характеристик паротурбинной установки К-1200-240-3 АО ЛМЗ на Костромской ГРЭС: Дис. на соиск. учен. степен. канди. техн. наук. Иваново, 1999.
3. Ремезов А.Н., Кулихин В.В., Хоменок А.Л. Исследование силового взаимодействия элементов турбины К-1200-240-3 на Костромской ГРЭС. – Энергосбережение и водоподготовка, 1999.– №1

МОДЕРНІЗАЦІЯ ХВОСТОВИХ ПОВЕРХОНЬ КОТЛІВ - ОДИН ІЗ СПОСОБІВ УТИЛІЗАЦІЇ ДИМОВИХ ГАЗІВ

Модернізація хвостової частини парових котлів з застосування оребрених поверхонь нагріву з великою різноманітністю рішень, дозволяє ефективно витратити матеріальні ресурси на технічне переозброєння енергетичного обладнання теплових електростанцій. Технічне рішення по модернізації засноване на застосуванні в економайзері поверхні нагріву з труб з поперечним спіральними ребрами замість існуючої гладкотрубною. Розглянемо один із прикладів такої модернізації. При модернізації конвективної частини котла ПК-14 (рис. 1) було знижено кількість надлишкового повітря.

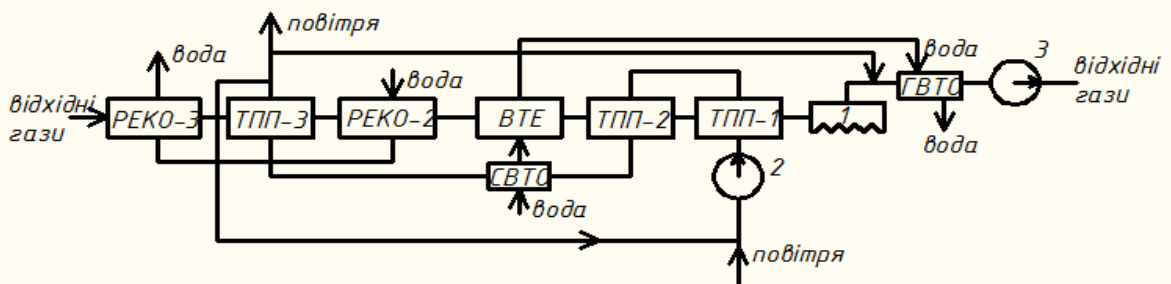


Рис. 1. Схема модернізації конвективної частини пилувугільного котла типу ПК-14:
1 – емульгатор; 2 – вентилятор; 3 – димосос; ВТЕ-високотемпературний теплофікаційний економайзер; СВТО-система вбудованих теплообмінників; ГВТО – газоводяний теплообмінник

Крім підігріву газів після емульгатора, передбачено відбір теплоти від котла на теплопостачання. Для цього в конвективній шахті замість ЕКО-1 встановлено високотемпературний теплофікаційний економайзер – ВТЕ, а ЕКО-2 замінено на РЕКО-2. Вбудований теплообмінник СВТО, встановлений в перепускному повітроводі між ТПП-2 і ТПП-3, містить змійовикові поверхні теплообміну із труб з поперечним оребренням. Згідно цієї схеми зворотна вода із системи теплопостачання в кількості 25 кг/с з температурою 70 °С підігрівається (для запобігання корозії металу труб) в СВТО до температури 80 °С і поступає в ВТЕ, де нагрівається до 150 °С, а потім йде в ГВТО для підігріву димових газів після емульгатора. В ГВТО вода охолоджується до 130 °С.

Наслідком таких заходів є зменшення займаного економайзером обсягу в газоході котла в 2 рази. Використання емульгаторів замість скрубєрів з трубами Вентурі виразився у збільшенні степені золовловлювання з 96 до 99%. Таким чином, при такому екологічному ефекті використання емульгатора в технології мокрої золоочистки модернізованих парових котлів можна розглядати як позитивне технічне рішення. Аналіз результатів розрахунків такої модернізації показав, що запропоновано технічне рішення дозволяє знизити температуру димових газів, відносно вихідного варіанта, на 50 °С, підвищити ККД котла на 2,78%, зменшити масовий викид золи на 0,119 кг/с і додатково отримати 6,3 МВт тепла для теплопостачання [1]. На підставі результатів можна зробити висновок про те, що модернізація хвостовій частині котлів шляхом застосування інтенсифікованих поверхонь нагріву з оребрених труб є одним з напрямків підвищення ефективності діючого енергетичного обладнання на теплових електростанціях.

Перелік посилань:

1. Медведев В.А., Пономарева Н.В., Николаев В.А. Модернизация действующих котельных установок с применением оребренных поверхностей нагрева / Саратов.госуд.техн.ун-т Саратов, 1996.

УСУНЕННЯ ДЕФЕКТІВ ЦИЛІНДРІВ

Загальний стан поверхні роз'єму корпусу циліндра визначається візуальним оглядом, перевіркою роз'єму по контрольній плиті і за даними, отриманими при знятті паспорта роз'єму в процесі контрольного складання. Усунення нещільності роз'ємів проводиться частковим або повним шабруванням роз'єму по контрольній плиті.

Повне шабрування горизонтальних роз'ємів циліндрів в умовах станції представляє значні труднощі в зв'язку з відсутністю контрольних плит достатніх розмірів. При повному шабруванні роз'єму проводиться шабрування верхньої половини циліндра по контрольній плиті і фарбі з контролем площі роз'єму по лінійці (так як лінійні розміри плити не достатні). Нижня половина циліндра шабрується по виправленій верхній половині і фарбі [1].

Так як допускається закриття пошкоджених циліндрів, то в умовах станції найчастіше доцільно проводити часткове шабрування дефектних місць роз'ємів на підставі формуляра виміру зазорів в роз'ємі, обтягнутому "на холодно". У разі наявності в роз'ємі зазору поблизу тільки однієї шпильки, для усунення зазору в роз'ємі при обтягуванні "на холодно" зазвичай буває досить шабруванням збільшити довжину дуги до сусідніх шпильок. В процесі ревізії по виду мастики необхідно переконатися у відсутності пропусків (присосів) пара; при цьому необхідно позначити на контактних поясах верхнього і нижнього фланців ділянки пропарювання і місцевих пошкоджень.

Місця абразивного і ерозійного зносу в циліндрах турбін, що з'являються в роз'ємах, перегородках, розточеннях, виступаючих деталей, що омиваються інтенсивним потоком вологої пари або пари, що містить окалину, підлягають ремонту.

У випадках незначних місцевих пошкоджень роз'ємів, перегородок і розточок проводиться зачистка пошкоджених місць, їх подальше зварювання електродами що

містять нікель (електроди ЕА-395/9; ЦТ-28; ЦТ-36) і шабрування ремонтної ділянки.

У випадках значних (за величиною поверхні) пошкоджень розточок, після зварювання необхідна їх механічна обробка із застосуванням спеціальних пристосувань або демонтаж циліндра з заводським ремонтом пошкоджень.

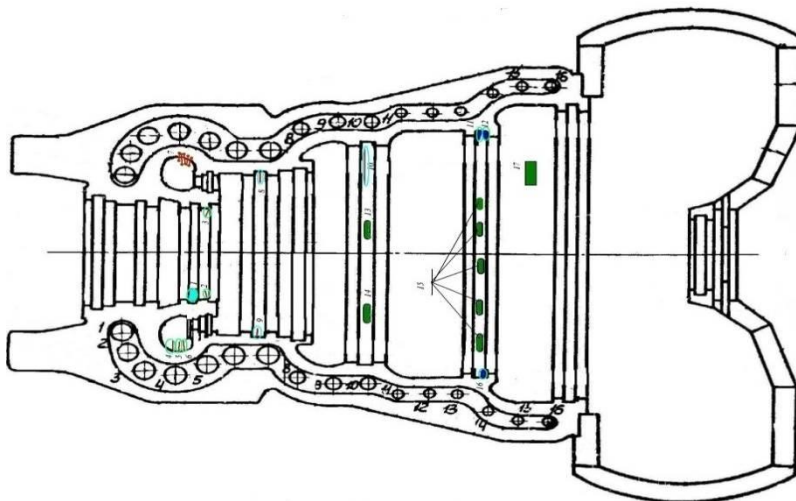
В даний час для ремонту дефектів деталей, що

працюють в зоні температур до 300 °С, широко почали застосовуватися композиційні матеріали на основі полімерних матеріалів [2].

Пошкоджена різьба болтів, шпильок, гайок і гнізд для шпильок фланців роз'єму циліндра повинна бути виправлена відповідною зачисткою і знову прорізнана.

Перелік посилань:

1. Ремонт парових турбін В. Н. Родин, А. Г. Шарапов та ін.? 2002.– 202 с.
2. Костюк А.Г. Динамика и прочность турбомашин: Учебник для вузов 2000.– 480с.



УДК 504.054

Студентка 4 курсу, гр. ТС-31 Кабанова В.В.
Ст.викл., к.т.н. Нікуленкова Т.В.

ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ШКІДЛИВИХ ВИКИДІВ ТЕС

В даний час теплові електростанції дають близько 27 % загальних промислових викидів. В умовах зростання енергоспоживання необхідно приділяти особливу увагу вирішенню завдання охорони навколишнього середовища з тим, щоб не тільки забезпечити екологічну безпеку існуючих енергетичних підприємств, а й створити умови для нарощування їх потужностей.

Основними ознаками негативного впливу енергетичного виробництва можна вважати:

- забруднення повітряного басейну газовими і аерозольними викидами (оксидів азоту NO_x , діоксиду сірки SO_2 , кисню O_2 , монооксиду вуглецю CO та золи). Усе це призводить до таких незворотних процесів, як руйнування озонового шару; виникнення парникового ефекту [1];

- забруднення ґрунтових вод стоками теплової електростанції;
- викиди теплової енергії в навколишнє середовище.

Підвищення енергетичної ефективності і екологічної безпеки об'єктів теплоенергетики полягає в стимулюванні розвитку і практичного використання новітніх наукових досягнень і науково-технічних розробок у галузі технології переробки і спалювання палива, удосконаленні та розробці нових технологій перетворення хімічної енергії палива на інші види енергії, зниженні втрат теплової та електричної енергії під час передачі її споживачеві, покращенні умов експлуатації та підвищенні надійності роботи енергетичних установок, удосконаленні методів і засобів вимірювання концентрацій шкідливих речовин у їх викидах.

Програмний комплекс для розрахунку шкідливих викидів ТЕС включає:

- розрахунок валового викиду шкідливих речовин (викиди в атмосферу частинок золи та недопалу, оксидів сірки, окису вуглецю, оксидів ванадію, оксидів азоту);
- розрахунок висоти домової труби;
- розрахунок продуктів згоряння палива;
- розробку технічних заходів щодо зниження шкідливих викидів від ТЕС;
- визначення плати і її граничних розмірів за забруднення навколишнього природного середовища.

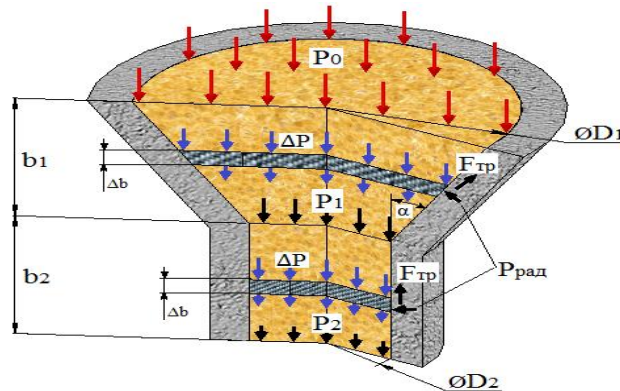
Перелік контрольованих компонентів викидів визначають, виходячи з цілей проведення вимірювань [2].

Перелік посилань:

1. Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними і біологічними речовинами). ДСП-201-97, МОЗ, Київ, 1997.
2. Установки спалювання на теплових електростанціях та в котельнях. Організація контролю за викидами в атмосферу. СОУ-Н МПЕ 40.1.02.307: 2005. НД Київ, 2005

ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ГРАНУЛЯТОРА НА ПРОЦЕС ФОРМУВАННЯ ГРАНУЛИ

В останні роки в усьому світі енергетичне використання біомаси і, зокрема, деревних відходів, розглядається як бажана альтернатива традиційним видам палива. Це пов'язано з тим, що подібні відходи є CO₂ - нейтральними, мають низький вміст сірки, відносяться до поновлюваних джерел енергії. Все це призвело до того, що технології отримання палива (паливні гранули, пелети) з таких відходів в останні роки розвиваються і удосконалюються. Але існує проблема «залипання» сировини в матриці гранулятора, і для вирішення вказаної проблеми зроблено спробу встановити взаємозв'язок між конструктивними параметрами вузла пресування гранулятора, технологічними та структурно-механічними властивостями сировини [1]. Запропоновано спрощену математичну модель процесу ущільнення сировини в філь'єрі матриці, що дає змогу визначити мінімально необхідний тиск для проходження сировини через матрицю гранулятора без залипання.



$$P_0 \cdot S > F_{\text{тр}},$$

де P_0 – осьовий тиск, Па;
 $F_{\text{тр}}$ – сила зовнішнього тертя, Н;
 S – площа поперечного перерізу філь'єри.

В свою чергу, сила зовнішнього тертя з урахуванням сили радіального тиску:

$$F_{\text{тр}} = \pi \cdot D \cdot P_{\text{рад}} \cdot \phi$$

де D – діаметр філь'єри, м;
 ϕ – коефіцієнт зовнішнього тертя;
 $P_{\text{рад}} = P \cdot \lambda$ – радіальний тиск, Па;
 λ – коефіцієнт радіального тиску;
 P – тиск на шар матеріалу, Па.

Отримана залежність має наступний вигляд:

$$P_2 = \frac{P_0 \cdot e^{-\frac{4 \cdot \phi \cdot \lambda \cdot b_2}{D_2}} \cdot D_2^{\frac{2 \cdot \phi \cdot \lambda \cdot \cos(\alpha)}{\tan(\alpha)}}}{D_1^{\frac{2 \cdot \phi \cdot \lambda \cdot \cos(\alpha)}{\tan(\alpha)}}$$

Перелік посилань:

1. Барсуков В. В., Крупич Б. Влияние межчастичного трения на условия сдвигового деформирования пресс-порошков и пресс-волокнитов // Материалы, технологии, инструменты, 2003 (8).– № 4, С.16—19.

Магістрант 5 курсу, гр. ТС-61м Ковальчук В.А.
Магістрант 5 курсу, гр. ТС-61м Мороз О.С.
Доц., к.т.н. Грановська О.О.

АЕРОДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАБІЛІЗАТОРНО-НІШОВОГО ПАЛЬНИКА

В різних галузях народного господарства – енергетиці, металургії, комунальному господарстві, печах різного призначення, газотурбінних установках, якщо існує потреба в пальникових пристроях, які забезпечать стійку і ефективну роботу в широкому діапазоні режимів, щодо витрати палива та повітря із низькими викидами токсичних оксидів азоту.

До таких пристроїв відносяться стабілізаторні пальникові пристрої, в яких реалізується принцип мікрофакельного, мікродифузійного спалювання газів [1, 2].

В цих пальникових пристроях паливо скидається в зону рециркуляції, за стабілізатором за різними схемами. Завдяки використанню такої схеми забезпечується стан горіння факелу в широкому діапазоні режимів з коефіцієнтом надлишку повітря та висока ступінь згорання. В пальнику реалізується режим горіння, наближений до дифузійного, коли концентрація палива у суміші з повітрям виходить за межі горіння стехіометричних паливо-повітряних сумішей. Для забезпечення надійного перекидання полум'я між стабілізаторами в розробленому пальниковому пристрої виконується нішкове поглиблення, яке розташоване вздовж перетину всіх стабілізаторів і в якій через систему отворів подається газоподібне паливо в зону рециркуляції за стабілізатором. Використання нішового поглиблення дозволяє зменшити втрати тиску повітря в пальниковому пристрої. Змінюючи систему газоподачі і взаєморозташування стабілізаторів можна регулювати характер поля температур за пальниковим пристроєм.

Проведене комп'ютерне та аеродинамічне дослідження в комбінованій стабілізаторно-нішовій системі.

Встановлено, що при розміщенні нішового поглиблення на зрізі стабілізаторів утворюється загальна зона рециркуляції, розміри якої залежить від параметрів стабілізаторів і нішового поглиблення. При розташуванні стабілізаторів на зустріч повітряному потоку, а також за задньою кромкою нішових поглиблень на певну відстань зони зворотних тисків не змикаються і сталість горіння факелу підвищується.

Перелік посилань:

1. Христич В.А. Горелочные устройства для сжигания газа при высоких и переменных избытках воздуха / В.А. Христич, Г.Н. Любчик // Москва: ВНИИПРОМГАЗ, 1978. – 25 с.
2. Христич В.А. Исследование закономерностей выгорания топлива за уголковыми и плоскими стабилизаторами пламени / В.А. Христич, Г.Н. Любчик, Л.С. Бутовский, Е.А. Грановская // В сб. Теория и практика сжигания газа. – Л.: Недра, 1975. – С.324–333.

ГАЗИФІКАЦІЯ ЯК СПОСІБ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ВІДХОДІВ

Загострена екологічна ситуація на Львівщині наголосила, що проблема утилізації промислових і побутових відходів в Україні стоїть дуже гостро. Експерти зазначають, що ситуація знаходиться на межі екологічної катастрофи [1].

Досвід показує, що для спалювання відходів необхідні чималі кошти, крім того утворюються значні викиди шкідливих речовин в атмосферу. Тому високорозвинені країни переходять від методу безпосереднього спалювання сміття до ресурсо- і енергозберігаючих технологій, використовуючи його як джерело альтернативної енергії.

Щорічно в Україні утворюється 11–12 млн. т побутових відходів, що за тепловим потенціалом еквівалентно 3 млн м³ природного газу. Одним із методів використання цього потенціалу є газифікація.

Газифікація – це процес перетворення органічної частини сировини в горючі гази при високотемпературному (1000-2000 °С) спалюванні з недостатнім, для повного згорання, доступом кисню. В ролі окисника виступають повітря, кисень, водяна пара. У вертикальній шахті, яка називається газогенератором, відбувається процес газифікації [2].

Установка має три активні зони: термічного розкладання палива, окислення та відновлення. На виході з установки газ придатний для використання, але він має низьку теплотворну здатність. Пропустивши його через ряд фільтрів та охолодивши, можна суттєво підняти його нищу теплоту згорання. Шкідливі викиди при згоранні синтез-газу такі ж, а в деяких випадках навіть менші ніж при згоранні природного газу [3].

Горючими компонентами синтезованого газу є: водень (H₂), чадний газ (CO), метан (CH₄) та інші вуглеводні. Калорійність одержаного газу залежить від типу відходів та вологості і приблизно становить 1100–1500 ккал/м³ (4,6~6,3 МДж).

Найчастіше отриманий генераторний газ використовують як паливо. Після очищення від H₂S, CS₂, CO₂ його можна використовувати як сировину для отримання аміаку, а суміш реагентів - для виробництва метанолу і рідких вуглеводнів.

Метод газифікації має ряд переваг, в порівнянні з прямим спалюванням біопалива, основні з яких: високий енергетичний ККД (95%); низькі лінійні швидкості руху газу в генераторі забезпечують мінімальне винесення частинок, що дозволяє суттєво скоротити витрати на очисне обладнання; допустима кількість оксидів азоту в димових газах; золотий залишок не містить механічного недопалу. Одним з суттєвих недоліків є висока вартість обладнання.

Газифікація дозволяє одночасно утилізувати великі об'єми промислових та побутових відходів, а також отримувати необхідну теплову енергію. На даний момент розроблені проекти, втілення яких, дозволить виробляти та продавати електроенергію державі, отримуючи «зелений» тариф. Середній термін їх окупності становить 5 років. Сьогодні при введенні об'єкта в експлуатацію «зелений» тариф для біомаси складає 0,11147 євро за кВт·год.

Перелік посилань:

1. <https://ecology.unian.net/trash/1740137-groysman-zayavil-o-namerenii-pomoch-lvovu-v-uregulirovanii-situatsii-s-utilizatsiey-othodov.html>
2. <http://www.booksite.ru/fulltext/rusles/ljamingaz/text.pdf>
3. Копытов В.В. Газификация конденсированных топлив: Ретроспективный обзор, современное состояние дел и перспективы развития / Копытов В.В. – Москва: Инфа-Инженерия, 2012. – 504 с.

ПРОБЛЕМИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ТА ПРОМИСЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ

Одним з основних елементів вогнетехнічних установок, від характеристик якого в значній мірі залежить їх ефективність, термін роботи, формування розподілу теплових потоків в топковому просторі тощо, є палинковий пристрій. Досвід експлуатації палинкових пристроїв, які використовуються в енергетиці та промисловості, показує, що в багатьох випадках вони мають низькі техніко-економічні показники, зокрема, не дають можливості досягти рівномірного поля температур продуктів згоряння в топці, особливо при роботі на змінних параметрах робочого процесу. При роботі існуючих палинкових пристроїв, у своїй більшості, реєстрового типу, практично завжди спостерігається відхилення поля температур газів від розрахункового профілю в різних елементах обладнання – трубопроводах, колекторах, в матеріалі футеровки тощо.

Температурне поле може бути неоднаковим по периметру поперечного перерізу труби, якщо існує нерівномірне підведення теплоти до зовнішньої поверхні або нерівномірне відведення теплоти від внутрішньої поверхні. При нерівномірному полі температур в поперечному перерізі каналу відбувається розтічка теплоти по стінці від ділянок з найбільшою температурою до ділянок, де температура металу нижче.

При цьому виникають значні температурні деформації в окремих елементах обладнання, які призводять до підвищення напруженості і необхідності зменшення швидкості перехідних режимів. В деяких випадках нерівномірність поля температур газів спонукає до зменшення температури факелу за рахунок збільшення коефіцієнта надлишку повітря і зниження, таким чином, ефективності енергоустановки.

Найбільш істотна нерівномірність температурного поля спостерігається в горизонтальних трубах парових котлів з докритичними параметрами пари і трубах будь-якої орієнтації, які працюють в зоні великих теплоємностей робочого середовища при зверхкритичних параметрах.

Під дією перепаду високих температур метал відповідальних вузлів знаходиться у важких умовах, тому, що навіть в стаціонарних режимах роботи метал знаходиться під впливом напружень від внутрішнього тиску і власної маси. [1, 2].

В основу виконаних розрахунків покладено принцип оцінки міцності металу трубопроводу з граничним навантаженням при розрахунковому тиску робочого тіла, що дозволяє більш повно і точно враховувати умови роботи металу.

Розрахункова температура стінки залежить від умов обігріву та охолодження робочої поверхні. Для елементів, на які не діє полум'я, розрахункова температура приймається рівною температурі робочого середовища: для барабана - температура насичення пари при тиску в ньому; в колекторах по поверхоні нагріву і з'єднуючих трубопроводах - температура робочого середовища, що протікає через них.

Розрахунок елементів парових котлів на міцність виконувався відповідно до рекомендацій нормативних матеріалів [3].

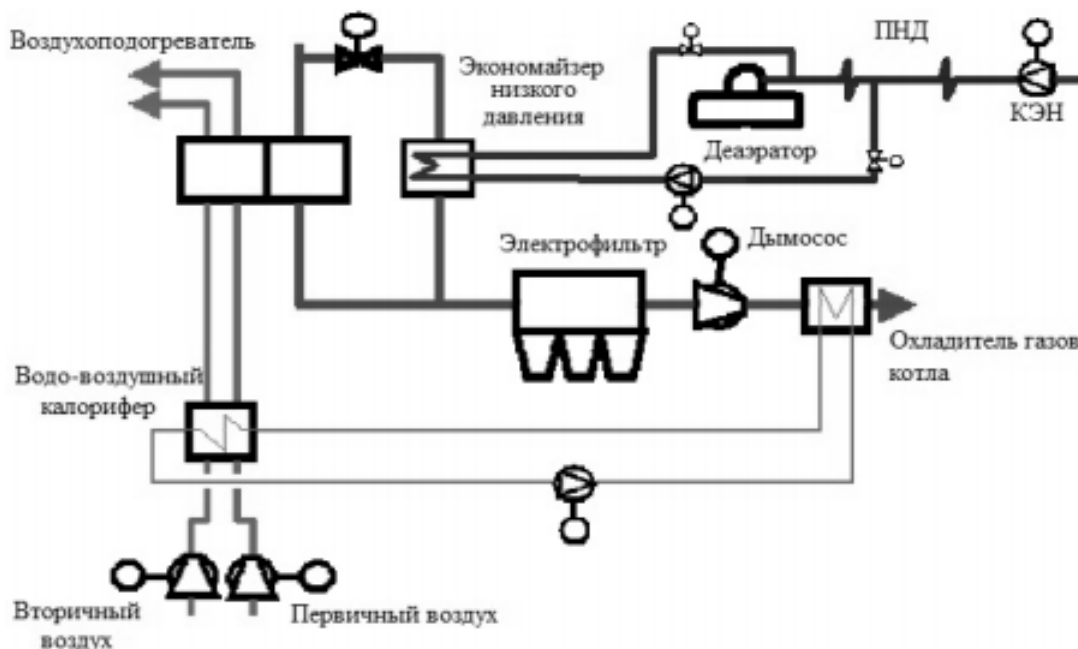
Перелік посилань:

1. Сидельковский Л.Н., Юренев В.Н. Котельные установки промышленных предприятий. М.: Энергоатомиздат, 1988. – 521 с.
2. Резников М.И. Паровые котлы ТЭС. М.: Энергия, 1981.– 238 с.
3. Блинов Е.А. Топливо и теория горения. Раздел – подготовка и сжигание топлива. СПб.: Изд-во СЗТУ, 2007. – 119 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОТЛОВ ЦКШ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛА ДЫМОВЫХ ГАЗОВ

Для котлов самой значимой потерей тепла является потеря тепла с уходящими газами – q_2 . Она вызвана тем, что температура уходящих газов не охлаждается до температуры холодного (поступающего в котел) воздуха.

Для охлаждения газов перед воздухоподогревателем устанавливается дополнительная поверхность теплообмена, через которую можно подогревать питательную воду, что позволит избавиться от подогревателя высокого давления. Используя данную схему температура уходящих газов снижается с 120 до (80–90) °С.



Утилизация тепла уходящих газов может компенсировать потери КПД энергоблока, вызванное снижением КПД котла и ростом затрат на его собственные нужды. Приведенная схема утилизации уходящих можно использовать при реконструкции и строительстве новых блоков ТЭС с котлами ЦКС.

Перечень ссылок:

1. М. Родованович. Сжигание топлива в псевдооживленном слое. 1990. 248 с.
2. Долгушин И. А. Исследование и совершенствование схемы ТЭС с котлом ЦКС для повышения эффективности и улучшения экологических показателей / Диссертация на соискание степени кан. техн. наук. М: МЭИ, 2014.

Аспірант Пешко В.А.

Магістрант 6 курсу, гр. ТС-51м Дерновий Д.І.

Проф., д.т.н. Черноусенко О.Ю.

Чисельне дослідження теплового та напружено-деформованого стану ротору ВТ турбіни Т-100/120-130 ст. № 1 ПАТ "Харківська ТЕЦ-5"

Надійне забезпечення споживачів тепловою енергією в крупних містах є актуальним, як з точки зору екологічної безпеки, так і з врахуванням старіння обладнання. На сьогодні, ресурс більшості енергоблоків ТЕЦ України, введених в 60–80 роки двадцятого сторіччя досяг 180–320 тис. год. Крім того, основний парк обладнання ТЕЦ є морально та фізично застарілим [1].

При продовженні терміну експлуатації діючого енергетичного устаткування, ключовим етапом є оцінка індивідуального та залишкового ресурсу найбільш напружених високотемпературних елементів. Вона потребує проведення геометричного моделювання та чисельного експерименту, що імітує експлуатацію енергетичного обладнання за певного температурного режиму. Даний чисельний експеримент дозволяє отримати нестационарні дані про тепловий стан досліджуваного об'єкту. Наступним кроком є розрахунок напружено-деформованого стану високотемпературних елементів, для якого необхідно встановити рід та інтенсивність зусиль, які діють на відповідний елемент. Так, для роторів парових турбін до таких зусиль слід віднести температурні зусилля, напруження від нерівномірності температурних полів, зусилля від тиску теплоносія, відцентрові сили обертання ротору та реакції його опор [2].

Для ротора ВТ турбіни Т-100/120-130 ст. № 1 ПАТ «Харківська ТЕЦ-5» розроблено математичну модель теплового та напружено-деформованого стану з врахуванням наявних пошкоджень проектної конструкції та реальних графіків пуску з різних теплових станів. На рис. 1 представлено НДС ротору при стаціонарному режимі роботи. Найбільш значні напруження виникають в зоні осцевого отвору під регулюючим ступенем ($\sigma_i=102,8$ МПа), що пов'язано з тим, що РС є значним зосередженням маси, тому відцентрові сили, які діють на ротор досягають найбільших значень саме в цій області. Також температура металу РС є найбільшою при стаціонарній експлуатації ротору ВТ.

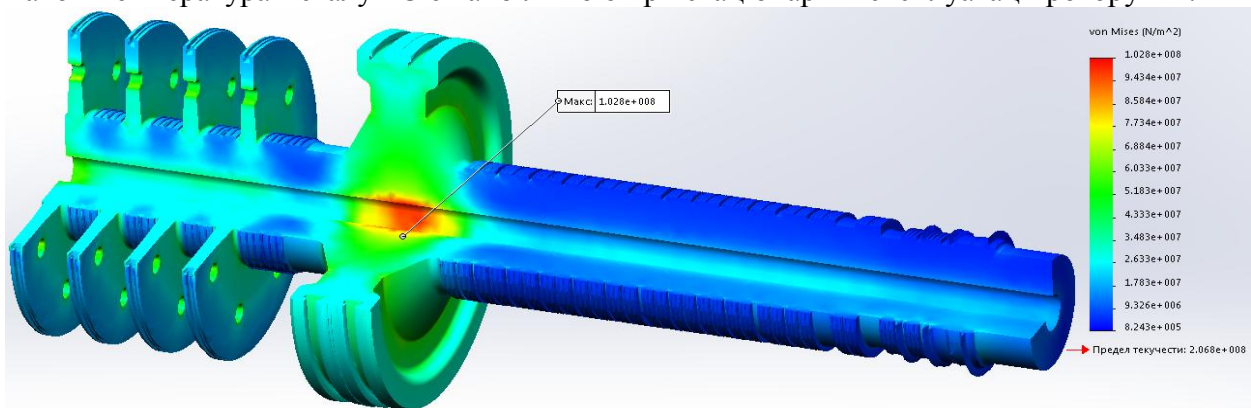


Рис. 1. НДС ротору ВТ на номінальному режимі експлуатації

Перелік посилань:

1. Мацевитый Ю.М. Повышение энергоэффективности работы турбоустановок ТЭС и ТЭЦ путём модернизации, реконструкции и совершенствования режимов их эксплуатации [Текст]: моногр. / Ю. М. Мацевитый, Н. Г. Шульженко, В. Н. Голощанов [и др.]. – Киев: Научная мысль, 2008. – 366 с. – ISBN 978-9-660-00850-3.
2. РТМ 24.020.16-73. Турбины паровые стационарные. Расчёт температурных полей роторов и цилиндров паровых турбин методом электро моделирования [Текст]. – М., 1973. – № ВК-002/3209. – 104 с.

Аспірант Пешко В.А.

Магістрант 5 курсу, гр. ТС-61м Галдінов М.В.

Проф., д.т.н. Черноусенко О.Ю.

Малоциклова втомлюваність та ресурсні показники ротору ВТ турбіни Т-100/120-130 ст. №1 ПАТ "Харківська ТЕЦ-5"

Розвиток централізованого теплопостачання у великих містах вимагає проведення оцінки індивідуального ресурсу кожного теплофікаційного енергоблоку після досягнення ним паркового ресурсу. Проведено оцінку і прогнозування залишкового ресурсу на базі 3D-просторових аналогів для ротору високого тиску парової турбіни Т-100/120-130 енергоблоку №1 ПАТ «Харківська ТЕЦ-5» з експериментально отриманими коефіцієнтами запасу міцності металу, а також з урахуванням реальних умов експлуатації.

Блок, потужністю 100 МВт, з паровою турбіною Т-100/120-130 ст. №1 ПАТ «Харківська ТЕЦ-5» введено в експлуатацію 20 грудня 1979 р. Напрацювання блоку №1 складає 201150 год, загальне число пусків – 802.

Розрахунок на малоциклову втомлюваність виконано з використанням методу Найбера за амплітудами інтенсивності місцевих пружно-пластичних деформацій при розрахунковій температурі в цій області [1]. За результатами розрахунків НДС досліджувались наступні зони: 1 – хвостові кріплення першого вінця регулюючого ступеню (РС); 2 – осьовий отвір ротора ВТ в зоні РС; 3 – галтель перед РС; 4 – термокомпенсаційні канавки диска №1; 5 – зона між останнім ущільненням першої обойми та першим ущільненням другої обойми ПКУ; 6 – коробка ущільнень в області присосів повітря. Для вказаних областей за всіх пускових режимів було отримано динаміку зміни інтенсивності напружень (рис. 1)

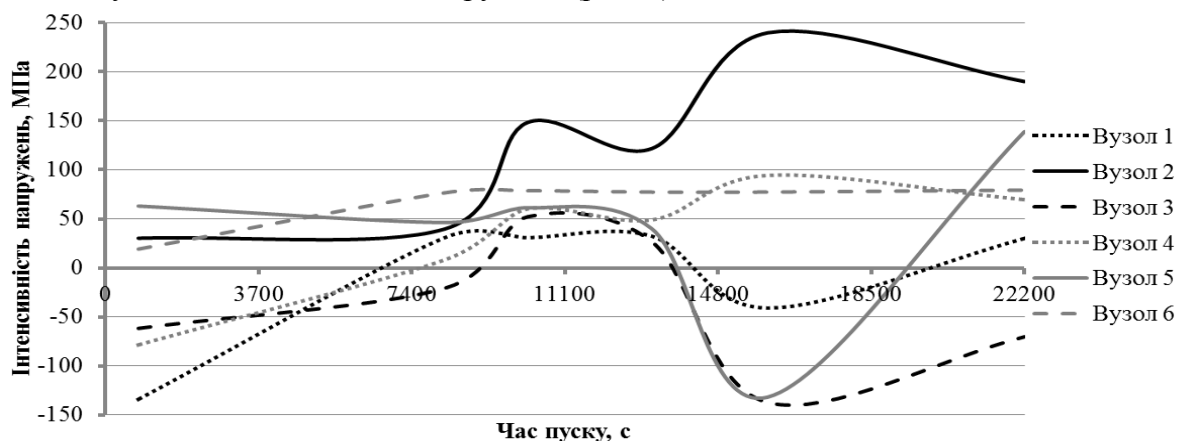


Рис. 1. Динаміка зміни інтенсивності умовних пружних напружень при пуску з ХС

Після встановлення рівню приведених до симетричного циклу навантаження амплітуд інтенсивності деформацій, за експериментальними кривими МЦВ сталі 25ХМФА визначено допустиме число пусків з різних теплових станів. За результатами розрахунку ресурсних показників основного металу встановлено, що статична пошкоджуваність складає $P_{ст} = 34,7\%$, циклічна – $P_{ц} = 33,9\%$. Таким чином, залишковий ресурс РВТ встановлюється на рівні 92000 год при допустимому залишковому числу пусків – 558 в найбільш консервативному випадку [2].

Перелік посилань:

1. РТМ 108.021.103. Детали паровых стационарных турбин. Расчёт на малоцикловую усталость [Текст]. – М., 1985. – № АЗ–002/7382. – 49 с.
2. РД 34.17.440-96. Методические указания о порядке проведения работ при оценке индивидуального ресурса паровых турбин и продлении срока их эксплуатации сверх паркового ресурса [Текст]. – М., 1996. – 98 с.

ГАЗИФИКАЦИЯ ИЛОВЫХ ОСАДКОВ СТАНЦИЙ ВОДООЧИСТКИ

Ситуация вокруг накопления донных илов станций очистки сточных вод многих городов относится к числу важнейших экологических проблем Украины. По показателю донного ила только Бортнической станции аэрации г. Киева накоплено около 9 млн т сырья. Состояние сооружений станции давно уже создает значительную экологическую угрозу для окружающей среды. Традиционные методы переработки сточных канализационных вод приводят к образованию значительного количества твердых отходов, которые откладываются на иловых полях. Осадок и избыточный активный ил (смесь микроорганизмов и загрязняющих веществ, поступающая в аэротенк очистных сооружений вместе со сточными водами) ежедневно поступают на очистку канализационных стоков в объеме свыше 9 тыс. т и затем отправляются на иловые поля, суммарная площадь которых составляет 272 га. Эти поля уже заполнены сверх допустимой нормы (в 3 раза). Проблема их содержания решается постепенным наращиванием ограничивающих дамб, высота которых в настоящее время достигает почти 10 м. Это создаёт высокий риск для окружающей среды, включая загрязнение главной водной артерии Украины — реки Днепр в случае прорыва этих дамб.

Химический состав осадков сточных вод свидетельствует о высоком содержании углерода. Сырые осадки сточных вод имеют следующий состав, % массы СУХОГО вещества: С – 35,4-87,8; Н – 4,5-8,7; S – 0,2-2,7; N – 1,8— 8,0; O – 7,6-35,4. Сухое вещество активного ила содержит, %: С – 44,0-75,8; Н – 5,0-8,2; S – 0,9-2,7; N – 3,3-9,8; O – 12,5-43,2. Осадки имеют слабокислую и нейтральную реакцию и заметное количество общего органического вещества, которое почти на 50 % состоит из гумусоподобных форм. Это дает основания считать целесообразной их газификацию плазменными методами, имея в виду, что тяжелые металлы будут витрифицированы в составе зольного остатка [1]. Эти осадки удобны для переработки, поскольку предусматривают возможность использования стационарных установок в технологически однородных условиях.

Результаты исследований свидетельствуют, что в продуктах газификации этих отходов определяющей компонентой является синтез-газ — горючая смесь CO и H₂, существенно обогащенная водородом. Наибольшее количество водорода содержится в продуктах газификации донного ила (на уровне 70 % (об.)).

В стехиометрическом режиме, с точки зрения производства синтез-газа, энергетические затраты на осуществление процесса газификации близки к уровню энергии от получаемого синтез-газа. В режиме дополнительного введения кислорода в процесс газификации затраты синтез-газа на собственные нужды установки составляют около 30%. Синтез-газ может использоваться также для производства электрической энергии для внешних потребителей, что будет способствовать коммерциализации разработки. [2, 3]

Перечень ссылок:

1. Жовтянский В.А., Орлик В.Н., Петров С.В., Якимович М.В. Общие принципы переработки отходов с извлечением их энергетического потенциала на основе плазменных технологий. 1. Экологические требования, термодинамика процесса и его энергетическая эффективность // Энерготехнологии и ресурсосбережение. — 2015. — № 4. — С. 24-46.
2. Жовтянский В.А., Петров С.В., Колесник В.В. и др. Конверсия углеродсодержащего сырья с применением плазменных технологий // Энерготехнологии и ресурсосбережение. — 2012. — № 5. — С. 15-32.
3. Жовтянский В.А., Дудник О.М., Якимович М.В. Одержання синтез-газу з бурого вугілля та мулу з використанням парового плазмотрона // Новини енергетики. — 2015. — №4.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МІКРОДИФУЗІЙНОГО СПАЛЮВАННЯ ГАЗУ ЗА СТАБІЛІЗАТОРАМИ В ЗАБАЛАСТОВАНОМУ ОКИСЛЮВАЧІ

В сучасній енергетиці та газотурбобудуванні існує тенденція до підвищення температури газів перед турбіною. Особливо це стосується парогазових циклів [1, 2]. Це, за звичай, досягається за рахунок зниження (навіть до стехіометрії) загального коефіцієнта надлишку повітря камери згорання первинної зони.

Одним з методів підвищення сталості горіння і забезпечення ефективного спалювання палива є збільшення розмірів стабілізатора [3]. Але при цьому, відповідно, підвищується довжина факелу. Це пов'язано зі збільшенням об'єму зони рециркуляції і кількості інертної маси газів в зоні.

Для підвищення вмісту кисню в зоні рециркуляції використовується подача повітря через перфорацію в бокових стінках стабілізатора.

На дослідному стенді кафедри ТЕУТ та АЕС було проведено дослідження характеристик зони рециркуляції і закономірностей процесу горіння за стабілізатором шириною $W_{ст}=100\text{мм}$ при подачі повітря. Коефіцієнт затінення пальникового пристрою $K_z=0,5$. Як показали дослідження, без подачі повітря за стабілізатором встановлюється стала зона рециркуляції з порівняно рівним полем швидкості зворотного току на рівні $W_{звт}=0,5W_{пр}$. У разі подачі додаткового повітря через отвори в стінках стабілізатора спостерігається поява зони прямої течії як в місці виходу додаткового повітря, так і в області між рядами цих отворів. За рахунок введення додаткового повітря в зоні рециркуляції виникають додаткові вихрі з прямим током біля осі стабілізатора і зворотним током біля його кромки.

Струменева подача додаткового повітря за стабілізатор призводить до підвищення місцевих градієнтів швидкості потоку, що, в свою чергу, викликає збільшення пульсаційної швидкості. Максимальна інтенсивність турбулентності спостерігається не на осі ядра струменя, а на границях струменя.

Проведенні дослідження показали, що введення повітряних струменів за стабілізатор сприяє більш інтенсивному масообміну в зоні рециркуляції, причому інтенсивність турбулентності має найбільше значення $\epsilon = 25-50\%$ на границі повітряних струменів.

Перелік посилань:

1. Варварский В.С. Комбинированное производство тепла и электроэнергии, современные циклы ПГУ, включая внутрицикловую газификацию твердого топлива / В.С. Варварский, Е.Н. Прутковский, В.Б. Грибов // Теплоэнергетика.-1990.-№3.-с.51-54.
2. Хаменюк Л.А. Создание горелочных устройств камер дожигания котлов-утилизаторов ПГУ-ТЭЦ / Л.А. Хаменюк // Теплоэнергетика.-2007.-№9.-с.10-16.
3. Горбатенко А.Д. Сжигание газа в забалластированном окислителе / А.Д. Горбатенко, О.В. Морозов // Теплоэнергетика.-1991.-№3.-с.31-33.

УПРАВЛЕНИЕ РЕСУРСОМ С ПОМОЩЬЮ МОНИТОРИНГА И ДИАГНОСТИКИ ОБОРУДОВАНИЯ ЭНЕРГБЛОКОВ АЭС

Продолжение эксплуатации и управления ресурсом оборудования энергоблоков напрямую связано с внедрением комплексной системы диагностики и мониторинга. Систему следует рассматривать как инструмент и способ мониторинга технического состояния, комплексного инженерного обследования оборудования, его квалификации и оценки остаточного ресурса. Для обеспечения надежной работы энергоблока необходимо предупреждение отказа элементов оборудования и систем, что требует определения его технического состояния. Техническая диагностика контролирует текущее состояние всех элементов, выявляет аномальные состояния до достижения эксплуатационных пределов, определяет причины их появления, что позволяет оценить ситуации и принять меры по устранению аномалии.

Система технической диагностики должна решать несколько основных задач диагностируемого оборудования: определение текущего состояния; прогнозирование изменения этого состояния; определение состояния в прошлом; сопровождение аварии и поставарийное состояние.

На основе анализа опыта эксплуатации в течение проектного срока и продления назначенного ресурса эксплуатации энергоблока АЭС при условии поддержания показателей безопасности и готовности оборудования АЭС, концептуальными условиями технического обслуживания по техническому и функциональному состояниям оборудования становятся следующие:

1. Наличие системы разрушающего и неразрушающего контроля, регламентных испытаний, мониторинга и диагностики для определения фактического технического и функционального состояний оборудования.
2. Наличие системы управления надежностью оборудования, т.е. знание и управление ресурсными характеристиками оборудования, критериальные оценки готовности оборудования на основе сбора и обработки данных контроля, мониторинга и диагностики.
3. Развитая система профилактического обслуживания и ремонтно-восстановительных работ по характеристикам надежности и прогнозных решений.
4. Система отношений производственных подразделений АЭС, регламентированных нормативно-технической и правовой базой действующей в атомной энергетике.

Выполнение этих условий позволит четко обозначить ранее не видимое техническое состояние оборудования энергоблоков, предотвратит постепенные отказы и аварии, полноценно использовать ресурсы и оборудование, сократить эксплуатационные расходы и потери. Это выражается в корректировке графика ремонтов в сторону сокращения сроков межремонтного цикла, учете расходования ресурса, сокращения численности ремонтного персонала, более четкого и осознанного планирования ремонтно-восстановительных работ.

Перечень ссылок:

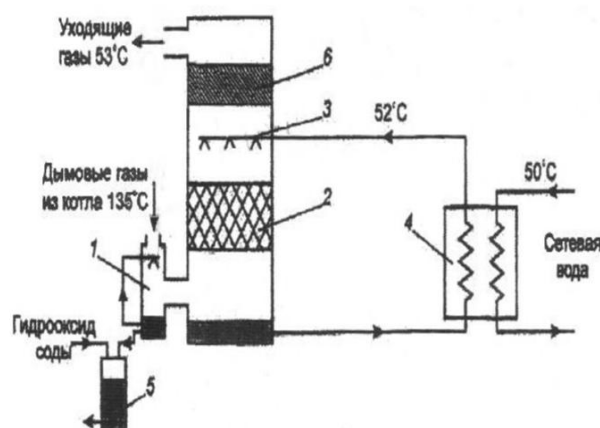
1. Общие требования к продлению эксплуатации энергоблоков АЭС в сверхпроектный срок по результатам выполнения периодической переоценки безопасности. НП 306.2.099-2004 [Текст] / Госатомрегулирования Украины. – Зарег. в Мин. Юст. Украины 15.12.04 под № 1587/10186. – 2004. – 19 с.
2. Черноусенко, О.Ю. Этапы реализации управления старением элементов энергоблоков АЭС [Текст] / О.Ю. Черноусенко, Т.В. Никуленкова, А.Г. Никуленков // Вісник НТУ «ХП». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Харків: НТУ «ХП», 2016. – № 9(1181). – С. 85-89. – Бібліогр.: 6 назв. – ISSN 2078-774X.

КОНДЕНСЕРНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ НА ТЭЦ

С дымовыми газами на станции уносится большое количество теплоты, что приводит к снижению КПД, увеличению расхода топлива и снижению экономических показателей. Использование конденсерной технологии высвобождения скрытой теплоты парообразования может увеличить экономические показатели станции, снизить потери.

Конденсерная технология с контактными теплообменником обычно применяется в трех вариантах: конденсер; конденсер и увлажнитель воздуха; конденсер, увлажнитель воздуха и тепловой насос [1].

Принцип действия технологии приведём на примере первой конфигурации, конденсера. Дымовые газы после котла поступают в предварительный охладитель, где происходит быстрое снижение их температуры за счет распыления воды через форсунки. Это необходимо, так как в конденсере основным конструкционным материалом является пластик. Далее частично охлажденные газы поступают в основную колонну установки. Газы проходят через рассекатель, который обеспечивает разбиение подаваемой сверху воды на мелкие капли, что необходимо для получения максимальной поверхности контакта. Это позволяет существенно интенсифицировать процессы охлаждения продуктов сгорания и конденсации содержащихся в них водяных паров. Далее продукты сгорания проходят через жалюзийный сепаратор и направляются в дымовую трубу. Подогретая вода собирается внизу колонны конденсера и направляется в теплообменник, где подогревает сетевую воду, а часть воды переливается в предварительный охладитель. Так как за счет конденсации части содержащихся в дымовых газах водяных паров объем воды постоянно увеличивается, то излишек воды из предварительного охладителя сливается в накопительный бак. Ввиду того что за счет растворения в конденсате CO_2 кислотность воды повышается, в баке осуществляется ее химическая нейтрализация, после чего она сливается в канализацию. Охлажденная в теплообменнике вода снова подается в конденсер через раздающее устройство.



Таким образом, схема утилизации теплоты является экономически целесообразной, а так же она позволяет увеличить рекуперацию тепла и уменьшить выбросы CO_2 .

Перечень ссылок:

1. Кульгейко А.Н. Применение конденсерной технологии для утилизации низкопотенциальной теплоты уходящих газов / Кульгейко А.Н., Будниченко А.А., 2012.– стр. 274 –275

УДК 66.045.1

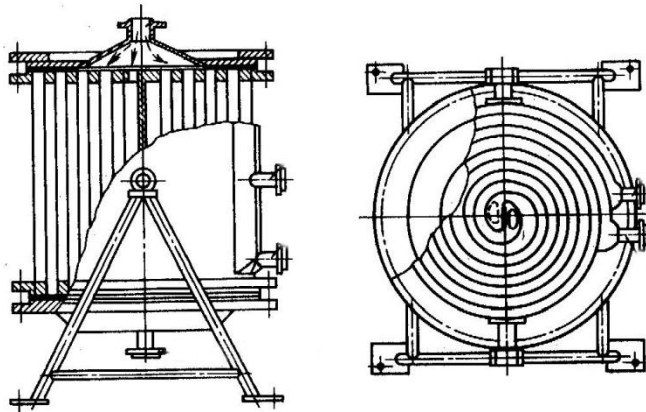
Студент 4 курсу, гр. ТС-31 Ткаченко О.О.
Доц., к.т.н. Побіровський Ю.М.

ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОБМІННИХ АПАРАТІВ НОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ В ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЦІ

В енергетиці, хімічній, нафтохімічній, металургійній та інших галузях промисловості широко використовуються теплообмінні апарати для рідких та газоподібних середовищ. Традиційні кожухотрубні, спіральчаті, пластинчаті та інші типи теплообмінних апаратів мають багато обмежень по їх використанню.

Сучасні технології дозволяють виготовляти теплообмінні апарати принципово нової конструкції, які значно розширюють можливості більш ефективного використання тепла. До їх переваг можна віднести низьку металоємність, компактність та максимальне відношення поверхні теплообміну до об'єму апарату. Окрім того, нова конструкція дозволяє збільшити перепад температур та тисків теплообмінних середовищ, а також значно спрощує обслуговування такого теплообмінника [1].

Апарат являє собою циліндричний силовий корпус, в якому розміщені попарно зварені спіралевидні стінки. Вони утворюють внутрішні та зовнішні канали, які відповідно з'єднуються із колекторами входу та виходу теплоносіїв. Стінки можуть бути як плоскими, так і гофрованими. Високий коефіцієнт теплопередачі забезпечується інтенсивною турбулізацією потоків.



Універсальність апаратів такої конструкції дозволяє використовувати їх в якості конденсатора чи випаровувача, при цьому змінюючи лише напрям проходження теплоносіїв.

При використанні теплообмінників зі стінками у формі спіралі Архімеда для гарячого водопостачання, зберігаючи габаритні розміри старого [2], можна досягти значного підвищення потужності, збільшення площі теплообміну у 2 рази та зниження втрат напору в 2,5 рази. Рекуператор тепла такої конструкції підігріває повітря до 290 °С в порівнянні з 240 °С в традиційному рекуператорі, що забезпечує економію приблизно 1000 м³/год природного газу. Окрім того, зменшується споживання електроенергії нагнітачем повітря та димососом в результаті зниження опору проходження димових газів та повітря.

Перелік посилань:

1. Астановский Д.Л., Астановский Л.З. Новая конструкция теплообменного аппарата // Химическое и нефтегазовое машиностроение, 2003. – №4. – С. 13-15.
2. Зингер Н.М., Тарадай А.М., Бармина Л.С. Пластинчатые теплообменники в системах теплоснабжения, М.: Энергоатомиздат, 1995.

СПАЛЮВАННЯ ТВЕРДИХ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ПАЛИВ В РУХОМОМУ КИПЛЯЧОМУ ШАРІ

Тенденція різкого скорочення енергоресурсів (природний газ, рідке паливо) у світі та залежність України від поставок цих енергоресурсів негативно відображається на кінцевій вартості продукції, що виробляється. У зв'язку з цим все більше уваги приділяється використанню альтернативних видів палива, зокрема відходів сільськогосподарського та промислового виробництва (біопаливо) – деревина (тирса, тріски, кора), солома та лушпиння соняшника, лузга гречки, проса, рису тощо.

В даний час одним з найбільш розповсюджених методів використання біомаси, як джерела енергії, є пряме спалювання її різними способами в тому числі спалювання в киплячому шарі. Одним з варіантів удосконалення цього методу є спалювання біомаси у так званому «рухомому» киплячому шарі, який показав свої переваги у порівнянні з традиційним киплячим шаром [1].

В роботі розглянуто шляхи подальшого удосконалення методу спалювання біомаси за «рухомим» киплячим шаром, в тому числі за рахунок підвищення працездатності найбільш термогенеруючих елементів. Як відомо [2], у разі спалювання палива за методом киплячого шару нерівномірність ступеню горіння палива вздовж решітки вимагає секційного підводу повітря. Повздовжня зона горіння розподіляється на 3–5 зон подачі повітря в залежності від потрібного коефіцієнту надлишку повітря вздовж решітки. Для визначення можливості впливу впливу на процес горіння біомаси, а також оптимального розподілення повітря вздовж зони горіння в роботі була проведена модернізація стенда шляхом організації секційної подачі повітря. Вся повздовжня зона горіння розподілена на 3 секції. За допомогою окремих засувок можлива подача повітря в кожен із зон в кількості від 0% до 100% від загальної витрати повітря.

Як показали проведені дослідження із спалювання різних видів біомаси у «рухомому» киплячому шарі, завдяки інтенсивному горінню палива при аеродинамічному та механічному перемішуванні компонентів, процес горіння палива особливо в центральній зоні і зоні догорання починається поблизу поверхні повітророзподільчої решітки. В зв'язку з цим температура поверхні решітки доходить до 800–900°C, що не дає можливість використовувати для виготовлення решітки сталь, а покривати її вогнетривкою конструктивною керамікою.

Одним з термодинамічних елементів шнекового механізму, який знаходиться під дією високої температури і нагрівається до 800–900 °С, є вал шнекового механізму. В роботі виконано розрахункові дослідження можливостей охолодження шнеку. Розглянуто два способи охолодження шнеку – водяний та повітряний. Внутрішня поверхня шнеку виконувалась гладкою та з кільцевими турбулізаторами. На зовнішній поверхні розміщені лопатки у двох варіантах – суцільне ребро та оребрення з коефіцієнтом, рівним 0,5. Розрахунки показали, що при водяному охолодженні валу шнеку зовнішня поверхня стінки на довжині 1,0 м не перевищує 70°C, а при повітряному охолодженні становить 800–850°C.

Перелік посилань:

1. Литовкин В.В., Бутовский Л.С., Антонович А.В., Грановская Е.А. Сжигание растительных отходов по технологии «движущийся» кипящий слой // Лес и бизнес. – 2008, №1 (41). – с.52-54.
2. Анискин В.И., Голубкович А.В., Сотников В.И. Сжигание растительных отходов в псевдосжиженном слое. Теплоэнергетика, 2004, №6. – с. 49-53

Магістрант 5 курсу, гр. ТС-61м Чернов С.О.
Проф., д.т.н. Черноусенко О.Ю.

РОЗПОДІЛ НАПРУЖЕНЬ У ЗВАРНИХ З'ЄДНАННЯХ БАРАБАНУ ПАРОГЕНЕРАТОРА

Аналіз зварних з'єднань елементів теплоенергетичного обладнання з урахуванням технологічних особливостей, високих температур і тисків [1]. Характерною і відмінною особливістю напруженого стану зварних з'єднань, є виникнення складного розподілу поздовжніх зварювальних напружень (рис. 1); цей розподіл характеризується наявністю порівняно високих напружень стискування в ділянці зони на границі зі швом і високих напружень розтягу в сусідній ділянці цієї зони, а також у зварному шві. Такий розподіл поздовжніх напружень обумовлено значним збільшенням обсягу металу околошовної зони, що безпосередньо межує зі швом, внаслідок мартенситного перетворення [2]. У поперечному напрямку виникають невеликі напруження розтягу в середній частині з'єднання (по довжині) і напруження стискування по краях. У результаті на границі розділу шов-основний метал з'являються великі напруження, що сприяють уповільненому руйнуванню сталі і утворення холодних тріщин типу відколів.

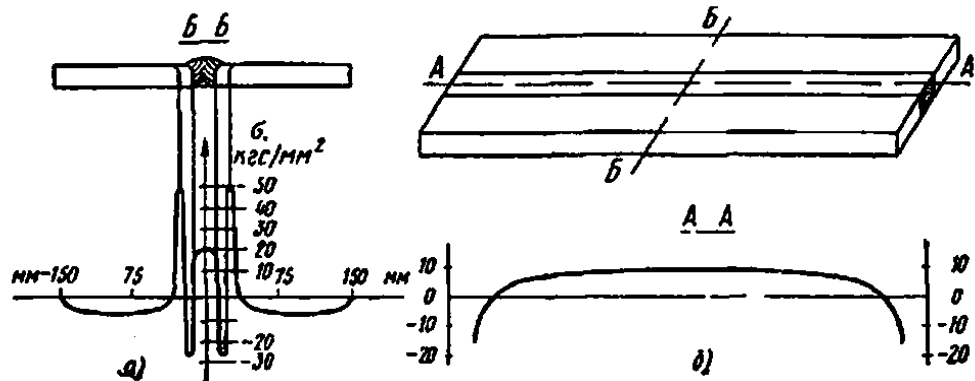


Рис. 1. Розподіл поздовжніх (а) і поперечних (б) напружень у зварних з'єднаннях

Уповільнене руйнування відбувається внаслідок зниження міцності деяких металів під впливом тривалого статичного навантаження при близьких до кімнатних температурах. В окремих випадках це зниження міцності дуже значне. Так, наприклад, для сталі з підвищеним вмістом вуглецю і легуючих елементів (типу 35ХГС) безпосередньо після гарту з високих температур (1200 °С) тривала міцність може скласти всього 10% короточасної міцності. Причини сповільненої руйнування перегрітої загартованої сталі полягають в особливій її структурі? регламентовані державними стандартами та галузевими нормами [3]. В зв'язку з цим дуже актуальним стає питання розробки чисельних методів розрахунку зварних з'єднань та проведення чисельного експерименту. Це дає можливість ще на стадії проектування визначити небезпечні зони можливого руйнування та оптимізувати їх.

Перелік посилань:

1. Трубочев А.С. Дослідження напружено-деформованого стану елементів котлоагрегату / В.О. Туз, А.С. Трубочев // Нафтова і газова промисловість. –2009. – №5–6. – С. 62–64
2. Сварка, термообработка и контроль трубных систем котлов и трубопроводов при монтаже и ремонте энергетического оборудования (РД 153-34.1-003-01) (РТМ-1с). М: ПИО ОБТ, 2001.
3. Баранов П.А. Предупреждение аварий паровых котлов.– М.: Энергоатомиздат, 1991 г.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭНЕРГОБЛОКОВ ТЭС С ПОМОЩЬЮ БПЭ

Современное состояние теплоэнергетики можно охарактеризовать следующими особенностями: заметная часть оборудования электростанции простаивает или недогружена; основное оборудование выработало свой ресурс, его безотказность снижается, а расходы на ремонты увеличиваются; устаревшее оборудование становится все менее экономичным и перестает удовлетворять возрастающим экономическим требованиям; требуются все большие средства на защиту окружающей среды от вредных выбросов электростанции. В Украине в модернизации или замене нуждаются все 43 блока мощностью 200 МВт, подавляющее большинство из 42 блоков мощностью 300 МВт и все оборудование электростанций с блоками малой мощности [1].

Известно, что средств для значительного ввода новых мощностей сейчас в стране нет и вряд ли они появятся в ближайшее время. В таких условиях весьма оправдано внедрение мало затратной модернизации действующего оборудования на основе разработок АО «Подольский машиностроительный завод». Одной из таких разработок есть энергоблоки повышенной эффективности (БПЭ) при реализации которых необходимо в зоне воздухоподогревателя (перед ним или в его рассечке) в тракте дымовых газов или воздуха установить специальный теплообменник для охлаждения дымовых газов питательной водой или конденсатом системы регенерации турбины. Такими теплообменниками могут являться: турбинный экономайзер (ТуЭ), воздуховодяной теплообменник (ВВТО), встроенный теплообменник (СВТО), включенные в байпасы системы регенерации турбины.

Их применение обеспечит глубокое снижение температуры уходящих газов в котле, повышение КПД при одновременном увеличении мощности турбины вследствие уменьшения отбора пара на регенерацию. Проектные проработки показали что обычно теплообменник удастся разместить в пределах существующего котла, а стоимость получаемой дополнительной мощности становится в 3–5 раз меньше стоимости вновь вводимой мощности. Экономические и экологические эффекты достигаются без дополнительных затрат.

Недостаток известных БПЭ заключается в том, что повышение их экономичности по сравнению с обычными блоками ТЭС относительно невелико, хотя они обеспечивают заметное повышение электрической мощности без увеличения паропроизводительности котельной установки.

Реализация изложенных концепций поможет повысить эффективность ТЭС и нарастить их мощность в условиях острого дефицита инвестиций. Это требует совместной работы котельных, турбинных и генераторных заводов при активном участии проектных и научно-исследовательских институтов [2]. В рациональной схеме БПЭ можно увеличить мощность энергоблока примерно на 5–8% и снизить удельный расход топлива более чем на 0,5–2,0%. Одновременно с этим на пылеугольных котлах в 2–3 раза снижаются выбросы золы из электрофильтров (вследствие глубокого охлаждения дымовых газов), а в газомазутных котлах на 20–30% уменьшаются выбросы оксидов азота (вследствие снижения температуры дутьевого воздуха)

Перелік посилань:

1. Плачкова С. Книга 3. Развитие теплоэнергетики и гидроэнергетики // Электронный ресурс // режим доступа: <http://energetika.in.ua/ru/books/book-3/part-1/section-3/3-4>
2. Берсенев А.И. / О повышении эффективности теплоэнергетического оборудования // Берсенев А.И. и др. / Теплоэнергетика, 1998, №5, стр.51–54

ПРОЛІТИЧНІ УСТАНОВКИ ЯК НОВИЙ ШЛЯХ РОЗВИТКУ ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ

Проблеми пов'язані з утилізацією відходів дуже гостро стоять для будь-якої розвинутої країни сьогодення. Земельні ресурси які витрачаються для утримання полігонів і смітників з часом продовжують зростати. Виходом з даної ситуації являються піролітичні установки для переробки відходів.

Практика свідчить про те, що в Україні 92% твердих паливних відходів залишається непереробленими. Аналізуючи світову практику можна виділити такий метод переробки відходів як піроліз. Основою цього процесу є спалювання. Переваги піролізу: із всіх існуючих методів переробки, термічний дозволяє найбільш дієво знешкодити відходи, перетворити їх у сухий нешкідливий залишок (шлак чи пил), значно скоротити масу і обсяг залишку в порівнянні з вихідним матеріалом, після чого відходи піролізу використовуються як джерело матеріальних ресурсів та енергії. При вище зазначених перевагах, також піроліз являється найбільш ефективним з огляду на вихід отримуваної електричної енергії. Світова практика термічної переробки ТПВ для зменшення викидів діоксинів у навколишнє середовище застосовує багатоступеневі системи газоочищення, що характеризуються високим рівнем витрат на їх впровадження. Розробленою технологією утворення діоксинів не передбачається за рахунок особливостей самого процесу, а не обладнання. Це дозволяє без завдання шкоди для екології зменшити капітальні вкладання порівняно із зарубіжними аналогами у декілька разів. Замкненість системи, компактність обладнання та екологічна чистота визначають можливості розміщення такого підприємства у межах міста, у тому числі за окремими адміністративно-територіальними районами. У результаті піролізу із однієї тони ТПВ виробляється 1200 кВт·год електроенергії та 250 кг шлаку. Шлак із ТПВ за хімічним складом є приблизним до природнього базальту та може використовуватися для виробництва теплоізоляції та у дорожньому будівництві.

Варто зауважити, що раціональність піролізу відповідно до вимог сталого розвитку може бути забезпечена лише при досягненні комплексного державного, соціального та екологічного ефекту від впровадження цієї технології. На державному рівні мають вирішуватися проблеми енергоефективності за рахунок використання енергії біогазу. Екологічна складова ефекту передбачає вивільнення значних земельних ділянок, зниження викидів у навколишнє середовище діоксинів. Соціальний ефект має виражатися у зниженні чи не підвищенні тарифів на вивіз сміття. Зазначені аспекти варто враховувати при розробці концепції комплексної переробки твердих побутових відходів. Впровадження таких підходів дозволить не лише стабілізувати та покращити екологічну ситуацію у країні, але й сформувати засади сталого розвитку в Україні [1].

Перелік посилань:

1. Щокін А.Р. Перспективи виробництва і застосування біопалива в Україні [Електронний ресурс] / А.Р. Щокін, Ю.В. Колесник // Електронний журнал енергосервісної компанії «Екологіческие системы». – 2003. – №5. – режим доступа: <http://www.necin.com.ua>.

СЕКЦІЯ №4

**Проблеми
теоретичної і
промислової
теплотехніки**

МЕТОДИ ЗМЕНШЕННЯ ШВИДКОСТІ КОРОЗІЇ ВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ З КОНТАКТНИМ ВОДОНАГРІВАЧЕМ ТА ЇХ ПРОМИСЛОВІ ВИПРОБУВАННЯ

Відомо, що в багатьох системах опалення, де встановлені контактні водонагрівачі різної конструкції, значення швидкості корозії вуглецевої сталі може сягати 0,3...1 мм/рік [1, 2]. Такі високі значення швидкості корозії ставлять під сумнів подальше безпечне використання таких водонагрівачів.

Для виявлення основних причин, які призводять до таких високих показників швидкості корозії вуглецевої сталі при контакті її з водою, нагрітою контактним способом, були проведені промислові корозійні випробування спеціальних індикаторів корозії – пластин які були поміщені в водяний об'єм системи опалення з контактним водонагрівачем потужністю 1,2 МВт, що встановлений в котельні офісного будинку по вул. Гайдара, 50 в м. Києві.

В процесі даної роботи було виявлено, що основним корозійним агентом в системі опалення з контактним водонагрівачем є розчинений у воді кисень, концентрація якого мала значення близько 1,5...2 мг/кг, в той час як в усіх відомих нормах і правилах для опалювальних систем, концентрація кисню не повинна перевищувати 0,1 мг/кг. Швидкість корозії індикаторів склала близько 0,5 мм/рік.

Для зниження концентрації розчиненого кисню у воді було зменшено коефіцієнт надлишку повітря в відхідних газах водонагрівача (які контактують з водою системи опалення) з 1,2...1,3 до 1,05. Це забезпечило падіння концентрації кисню в воді до 0,5...0,6 мг/кг, що в свою чергу призвело до зменшення швидкості корозії до 0,2 мм/рік.

Для подальшого зменшення концентрації розчиненого кисню в воді було впроваджено систему хімічної деаерації, яка забезпечує зв'язування розчиненого кисню в воді за допомогою сульфату натрію.

Випробування системи теплопостачання з впровадженою хімічною деаерацією показали зменшення швидкості корозії вуглецевої сталі до нормованих значень та дали можливість визначити необхідну питому витрату сульфату натрію.

Перелік посилань:

1. С.Г. Ткаченко, И.И. Пуховой, В.Н. Талаш, В.П. Барабаш. Коррозионные исследования трубной стали системы отопления с контактно-поверхностным водонагревателем // Исследования основных направлений технических и физико-математических наук - Сборник научных трудов по материалам I Международной конференции. 10 февраля 2014 г Волгоград.

2. Застосування фосфоровмісного інгібітору для захисту від корозії котельного обладнання в системах з контактними водонагрівачами [http://www.google.com.ua/url?url=http://www.ipm.lviv.ua/corrosion2016/Chapter_04/243_VA_SYLIEV.pdf&rct=j&q=&esrc=s&sa=U&ved=0ahUKEwiU1KmezL_SAhUiKpoKHTkPBfoQFggsMAU&usg=AFQjCNH1YLdjN38TEAb_Ro808KFP318fEg]

РОЗШИРЕННЯ ПАЛИВНОЇ БАЗИ ДВЗ ВИКОРИСТАННЯМ ГАЗОДИЗЕЛЬНОГО ЦИКЛУ

В зв'язку зі зменшенням світових запасів нафти все більше уваги приділяється пошуку альтернативних видів палива. Найбільш перспективним є стиснений природний газ (СПГ) завдяки якому можна зменшити фінансові витрати на паливо і поліпшити екологічні показники двигунів внутрішнього згоряння.

Існує дві схеми переобладнання дизеля з використанням СПГ. А саме переобладнання дизеля для роботи за газодизельним циклом та переобладнання дизеля для роботи лише на СПГ за циклом Отто (двигуни з іскровим запалюванням). Загальновідомі переваги газодизелів – універсальність, збереження енергетичних показників і ККД, як у базового двигуна, економія рідкого палива шляхом заміщення його більш дешевим газовим, простота дообладнання двигуна додатковими вузлами і агрегатами обумовлюють реальну перспективу розвитку цього способу використання газового палива на серійних дизелях. [1, 2].

На кафедрі ТПТ спільно з виробничо-комерційною фірмою “АвтоГазГлобал” розробляються і впроваджуються газодизельні системи живлення, що призначені для переобладнання дизелів середньої потужності.

За якісного регулювання газоповітряної суміші у газодизеля, при великих коефіцієнтах надлишку повітря, на середніх і особливо малих навантаженнях ($\alpha=7\dots5$) зростають викиди СО і СН порівняно з дизельним режимом.

В результаті аналізу літературних джерел та попередніх досліджень встановлено, що знизити викиди шкідливих компонентів і, на цих режимах, можливо за рахунок зміни регульовальних і конструктивних параметрів системи живлення. Зокрема пропонується утворення гетерогенної газоповітряної суміші за рахунок зміни фази впорскування газового палива, для покращення ефективності згоряння робочої суміші.

Тому для дослідження газодизельної системи з мікропроцесорним керуванням ГДМП, що розроблена на кафедрі ТПТ, було створено безмоторний стенд СБВ-ГД. Він дозволяє відпрацьовувати алгоритми керування і програмне забезпечення роботи системи живлення, перевіряти роботу основних елементів ГДМП.

Постійне зростання екологічних вимог до двигунів внутрішнього згоряння, а також світова практика впровадження новітніх систем живлення типу Common Rail, для стаціонарних і транспортних дизелів, спонукають продовжувати дослідження направлені на вдосконалення розроблених систем відповідно до вимог часу.

Перелік посилань:

1. Гайнуллин Ф. Г. Природный газ как моторное топливо на транспорте / Ф. Г. Гайнуллин, А. И. Гриценко, Ю. Н. Васильев и др. – М. : Недра, 1986.— 255 с.
2. М.О. Дикий, В.Г. Петренко, А.С. Соломаха, В.В. Рябов, Є.В. Устименко Газодизельна система живлення автомобільного двигуна з мікропроцесорним керуванням // Наукові нотатки (Міжвузівський збірник). – 2011. – Випуск 31. – с.120-123.

**ПОРІВНЯННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТУ ТА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ
УТВОРЕННЯ ЛЬОДУ В БУРУЛЬКАХ НА ГОРИЗОНТАЛЬНІЙ ТРУБІ**

Процеси штучного утворення і зростання бурульок недостатньо вивчені. Найбільш часто зустрічаються праці по дослідженню процесів і моделюванню одиночних бурульок, або утворення природного наросту льоду на опорних конструкціях і кабелях ЛЕП. Системну та багатогранну працю в напрямку вивчення та моделювання процесів утворення льоду на поверхнях та у вигляді бурульок проводять Е. Р. Lozowski, L. Makonen, M. Farzaneh [2]. Вищезазначені автори висвітлили процеси моделювання обмерзання, головним чином, з фізичної точки зору, що використовуються в подальшому для створення математичних моделей з використанням чисельних методів для моделювання процесів обмерзання.

Відсутні експериментальні дослідження з підігріву повітря теплотою кристалізації при утворенні бурульок, який може бути використаний для теплопостачання [1]. Нами проведені дослідження процесів утворення льоду у вигляді бурульок на горизонтальних насадках. Заповнення насадок вироблено із застосуванням різних матеріалів: дроту, труб різних діаметрів, розташованих під різними кутами до горизонту.

На основі накопичених експериментальних даних за допомогою MS Excel та VBA була створена програма, що моделює утворення льоду на трубах різного діаметру. Зрошення труби водою відбувається за допомогою форсунки. Густина зрошення в моделі приймається така ж, як в експерименті: $0,014 \text{ кг}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$. Краплі води рухаються зверху вниз, а потік морозного повітря – в протилежному напрямі (знизу – вгору). Результати, отримані за допомогою моделі, порівняли з експериментальними дослідженнями. Для труби зовнішнім діаметром 20мм результати залежності маси намороженого льоду від часу для різних температур наведені на графіку рис. 1.

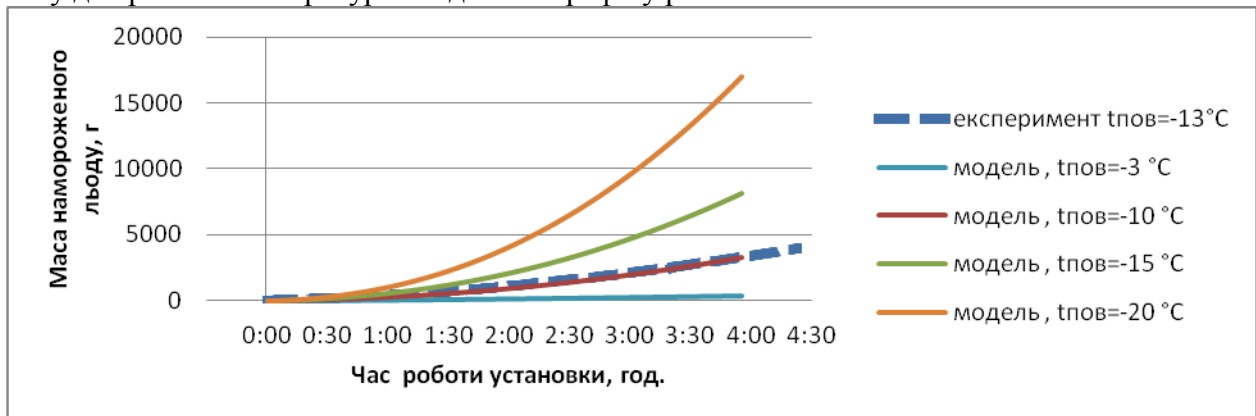


Рисунок 1 – Залежність маси намороженого на трубі зовнішнім $d_{\text{тр}}=20$ мм від часу.

В цілому математична модель дає результати, що сопоставимі з отриманими результатами експериментів. Спираючись на отримані результати можна розробити більш ефективну модель з регулюванням витрати води форсунками в процесі роботи установки.

Перелік посилань:

1. Пуховий І.І., Безродний М.К., Мхітарян Н.М., Кудря С.О. Економія природного газу при заміні котлів тепловими насосами та використання теплоти кристалізації води, як альтернативи теплоті ґрунту // Відновлювана енергетика.-2006.-№1.-с.15-19.
2. M. Farzaneh (ed.). Atmospheric Icing of Power Networks. Springer, 2008.

Ас. - Білоус І. Ю.; магістрант 2 курсу, гр. ОТ-51м Гурська Ю.В.
Проф., д.т.н. Дешко В.І.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПІДХОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГОПОТРЕБИ БУДІВЕЛЬ

Якість використання енергоресурсів – актуальне питання на сьогодні. Основним споживачем теплової енергії є житлові та громадські будівлі. Особлива увага приділяється методам по визначенню рівня енергоспоживання для з'ясування можливої економії енергоресурсів. Вирішення цих завдань, потребує використання методів розрахунку та математичних моделей. На протязі останніх років методи визначення енергоспоживання в Україні враховували лише річні енергопотреби на опалення та не приймали до уваги потреби на охолодження та гарячого водопостачання (ГВП) [1, 2]. Згідно з [1] енергетична ефективність будівель повинна визначатися на базі розрахункової або фактичної річної потреби на опалення, при забезпеченні відповідних санітарно-гігієнічних норм в приміщеннях будинку. Стандарт [1] використовує метод розрахунку енергоспоживання на основі градусо-добы (ГД). Його метод дозволяє скоригувати споживання енергії на опалення відповідно до фактичних значень ГД. Але при розгляді будівлі як енергетичної системи до енергетичних потреб повинні бути віднесені потреби на опалення та охолодження для підтримування заданої температури, потреби у енергії на ГВП, а також враховані джерела енергії. Введений національний метод розрахунку [3, 4] включає визначення потреби на опалення, охолодження, ГВП та базується на визначенні місячних показників. Для детального аналізу енергетичних характеристик доцільно використовувати нестационарні моделі розрахунку енергоспоживання. Спрощений погодинний метод розрахунку енергоспоживання запропонований в стандарті [5]. Даний підхід потребує написання або використання існуючих програм. Альтернативним варіантом є використання існуючих програмних продуктів для реалізації динамічних моделей. Один з таких програмних продуктів є EnergyPlus [6]. Дана програма використовує кращі підходи двох відомих програм DOE-2 та BLAST, методики розрахунків в яких наближені до європейських стандартів. Дана робота присвячена вивченню особливосте застосування вище згаданих методів. Об'єкт дослідження будівля масової забудови 1970-х років. В результаті розрахунків було проведене порівняння енергопотреби при використанні перерахованих підходів.

Перелік посилань:

1. ДБН В.2.6_31:2006. Конструкції будинків та споруд. Теплова ізоляція будівель [Текст]. – На заміну СНиП II_3_79 ; чинний від 2007.04.01. – К.: Мінбуд України, 2006. – 64 с.
2. ДСТУ_Н Б А.2.2.5:2007. Проектування. Настанова з розроблення та складання енергетичного паспорту будинків при новому будівництві та реконструкції [Текст]. – Уведено вперше; чинний від 2008.07.01. – К. : Мінрегіонбуд України, 2008. – 44 с.
3. ДСТУ Б А.2.2-12:2015. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні [Текст]. – Уведений вперше; чинний від 2015.01.01. – К. Мінрегіонбуд України, 2016. – 205 с.
4. ДБН В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель [Текст]. Чинний з 08.10.2016. – К.: Державне підприємство "Укравхбудінформ", 2016. – 33 с.
5. ДСТУ Б EN ISO 13790:2011. Енергоефективність будівель. Розрахунок енергоспоживання при опаленні та охолодженні [Текст]. – На заміну ГОСТ 26629.85; чинний з 01.01.2013. – К. : НДІБК, 2011. – 229 с.
6. Офіційний сайт EnergyPlus Energy Simulation Software. <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus>.

ВИЗНАЧЕННЯ ТА ЗМЕНШЕННЯ ВІДСТАНІ ДО ТОЧКИ ЗАПАЛЮВАННЯ ФАКЕЛУ ГАЗОВОГО ПАЛЬНИКА КОТЛА ТП-15

В доповіді наведено результати дослідження аеродинамічних характеристик газового пальника котла ТП-15, що є актуальним і для інших огнетехнічних агрегатів [1].

Дослідження проводились на установці, яка зображена на рис. 1., а також проводилось моделювання у SolidWorks.

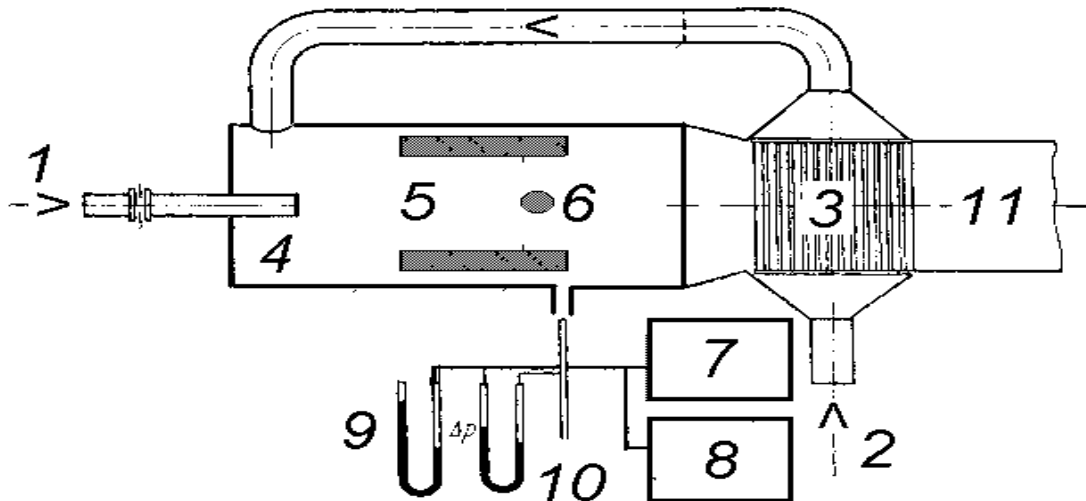


Рисунок 1 - Схема експериментального стенда.

- 1 - подача пального (природного газу); 2 - подача повітря; 3 – рекуператор;
4 - камера згоряння; 5 - модель пальника; 6 -стабілізатор полум'я; 7 – газоаналізатор;
8- вимірювач рівня надлишкового кисню; 9 - вимірювач швидкості потоку;
10 - газовідбірний зонд;11 – газохід відходячих газів.

Дослідження велось на металевій водоохолоджуваній камері згоряння перетином 100x100 мм, довжиною $L = 600$ мм, в якій встановлювалась модель пальника з кераміки розмірами 48x42 мм по внутрішньому каналу довжиною 200 мм. На виході каналу моделі встановлювались змінні стабілізатори полум'я циліндричної та V-подібної форми трьох типорозмірів. Коефіцієнт надлишку повітря контролювався по складу продуктів згоряння за допомогою хроматографу та автоматичного газоаналізатора.

Відбір продуктів згоряння проводився через водоохолоджуваний газозабірний зонд на відстані 300 мм від зрізу пальника. Швидкість потоку газоповітряної суміші визначалася по показанням дифманометра.

Проведені дослідження у SolidWorks дали можливість встановити який з стабілізаторів дає найбільше збурення потоку, визначити точку запалювання газового пальника, а також зменшити відстань до точки запалювання, що призводить до більш раннього запалювання пальника, а відповідно збільшує час перебування частинок вугільного пилу у факелі пальника.

Перелік посилань:

1. . Ключников, А. Д., Г. П. Иванцов. Теплопередача излучением в огнетехнических установках. (Инженерные решения задач) / А. Д. Ключников, Г. П. Иванцов. – М. : Энергия, 1970. – 400 с.

УДК 621.472

Магістрант 6 курсу, гр. -51м Задьора А.Т.
Доц., к.т.н. Студенець В.П.

МОДЕЛЮВАННЯ РЕКУПЕРАЦІЇ ВІДВЕДЕНОЇ ТЕПЛОТИ СЕУ НА БАЗІ ДВИГУНА СТІРЛІНГА В СЕРЕДОВИЩІ SOLIDWORKS

Текст тез. Робота стосується дослідження процесу перетворення енергії сонячного випромінювання у механічну енергію на базі установки «параболоїдний сонячний концентратор (ПСК) – двигун Стірлінга (ДС) – електрогенератор (ЕГ)». **Метою роботи** є створення моделі процесу рекуперації відведеної теплоти для діючого експериментального стенду в програмному середовищі SolidWorks.

Перетворення енергії на розробленій сонячній установці відбувається за допомоги параболоїдного концентратора сонячного випромінювання, в оптичному фокусі якого встановлений тепловий приймач-перетворювач (двигун Стірлінга УДС-1 [1]).

Перспективність даного науково-технологічного напрямку є загально визнаною. Поєднання двигунів Стірлінга з концентраторами сонячного випромінювання визнано однією з перспективних сонячних енергосистем світовими дослідними інститутами та лабораторіями [2].

У ході експериментальних досліджень вимірювались наступні параметри: сонячна радіація, температура поверхні теплоприймача, частота обертання ДС, температура та об'ємна витрата охолоджувальної води. Теоретичний аналіз базувався на роботах [3, 4], методика визначення ефективності процесу перетворення була подібною до [5].

Наукова новизна проведених досліджень полягає:

- 1) використання установки на базі двигуна Стірлінга з параболоїдним концентратором та водяним охолодженням;
- 2) дослідження технічних характеристик установки з урахуванням відведеної теплоти;

Результатом роботи стала побудова моделі процесу рекуперації в середовищі SolidWorks з визначення температурного поля та теплових потоків для системи охолодження ДС, що дозволило провести кореляцію розрахунку ефективності СЕУ в цілому.

Перелік посилань:

1. Долганов К.Е., Лисица В.П. Учебно-демонстрационный двигатель Стирлинга УДС-1. // Двигателестроение. – 1989. – №5. – С. 28, 33.
2. Rannels James. The DOE office of solar energy technologies vision for advancing solar technologies in the new millennium // Solar energy. – 2000. – vol.69. – №5. – P. 363-368.
3. Г.Ридер, Ч. Хупер «Двигатели Стирлинга» Пер с англ. – М.: Мир, 1986. – 464 с.
4. Hiester Nevin K., Tietz Thomas E., Loh Eugene, Duwez Pol. Theoretical considerations on performance characteristics of solar furnaces // Jet Propulsion. Journal of the American Rocket Society. – 1957. – vol.27. – №5. – P. 507-513, 546.
5. В.П. Студенець, В.В Пасічний, С.О. Остапенко, П.А. Миротюк. Дослідницький стенд «сонячний концентратор – двигун Стірлінга та його базові характеристики. Відновлювана енергетика, 2011, №1(24), С.5-10.

Магістрант 6 курсу, гр. ТП-51м Касянчук С.Л.; магістрант 5 курсу, гр. ТП-61м
Очеретянюк М.Д.
Проф., д.т.н. Варламов Г.Б.

ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОРПУСУ УНІВЕРСИТЕТУ З ВИКОРИСТАННЯМ ВОДНЕВОГО КОНТАКТНОГО ТЕПЛОГЕНЕРАТОРА

Сучасний стан із забезпечення підприємств комунальної енергетики енергоресурсами характеризується дефіцитом та високою їх вартістю. Особливо це стосується природного газу та нафтопродуктів. Окрім того, суттєве значення мають екологічні показники процесів генерування теплоти для систем опалення та гарячого водопостачання, які мають відповідати сучасним екологічним вимогам [1]. Тому актуальним є питання проведення робіт із заміни та диверсифікації існуючих палив на альтернативні з одночасним підвищенням екологічної чистоти енерговиробництва.

До альтернативних палив доцільно віднести палива біологічного походження (щепа, солома, тощо) та промислового виробництва (водень). Використання палива біологічного походження утруднено з екологічної точки зору у зв'язку із необхідністю дотримання екологічних норм за Директивами ЄС, які набирають чинності з наступного року. Екологічно чистим паливом є водень.

Робота присвячена дослідженню можливості використанню водню для забезпечення теплопостачання навчального корпусу № 6 КПІ ім. Ігоря Сікорського.

На практиці водень, як паливо використовується у двигунах легкових автомобілів і здатен замінити органічне рідинне та газоподібне паливо. Властивості водню мають перед природним газом певні переваги: теплотворна здатність водню у 4 рази вища у порівнянні із природним газом, високий рівень екологічної чистоти спалювання (відсутні шкідливі викиди оксиду вуглецю CO та мінімальні значення концентрації оксидів азоту NO_x), значно менші об'єм, габарити та питому металоємність (кг ваги /кВт теплоти) у порівнянні із тепловиробництвом у котлах однакової потужності, нижчу температуру вихідних газів (на рівні 50 °C).

Для переведення корпусу університету на опалення за допомогою водневого контактного теплогенератора типу ТВАК-Н₂ потрібні капіталовкладення. Загальна вартість агрегату, пальника і електролізерів може сягати 1,2 млн. грн, що в 3,6 разів більше ніж вартість традиційного агрегату, але при цьому вартість тепловиробництва 1Гкал/год за допомогою ТВАК сягає 116,36 грн, що є в 9,1 разів менше ніж вартість тепловиробництва в традиційних котлах.

У роботі був проведений підбір електролізера, який повинен забезпечувати потрібну витрату водню. Електролізер здатний виробляти 25л/год чистого водню, був підібраний бак-накопичувач, для того щоб електролізер міг виробляти водень вночі, коли електроенергія дешевша, і накопичувати його в бак-накопичувач, для подальшого використання.

У роботі були проведені техніко-економічні розрахунки, які показали що тремін окупності такого агрегату сягає 5 місяців (нормативний термін окупності для теплоенергетичного обладнання дорівнює 7 років).

Перелік посилань:

1. Варламов Г.Б., Дашенко О.П., Касянчук С.Л. Очеретянюк М.Д. Принцип екологічної рівноваги як запорука зростання екологічної безпеки. *Zrównowazony rozwoj-XXI wieku: zarzadzanie, technologie, modele*, 590 с. Bielsko-Biala (PL), Kijow (UA) 2016, С. 153-158.

УДК 621.43

Магістрант 6 курсу, гр. ТП-51м Кияшко Д. Ю.

Проф., д.т.н. Пуховий І.І.

ВИГОТОВЛЕННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ ОРЕБРЕНИХ З ЗОВНІШНЬОЇ СТОРОНИ ЛЬОДЯНИХ ТРУБ

В країнах з холодним і континентальним кліматом можна підігрівати повітря теплою кристалізацією води до температур близьких 0°C , підвищуючи температуру морозного повітря. Таке підігріте повітря може бути використано в системах вентиляції і теплових насосах на атмосферному повітрі, що розширює географічну зону впровадження теплонасосних систем теплопостачання.

Подано заявку на корисну модель «Спосіб підігрівання повітря і охолодження теплоносія при утворенні льоду у воді водойму», в якій пропонується підігрівати повітря в трубах, які занурені у водойму. Труби можуть виготовлятися з льоду. Аналіз теплопередачі показує, щонайбільшим термічним опором є тепловіддача від повітря, тому вигідним є оребрення труб зсередини. В [1] оребрення каналу виконувалось шляхом лиття в полівінілхлоридну форму.

Для отримання зовнішнього оребрення труб потрібно використати спосіб лиття в кільцевий зазор між трубами. Вода, попередньо дегазована кипінням і охолоджена, заливалась в зазор між трубами. Внутрішня труба в одному варіанті була металевою із внутрішнім діаметром 150 мм з товщиною стінки 0,4 мм, зовнішня – пластикова 190 мм. В другому варіанті використовувались дві полівінілхлоридні труби : внутрішня діаметром 120 мм з товщиною стінки 5 мм, зовнішня — пластикова 190 мм. На внутрішні труби з середини накладалась ізоляція з певним короком. Зовнішні труби теплоізолювались. Також накладалась ізоляція на кільцевий зазор вверху. Установка виставлялась на 8-10 годин в морозильну камеру. Були також проведені досліді в програмі SolidWorks. На рис.1 показано форму, на якій проводились експерименти, з металевою трубою всередині (ширина ізоляції -20 мм), а на рис.2 – з полівінілхлоридною трубою (ширина ізоляції - 25 мм).

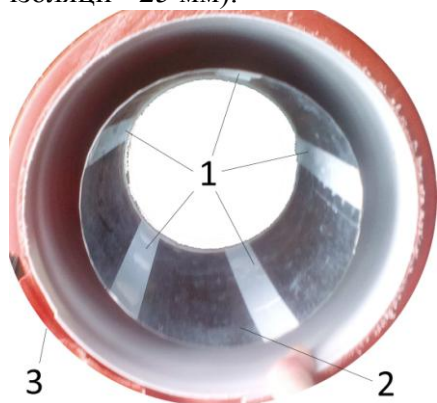


Рисунок 1 –Форма для проведення експерименту.

1-місця накладання ізоляції;
2-внутрішня металева труба; 3 – зовнішня полівінілхлоридна труба.

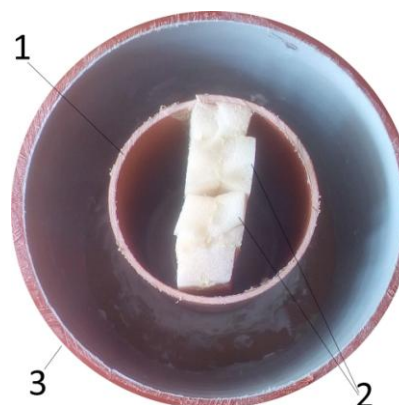


Рисунок 2 - Форма з внутрішньою полівінілхлоридною трубою.

1-внутрішня полівінілхлоридна труба;
2-поролонова ізоляція; 3 – зовнішня полівінілхлоридна труба.

Перелік посилань:

1.Кияшко Д.Ю. Пуховий І.І. Виготовлення та використання оребрених з середини льодяних труб. // Тези доп. Міжн. конф ТЕФ 18–21 квітня 2016 р. У 2 т. – К. : НТУУ «КПІ», 2016. – Т. 1. – 221 с. – 179 с.

МОДЕЛЮВАННЯ ГЕОТЕРМАЛЬНОГО ДЖЕРЕЛА З ПОРИСТОЮ СТРУКТУРОЮ

Україна має значний потенціал геотермальної енергії, проте практичне використання цих запасів дуже невелике. Одна з ключових проблем – відсутність достатньої кількості наукових даних про зміну температури термальної води в процесі експлуатації геотермальної циркуляційної системи (ГЦС). Значну роль в дослідженні процесів, що протікають в геотермальних системах відіграють методи комп'ютерного моделювання [1,2].

Об'єкт дослідження – водоносний пористий пласт, який залягає на глибині 4200-4380 м від поверхні землі. Пласт сполучений з трубними системами для транспортування геотермальної води: три свердловини для підйому, інші три – для повернення та нагнітання теплоносія в пласт. Їх внутрішній діаметр – 0,196 м. Температура пласту в початковий момент – 167 °С, тиск – 53 МПа. Максимальна витрата теплоносія – 0,075 м³/с. Пористість пласта складала 10 %, проникність – $0,5 \cdot 10^{-13}$.

Геометрична модель геотермального пласту побудована в програмі SolidWorks та представляє собою паралелепіпед розміром 135×90×6 (рис. 1). Реальна модель зменшена в масштабі 1:20. Діаметр свердловин та витрата води в свердловинах не змінювались – для зручності проведення комп'ютерного моделювання.

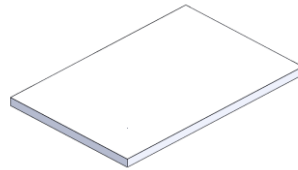


Рис. 1. Геометрична 3D модель пласту

При моделюванні були прийняті наступні допущення:

- пласт однорідний та ізотропний;
- теплопровідність в пласті відсутня;
- потік суцільний – рідина займає весь об'єм пористого середовища;
- пласт обмежений шаром теплоізоляції зі всіх сторін.

Розрахункова сітка в системі SolidWorks Flow Simulation визначається установками поділу – найменшим розміром чарунок, які можуть вийти в результаті поділу. Для збільшення точності розрахунків в місцях підйомної та нагнітальної свердловин створена додаткова – локальна сітка.

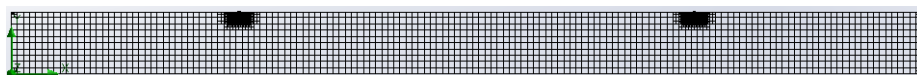


Рис. 2 – Розрахункова сітка

Перелік посилань:

1. Алямовский А. А. SolidWorks Simulation. Как решать практические задачи / А. А. Алямовский. – СПб.: БХВ-Петербург, 2012. – 448 с.
2. Долинский А.А.. Процессы фильтрации геотермального теплоносителя в пористом слое / А. А. Долинсий, Б. И. Басок, А. А. Авраменко // Промышленная теплотехника. – 2009. Т.31, №5.

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ ТЕМПЕРАТУРНОГО ФРОНТУ ТЕРМАЛЬНОЇ ВОДИ В ПОРИСТОМУ ПЛАСТІ

Метою роботи є моделювання температурного поля геотермального пласту при закачуванні в нього охолоджуючої рідини за допомогою SolidWorks Flow Simulation [1]. Отримані дані необхідні для визначення основних технологічних параметрів геотермальної системи (зміни температури) при її тривалому терміні експлуатації [2].

Геометрична модель геотермального пласту побудована в програмі SolidWorks та представляє собою паралелепіпед розміром 135×90×6. Реальна модель зменшена в масштабі 1:20. Пласт з'єднаний з шістьма вертикальними скважинами, за допомогою яких відбувається транспортування термальної води: три свердловини для підйому, інші три – нагнітання теплоносія в пласт.

Задача – нестационарна. Тверді границі розрахункової області задані як адіабатні стінки ($q = 0$). Тиск в пласті – 53 МПа, пористість – 10%, початкова температура пласту – 167 °С. Максимальна витрата теплоносія через свердловину – 0,075 м³/с.

В зв'язку з тим, що з пласту відбирається нагріта вода, а під дією зовнішнього тиску закачується холодна, в ньому виникають нестационарні поля температури та тиску.

В початковий період часу в пласті реалізується природний фільтраційний рух нагрітої рідини з температурою 167 °С. Потім в свердловини закачують рідину з температурою 70 °С та витратою 0,075 м³/с. Розподіл температур в ГЦС починає змінюватись. Біля нагнітальних свердловин утворюється циліндрична зона охолодження, протяжність якої з плином часу поступово збільшується. Дослідження проводились доки температура в підйомній свердловині не почала зменшуватись.

Результати дослідження розподілу температури теплоносія через 10 та 24 роки роботи ГЦС представлено на рис. 1. З результатів моделювання видно, що з часом відбувається «втягування» температурного поля в напрямку підйомних скважин.

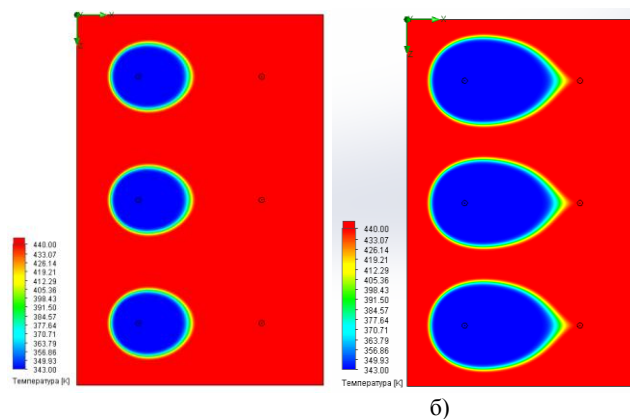


Рис. 1 – Розподіл температури теплоносія в геотермальному пласті (вигляд зверху)
а – після 10 років роботи ГЦС, б – після 24 років роботи ГЦС.

Перелік посилань:

1. Алямовский А. А. SolidWorks Simulation. Как решать практические задачи / А. А. Алямовский. – СПб.: БХВ-Петербург, 2012. – 448 с.
2. Резакова Т. А. Динамика температурного поля в подземном пористом пласте при закачке и откачке геотермальной жидкости / Т. А. Резакова // Пром. теплотехника. – 2010. – № 6 – с. 71-75.

УДК 536.24:536.27

Магістрант 6 курсу, гр. ТП-51м Моргун Р.В.

Доц., к.т.н. Назарова І.О.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОМАСООБМІНУ ПРИ БЕЗПОСЕРЕДНЬОМУ КОНТАКТІ ГАЗУ І РІДИНИ

Одним із шляхів інтенсифікації тепломасообмінних процесів в різноманітних апаратах енергетики і теплотехніки є використання апаратів і пристроїв, в яких процеси тепломасообміну в газорідних системах проходять в умовах безпосереднього контакту газового і рідкого середовищ. Останнім часом такі апарати і пристрої широко використовуються в якості контактних випарників різноманітних розчинів і водонагрівачів, контактних утилізаторів теплоти відхидних промислових газів і парогазових сумішей з конденсацією пари, що міститься в них, плівкових охолоджувачів і осушників повітря і т. д.

Для ефективної реалізації переваг роботи цих процесів в подібних пристроях необхідно знати основні закономірності тепломасообмінних процесів, які властиві визначеному виду газорідної системи [1]. В цих умовах потрібно більш детально дослідити питання тепломасообміну, що характерні для реалізації у вищеперерахованих апаратах і пристроях газорідних систем. Більшість питань тепломасообміну були досить повно пророблені в роботах різних авторів [1]. Тому головним завданням являється вивчення цих питань, знаходження недоліків і можливість їх усунення.

Дослідження проводились на експериментальній установці та в програмному середовищі SolidWorks. Метою дослідів було одержання пари заданих параметрів. Дана пара змішувалась з повітрям, а потім подавалась в двигун внутрішнього згорання для покращення його роботи.

В результаті обробки експериментальних даних були отримані залежності коефіцієнтів масовіддачі від режимних параметрів при зволоженні повітря в проточному барботажному шарі.

Перелік посилань:

1. Безродний М. К. Барабаш П. А. Голяд Н. Н. Гидродинамика и контактный тепломассообмен в некоторых газожидкостных системах. – К.: НТУУ «КПІ», 2011 – с. 408.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УТИЛІЗАТОРІВ ТЕПЛОТИ ДИМОВИХ ГАЗІВ КОТЕЛЕНЬ ЗА РАХУНОК ЗВОЛОЖЕННЯ ДУТТЬОВОГО ПОВІТРЯ

Зменшення витрати природного газу в промисловій та комунальній теплоенергетиці за рахунок підвищення коефіцієнта корисної дії, наприклад, опалювальних водогрійних котелень – нагальне завдання сьогодення.

В багатьох діючих опалювальних котельнях систем централізованого та помірно-централізованого тепlopостачання працюють водогрійні котли типу КВ-ГМ, температура димових газів на виході з яких при спалюванні природного газу коливається від 140 до 190 °С [1]. Зниження цієї температури за рахунок використання теплоутилізаторів, а також підвищення їх ефективності, в цілому сприятиме підвищенню ККД котельні, який для названих вище окремих котлів коливається від 90,5% до 92,5%.

Аналіз рівняння теплового балансу утилізатора показав, що збільшення потоку відведеної від димових газів теплоти можливо або за рахунок підвищення їх ентальпії на вході, або зменшення ентальпії на виході. В попередньому дослідженні [2] було встановлено, що за рахунок глибокого охолодження димових газів при використанні каскадної калориферної установки (використання спочатку «сухого», а потім «мокрого» режимів) порівняно з експлуатацією її в «сухому» режимі для котельні з трьома водогрійними котлами КВ-ГМ-10 за опалювальний сезон можливо досягти збільшення кількості утилізованої теплоти біля 22 тис. ГДж/рік.

Підвищення ентальпії димових газів на вході в утилізатори можливо за рахунок збільшення їх вологовмісту, що досягається зволоженням дуттьового повітря. В розрахунках брали вологовміст зволоженого повітря 40 г/кг с.п.

В результаті розрахунків отримані залежності коефіцієнта байпасування, питомого потоку відведеної в калориферах теплоти та його приріст від кінцевої температури охолодження димових газів у разі зволоження дуттьового повітря при різних початкових температурах в інтервалі 140 - 190 °С. Максимальний потік відведеної теплоти в калориферних установках відповідає температурам димових газів на виході, які зменшуються від 28 °С (при = 140 °С) до 23 °С (при = 190 °С). Мінімальний коефіцієнт байпасування при охолодженні димових газів до температур 23 – 28 °С складає 0,25 – 0,33. Максимальний приріст теплового потоку відповідає температурам охолоджених димових газів 23 – 28 °С і складає біля 10 %. Сумарний максимальний потік відведеної в калориферних установках теплоти при глибокому охолодженні димових газів у разі зволоження дуттьового повітря для водогрійної котельні з трьома водогрійними котлами КВ-ГМ-10 дорівнює 5826 кВт. Загальна річна кількість утилізованої теплоти складає 42398 ГДж/рік, а її приріст за рахунок зволоження дуттьового повітря 4400 ГДж/рік (біля 10%).

Також при зволоженні дуттьового повітря, що надходить на газові пальники котлів, досягається і екологічний ефект, пов'язаний зі зменшенням приблизно у 2 рази викидання оксидів азоту з димовими газами.

Перелік посилань:

1. Роддатис К.Ф. Справочник по котельным установкам малой производительности / К.Ф.Роддатис, А.Н.Полтарецкий; под. ред. К.Ф.Роддатиса. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 488 с.
2. Боженко М.Ф. Каскадна утилізація теплоти димових газів опалювальних водогрійних котелень / М.Ф.Боженко, І.Я.Перевьорткіна // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2016. - № 1. – С. 81-88.

ТЕПЛООБМІН ДЛЯ ДОВГОТРИВАЛОГО РЕЖИМУ КРАПЛИННОЇ КОНДЕНСАЦІЇ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ГІДРОФОБІЗАТОРІВ

Дослідження теплообмінних апаратів із гідрофобними поверхнями довготривалого використання сприяє створенню якісно нових систем, що мають малі масо-габаритні характеристики. Такі поверхні забезпечують швидкість, економічність та ефективність дії теплообмінного устаткування. Сучасні покриття робочих поверхонь на базі використання ефекту «третього тіла» дозволяють суттєво інтенсифікувати процес теплообміну і одночасно уповільнити корозійно-ерозійні процеси у вищезазначених системах. Для довготривалої підтримки процесу краплинної конденсації використовують гідрофобізатори лінійки речовин «Гідроефект-Нанопротек» і різноманітні модифікації РТФЕ-речовин. Механізм нанесення на теплообмінну поверхню гідрофобізаторів може бути комбінованим та повинен забезпечити утворення захисного покриття по типу нанокераміки. При мінімальному термічному опорі такої поверхні інтенсивність теплообміну для конденсації суттєво зростає.

Протягом останніх 8-ми років проведено напрацювання теплообмінних поверхонь при конденсації на відмову. Експерименти проведені на кожухотрубному і пластинчастому теплообмінниках, які були оснащені засобами теплового і візуального контролю. Для оперативного моделювання процесів також використовувались теплообмінник типу «труба в трубі» і плоска візуально дослідна ділянка. Всі теплообмінники були розбірними, що дозволяло варіювати характеристиками робочих поверхонь.

Окрім теплотехнічних вимірювань і зведення теплових балансів, одночасно проводилась фото і відеофіксація, яка дозволяла визначати інтенсивність процесу по його візуальній картині. Визначення особливостей механізму процесу дозволило побудувати криві конденсації і графік умовного циклу конденсації для різних умов експлуатації обладнання. Отримана подібна картина вказує на певну систематизацію опису процесу. Дослідження кривих і умовного циклу конденсації для різноманітних типів конденсатних утворень протягом декількох останніх років [1] довело, що якісна краплинна конденсація може підтримуватись без додаткових заходів і при цьому досягається незмінно висока інтенсивність процесу. Із плином часу залежно від інтенсивності експлуатації обладнання можливі відхилення в результатах, які відповідають допустимій похибці експерименту. Наявність так званих «розумних» покриттів теплообмінних поверхонь і невеликого надлишку наноречовин в контурі обладнання дозволяє отримати ефект самовідновлення робочих поверхонь. Немаловажним фактором при цьому є ефект самоочищення покриття від забруднюючих речовин - так званий «Ефект Лотоса».

Як показує практика теплообмінні поверхні з нанопокриттям є невразливими до зміни режимів роботи обладнання, до функціонування в замкненому або розімкненому контурах, до довготривалого зберігання без додаткової консервації і т. ін. вони є достатньо стійкими і до механічних ушкоджень. З вище зазначеного можна зробити висновок, що перспективою удосконалення подібних систем є отримання супергідрофобних поверхонь з краєвими кутами, які перевищують 150 градусів при мінімальній можливості явища гістерезису.

Перелік посилань:

1. Гавриш А.С., Затирка Н.О., Гальченко И.В. О применении веществ Гидроэффект-Нанопротек в теплообменных аппаратах//Труды 20 Школы-семинара "Проблемы газодинамики и тепломассообмена в энергетических установках".-М.:МЭИ, 2015, С.83-86.

РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕНЕРАТОРА ПАРОВОПІВТРЯНОЇ СУМІШІ БАРБОТАЖНОГО ТИПУ ДЛЯ ЦИКЛОВОГО ПОВІТРЯ ДВЗ

В доповіді наведено результати дослідження гідродинамічних характеристик генератора пароповітряної суміші барботажного типу для циклового повітря ДВЗ [1, 2]. Дослідження проводились на установці, яка зображена на рис. 1.

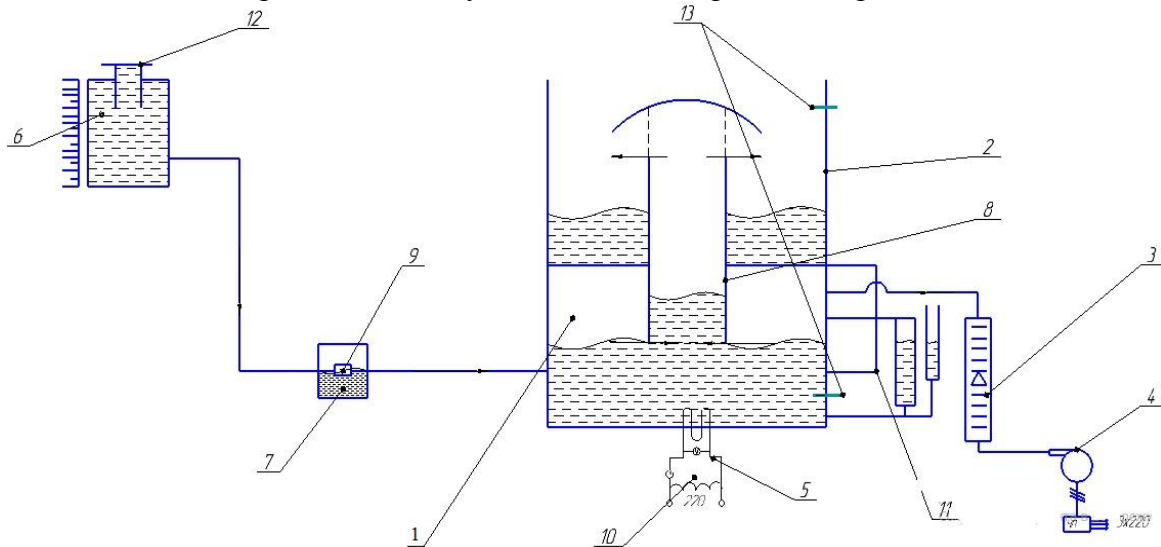


Рисунок 1 - Схема експериментального стенда.

Установка працює наступним чином: повітря подавалося в установку за допомогою вентилятора 4 через ротаметр 3 в камеру 1. Зволожуюча вода в камері 1 та підігрівається ТЕНом 5. Напруга на ТЕНі вимірюється вольтметром 10. В камері 1 повітря, проходячи через шар води та барботажную трубку 8, зволожується та надходить у сепаратор 2. Відсепарована вода трубкою 11 повертається в камеру 1, а повітря видаляється в навколишнє середовище (споживачу). Необхідний рівень води в камері 1 автоматично підтримується за допомогою регулятора рівня 7 та поплавка 9 в ньому. Температуру в необхідних точках стенда вимірювали термомпарами 13.

Барботажна трубка розташовувалась над рівнем води в резервуарі на висоті 5мм. За рахунок різкого збільшення швидкості повітря на вході в барботажную трубку, через значне зменшення поперечного перерізу, повітря підхоплює воду з її поверхні, утворюючи барботажную зону всередині барботажної трубки.

Проведені дослідження дали можливість ідентифікувати можливі режими течії двофазного потоку в барботажній трубці та отримати дані з гідравлічного спротиву активної зони установки.

Перелік посилань:

1. Смаль Ф.В. Перспективные топлива для автомобилей / Ф.В. Смаль, Е.Е. Арсенов. – М.: Транспорт, 1979. – 151 с.
2. Гуйва С.В. Вода как альтернативное топливо / С.В. Гуйва // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ, 2009. – Вип. 9, т. 5. – С. 176–182.

УДК 697.1

Магістрант 6 курсу, гр. ОТ -51м Яценко О. І.
Доц., к.т.н. Суходуб І. О.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПІДХОДІВ ДО ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛООВОГО НАВАНТАЖЕННЯ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ

Розрахунок теплового навантаження системи опалення для громадських будівель раніше проводився за допомогою СНиП 2.04.05-91 «Отопление, вентиляция и кондиционирование» [1]. Однак, в ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування» [2], який набув чинності в Україні з 1 січня 2014 року, пунктом 6.3.4 передбачено, що «теплове навантаження системи опалення слід визначати за ДСТУ Б EN 12831». В той же час стандарт ДСТУ Б EN 12831 й досі не набув чинності в Україні. Тому, в даній роботі проводиться аналіз методик розрахунку теплового навантаження системи опалення з використанням [1], [3] та програми для динамічного енергетичного моделювання EnergyPlus.

Для аналізу зазначених методик розрахунку у якості об'єкта дослідження було обране приміщення 1-поверхової громадської будівлі розміром 6×3,5 м з двома зовнішніми стінами (стіна довжиною 6 м орієнтована на захід, 3 м – на північ). Висота приміщення 3,5 м. Зовнішні стіни виконані з цегляної кладки товщиною 0,5 м, утеплені з заходу мінеральною ватою, з півночі – пінополістиролом (товщина 0,1 м). Вікно, розміром 1×1,4 м, складається з двохкамерного склопакета з двома напиленнями та аргоновим заповненням та 5-камерного профілю. Підлога на ґрунті не утеплена. Дах складається з залізобетонних плит, утеплений керамзитовим насипом та вкритий руберойдом. Температура повітря всередині приміщення 18°C, система вентиляції: природна з кратністю повітрообміну 1 год⁻¹.

Згідно EN 12831 без врахування містків холоду загальне теплове навантаження системи опалення для даного приміщення складає 2710 Вт, в тому числі трансмісійні тепловтрати – 1665 Вт, вентиляція – 1045 Вт), з врахуванням містків холоду за спрощеним методом [3] – 3025 Вт. За результатами розрахунків згідно [1], при визначенні тепловтрат підлоги по зонам, загальне теплове навантаження складає 2865 Вт, значення якого є близьким до результатів розрахунку за EN 12831 без врахування містків холоду.

Оціночні розрахунки по наближеним методикам не дають необхідної картини взаємодії всіх факторів і надають лише загальні результати. Існують і інші методи проведення аналізу теплового навантаження на систему опалення в будівлях, які дозволяють проводити більш точний аналіз енергетичних характеристик. Однією з таких програм є EnergyPlus, що дозволяє проводити розрахунки не тільки навантаження на систему опалення та охолодження, використовуючи «проектні дні», але й споживання енергії з використанням погодних умов з IWEC (International Weather for Energy Calculation). За результатами аналізу в програмі EnergyPlus загальне теплове навантаження на систему опалення складає 2480 Вт без врахування мостиків холоду. При цьому втрати теплоти через непрозорі огорожувальні конструкції становлять 1290 Вт, світлопрозорі – 45 Вт, на нагрівання вентиляційного повітря – 1145 Вт.

Максимальна відмінність між вказаними методиками розрахунку теплового навантаження на систему опалення може досягати 18%. Перевагою європейських підходів є врахування містків холоду та можливість врахування переривчастого опалення.

Перелік посилань:

1. СНиП 2.04.05-91 Отопление, вентиляция и кондиционирование. Введен 01.01.92
2. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування. Чинний з 01.01.2014
3. EN 12831:2003 E Heating systems in buildings – Method for calculation of the design heat load. – CEN, 2003. - 76

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОНАСОСНОЇ СИСТЕМИ ВЕНТИЛЯЦІЇ

На рис. 1 зображена схема теплонасосної системи (ТНС) вентиляції з використанням рециркуляції відпрацьованого повітря. Із рис. 1 видно, що потік відпрацьованого повітря після об'єкту вентиляції розділяється на два потоки: одна частина повітря, підмішується у камері змішування до припливного повітря і направляєється в конденсатор ТН, а інша частина повітря направляєється на випарник ТН.

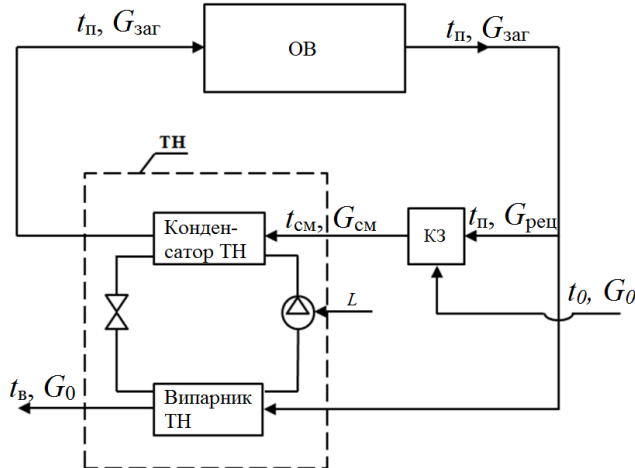
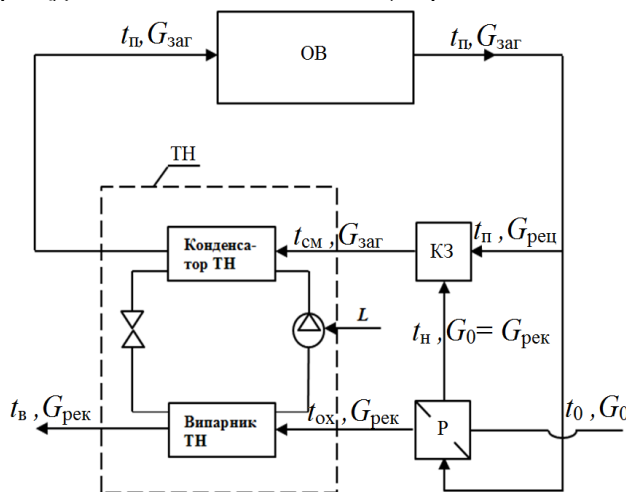


Рис. 1. Схема ТНС вентиляції з використанням рециркуляції відпрацьованого повітря: ОВ – об'єкт вентиляції; ТН – тепловий насос; КЗ – камера змішування; L – робота приводу компресора теплового насоса.

У випадках, коли повітря, що видаляється з приміщення, має досить високу температуру і не має у своєму складі шкідливих речовин, частина його у зимовий період не викидається назовні, а після очищення підмішується до припливного повітря для його підігріву, і отримана суміш подається у приміщення.

Цим досягається економія вартості установки й експлуатації, оскільки зменшуються затрати на нагрів навколишнього повітря. Рециркуляція також широко застосовується при охолодженні повітря у літній період [1].

Із рис. 2 видно, що потік відпрацьованого повітря після об'єкту вентиляції розділяється на два потоки: одна частина повітря, підмішується у камері змішування до припливного і направляєється в конденсатор ТН, а інша направляєється на рекуператор-утилізатор і на випарник ТН. Завдяки рекуператору теплота повітря, що залишає приміщення, передається свіжому повітрю, яке надходить з навколишнього середовища. Економія енергії, що витрачається на нагрів припливного повітря у холодний період року, може сягати 60–85 % (порівняно із звичайною припливною установкою).



Перелік посилань:

Рис. 2. Схема ТНС вентиляції з використанням рекуператора теплоти та рециркуляції відпрацьованого повітря: ОВ – об'єкт вентиляції; ТН – тепловий насос; Р – рекуператор; КЗ – камера змішування; L – робота приводу компресора ТН.

Порівнявши схеми, зробили висновок, що схема ТНС вентиляції з використанням рекуператора теплоти та рециркуляції відпрацьованого повітря має більшу ефективність, ніж схема ТНС вентиляції з використанням рециркуляції відпрацьованого повітря.

Магістрант 5 курсу, гр. ТП-61м Боянівський В.П.
Доц., к.т.н. Боженко М.Ф.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МІКСЕРІВ ДЛЯ ЛИТТЯ АЛЮМІНІЮ

Міксери для переплавки алюмінієвого брухту є високотемпературними теплотехнологічними агрегатами періодичної дії.

Робочий простір печі виконаний у вигляді футерованої прямокутної камери з подиною, боковими і торцьовими стінками та склепінням. Камера має дві зони: нижню, де знаходиться алюміній після розплавлення завантаженого брухту, та верхню (без розплаву). В одній з бокових стінок розташовані форкамери, через які завантажується алюмінієвий брухт і знімається шлак, та летка для виливання алюмінію.

Футеровка поверхонь наявних печей виконана послідовно з вогнетривких матеріалів (корунд, шамот), а теплоізоляція – з пінодіатоміту і азбесту для подини, торцьових і бокових стінок, та пінодіатоміту і вермикуліту для склепіння.

Аналіз робіт [1-2] показав, що ефективність роботи міксерів багато в чому залежить від температурних і теплових факторів протікання технологічного процесу, умов роботи футеровки та теплоізоляції.

Розрахунки втрат теплоти зовнішніми огороженнями електричної печі наявної конструкції місткістю 6 т показали, що найбільше їх питоме значення характерно для сталевих листів, які закривають струмовідводи, і поверхонь закритих форкамер. Для оцінки енергетичної ефективності печі були виконані варіантні розрахунки, що відрізнялися від базового варіанту заміною теплоізоляції, розмірами і терміном відкриття форкамер.

Дійсні сумарні теплові втрати, наприклад, при електричному нагріву в порівнянні з базовим варіантом зменшилися на 39 %. При заміні теплоізоляції в модернізованій конструкції та влаштуванні двох форкамер розмірами по 2 x 1, м², з терміном їх відкриття по 30 хв. кожна порівняно з базовою конструкцією теплоізоляції та однією форкамерою розміром 4 x 1, м², з терміном її відкриття 60 хв., витрати теплоти зменшилися приблизно на 66 %. При цьому зниження витрат теплоти відбулося на 45 % за рахунок зменшення терміну відкриття форкамер і на 21 % - за рахунок зміни теплоізоляційних шарів.

Для зміненої конструкції печі при газовому нагріві порівняно з електричним витрати теплоти на компенсацію втрат огороженнями зменшилися на 9 %, тобто газовий нагрів печі з енергетичної точки зору є більш ефективним ніж електричний. Термін плавки для модернізованої печі потужністю 600 кВт склав 3,92 год при електричному нагріві і 3,78 год при газовому нагріві.

Виконані розрахунки економічної ефективності переведу печі з електричного на газовий нагрів. Показано, що при діючих сьогодні в Україні тарифах на електроенергію і природний газ для печі модернізованої конструкції потужністю 600 кВт витрата на електроенергію в одному циклі плавки алюмінієвого брухту складає 3115 грн, а на газ - 2800 грн. Експлуатаційні витрати на природний газ в циклі плавки для модернізованої і наявної печі потужністю 600 кВт зменшуються приблизно на 9 - 10 % порівняно з витратами на електричну енергію.

Перелік посилань:

1. Панов Е.Н. Тепловые процессы в электролизерах и миксерах алюминиевого производства / Е.Н. Панов, Г.Н. Васильченко, С. В. Даниленко и др.; под общ. ред. Б.С. Громова. – М.: «Руда и металлы», 1998. – 256 с.
2. Панов Е.Н. Энергетическая эффективность работы миксеров для алюминия / Е.Н. Панов., М.Ф. Боженко, С.В. Даниленко // Цветные металлы. - 2000. - № 5. - С. 84 – 87.

ТЕРМОДИНАМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ОПАЛЮВАЛЬНИХ КОТЕЛЕНЬ

Зниження температури теплоносія – основна тенденція розвитку опалювальної техніки останніх десятиріч в європейських країнах. Сьогодні температура подачі в низькоексергетичних системах опалення може складати 45°C, 35°C і навіть 28°C. В таких системах використовуються низькотемпературні опалювальні прилади.

Розглянемо ефективність традиційних котельнь при роботі з традиційними опалювальними приладами (ОП) і низькотемпературними.

В опалювальній котельні (ОК) для одержання «суміші» ексергії та анергії доводиться спалювати паливо. Хімічна енергія палива, яка в процесі горіння перетворюється в теплоту BQ_n^p , складається практично уся з ексергії.

Система теплопостачання від котельні складається з трьох елементів: котельні, проміжної підсистеми і опалювальних приладів приміщення. Проміжна підсистема – це все, що знаходиться між котельнею і опалювальними приладами. В цій підсистемі приймаємо до уваги всі внутрішні необоротності (теплообмін, змішування, тертя). Зовнішніми необоротностями, які пов'язані з втратами теплоти в навколишнє середовище будемо нехтувати, як і самою кількістю теплоти, що втрачається. Втрати ексергії в процесі протікання теплоносіїв з тертям через котел (процес 1-2) і опалювальний прилад (процес 3-4) відносно малі на відміну від інших і тому не враховуються в аналізі.

Загальний ексергетичний ККД системи теплопостачання, котра включає котельню, проміжну підсистему і опалювальний прилад, дорівнює:

$$\eta^{ex} = \eta_{кот}^{ex} \cdot \eta_{пр}^{ex} \cdot \eta_{оп}^{ex} = \frac{Q_n^p}{e_{нал}} \cdot \eta_{кот} \cdot \tau_{II}(T_{II}) \quad (1)$$

З цього виразу видно, що в явному вигляді $\eta_{оп}^{ex}$ не впливає на η^{ex} системи. Опалювальний прилад може в принципі впливати лише на $\eta_{кот}$ через температуру зворотної води, яка надходить в мережу після ОП. В традиційних котлах температура зворотної води майже не впливає на $\eta_{кот}$. Тоді на основі (1) можна зробити висновок, що зменшення втрат ексергії в одній частині системи, наприклад в ОП, викликає у другій її частині відповідне збільшення. При цьому сумарна втрата ексергії в трьох підсистемах практично на змінюється, як і η^{ex} . В конденсаційних котлах з пониженням температури зворотної води нижче температури точки роси $\eta_{кот}$ зростає і може досягти значень 105-109 %.

При відсутності теплових втрат в системі $\eta_{кот} = 1$ і $BQ_n^p = Q_{II}$, тобто при повному збереженні кількості енергії, що передається ексергетичний ККД опалювальної котельні досить низький ($\eta^{ex} < 0,08$ або 8%).

Ексергетичний аналіз показує, що процеси горіння недоцільно використовувати для потреб низькотемпературного опалення в будівлях [1]. Викопні палива мають високу якість енергії і повинні використовуватись більш раціональніше і ефективніше з позицій ексергії. Отже, для низькотемпературних опалювальних систем потрібно використовувати низькотемпературні джерела теплоти, такі як ВЕР, сонячна радіація, геотермальна енергія, теплота стічних вод, теплота від когенераційних установок.

Перелік посилань:

1. Low Exergy Systems for High-Performance Buildings and Communities. Annex 49, Summary report.

УДК 536.2

Магістрант 5 курсу, гр. ТП-61м Гелетуха С.Г.
Доц., к.т.н. Куделя П.П.

АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ І УСТАНОВОК

Згідно Національного плану дій з енергоефективності на період до 2020 року [1] передбачено впровадження схем енергоаудиту та енергоменеджменту, введення стандартів енергоефективності. Використання доцільних показників енергетичної ефективності – дозволяє оцінити якість перетворення енергії та веде до енергозбереження, зокрема збереження первинних енергоресурсів.

Коефіцієнти розраховані на базі Першого закону термодинаміки – коефіцієнти перетворення енергії (КПЕ): η , ε , φ – кількісно описують перетворення енергії, спираючись на закон збереження енергії та не відображають втрати від необоротності. КПЕ не характеризуються наявністю граничних значень 0 і 1: тепломеханічний коефіцієнт (ТМК) $\eta < 1$, опалювальний $\varphi > 1$, холодильний коефіцієнт $\varepsilon \geq 0$. Отже, за значенням КПЕ не можна оцінити наскільки система близька до теоретично досяжного ідеалу і чи є можливості її подальшого удосконалення.

Коефіцієнти розраховані на базі Другого закону термодинаміки – ексергетичний ККД, втрата ексергії – якісно описують перетворення енергії та показують ступінь наближення процесу в системі до оборотного і втрату від необоротності.

Проаналізовано межі зміни коефіцієнтів ε , φ , η для теплових двигунів, теплових насосів та холодильних машин.

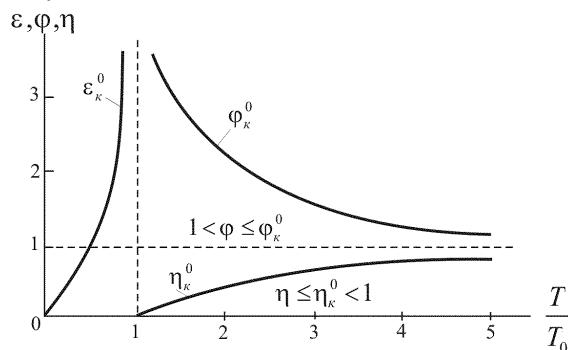


Рис. 3.8 Межі зміни коефіцієнтів ε , φ , η

Збереження якості енергії, її технічної цінності – головне в енергозбереженні з погляду Другого закону термодинаміки. Якісно оцінити ступінь досконалості та джерела втрат в технічній системі та знаходити шляхи збереження якості енергії, її технічної цінності, що веде до економії первинних енергоресурсів дозволяють величини: ексергетичний ККД та втрата ексергії.

Перелік посилань:

1. Національний план дій з енергоефективності на період до 2020 року
<http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/n0001824-15>

УДК 621.184.4

Магістрант 5 курсу, гр. ТП-61м Гелетуха С.Г.
Доц., к.т.н. Назарова І.О.

ДЖЕРАЛА ХОЛОДНОЇ ВХІДНОЇ ВОДИ ЕКОНОМАЙЗЕРА ДЛЯ ГЛИБИННОГО ОХОЛОДЖЕННЯ ДИМОВИХ ГАЗІВ

Економайзери для глибинного охолодження димових газів широко використовуються в країнах Європи. Законодавча база деяких країн Євросоюзу, зокрема Литви, зобов'язує виробника теплової енергії встановлювати пристрій глибокого охолодження диму – «економайзер» на котли потужністю понад 1 МВт.

Переважно економайзери розраховані на температуру димових газів: на вході $t' \geq 140$ °С, на виході – $t'' = 30-40$ °С. Рекомендована температура води, що нагрівається: на вході – $t_{в'} \leq 15$ °С [1, 2].

Розглянемо два випадки систем теплопостачання для нагрівання в економайзері, поворотної води при температурному графіку відпуску води котельнею 150/70, 105/70, 90/70, 80/60:

- для котельні, яка працює на ГВП або на ГВП+опалення у системі теплопостачання є водорозбір. Тоді, можна досягти температуру води на вході в економайзер менше 15 °С: за рахунок змішування частини поворотної води (температурою 60-90 °С) з холодною водопровідною водою (температурою 5-15 °С).
- для котельні, що працює тільки на опалення за закритою залежною системою – відсутній водорозбір. Отже, кількість води в системі теплопостачання залишається сталою. Температура поворотної води від споживача води більше 15 °С.

Отже, постає питання про джерело холодної води (вхідної води на економайзер) при роботі економайзера в закритій залежній системі опалення.

Можливі шляхи вирішення даного питання:

1. штучний водорозбір (використовувати частину поворотної води як вторинний енергоресурс; змішувати іншу частину поворотної води з холодною водопровідною водою, отримуючи необхідну на вході в економайзер температуру води).
2. знижувати температуру подаючої та поворотної води, за рахунок переходу на інші схеми теплопостачання (незалежна) та температурні графіки теплової мережі (Литва).

В роботі досліджено залежність потужності економайзера від температури поворотної води на прикладі установки, для глибинного охолодження димових газів, що встановлена в аеропорту Бориспіль на твердопаливній котельні. З дослідження випливає, що продуктивність установки залежить від температури поворотної води та від вологості палива. Чим менша температура поворотної води та більша вологість твердого палива, тим більшою є продуктивність економайзера.

Джерело холодної води для економайзера – актуальне питання, яке потребує подальшого розгляду та аналізу.

Перелік посилань:

1. Аронов И.В. Контактный нагрев воды продуктами сгорания природного газа / И.В. Аронов. – Л.: Недра, 1990. – 280 с
2. Боженко М.Ф. Энергобережения в теплопостачанні : навч. посіб. / М.Ф. Боженко, В.П. Сало. – К : НТУУ «КПІ», 2008. – 268 с

КОМБІНОВАНА СХЕМА ОПАЛЕННЯ І ВЕНТИЛЯЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕПЛОТИ ГРУНТУ ТА ВЕНТИЛЯЦІЙНОГО ПОВІТРЯ

Якщо розглядати як джерело низькотемпературної теплоти повітряні вентиляційні викиди будівель, то їхнє використання виключає всі недоліки, що характерні при використанні атмосферного повітря. У випадку екстремальних морозів атмосферне повітря має низький тепловий потенціал, на противагу чому вентиляційні викиди, зазвичай, мають температуру набагато більшу за 0 градусів. Отримання теплоти з відпрацьованого повітря ТН є зручним, надійним та економічним, та не потребує пікових електричних нагрівачів. Така система дає можливість утилізувати теплоту вентиляційного повітря, тепловиділення людей, обладнання та приладів, які б в іншому разі викидались в атмосферу.

З огляду на підвищену температуру скидного вентиляційного повітря, в порівнянні з атмосферним повітрям, виникає практичний інтерес його використання у теплонасосних системах. Часто такі ТН використовують тільки у системах вентиляції, пропускаючи відпрацьоване вентиляційне повітря через випарник, а свіже – через конденсатор (Рис. 1).

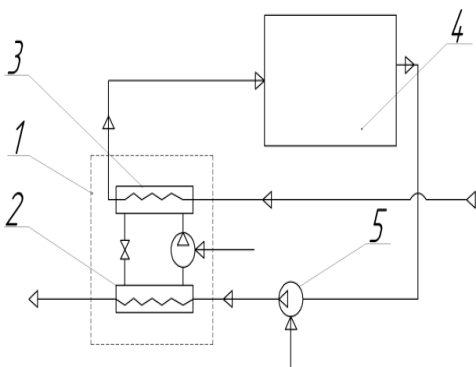


Рис 1. 1 – ТНС утилізації ;
вентиляційного повітря;
2 – випарник ТН;;
3 – конденсатор ТН
4 – об'єкт вентиляції;
5 – вентилятор;

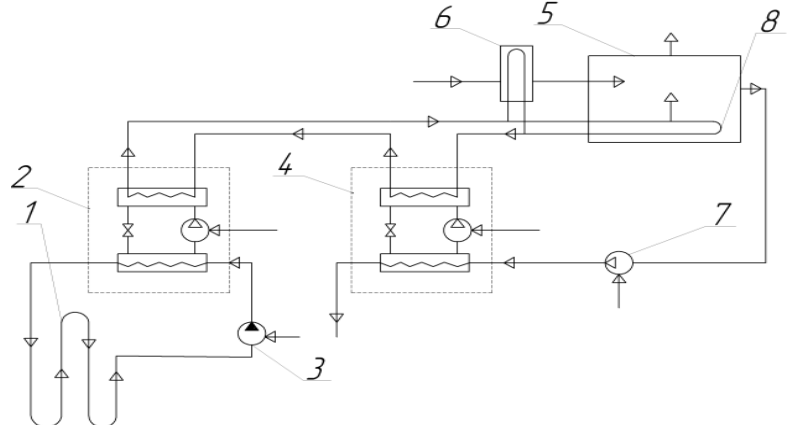


Рис 2. 1 – ґрунтовий теплообмінник; 2 – ТНС утилізації теплоти ґрунту; 3 – насос контуру ГТО; 4 - ТНС утилізації вентиляційного повітря 5 – об'єкт опалення і вентиляції; 6 – система підігріву вентиляційного повітря; 7 – вентилятор; 8 – система опалення.

Однак, у випадках, коли теплова потреба системи вентиляції значно менша в порівнянні із затратами теплоти на опалення, використання теплоти вентиляційного повітря, як нижнього джерела теплоти, для комбінованих теплонасосних систем опалення і вентиляції неефективне [1]. Такі ТН установки не в змозі забезпечити необхідної енергетичної потужності. Вирішити цю проблему можна за допомогою використання іншого, альтернативного і додаткового джерела теплоти. Таким джерелом може бути ґрунт. На Рис. 2 зображена комбінована схема водяного опалення і вентиляції з використанням теплоти ґрунту та вентиляційного повітря. Термодинамічний аналіз такої схеми показав її спроможність забезпечити потреби теплоти як на вентиляцію, так і на водяне опалення з досить високою енергетичною ефективністю.

Перелік посилань:

1. Безродний М.К., Притула Н.О., Термодинамічна та енергетична ефективність теплонасосних систем/ М.К. Безродний, Н.О. Притула//Монографія НТУУ «КПІ».-2016.-274 с.

Магістрант 5 курсу, гр. ТП-51м Живиця К. О.
Проф., д.т.н. Пуховий І. І.

ДОСВІД ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМИ СОНЯЧНОГО ОПАЛЕННЯ " РОЗШИРЕНА СТІНА ТРОМБА-МІШЕЛЯ"

В 2013 році в загородньому будинку, що знаходиться в 23 км на південь від Києва, збудована на південно-західному фасаді і досліджена пасивна система сонячного опалення «Розширена стіна Тромба - Мішеля» з розширеною буферною зоною (1,25 м від скла до стіни) з метою дослідження [1] і практичного використання. Скляні вітражі мають одинарне застелення, стіна зроблена з цегли і має термічний опір теплопередачі близький до 1. Підлога покрита коврами. В буферній зоні (БЗ) взимку при температурах атмосфери вищих - 5С при відсутності шару снігу на прозорому скляному даху температура повітря досягає 5-15 С без опалення житлової зони (ЖЗ) будинку. На досягнення таких температури в ЖЗ шляхом опалення грубою, потрібно 1,5-2 години часу



і 4-5 кг дров. При наявності снігу на верхніх нахилених під кутом 15 градусів рамах, взимку температура не піднімається вище 5 С. Для розтавання снігу потрібно 6-7 днів з сонячною погодою або відлигою. Тому сніг краще видаляти механічним шляхом. Слід встановлювати металеву решітку на нижні отвори, якщо в будинку живуть коти і собаки, бо вони залюбки користуються отворами.

В квітні і травні температура БЗ доходить до 30 - 40С і в квітні БЗ використовується для вирощування розсади.. В березні і на початку квітня та в кінці вересня і в жовтні не можна відчиняти засувки на отворах системи циркуляції в стіні через те, що температура БЗ нижча 20С. Таким чином, буферну зону можна сполучати з житловою лише в другій половині квітня і до першої половини вересня. Влітку в БЗ піддаються осушці фрукти і верхня рама і двері для підігрівання відкриваються.

Досвід показав, що без вентиляції БЗ через стіну проходить мало теплоти в кімнату при зачинених засувках.

Таким чином «Розширена стіна Тромба - Мішеля» з розширеною буферною зоною є додатковим джерелом комфорту і підмогою в домашньому господарстві.

Перелік посилань:

1. Пуховий І.І., Хандусь М.С., Хруленко С.П. Сонячне опалення типу «Стіна Тромба – Мішеля» з розширеною буферною зоною.// Відновлювана Енергетика. - 2015. - №4. - С. 22-28

ТЕМПЕРАТУРНО-ТЕПЛОВІ УМОВИ РОБОТИ ГРАФІТУВАЛЬНИХ ПЕЧЕЙ

Найбільш стійкою і поширеною формою вуглецю при звичайних умовах є графіт. Підвищені механічні властивості графіту при нагріванні до високих температур і визначають його як матеріал для умов, де необхідна висока термостійкість і електропровідність. Крупним споживачем вуглецевих виробів є алюмінієве виробництво при виготовленні анодів і катодів в електролізерах. Вуглеграфіт використовується і як конструкційно-футеровочний матеріал в доменних і феросплавних печах, атомній промисловості, при виготовленні тиглів, нагрівачів, форм для виробництва кремнія і германія, в різних типах електрохімічних генераторів і т. ін.

Штучний графіт отримують з матеріалів які містять вуглець – твердого наповнювача і зв'язуючого.

Під час процесу графітування вуглецевмісних матеріалів змінюються їхні фізико-хімічні властивості: підвищується електропровідність, зменшується кількість зольних домішок, знижується хімічна реакційна здатність, зокрема здатність до окиснення.

Основним фактором що визначає якість графітування вуглецевого матеріалу, є досягнута кінцева температура.

Процес графітування вуглеграфітових виробів здійснюється в процесі високотемпературної обробки до 2500...3000 °С в спеціальних графітувальних електричних однофазних печах опору за технологіями Ачесона і Кастнера.

В печах Ачесона електричний струм проходить крізь оточений шарами теплоізоляції kern, що складається з електродних заготовок та пересипочних матеріалів. Пересипка в печах Ачесона утворює основний елемент опору, на якому виділяється близько 98 ... 99 % джоулевої теплоти, а електродні заготовки нагріваються кондуктивним шляхом та тепловим випромінюванням від кернової пересипки [1].

На відміну від печей Ачесона, в графітувальній печі Кастнера на подину завантажують шар теплоізоляції, що складається з суміші тонкоподрібнених вуглецевих матеріалів, на якій розташовують декілька вуглецевих заготовок послідовно, паралельно або паралельно-послідовно. Бокові та верхню поверхню заготовок також ізолюють. Нагрівання заготовок здійснюють за рахунок прямого пропускання через них електричного струму.

В НДЦ « Ресурсозберігаючі технології» КПІ ім. Ігоря Сікорського проводяться дослідження температурно-теплових умов процесу графітації в промислових печах Кастнера.

Розрахунковим шляхом встановлені температурні залежності ефективного коефіцієнта тепловіддачі з поверхні печі і коефіцієнта пропорційності, що враховує втрати активної електроенергії на прямий нагрів теплоізоляції.

Отримані експериментальні залежності температур заготовок від часу, які в наступному будуть узагальнені для їх практичного використання при оперативній діагностиці температурно-теплого режиму на реальних печах.

Перелік посилань:

1. Панов Е.М. Методика оперативного определения среднemasсовой температуры керна печи графитирования Ачесона / Е.Н. Панов, А.Я. Карвацкий, С.В. Лелека и др. // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2015. - №3-5 (75). – с. 41-46.

ГЕНЕРАЦІЯ ЛЬОДУ НА ТРУБІ ПРИ ТЕЧІЇ В НІЙ ПОВІТРЯ З МІНУСОВИМИ ТЕМПЕРАТУРАМИ

При замерзанні води можна підігрівати повітря з негативними температурами і отримувати лід для літнього холодопостачання., що дозволяє економити енергію як взимку, так і влітку. Підігріте повітря може бути використано взимку в теплових насосах (ТН) і в системах вентиляції. [1]. В літературних джерелах відсутні дослідження замерзання води на трубі при одночасному відведенні теплоти від води, що замерзає, до повітря в трубі і в атмосфері при зрошенні труби диспергованою водою. Повітря з довкілля температурою -11°C подавалось вентилятором з дебітом $100\text{м}^3/\text{год}$ в трубу діаметром 100 мм, яка була встановлена на 50 мм від підлоги і підігрівалось на 1 градус на метр активної довжини (загальна довжина 1,8м). На відстані 35см від осі труби (45см від підлоги) знаходилася планка об яку ударялися струмені з отворів,зроблених голкою у дні посудин, в яких підтримувався рівень мм в. ст. Отвори для подачі води з витратою 0,8 г/с знаходилися на відстані 1м від підлоги, тобто струмені падали з висоти 0,5 м. на поверхню удару (планку) і розбивались на краплі. Вода струменями подавалася через кожні 300мм, з корекцією відстані до 150 мм в процесі дослідів. Через 3 години досліду було помічено, що відстань між соплами дуже велика - лід наріс дуже не рівномірно. На 4 та 5 годину дослідів було встановлено один додатковий пристрій посередині. Тобто відстань між першими трьома соплами складала 150мм, а четверте було на відстані 300мм. За 1 годину досліду там, де був встановлений додатковий пристрій для подачі води, намерзла така сама кількість льоду, як за попередні 3 години, товщина льоду майже вирівнялась, що показало недостатню кількість води. В кінці досліду шар льоду там, де сопла знаходилися на відстані 150мм був рівномірним, а знизу труби і на планці намерзла велика кількість бурульок з не великою довжиною. Бурульки були по обидва боки труби, а її низ був сухим. Там, де вода скапувала з планки, намерзли дуже великі бурульки (Див. фото).



Це показує, що діаметр сопел і подача води повинні бути більшими при згаданій температурі. Після 5 год. досліду на трубі намерз лід, довжиною 100см та товщиною 8 мм, що складає 1,6 мм за годину, або близько 0,15 мм. Сумарна кількість льоду була приблизно 2700 грам. Для підігрівання повітря з 11 до 4 градусів потрібно біля 10 -12 м труб.

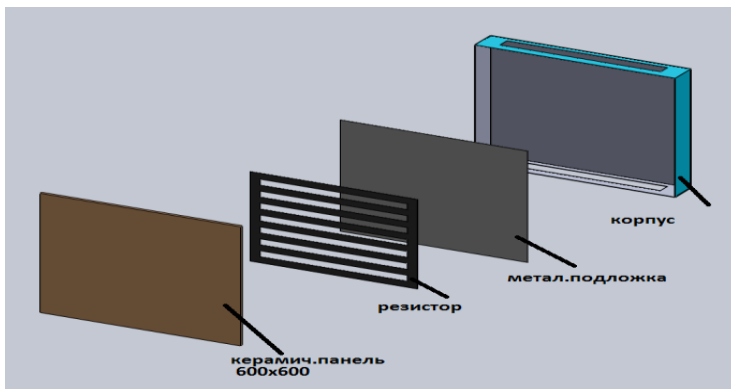
Перелік посилань:

1.Пуховий І.І., Постоленко А.М., Радчук Ю.Ю Аналіз схем тепlopостачання з двома тепловими насосами та використанням вентиляційних викидів і повітря, підігрітого теплою кристалізації води// Відновлювана енергетика .- 2014.-№ 4.- с.28 -35

ДО ПИТАННЯ ПРО ВИБІР КЕРЕМІЧНИХ НАГРІВАЧІВ

Найбільш простою і дешевою є конструкція, в якій перенесення тепла забезпечується тільки процесом вільної конвекції [1, 2]. У такій конструкції (рис.1) тепловий потік від електричного резисторного елемента йде в двох напрямках:

1. до керамічної плити розмірами 600 на 600 мм,
2. до стінки корпусу, в якому завдяки нагріванню формується потік нагрітого повітря.



Така конструкція має два принципові обмеження, які не дозволяють реалізувати потужність більше 300 Вт :

1. температура лицьової поверхні керамічної плити повинна бути за вимогами безпеки не більше 80-ти градусів С;
2. через перше обмеження потужність резистора, нагрів потоку повітря в каналі корпусу незначний.

Застосування сучасних технологій 3D моделювання дозволяє підвищити потужність нагрівача в три рази при дотриманні обмежень по температурі лицьової панелі, дозволяє підвищити температуру и витрату потоку в каналі корпусу.

Перелік посилань:

1. Краснощеков Е.Л., Сукомел Л.С. Задачник по теплопередаче. – М.: Энергия, 1980. – 288с.
2. Теплотехнологічні процеси та установки. НТУУ «КПІ», 2009. – 128 с.

УДК 536.2

Магістрант 5 курсу, гр. ТП-61м Кошмак О.Р.
Доц., к.т.н. Куделя П.П.

ПРИНЦИПИ ЗМЕНШЕННЯ ВТРАТ ЕКСЕРГІЇ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

У всіх процесах діяльності людини йде безперервний ланцюг енергетичних перетворень. В силу закону збереження енергії, неминуче природі віддається стільки енергії, скільки її забирають спочатку, але вже в іншій формі – відпрацьованої [1]. Для зменшення втрат ексергії в системах опалення слід керуватися чотирма принципами.

1. Відповідність (узгодженість) якості (ексергії) затраченої і необхідної енергії – основний принцип.

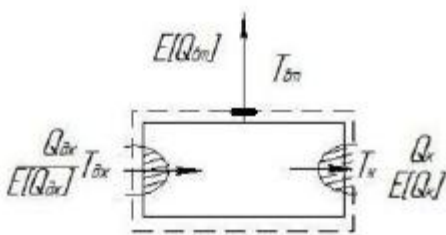


Рис. 1.4 Схема опалювальної системи

Для оцінки ефективності використання енергії і ексергії в опалювальній системі звернемося до її спрощеної схеми (рис.1.4): система – замкнута, температури $T_{дж}$, $T_{к}$, $T_{вт}$ сталі, режим стаціонарний. Коефіцієнт перетворення енергії COP (або φ), який показує, як система виконує своє призначення отримуємо:

$$COP = \frac{\text{користь}}{\text{затрата}} = \frac{Q_{к}}{Q_{дж}} = 1 - \frac{Q_{вт}}{Q_{дж}}$$

Визначимо термодинамічну досконалість протікання процесів в системі за допомогою ексергетичної ефективності (ККД):

$$\eta_{ex} = \frac{Q_{к} \cdot T_{к}}{Q_{дж} \cdot T_{дж}} = \varphi \cdot \frac{\tau_{к}}{\tau_{дж}} = \varphi \cdot \frac{1 - \frac{T_{о}}{T_{к}}}{1 - \frac{T_{о}}{T_{дж}}} \quad (*)$$

Рівняння (*) вказує на два фактори, які визначають енергетичну ефективність (досконалість) опалювальної системи. Перший, відношення $\frac{Q_{к}}{Q_{дж}} = \varphi$ повинно бути настільки близько до одиниці, наскільки це можливо. Другий, значення $T_{дж}$ повинно наближатися до $T_{к}$ ($T_{дж} \rightarrow T_{к}$, $\varphi \rightarrow 1$, $\eta_{ex} \rightarrow 1$)

2. Створення енергетичних каскадів. Керуючись каскадним принципом, потреби споживачів в різних рівнях вмісту ексергії можуть задовольнятися послідовно, від високо- до низькоексергетичних потреб.
3. Принцип регенерації. Системи регенерації ефективно працюють з тепловими насосами. За рахунок регенерації зазвичай зменшуються зовнішні втрати і більш ефективно спрацьовуються в системі рушійні сили (різниця температур).
4. Принцип інтеграції, як об'єднання різних функцій в одній технічній системі (наприклад когенераційні установки) або об'єднання різних джерел енергії в системі теплопостачання.

Перелік посилань:

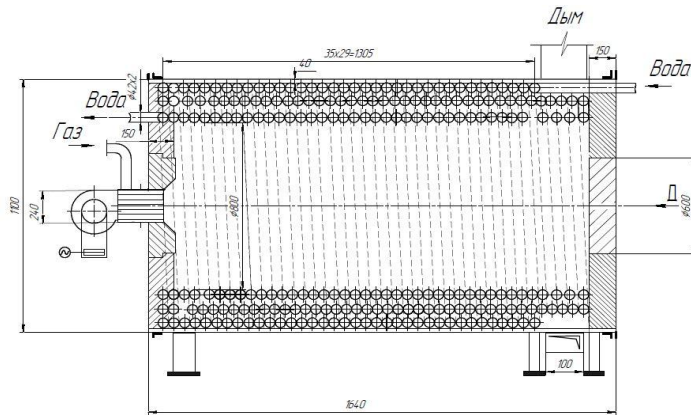
1. Low Exergy Systems for High-Performance Buildings and Communities. Annex 49, Summary report.

УДК 536.2

Магістрант 5 курсу, гр. ТП-61м Осипенко Є.О.
Проф., д.т.н. Варламов Г.Б.

КОМПЛЕКСНІ ПЕРЕВАГИ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРА АОМ НОВОГО ПОКОЛІННЯ

Теплогенератори серії АОМ (агрегати опалювальні модульні) відрізняються від котлів компактністю, низькою металоємністю, незначним внутрішнім об'ємом води, сучасними системами автоматичного управління, з використанням можливості регулювання та електронного керування співвідношенням “газ-повітря” [1]. Сучасні вимоги з енергетичної ефективності й екологічної безпеки актуалізують впровадження нових засобів та технологій вдосконалення робочих процесів у теплогенераторах. Одним із можливих заходів є застосування інноваційних технологій спалювання (мікрофакельні



пальники) та конструктивні зміни топкової камери. В роботі застосовано газопальниковий пристрій мікрофакельного типу ГПМТ [2] та нова конструкція топкової камери. Ці заходи дозволяють підвищити ККД установки до 96% з одночасним покращенням тепломасобмінних процесів та екологічних показників. Конструктивною відмінністю опалювального

агрегату АОМ нового покоління є нова конструкція топкової камери, яка утворена набором універсальних спіралеподібних трубчатих поверхонь нагріву, які утворюють топкову частину котла та конвективні поверхні, що сприяє збільшенню поверхні теплообміну та шляху контакту газів з цією поверхнею.

Перелік посилань:

1. Варламов Г.Б., Любчик Г.Н., Маляренко В. А. Теплоенергетичні установки та екологічні аспекти виробництва енергії: Підручник. – К.:ІВЦ Видавництво Політехніка, 2003.-232с.: іл.
2. Варламов Г.Б., Родінков С.Ф., Приймак К.О., Оліневич Н.В., Варламов Д.Г. Газовая горелка трубчатого типа с газовыми инжекторами. Євразійський патент № 21651 вид. 31.08.2015 року. 4 стор.

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛООБМІНУ В ТРУБНОМУ ПУЧКУ АПАРАТА ПОВІТРЯНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ

На сьогоднішній день апарати повітряного охолодження мають дуже широке застосування [1, 2]. Вони призначені для охолодження газоподібних і рідких середовищ в газовій, хімічній та нафтохімічній промисловості. Наприклад, широке використання апаратів повітряного охолодження в нафтопереробній промисловості пояснюється обмеженістю водних ресурсів та необхідністю зменшення кількості стічних вод, які забруднюють водойми і для очищення яких потрібні складні гідротехнічні споруди. Апарати повітряного охолодження (АПО) прості в експлуатації, ремонт та очищення їх не вимагають великих трудових витрат. Зовнішня поверхня теплообміну майже не забруднюється холодоагентом (повітрям), навіть якщо обдувати їх запиленним повітрям і при великому коефіцієнті оребрення теплообмінних труб. На зовнішній теплообмінній поверхні відсутня корозія, яка зазвичай притаманна всім конденсаторам і холодильникам. Це полегшує вибір матеріалу труб для повітряних конденсаторів. АПО економічно виправдані у порівнянні з іншими відомими охолоджувачами.

Недоліками АПО є велике енергоспоживання за рахунок потужного привода вентилятора, що робить їх дорогими в експлуатації. Потужний вентилятор потрібний для подолання великого аеродинамічного опору повітря при русі його через пучок труб, для ефективного використання всієї теплообмінної поверхні. Через низьку швидкість нагрітого повітря на виході з теплообмінних секцій може виникнути рециркуляція, тобто зворотній повітряний потік в зону розрідження на вході вентилятора. Розподіл охолоджуваного середовища по трубах пучка з камери його підвода також призводить до збільшення гідравлічного опору. Найбільш знижується теплова ефективність влітку, коли збільшується температура зовнішнього повітря.

АПО можуть бути виготовлені з горизонтальним, вертикальним або зигзагоподібним розташуванням секцій, які розраховані на тиск середовища, що охолоджується, до 120 кгс/см². Конструкції АПО розраховуються на компоновку їх в ряд з декількох апаратів. Для зручного обслуговування апаратів споруджуються спеціальні майданчики.

В доповіді розглянуто спосіб інтенсифікації тепловіддачі від охолоджуваного робочого тіла до внутрішньої поверхні труб теплообмінних секцій.

Перелік посилань:

1. Апарат повітряного охолодження газу [Електронний ресурс] / Російські патенти на винаходи і авторські свідоцтва СРСР на українській мові – Режим доступу до ресурсу: <http://findpatent.com.ua/patent/251/2518708.html>.

2. Апарат повітряного охолодження газу [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://frunze.com.ua/uk/produksiya/ustatkuvannya-tehnologichne-naftogazo/aparati-povitryanogo-oholodzhennya-apo/>

КОЕФІЦІЄНТ ТЕРМОДИНАМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ СУЧАСНИХ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ

Часто для попередньої оцінки енергетичних показників теплового насосу зручно користуватися формулою, в яку входять температури джерел [1]:

$$\phi_d = \eta_{\text{те}} \cdot T_{\text{г}} / (T_{\text{г}} - T_{\text{х}}),$$

де ϕ_d – дійсний коефіцієнт перетворення теплового насосу (COP);

$T_{\text{г}}$ – температура гарячого джерела;

$T_{\text{х}}$ – температура холодного джерела;

$\eta_{\text{те}}$ – коефіцієнт термодинамічної ефективності.

Як видно з наведеного рівняння $\eta_{\text{те}} = \phi_d / \phi^{\text{Карно}}$, тобто коефіцієнт термодинамічної ефективності показує, як система виконує своє призначення в порівнянні з ідеальними умовами (оборотній цикл Карно). Таким чином, $\eta_{\text{те}}$ може служити показником, який дозволяє порівнювати між собою різні цикли при різних температурах [2].

В загальному випадку коефіцієнт термодинамічної ефективності враховує як внутрішні, так і зовнішні необоротності (див. рис.): теплообмін робочої речовини з джерелом і приймачем теплоти ($T_{\text{г}}$ менше температури конденсації $T_{\text{к}}$, а $T_{\text{х}}$ вище температури випаровування $T_{\text{в}}$), втрати при дроселюванні пари (3-4), її перегрів перед компресором (5-5') та переохолодження після конденсатору (3-3'), втрати від перегріву стисненої пари в компресорі вище температури конденсації та необоротність в процесі стиснення (5-6), втрати від гідравлічного опору (процеси 6-3' та 4-5 не ізобарні), а також електромеханічні втрати в приводі компресора.

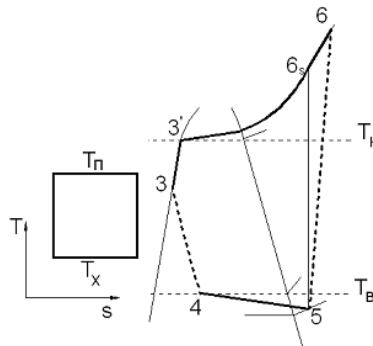


Рис. T,s-діаграма оборотного циклу Карно та реального циклу парокompресорного теплового насосу

В роботі [1] наведено значення $\eta_{\text{те}} = 0,45-0,55$ (при корисній тепловій потужності 200-1000 кВт), який отримано на основі даних випробувань теплових насосів до 1972 року. Для сучасних ТН мінімально допустимі значення $\eta_{\text{те}}$ вищі і в багатьох країнах контролюються національними стандартами. Так, в США в 2006 році введено стандарт, за яким встановлюється значення $\eta_{\text{те}}$ не нижче 0,55-0,65.

В роботі ставиться завдання оцінити значення $\eta_{\text{те}}$ на основі доступних експлуатаційних даних сучасних теплових насосів.

Перелік посилань:

1. Мартыновский В.С. Анализ действительных термодинамических циклов. – Энергия. М., 1972. – 216 с.
2. Куделя П.П., Соломаха А.С., Очеретяно М.Д. Оцінка ефективності опалювальних теплових насосів з використанням методу циклів // Відновлювана енергетика. – 2016. – №4. – с.74-85.

УДК 628.54 (075.8)

Студент 4 курсу, гр. ТП-31 Гальєгос Х..
Ст.викл. Голяд М.Н.

УТИЛІЗАЦІЯ НАДЛИШКОВОГО АКТИВНОГО МУЛУ ПІСЛЯ БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ

Характерною особливістю очищення стоків, особливо господарчо-побутового походження, є значний приріст, в аеротенках різних типів і конструкцій та біофільтрах, так званого залишкового активного мулу. Він є сам по собі доволі цінний (37-52 % білків, 20-35 % амінокислот, вітаміни групи В, якщо рахувати на суху масу) продукт, котрий можна використовувати для годування тварин, риб та птиці [1,2].

В розвинутих країнах Заходу (наприклад, в ФРН) допускається використання активного мулу (заздалегідь термічно висушеного і пастеризованого при нагріванні до 80-90 °С з наступним витримуванням на протязі 5 хв.) в якості добрив для сільськогосподарських угідь. В ФРН також запропоновано спосіб спалювання мулу з отриманням замінників нафти і вугілля.

В кінці 20-го століття в країнах Західної Європи розроблена технологія отримання вітаміну В₁₂ (мул доводять до вологості 95-96 %, обробляють сірчаною кислотою до рН=3 і направляють в реактор, де нагрівають до 110 °С; після охолодження з мулу виділяють тверді частки, які використовують як добрива, а фільтрат направляють в коагулятор, де доводять величину рН до 5, потім ця маса відстоюється 1-6 год., осад відділяють на центрифугі, а фільтрат випаровують, обробляють лугом, сушать, дроблять і фасують).

В ті ж часи була розроблена технологія отримання суміші кормових дріжджів з активним мулом (мул вологістю 96,5 % з вторинних відстійників аеротенків подають в змішувач, в який направляють, у відношенні 10:1, і концентровані дріжджі; цю суміш потім сушать) та отримання білку.

З того ж таки залишкового активного мулу можна отримати без введення будь яких реагентів такий цінний адсорбент як активне вугілля, який широко використовується в різних галузях промисловості. Для цього мул після центрифуги сушать 16 год. при 105 °С, потім карбонізують (процес піролізу в печах без доступу повітря при 700-800 °С). Активацію вугілля проводять водяною парою при 800 °С (при цьому в якості каталізатора додають карбонат калію). Процес проводять в печах різної конструкції.

Перелік посилань:

1. Родионов А.И. и др. Техника защиты окружающей среды. – М.: Химия, 1989. – 512 с.
2. Федяева О.А. Промышленная экология. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2007. – 145 с.

ПОРІВНЯЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СПОСОБІВ ТЕРМОІЗОЛЯЦІЇ БУДІВЕЛЬ

Актуальним питанням в промисловій і муніципальній теплоенергетиці є запровадження енергозберігаючих заходів в житлових, громадських та промислових будівлях. Значна частина потоку підведеної теплоти від систем опалення втрачається в будівлях у навколишнє середовище через зовнішні стіни, світлові отвори, дахові і підвальні перекриття [1, 2].

Зменшення теплових втрат існуючими будівлями можливе, наприклад, за рахунок додаткового утеплення зовнішніх стін. У якості теплоізоляційного матеріалу використовують поліуретановий розчин, мінеральну вату, скловату, плити з пінопласту, насипний перліт і т.ін. Теплоізоляційний матеріал закріплюють з зовнішньої чи внутрішньої поверхні стіни або в прошарку. Основною характеристикою теплоізоляції є термічний опір теплопередачі. Мінімальне допустиме значення термічного опору теплопередачі зовнішніх стін житлових та громадських будівель, наприклад для першої температурної зони, до якої відноситься м. Київ, складає $R_{q \min} = 3,3 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)/Вт}$ [1].

Оптимальну товщину утеплювача визначають за величиною мінімальних зведених витрат, грн/м²

$$B = K_p + (B_{\text{екс}} + aK_p)z_n, \quad (1)$$

де K_p – капіталовкладення в реконструкцію стіни, грн/м²; B – поточні витрати на компенсацію втрат теплоти через стіну, грн/(м² · рік); a – коефіцієнт амортизаційних відрахувань, 1/рік; z_n – нормативний термін окупності додаткових капіталовкладень, років.

Розрахунки виконували при утепленні зовнішніх стін корпусу № 5 теплоенергетичного факультету НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» при використанні декількох утеплювачів. При цьому термічний опір теплопередачі утепленої стіни при оптимальних товщина ізоляції був не менше мінімально допустимого.

Оптимальними товщинами ізоляції згідно з розрахунками є:

- поліуретановий розчин = 70 мм;
- мінеральна вата = 100 мм;
- скловата = 100 мм;
- перліт насипний = 200 мм;
- плити з пінопласту = 150 мм.

З розглянутих матеріалів для термоізоляції будівлі за найменшими значеннями зведених витрат найдоцільніше використовувати перліт насипний та плити з пінопласту.

Альтернативою вище описаного способу зменшення теплових втрат є так зване «активне» утеплення, що складається з термоізоляції і теплообмінного контуру у вигляді труб. Ефективність такого теплозабезпечення заснована на принципі збереження теплоти і підтримці необхідної температури у приміщеннях.

Перелік посилань:

1. ДБН В.2.6 – 31:2006зі зміною №1 від 1 липня 2013 року. Конструкції будівель і споруд. Теплова ізоляція будівель. - Чинні від 2007 - 04 -01. –Київ: Мінрегіонбуд України, 2006.-70 с .

2. Боженко М.Ф. Енергозбереження в теплопостачанні : навч. посіб. / М.Ф. Боженко, В.П. Сало. – К. : НТУУ «КПІ», 2008. – 268 с.

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ ТОРФУ

Збільшення тарифів на традиційні енергоносії, зокрема газ, застарілі енергетичні комплекси, екологічні проблеми - змушує шукати нові альтернативні джерела, такою альтернативою являється торф, запаси якого в Україні перевищують запаси рідкого й газоподібного палива. Із сировини можна виробляти торф'яні гранули (пелети), торф'яні брикети, торф кусковий та торф фрезерний [1].

Торф може використовуватися в якості комунально-побутового місцевого палива та служити джерелом сировини для інших галузей народного господарства, також може застосовуватися в якості твердого палива на промислових підприємствах - для газогенераторів, в заводських котельнях, на залізничному транспорті. Комплексне використання торфу одночасно для потреб сільського господарства та промисловості обумовлюється наявністю великої різноманітності його видів навіть в межах одного родовища.

Загальний енергетичний потенціал промислових запасів торфу в Україні, який представляє собою енергопотенціал всіх його геологічних запасів, в перерахунку на умовне паливо становить 836,5 млн. т у.п.; економічно доцільний потенціал або енергетичний потенціал балансових родовищ - приблизно 362 млн. т у.п.

Торф'яні брикети є гідною альтернативою традиційним видам палива, мають достатньо стійкий органічний склад й вміст шкідливих домішок у ньому мінімальний. Димові гази практично не містять екологічно шкідливих речовин, а торф'яна зола - аналогічна деревної, що дозволяє використовувати її як ефективне калійне добриво. Торфобрикети представляють собою міцні шматки однакової форми, отримані з фрезерного торфу шляхом його подрібнення та розсівання. У першу чергу торфобрикети використовуються для спалювання в міських котельнях, водонагрівальних котлах, а також для різних побутових потреб.

Незважаючи на широку географію покладів торфу, низьку вартість торф'яних брикетів при відносно високих теплотворних показниках, українська торф'яна промисловість не тільки практично не розвивається, а, навпаки, з кожним роком все сильніше занепадає.

Перелік посилань:

1. <http://bio.ukrbio.com/ua/articles/4344/>

ТЕРМОДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ ДВОСТУПЕНЕВОЇ ХОЛОДИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

Як відомо, чим нижче температура холодоагенту, яку необхідно підтримувати у випарнику, тим нижче ефективність холодильної установки. Крім того, великий діапазон тисків в циклі призводить до дуже низької ефективності компресору. В наслідок цього, для отримання низьких температур застосовують каскадні холодильні установки, які фактично представляють собою дві (іноді три та більше) холодильних установки, які працюють послідовно в каскаді [1]. В таких холодильних установках проміжний теплообмінник між циклами слугує одночасно конденсатором для нижнього циклу та випарником для верхнього.

Якщо температурний діапазон та властивості фреону дозволяють використовувати його в обох циклах, то вигідним є використання, так званої, двоступеневої (multistage) холодильної установки, в якій теплообмінник між циклами замінюється на парорідинний сепаратор (див. рис.).

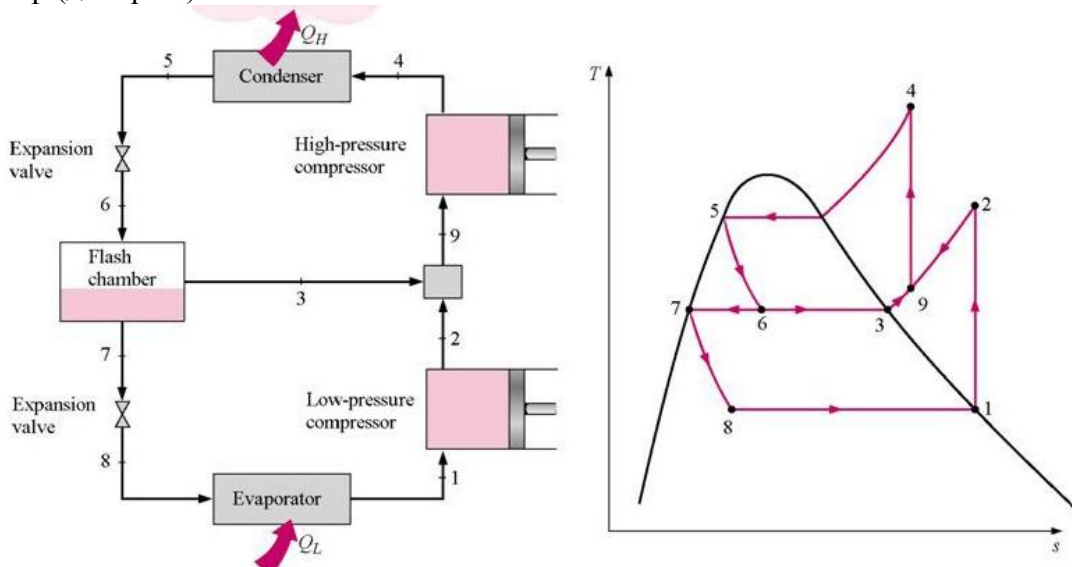


Рис. Принципова схема двоступеневої холодильної установки та її цикл в T, s - координатах

В такій установці холодоагент в стані насиченої рідини виходить з конденсатора (т.5) і дроселюється до стану ВНП в т.6. В сепараторі відбувається розділення суміші.

Суха насичена пара (т.3) змішується з перегрітою паром, що виходить з компресора низького тиску (т.2), а отримана суміш (т.9) стискується в компресорі високого тиску до тиску конденсації (т.4) і далі конденсується в конденсаторі.

Відсепарована насичена рідина (т.7) дроселюється до тиску в випарнику (т.8), випарується (т.1) та стискується в компресорі низького тиску (т.2).

В роботі виконано розрахунок двоступеневої холодильної установки, яка працює на фреоні R-134. В порівнянні з простою холодильною установкою розглянута схема дозволяє суттєво підвищити COP за рахунок зменшення роботи стиснення та збільшення холодопродуктивності.

Перелік посилань:

1. Y. Cengel, M. Boles. Thermodynamics. – 5th ed. – 2006. – 963 p.

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛО- І МАСООБМІНУ ЗА ДОПОМОГОЮ РОТАЦІЙНО ПЛІВКОВИХ ТЕПЛООБМІННИХ АПАРАТІВ

Для здійснення таких процесів, як випарювання, дистиляція, ректифікація, ще з середини ХХ-го століття почали застосовувати плівкову тепло- і масообмінну апаратуру, яка дозволяла звести до мінімуму ступінь термічної дії на продукти переробки, знизити їх втрати та покращити якісні показники. Значне скорочення часу перебування продукту в зоні підвищених температур та зниження температури процесів відбувається завдяки тому, що плівкові апарати в порівнянні з іншими (ємнісні, барботажно-тарільчаті і т.п.) мають значно менший гідравлічний опір [1, 2].

В наш час є безліч конструкцій плівкових випарників, які вирішують різні недоліки своїх попередників. Однією з таких є ротаційно-плівковий апарат (РПВ), в якому рух плівки рідини забезпечується переважно за допомогою механічного впливу зі сторони певних обертових пристроїв (ротора).

Найбільших змін у цих апаратах зазнавали пристрої, які розподіляють рідину на поверхні теплообміну якомога доцільніше. Для цього у ротаційно-плівкових випарниках застосовують ротори з лопатками та насадками різних конфігурацій та кріплень.

Найбільш розповсюджені конструкції (див. Рис. 1) такі, як:

- а) Лопатки, які жорстко з'єднані із валом і мають постійний зазор із внутрішньою поверхнею корпусу.
- б) Лопатки, які кріпляться шарнірно, і під час роботи зазор між кромкою лопатки і корпусом апарата встановлюється самовільно.
- в) Маятникові лопатки, встановлюються на валу ротора за допомогою підвісів, які при обертанні ротора займають радіальне положення із мінімальним зазором (0,3-0,5 мм).
- г) Ротори бризгального типу, при обертанні яких перед лопаткою утворюється турбулентний рідинний валок, за лопаткою залишається тонкий шар рідини, стікаючий в ламінарному режимі під дією сил гравітації.

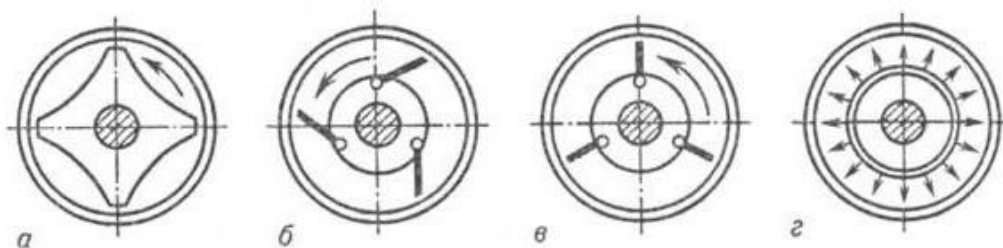


Рис. 1. Ротори вертикальних плівкових апаратів

В порівнянні з традиційним плівковим випарником РПВ має додаткові переваги. Рівномірний розподіл та інтенсивне перемішування рідини дозволяють при малих лінійних густинах зрошення отримувати відносно високі коефіцієнти теплопередачі. При цьому за один прохід рідини через апарат, можна досягти необхідного концентрування розчину, при мінімальному часі перебування продукту в апараті.

На нашу думку, ці особливості РПВ дають широкий простір для подальших наукових досліджень інтенсивності тепло- і масообмінних процесів із нетрадиційними теплоносіями різної в'язкості та розробок, пов'язаних з ними.

Перелік посилань:

1. <http://www.xumuk.ru/encyklopedia/2/3409.html>
2. Пленочная тепло- и массообменная аппаратура/ Под ред. В. М. Олевского — М.: Химия, 1988. 240 с.: ил. — 199 с.

ТЕРМОДИНАМІЧНА ЕФЕКТИВІСТЬ УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛОТИ СТИЧНИХ ВОД У ТЕПЛОНАСОСНІЙ СХЕМІ ОПАЛЕННЯ ТА ВЕНТИЛЯЦІЇ

В результаті порівняно постійного споживання теплоти на гаряче водопостачання протягом року значні об'єми умовно-чистих стічних вод будівель із температурою близько 32°C [1] відводяться в каналізацію. За теперішнього розповсюдження теплонасосних систем із комбінованим використанням низькотемпературних джерел та споживачів теплоти стічні води є доволі стабільним та умовно безкоштовним джерелом. На рисунку 1 зображено принципову схему теплонасосної системи опалення та вентиляції з використанням теплоти вентиляційного та попередньо підігрітого за рахунок теплоти стічних вод атмосферного повітря.

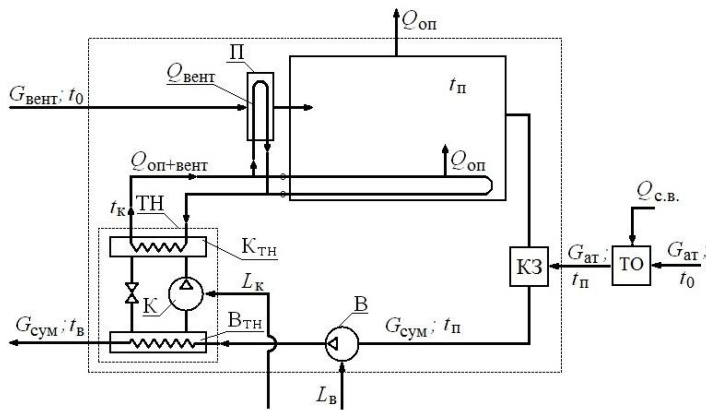


Рис. 1. Принципова схема комбінованої теплонасосної системи низькотемпературного водяного опалення та вентиляції з використанням теплоти вентиляційного та підігрітого за рахунок стічних вод атмосферного повітря: ТН – тепловий насос; К_{ТН} – конденсатор ТН; В_{ТН} – випарник ТН; К – компресор; В – вентилятор; П – підігрівник повітря; КЗ – камера змішування; ТО – теплообмінник на стічних водах.

В даній схемі застосовується повітряно-водяний теплообмінний апарат для підігріву атмосферного повітря перед камерою змішування (КЗ). Таким чином після КЗ у випарник теплового насоса подається суміш вентиляційного та атмосферного повітря з температурою приблизно рівною температурі у приміщенні (20°C).

Розроблено теоретичну модель комбінованої теплонасосної системи опалення і вентиляції та виконано числовий аналіз її термодинамічної ефективності. Аналіз даної схеми показав, що за рахунок утилізації теплоти стічних вод сумарні питомі затрати зовнішньої енергії на опалення та вентиляцію зменшуються у порівнянні зі схемою без теплообмінного апарату [2]. Були отримані графічні залежності з зображенням оптимальних режимів роботи теплонасосної системи. Як критерій термодинамічної ефективності вибрано величину сумарних питомих затрат зовнішньої енергії на комбіновану ТНС опалення та вентиляції, яка являє собою відношення затраченої зовнішньої енергії на одиницю отриманої теплоти для задоволення потреб опалення та вентиляції. Встановлено за яких умов ця величина становитиме мінімальне значення.

Перелік посилань:

1. Безродний М. К. Теплові насоси та їх використання [Текст] : навч. посіб. / М. К. Безродний, І. І. Пуховий, Д. С. Кутра. – К.: НТУУ «КПІ», 2013. – 312 с.
2. Безродний М. К. Термодинамічна та енергетична ефективність теплонасосних схем теплопостачання: монографія / М. К. Безродний, Н. О. Притула. – К.: НТУУ «КПІ» Вид-во «Політехніка», 2016. – 272с.

ВИЗНАЧЕННЯ ДОВЖИНИ ПОЧАТКОВОЇ ТЕМПЕРАТУРНОЇ ДІЛЯНКИ ПРИ КОНДЕНСАЦІЇ ЧИСТОЇ ПАРИ НА ВЕРТИКАЛЬНІЙ ЛАМІНАРНІЙ ПЛІВЦІ

Довжина початкової ділянки (гідродинамічний пограничний шар розвивається на вертикальній поверхні, а температурний – на поверхні розподілу фаз; перший набагато менший другого через $Pr > 5$) визначалася із залученням існуючого в класичній теорії теплопровідності поняття про швидкість розповсюдження ізотерми [1] $W_T = 2\sqrt{\frac{a}{\tau}}$ (a - коефіцієнт температуропроводності; τ - час прогрівання плівки від її міжфазової поверхні до стінки).

Визначаючи величину τ як $\tau = y_{II} / \bar{u}$ (y_{II} - довжина початкової температурної ділянки; \bar{u} - середня швидкість руху плівки; $\bar{u} = \frac{1}{\delta} \int_0^{\delta} u dy = \frac{g\delta^2}{3\nu}$; u - повздовжня швидкість ламінарної плівки; поперечний її розподіл приймався у відповідності з відомим виразом Нуссельта; δ - товщина плівки).

$$\text{З іншого боку, час } \tau \text{ можна визначити як } \tau = \frac{\delta}{W_T} = \frac{\sqrt{3y_{II}\nu}}{2\sqrt{ag}}.$$

Комбінуючи наведені вирази можна отримати залежність для величини довжини початкової температурної ділянки, яка, якщо виділити відповідні критерії має вид:

$$y_{II} = 0,0568 \left(\frac{\nu^2}{g} \right)^{\frac{1}{3}} \text{Re}^{4/3} \text{Pr}. \quad (1)$$

В (1) $\text{Re} = 4\Gamma/(\rho\nu)$ - критерій Рейнольда; Pr - критерій Прандтля.

Порівняння значень, отриманих по (1) з експериментальними даними [2] показало задовільне їх співпадіння в інтервалі чисел Прандтля $5 < Pr < 8$ (від 14 % до 3 %).

Перелік посилань:

1. Лыков А.В. Тепломассообмен.- М.: Энергия, 1978.- 480 с.
2. Каваниси К. и др. Конденсация пара на вертикальностекающей пленке переохлажденной воды /Пер. с яп. //Мицубиси дзюко гихо. 1973, Т. 10, № 4. – С. 457 – 464.

ТЕРМОДИНАМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕПЛОНАСОСНОЇ СХЕМИ ОПАЛЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕПЛОТИ ГРУНТУ ТА СТІЧНИХ ВОД

Умовно-чисті стічні води житлових будинків вважаються майже ідеальним джерелом теплоти для теплових насосів (ТН). Але слід зазначити, що цієї теплоти зазвичай недостатньо для забезпечення опалення будинку [1, 2]. Тому було запропоновано комбіновану схему опалення ТН з використанням теплоти ґрунту спільно з теплою стічних вод будинку. Схема реалізації такого підходу приведена на рисунку 1.

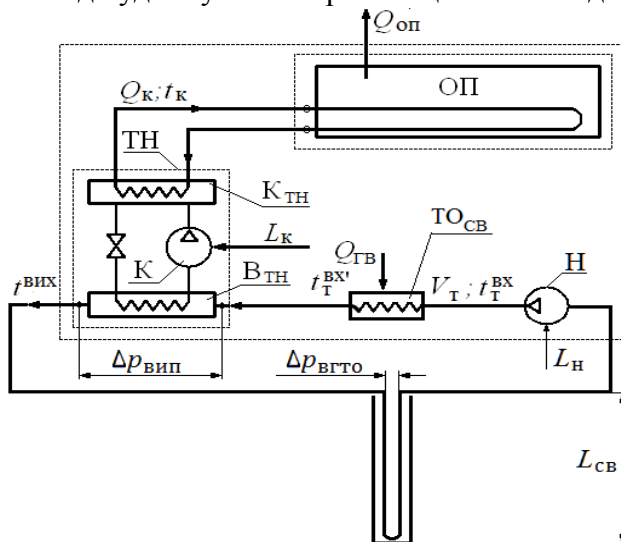


Рис.1 – Принципова схема комбінованої теплонасосної системи низькотемпературного водяного опалення з використанням теплоти стічних вод і ґрунту: ОП – опалюване приміщення, ТН – тепловий насос, К_{ТН} – конденсатор ТН, В_{ТН} – випарник ТН, К – компресор, Н – насос, ТО_{СВ} – теплообмінник стічних вод, L_К – робота приводу компресора ТН, L_Н – робота приводу насоса, L_{СВ} – глибина свердловини.

Особливістю даної схеми є встановлення додаткового теплообмінного апарата (далі ТОА) на стічних водах в нижньому контурі з метою додаткового підігріву теплоносія після ґрунтового ТОА перед випарником ТН.

Як показник термодинамічної ефективності вибрано величину сумарних питомих затрат зовнішньої енергії на ТНС опалення, яка являє собою відношення затраченої зовнішньої енергії на одиницю отриманої теплоти для задоволення потреб опалення

$$l_{\text{оп}} = \frac{L_{\text{К}} + L_{\text{Н}}}{Q_{\text{оп}}}$$

В результаті термодинамічного аналізу представленої схеми був побудований алгоритм вирішення задачі, числова реалізація якого дозволила отримати залежності, що свідчать про ефективність застосування даної схеми опалення житлового будинку в порівнянні з теплонасосною системою опалення з використанням лише теплоти ґрунту. Числовий аналіз також показав, що при роботі такої комбінованої схеми змінюються оптимальні умови роботи ґрунтового теплообмінника, пошук яких буде задачею подальших досліджень.

Перелік посилань:

1. Зимин Л.Б. Анализ эффективности теплонасосных систем утилизации теплоты канализационных стоков для теплоснабжений социальных объектов / Л.Б. Зимин, Н.М. Фиалко // Промышленная теплотехника. – 2008. – №1. – С.77-85.
2. Безродний М. К. Термодинамічна та енергетична ефективність теплонасосних схем теплопостачання: монографія / М.К. Безродний, Н.О. Притула. – Київ : НТУУ «КПІ» Вид-во «Політехніка», 2016. – 272 с

ОЦІНЮВАННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ КОНТАКТНОЇ СТАБІЛІЗОВАНОЇ ТЕПЛОВІДДАЧІ ВІД ПГС ДО ЛАМІНАРНОЇ ВЕРТИКАЛЬНОЇ ПЛІВКИ

Автори не виявили в літературі робіт, що присвячені контактній стабілізованій тепловіддачі від ламінарного парогазового потоку до ламінарної вертикальної плівки. Використання рішення [1], де $Nu_d = 13.6$, для випадку стабілізованої тепловіддачі при конденсації чистої пари на вертикальній плівці непевне через вельми низький термічний опір зі сторони чистої пари в порівнянні з термічним опором ПГС.

Прийmemo в першому наближенні, що для випадку, що розглядається справедлива залежність $Nu_d = \alpha \cdot d / \lambda = C$. Наша задача - визначити коефіцієнт C .

Згідно метода Кармана – Польгаузена [2] для самих простих граничних умов (при: $y = 0, T = T_{CT}; y = \delta, T = T_{ПОВ};$) отримуємо розподіл температури поперек плівки у вигляді

$$T = T_{CT} + (T_{ПОВ} - T_{CT}) \frac{y}{\delta}.$$

Маючи на увазі, що $\alpha = q / \Delta T_{CP}$, $q = -\lambda \left(\frac{dT}{dy} \right)_{\delta}$, а $\Delta T_{CP} = T_{ПОВ} - T_{CP}$ (де $T_{CP} = \frac{1}{\delta} \int_0^{\delta} T dy$)

отримуємо $q = \lambda \cdot \left(\frac{T_{ПОВ} - T_{CT}}{\delta} \right)$, $\Delta T_{CP} = T_{ПОВ} - T_{CT} / 2$ та $\alpha = 2\lambda / \delta$.

Тепер можна визначити коефіцієнт C , враховуючи, що еквівалентний діаметр плівки $d = 4\delta$:

$$C = \frac{\alpha \cdot d}{\lambda} = \frac{2\lambda \cdot 4\delta}{\delta \cdot \lambda} = 8.$$

Таким чином, в результаті проведеного оцінювання отримана залежність для тепловіддачі для випадку, що зараз розглядався, яка при однакових умовах порівняння на 6 % більша тепловіддачі при нагріванні (охолодженні) вертикальної поверхні стабілізованою ламінарною плівкою (в цьому випадку $C = 7,5$) та на 41 % менше для випадку контактної конденсації чистої пари на вертикальній ламінарній плівці.

Всі наведені умовні позначення відомі.

Перелік посилань:

1. Гимбутис Г. Теплообмен при гравитационном течении пленки жидкости. – Вильнюс.: Моклас, 1988. – 233 с.
2. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. – М.: Наука, 1974. – 711 с.

Студент 3 курсу, гр. ТП-42 Вовченко Д.І.
Доц., к.т.н. Гавриш А.С.

ПРО ОСОБЛИВОСТІ ТЕПЛООБМІНУ ПРИ КОНДЕНСАЦІЇ ПІД ДІЄЮ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ

Задачі, пов'язані із інтенсифікацією різноманітних процесів теплообміну залишаються актуальними стосовно широкого спектру теплотехнічного обладнання. До теперішнього часу були досліджені і запропоновані різноманітні методи інтенсифікації конденсації, зокрема, використання ребер, як турбулізаторів плівки конденсату; створення захисного не змочуваного захисного покриття; застосування поля відцентрових сил, тощо. Також перспективним методом інтенсифікації конденсації є і використання електричних полів [1]. Особливо це стосується процесів фазового перетворення, зокрема, конденсації. Gerstman и Choi показали можливість інтенсифікації конденсації на вертикальній пластині шляхом впливу на товщину плівки електричним полем. Velkoff і Miller досліджували конденсацію парів R-113 на вертикальній мідній пластині при різних напругах поля і геометрії електродів.

Даних про вплив електричного поля на конденсацію провідних рідин, включаючи воду, дотепер практично немає. Актуальність подібних досліджень стосується специфіки розкриття взаємодії двофазних систем з електричними полями і з можливістю використовувати сконденсовану рідину в електрогідродинамічних (ЕГД) генераторах [1]. При розгляді двофазної системи в якості незалежного параметра стану може бути прийнято капілярний тиск. Він враховує дію поверхневих сил на границі розподілу фаз пара – рідина і визначається як різниця абсолютних тисків між рідиною та паром. В даний час відсутня достатня кількість експериментальних даних, що унеможливує знаходження капілярного тиску для реальних двофазних систем. Однак, його величину можна визначити для двофазної газової системи. Розглянемо фрагмент поперечного перерізу гравітаційно-стікаючої плівки, як це показано на рисунку:

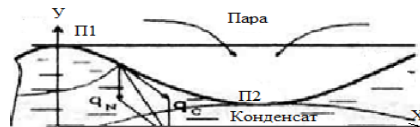


Рисунок. Модель конденсації в електричному полі.

При включенні електричного поля поверхня конденсату деформується, набуваючи хвильових характеристик, і приводить до появи градієнта капілярного тиску вздовж границі розподілу фаз. При цьому капілярний тиск має мінімальне значення П1 на гребні і максимальне - П2 в западині. Градієнт капілярного тиску в свою чергу визначає появу градієнта температур по поверхні. Внаслідок цього появляється додатковий капілярний потік q_c по відношенню до Нуссельтовського потоку q_n .

Процес деформації при постійному тиску супроводжується зміщенням фазової рівноваги в сторону більших температур. В результаті деформації виникає додатковий тепловий потік, що обумовлює ефект інтенсифікації теплообміну і при цьому відбуваються зміни в температурному полі конденсату. Таким чином, загальні закономірності механізму інтенсифікації теплообміну при конденсації є в основному відомими для чистої пари в електричному полі. Вони потребують деталізації для різноманітних утворень конденсату, наприклад, таких як краплини Вензеля і Кейсі. Також залишаються відкритими питання, щодо багатоконпонентної конденсації.

Перелік посилань:

1. Болога М.К., Гросу Ф.П., Поликарпов А.А., Моторин О.В. Конденсация парогазовой смеси в электрическом поле // Электронная обработка материалов, 2009. – №2. – С.57-60.

ПРОБЛЕМА РОЗМОРОЖЕННЯ ВИПАРНИКА В ПОВІТРЯНОМУ ТЕПЛОВОМУ НАСОСІ

Перетворення теплової енергії є основою значної частки технологічних процесів, проте не всі джерела мають достатній потенціал для забезпечення як промислових, так і побутових потреб. Дану проблему ефективно вирішують теплові насоси, які використовують низькопотенційну теплоту в своєму циклі в якості нижнього джерела. Основними перевагами теплових насосів є їх універсальність, широкий спектр застосування, економічність, екологічність, безпека.

Теплові насоси вже займають свою нішу на ринку теплотехнічного обладнання та за прогнозами Міжнародного енергетичного агентства будуть забезпечувати 10% потреб в енергії на опалення в країнах ОЕСР до 2020 року і 30% - до 2050 року.

Зокрема, значне поширення отримали теплові насоси типу повітря-вода та повітря-повітря, які використовують в якості нижнього джерела теплоту навколишнього повітря. В атмосферному повітрі міститься певна кількість водяної пари і в процесі поглинання теплоти фреоном у випарнику температура повітря знижується, що в зимовий період спричиняє обмерзання зовнішньої поверхні випарника. Шар льоду створює додатковий термічний опір, внаслідок чого знижується коефіцієнт тепловіддачі та ККД теплового насоса.

Для вирішення даної проблеми необхідно проводити процедуру розморозки випарника. З цією метою використовують різні способи, найпоширенішими з яких є розморозка гарячим газом та розморозка з використанням реверсивного циклу. Обидві системи мають як свої переваги, так і недоліки, та кожна з них знайшла практичне застосування. На вибір системи розморозки впливає значна кількість факторів, зокрема час, що необхідний для розморозки, вплив на ККД та теплову потужність, складність монтажу та експлуатації та ін.

В роботі виконується аналіз даних систем розморозки при їх застосуванні для теплового насосу типу повітря-вода HeatGuard виробництва компанії ІВІК [1].

Перелік посилань.

1. Адреса посилання: http://www.ivik.ua/akciya_teplovoy_nasos_heatguard/

УДК 621.574.9

Студент 3 курсу, гр. ТП-42 Лю Я..
Доц., к.т.н. Барабаш П.О.

ХОЛОДИЛЬНА УСТАНОВКА З ВОДОСТРУМИННИМ КОМПРЕСОРОМ

Відомі пароежекторні холодильні установки, що містять контур циркуляції холодильного агента, в якому послідовно установлені парогенератор, ежектор, конденсатор, живильний насос, що подає зріджений холодильний агент в парогенератор, і другий контур циркуляції холодильного агента, в якому послідовно установлені розширювач і випарник, струминний компресор і конденсатор.

Недоліками вказаних пароежекторних холодильних установок є низька економічність, яка пояснюється тим, що в цих установках разом з теплотою, що витрачається на утворення робочої пари, витрачається і електрична енергія на привід насоса, що живить парогенератор рідкою робочою речовиною.

Цикл холодильної установки, що розглядається [1], працює наступним чином: робочою рідиною в ежекторі [2] є рідина (в даному випадку вода), яка створює необхідне розрідження у випарнику, в результаті фреон (R141b) кипить, випаровується, відбираючи тепло із оточуючого середовища; пара фреону надходить в ежектор, де відбувається підвищення тиску пари із випарника та часткова конденсація її на струмені води; суміш води і фреону подається в сепаратор-конденсатор, де проходить повна конденсація парів фреону та розділення води, яка в подальшому подається насосом на ежектор і сконденсованого фреону, який відсмоктується у випарник за рахунок вакууму, що підтримується роботою ежектора.

Експериментальні дослідження установки із замкненим циркуляційним контуром дали значення холодильного коефіцієнту близьке до 0,5. При розімкненні водяного контура - холодильний коефіцієнт зріс до одиниці.

Перелік посилань:

1. Пат. 72697 Україна, МПКF25В 1/06. Спосіб отримання холоду в бінарному холодильному циклі «КПІ» / Я. Є. Трокоз, П. О. Барабаш, О. Б. Голубев. – № 201201828; заявл. 17.02.2012; опубл. 27.08.2012, Бюл. № 16.
2. Соклов Е. Я. Струйные аппараты / Е. Я. Соклов, Н. М. Зингер. – М: Энергоатомиздат, 1989. – 353 с.

ПРО ЗАСТОСУВАННЯ РЕЧОВИН ТИПУ ДІНІТРОЛ І МЕГАФОРС ДЛЯ ЗАХИСТУ ТЕПЛООБМІННИХ ПОВЕРХОНЬ.

Металеві елементи теплотехнічного обладнання в процесі експлуатації піддаються корозії і ерозії та потребують періодичного догляду, покриття, фарбування, контролю, відновлення та ін. Корозія металу знижує довговічність та надійність металевих конструкцій. Для забезпечення працездатного стану та захисту від корозії металеві поверхні фарбують, наносять гальванічні покриття, застосовують напилення та ін. Швидкість і характер процесу електрохімічної корозії металів залежить від багатьох факторів, які діляться на внутрішні і зовнішні. До внутрішніх відносять фактори, пов'язані з самим металом: термодинамічна стійкість металу, стан його поверхні, структура металів і сплавів, різноманітні напруження і т.п. До зовнішніх факторів відносяться фактори, пов'язані з природою і характером корозійного середовища: кислотність, склад і концентрація розчинів, температура, тиск, швидкість руху рідин та ін.

Практика експлуатації теплотехнічного обладнання з захисними покриттями показує, що порушення нормальної роботи таких апаратів у більшості випадків відбувається через похибки у виборі конструкції, а також підборі того чи іншого покриття поверхні. В сучасному технологічному світі актуальним є питання стосовно боротьби з поверхневими негативними факторами, в тому числі і факторами механічного та хімічного впливу. Антикоровісні засоби, які не тільки захищають від корозії, але і призупиняють, або взагалі припиняють її розвиток, є найбільш затребуваними з точки зору надійної роботи того чи іншого устаткування.

До теперішнього часу розроблений широкий спектр антикорозійних матеріалів, які застосовуються для обробки робочих поверхонь. Вони випускаються під маркою Dinitrol, яка набула поширення і відома в усьому світі. Ці хімічні сполуки випускаються для різних областей застосування. Переважна частина продукції з маркою DINITROL призначена для потреб автомобільної промисловості, але вона може бути використана для комплексної задачі захисту поверхонь теплообміну й інтенсифікації теплообмінних процесів в інших галузях суспільного виробництва. Завдання цих галузей багатогранні, але особливе місце тут належить актуальним проблемам захисту металу від корозії і ерозії в теплотехніці. А в цьому плані марка DINITROL була і залишається світовим лідером як в якісному, і кількісному відношенні. Широка гамма антикорозійних і технологічних матеріалів призначена для авіаційної техніки і традиційно користується виключним попитом. Великий вибір продуктів для залізничного і морського транспорту.

Іншим яскравим представником лінійки захисних речовин є продукція Мегафорс. Такі речовини мають триботехнічний склад і по суті вони є реноваторами, наномодифікаторами. Їх основою слугує силікатно-фулереновий склад. З огляду на те, що до складу Мегафорс входять натуральні мінерали, він відноситься до групи геомодифікаторів. Мегафорс є продукт самостійної дії, компоненти якого, в результаті фізико-хімічного процесу вступають в реакцію із поверхневими матеріалами, і в результаті модифікують їх, змінюючи триботехнічні властивості. В результаті вибіркового перенесення речовин на поверхнях, утворюється пласт із необхідних хімічних компонентів та активаторів. В світовій практиці триботехнології вищевказаний процес називають «ефект Гаркунова». У свою чергу, залежно від умов застосування, триботехнічні засоби, поділяються на шаруваті модифікатори та кондиціонери металів. Кондиціонери металів дозволяють отримати полімерні покриття. Шаруваті ж модифікатори взагалі можуть не утворюють покриттів. Найбільш універсальними та ефективними захисниками поверхонь є силікатовмісні триботехнічні склади.

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ СКЛОПАКЕТІВ, ЯК ЕЛЕМЕНТА ЕНЕРГООЩАДНИХ ТА ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ

В сучасній Україні за останні роки багаторазово зросли потреби у використанні склопакетних технологій. Це стосується не тільки будівництва, а й авіабудівництва, кораблебудування та космічних технологій. Незважаючи на широкий перспективний спектр використання подібних технологій, лівова частка досліджень відноситься до будівництва. Тому в першу чергу закономірним є розгляд і удосконалення віконно-дверних виробів в житловому, офісному і промисловому будівництві.

Найбільший вплив на теплоізоляцію в приміщеннях мають склопакети. Склопакет являє собою набір пластин скла, з газовими проміжками між ними. Передбачається можливість застосування різноманітних покриттів самого скла та використання різних газів, як наповнювачів проміжків між склом. Альтернативою використання повітря в багатокамерних конструкціях слугують інертні гази, які мають кращі теплоізолюючі властивості. Наприклад це стосується аргону та ксенону.

В Україні на сучасному ринку склопакетів присутні безліч фірм, наприклад Veko, Interplast, Rehau, Windoffs, WDS та ін. Таке виробництво сконцентроване в Борисполі, Броварах, Полтаві та інших містах. Виникає необхідність проведення аналізу і порівняння склопакетів, які переважають на ринку пластикових вікон. Основними представниками є однокамерні та двокамерні склопакети з повітряним проміжком та склопакети з теплоізолюючим покриттям Silverstar Zero, які займають 90% усього ринку. Дані порівняння представлені у вигляді таблиць 1 та 2:

Табл.1. Теплопровідність та опір теплопередачі склопакетів.

Назва склопакету	Теплопровідність Вт/(м ² 0С)	Опір теплопередачі (м ² 0С)/Вт
однокамерний (4-16-4)	2,94	0,34
двокамерний (4-10-4-10-4)	2,13	0,47
Silverstar Zero (4-16-4i)	1,69	0,59
Silverstar Zero (4-10-4-10-4i)	0,83	1,2

Табл.2. Роздрібна ціна одного метра квадратного склопакетів.

№	Назва склопакету	Ціна грн/м ²
1	однокамерний (4-16-4)	530
2	двокамерний (4-10-4-10-4)	790
3	Silverstar Zero (4-16-4i)	900
4	Silverstar Zero (4-10-4-10-4i)	1260

З наведених даних можна зробити висновок, що використання двокамерних пакетів є більш доцільним ніж однокамерних. Застосування склопакетів з теплоізолюючим полімерним покриттям є економічно та теплофізично обґрунтованим. Перспективним напрямком для подальшого забезпечення енергоефективності та енергоощадності нерухомості є впровадження склопакетів з теплоізолюючим покриттям.

Студент 3 курсу, гр. ТП-41 Майстренко О.О.; студент 3 курсу, гр. ТП-41 Гончарук П.М.

Доц., к.т.н. Гавриш А.С.

ПРОДУКТИ ПІРОЛІЗУ ПОЛІМЕРНИХ ВІДХОДІВ, ЯК МОЖЛИВА АЛЬТЕРНАТИВА ВИКОПНОГО ПАЛИВА

В сучасному світі гостро стоїть проблема енерго- і ресурсозбереження, а саме покривати всі енергетичні потреби і безпечно утилізувати відходи, які накопичуються в процесі життєдіяльності людства. Більша частина енергетики світу базується на використанні викопного палива, яке є обмеженим. І дивлячись на сучасні об'єми споживання енергії, людство дуже швидко зустрине його дефіцит. Виходячи з цього, ми повинні думати про можливі майбутні альтернативи.

Іншою глобальною проблемою є забруднення навколишнього середовища полімерними відходами, які важко піддаються деструкції. Тому в даній справі не обійтись без сучасних технологій, які дозволяють ефективно і безпечно переробляти полімери. Існує безліч малоефективних і небезпечних способів утилізації пластикового сміття і резино-технічних виробів, найпоширенішим з яких є спалювання. При даній утилізації утворюється дуже багато шкідливих речовин, які мають негативний вплив на довкілля та здоров'я людей. Спалювання полімерів є невиправданим з екологічної та економічної точки зору.

З точки зору комплексного підходу до подальшого використання пластикових відходів вельми ефективним вважається процес піролізу. Цей процес по суті являє термічну деструкцію полімерів при відсутності кисню. Такий підхід дозволяє не тільки вирішити екологічну проблему утилізації пластику та гуми, але й отримувати паливо, яке може стати заміною викопного органічного палива. Продуктами переробки сміття є: технічний вуглець; піролізний газ; синтетичний нафтопродукт, який за своїм складом є аналогом природної нафти; металічний корд та інше.

Процес піролізу проходить при досить високих температурах - порядку 450-700 °С. За даних температур полімерні органічні ланцюжки розпадаються на коротші, при цьому утворюються гази, рідка фракція, та вуглецевий залишок. Характерною рисою новостворених газів є те, що вони є сумішшю органічних сполук з кількістю атомів вуглецю (карбону) від 1 до 4. Також встановлено, що в газовій фазі можуть бути присутніми метан, етан, н-бутан, і-бутан, пропілен, бутен, водень, оксид вуглецю, діоксид вуглецю.

Особливістю синтезованої рідини є її спорідненість з нафтою. Рідкий продукт піролізу має густину від 0,9 г/см³ і може бути віднесений або до важкої нафти за промисловою класифікацією, або до мена-нафтен-ароматичної нафти за хімічною класифікацією. До його складу входять алкани, алкени, циклоалкани, ароматичні вуглеводні.

Експериментальні дані показали, що при переробці 1000 кг автомобільних шин, отримується: 435-550 кг рідкої фракції, 270-350 кг вуглецю, 100-200 м³ газу, 50-100 кг металокорду. Отримана рідка фракція має середню теплоту згорання 39 МДж/кг. Відповідно теплота згорання синтезованих газів складає 40 МДж/м³. Такі показники є близькими до гасу, мазуту, рапсової і соняшникової олії, тощо. Показники для новостворених продуктів згорання значно перевищують теплотворну спроможність умовного палива, балонного газу, усіх видів вугілля, торфу, спиртів, тощо.

Таким чином, використання даної технології сприяє вирішенню двоєдиної комплексної задачі – виробництво додаткових якісних енергоресурсів з одночасною екологічно-безпечною утилізацією полімерних відходів.

УДК 53.043

Студент 3 курсу, гр. ТП-41 Маркулан Є.В.; студент 3 курсу, гр. ТП-41 Магдич В.П.
Доц., к.т.н. Гавриш А.С.

ПРО ЗАСТОСУВАННЯ РЕЧОВИН ТИПУ ДЮРАЛЮБ І ТЕКТИЛ ДЛЯ ЗАХИСТУ ТЕПЛООБМІННИХ ПОВЕРХОНЬ..

Сучасні захисні речовини теплообмінних поверхонь призначаються для використання в екстремальних умовах при високих температурах і повинні забезпечувати довготривалий захист від корозії, іржі та вологи із можливістю антифрикційного ефекту. При їх застосуванні необхідне дотримання таких умов :

- механічна стабільність і стійкість при екстремальних температурах;
- захист від значних ударних навантажень;
- захист від іржі і корозії;
- стабільні показники при екстремальному тиску і навантаженнях ;
- захист від бруду і вологи;

Таким вимогам відповідають речовини лінійки Дюралюб . Вони активно притягуються металом і утворюють надійне з'єднання з усіма металевими поверхнями, формуючи покриття однорідної молекулярної щільності, компенсуючи і ущільнюючи мікропори. В результаті цього, міцність металу в області контакту теплоносія з поверхнею суттєво зростає. Величина сил тертя різко знижується (до 68%). Поверхні стають "дуже слизькими" по відношенню до теплоносія, що призводить до зниження непродуктивних витрат енергії на подолання сил тертя. Зростаючі поверхневі температури сприяють більш активному їх насиченню речовинами типу Дюралюб. А, отже, більш активному відновленню шару мономолекулярного покриття.

Активатори Дюралюб є 100% синтетичними речовинами і по суті являють собою суворо дозовану суміш високотехнологічних компонентів переробки нафти, з'єднаних в результаті унікального технологічного процесу. Таким чином, маємо продукт з оптимальним складом, який не містить твердих частинок (графіту, дисульфіда молібдену, кремнію та ін.) і екологічно шкідливих речовин (наприклад, свинцю). Натомість до його складу обов'язково входить ряд спеціальних компонентів. Може застосовуватись у будь-якому обладнанні , яке працює як при високих так і при низьких температурах.

Іншим універсальним антикорозійним засобом, який не тільки захищає від корозії, але і призупиняє або припиняє її розвиток, є речовини типу Тектил. Це тиксотропні речовини на бітумній основі, призначені для захисту поверхонь, схильних до механічних впливів. Речовина Тектил утворює міцну еластичну тонку плівку чорного кольору. Розпорошується за допомогою спеціального обладнання повітряним або безповітряним способом. Може бути нанесена одним шаром при температурі навколишнього середовища +5 .. + 35 ° С і не вимагає попереднього нанесення ґрунту або праймера. При безповітряному розпорошенні витрата матеріалу скорочується на 15...20%. При цьому стає кращою пропускна здатність робочих поверхонь на 30% і зменшуються витрати на обслуговування.

Тектил поєднує в собі відмінну розпиленість і високу проникаючу здатність, забезпечує надійний захист металевих поверхонь. Еластичне і міцне покриття Тектил має полярне тяжіння до металевих поверхонь, не розтріскується і не твердне з часом. Максимальний ефект може бути досягнутий, якщо поверхні добре очищені і висушені. Перед нанесенням необхідно видалити бруд, іржу та інше. При рекомендованій товщині покриття до 250 мкм витрата активатора становить 2,1 м² / л. Активатор Тектил твердне за рахунок випаровування розчинника. Він має гарне розтікання по необробленим металевим поверхням, ефективний антикорозійний захист, високу зносостійкість, високу швидкість висихання, здатність витіснити вологу, високу плинність по металу, хороші проникаючі здібності (до 5 см).

КАСКАДНІ ЦИКЛИ ХОЛОДИЛЬНИХ УСТАНОВОК

Холодильні установки призначені для того, щоб підтримувати низькі температури (охолоджувати) нижче, ніж температура навколишнього середовища. Існує багато видів холодильних установок, які добре себе зарекомендували та відносно прості в експлуатації. Але якщо перепад температурного рівня значний (особливо в літній період), то виникає проблема збереження високого ККД та низьких температур. Великий діапазон робочих температур означає також великий діапазон тисків в циклі та, як наслідок, дуже низьку ефективність поршневих компресорів.

Один із можливих способів боротьби з такими ситуаціями є реалізація процесу охолодження поетапно, тобто застосування двох або більше холодильних циклів, які працюють послідовно. Такі цикли охолодження називаються каскадними [1, 2].

Їх особливість полягає в тому, що вони складаються фактично з декількох (найчастіше двох) з'єднаних між собою холодильних машин. При цьому в обох машинах може використовуватися як один і той самий холодоагент, так і різні. Для прикладу на рисунку зображено принципову схему та цикл каскадної холодильної установки в T,s -координатах, яка в верхньому циклі використовує аміак, а в нижньому — етилен.

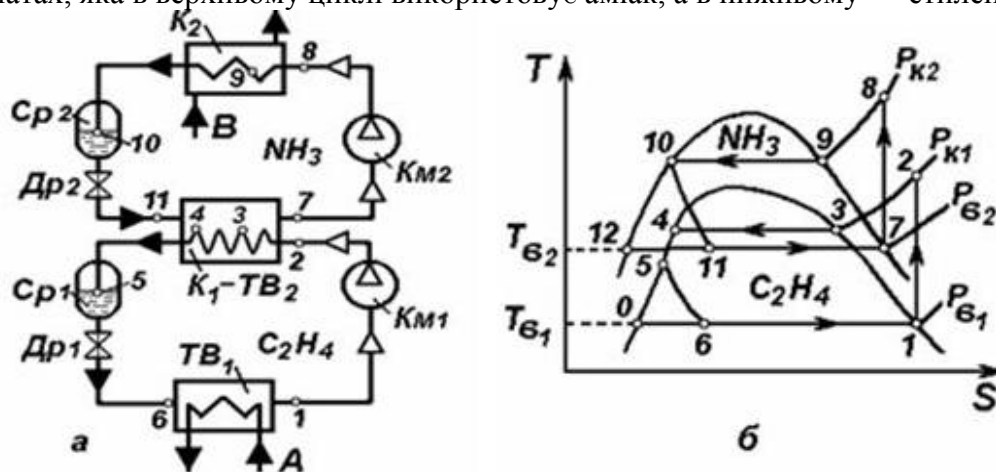


Рис. Принципова схема (а) та цикл в T,s -координатах (б) каскадної холодильної установки [2]

В роботі виконується термодинамічний аналіз каскадних холодильних машин та визначаються їх основні переваги та недоліки.

Перелік посилань:

1. Cengel, Boles - Thermodynamics-5th ed. 2006, 963 p.
2. Адреса посилання: <http://elearning.sumdu.edu.ua>

УДК 536.24

Студент 3 курсу, гр. ТП-42 Панченко О.О.

Асист., к.т.н. Соломаха А.С.

ВІЗУАЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ В КОНТАКТНІЙ КАМЕРІ ЕРЛІФТНОГО ТИПУ

Контактні камери ерліфтного типу використовуються для реалізації ефективного процесу тепломасообміну між газом та водою [1]. Їх принцип дії полягає у наступному. Газ під дією тиску входить в шар води, який знаходиться в нижній частині ерліфтної камери. При ударі об воду потік газу розбивається на безліч бульбашок. В результаті утворюється сильно емульговане середовище з надзвичайно розвинутою поверхнею теплообміну між газом та водою.

У зв'язку з тим, що питома вага емульсії менше питомої ваги води, що її оточує, а тиск газового потоку більше атмосферного, нагрітий емульгований шар води піднімається вище рівня води, який підтримується в резервуарі. Рух емульгованого шару води вгору з подальшим його переливанням через край контактної камери називається ерліфтом. Чим з більшою початковою швидкістю газовий потік входить в воду, тим більше утворюється бульбашок і тим більше міжфазна поверхня, через яку відбувається тепло- та масообмін між газом та водою.

Підйом води в ерліфтній камері реалізується в результаті підвищеного тиску газового потоку в нижній площині емульгованої зони. Велика кількість газових бульбашок діє на воду як поршень (див. рис.).



Рис. Зовнішній вигляд ерліфтної труби

Ерліфтна камера має деякі особливості, які полягають в наступному: 1) структура емульгованого шару неоднорідна та різко залежить від гідродинаміки потоків, що утворюють двофазну систему; 2) швидкість руху газових бульбашок (газової фази) та води всередині емульгованого шару знаходиться між собою в певній залежності; 3) температура газів, що відходять з ерліфтної камери знаходиться в прямій залежності від температури води [2].

Структура емульгованого шару залежить від діаметру ерліфтної камери та швидкості газу на вході. В роботі виконується візуалізація різних режимів течії в ерліфтній камері.

Перелік посилань:

1. Справочник по теплообменникам: в 2-х томах. Т.1 / Пер. с англ. под ред. О.Г.Мартыненко и др. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 352 с.
2. Ю.П. Соснин. Контактные водонагреватели. Москва, Стройиздат. – 1974. – 359 с.

УДК 621.1

Студент 3 курсу, гр. ТП-42 Семидоцька О.С.
Асист., к.т.н. Соломаха А.С.

МОДЕРНІЗАЦІЯ СХЕМИ ВІДВЕДЕННЯ ПАРОВОПІТРЯНОЇ СУМІШІ З РЕГЕНЕРАТИВНИХ ПІДГРІВАЧІВ НИЗЬКОГО ТИСКУ

Підвищення ефективності енергетичної галузі завжди повинно бути пріоритетним напрямком економіки держави. Ефективність використання відборів пари теплофікаційних турбін (опалювальних, регенеративних) для потреб теплового споживання значною мірою визначає економічність роботи теплоелектроцентралей.

Наявність в регенеративних теплообмінних апаратах газів, що не конденсуються, активізує корозійні процеси, перешкоджає нормальному протіканню теплообміну, ускладнює тепловий розрахунок. У нижній зоні теплообмінника, протяжність якої визначається кількістю газу в паровому об'ємі, міститься основна маса газів, що не конденсуються. У верхній зоні домішки газу, що не конденсуються, практично відсутні. Між ними є перехідна область (парогазовий фронт), яка характеризується значними градієнтами температури і газомісту. Дані по локальній та середній тепловіддачі свідчать про те, що зниження інтенсивності тепловіддачі з боку гріючого середовища пов'язане з блокуванням частини теплообмінної поверхні газами, які не конденсуються [1].

Для ефективної роботи теплообмінного обладнання необхідно постійно відводити пароповітряну суміш. Одним із можливих способів підвищення ефективності, які можна віднести до малозатратних, є оптимізація схеми відсмоктування пароповітряної суміші з підігрівачів низького тиску [2].

На Дарницькій ТЕЦ відведення пароповітряної суміші здійснюється в конденсатор, в результаті чого теплота даремно втрачається в навколишнє середовище. Для підвищення ефективності доцільним є використання теплоти пароповітряної суміші в пароводяному циклі електричної станції. В роботі проаналізовано шляхи її можливого використання.

Перелік посилань.

1. Дудник, Н. М. Моделирование процесса пленочной конденсации пара из парогазовых смесей различного состава на наружной поверхности вертикальных труб теплообменного аппарата / Н. М. Дудник, А. Б. Гаряев // Теплоэнергетика. – 2010. – № 6. – с. 63–68.
2. Рихтер, Л. А.. Вспомогательное оборудование тепловых электростанций: учебное пособие для вузов / Л. А. Рихтер, Д. П. Елизаров, В. М. Лавыгин. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 216 с.

УДК 621.574

Студент 3 курсу, гр. ТП-42 Совінський М.В.

Асист., к.т.н. Соломаха А.С.

ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ ТЕПЛОВОГО НАСОСУ В РЕЖИМІ СПІЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА ТЕПЛА ТА ХОЛОДУ

Актуальність даного дослідження полягає в тому, що застосування теплових насосних установок націлене на залучення в господарський обіг поновлюваних джерел енергії, раціональне використання та економну витрату паливно-енергетичних ресурсів. На практиці, теплові насоси вирішують цілий комплекс задач по підтримці температури теплоносія в системах опалення, кондиціонування, вентиляції, гарячого водопостачання, підігріву води басейнів та забезпечення тепловою/холодильною енергією інших споживачів.

У технологічних процесах підприємств хімічної і харчової промисловості, на м'ясокомбінатах і на об'єктах комунального господарства, на великих молочних фермах і т.д., часто потрібна вода двох температурних рівнів [1]. У тих випадках, коли потрібна значна кількість тепла при порівняно низьких температурах (35-40 °С) великий інтерес представляють теплонасосні установки, що працюють в режимі спільного вироблення тепла та холоду. При правильно організованій спільній роботі холодильної машини та теплового насоса може бути отримана досить значна економія палива.

Об'єктом дослідження у роботі є функціонування теплового насоса HeatGuard, типу «повітря-вода» виробництва компанії ІВІК [2], який призначений для підігріву або охолодження теплоносія (рідини) в діапазоні від +7 °С до +55 °С.

Висновок. Об'єднання в єдині комплекси холодильної машини та теплового насоса дозволяє створити безвідходні технології в системах споживання теплоти на різних температурних рівнях. Доцільність такого рішення в кожному конкретному випадку може бути визначена тільки на основі ретельного техніко-економічного аналізу, що враховує велику кількість факторів.

Перелік посилань.

1. Братута Э.Г., Шерстюк В.Г. Производство холода и теплоты в схемах энергетического взаимодействия холодильных и теплонасосных установок // Холодильщик (интернет-выпуск). - № 2(50), февраль, 2009 г.

2. Адреса посилання: http://www.ivik.ua/akciya_teplovoy_nasos_heatguard/

ВИКОРИСТАННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ В ЯКОСТІ АЛЬТЕРНАТИВНОГО МОТОРНОГО ПАЛИВА ДЛЯ АВТОТРАНСПОРТУ

Дослідження моторних властивостей природного газу [1] показали наступне. Сумарні витрати на одержання 1 т природного газу в 2,67 рази менші витрат на одержання 1 т бензину; детонаційна стійкість природного газу складає приблизно $A = 120$; температура запалення природного газу приблизно втричі перевищує температуру самозапалення соляри; через меншу густину природного газу порівняно з густиною парів бензину і через більший вміст повітря в стехіометричній газоповітряній суміші масовий заряд газу в циліндрах подається на $\sim 19\%$ менший за масовий заряд бензину, що призводить до відповідного зниження потужності двигуна (без перероблення його конструкції); масова частка водню в молекулі метану в 1,6 рази більша, ніж у молекулі бензину, що призводить до збільшення парціального тиску водяних парів у вихлопних газах і у кінцевому рахунку ускладнює запуск холодного двигуна; набагато менший вміст в природному газі домішок сірки та кисневих сполук, що зменшує корозійну активність цього палива (правда слід відмітити руйнівний вплив метану на гумотехнічні вироби двигуна); природний газ не розчиняє мастило.

Саме через це в світі в останній третині ХХ століття почалося інтенсивне будівництво автомобільних газо – наповнювальних компресорних станцій (АГНКС). Україна займає приблизно 4 місце в світі (після Аргентини, Італії, США, РФ) по розвитку мережі АГНКС, маючи 85 великих станцій на 500 та 250 заправок на добу та багато малих заправок так званого гаражного типу.

Схема АГНКС проста. Газ з тиском в інтервалі 0,6 – 1,2 МПа після ГРС від газової магістралі подається через фільтри та газоконденсатний сепаратор до компресорів. Після них з тиском 25 МПа природний газ через блок осушування направляється до ємностей-акумуляторів, а після них через регулятор тиску 25/20 МПа – до заправних колонок. Можливі варіанти удосконалення схеми: ступеневе стиснення природного газу (недоцільність подачі газу з тиском 20 МПа до пустих балонів автомобілів з залишковим тиском в них); встановлення дотискного ежектора на вході в АГНКС (для економії потужності компресорів).

Перелік посилань:

1. Биков Г.О. та інші. Автомобільні газонаповнювальні компресорні станції. – К.: Книжкове вид – во НАУ, 2006. – 292 с.

ДИНАМІКА ТЕЧІЙ В КОНТАКТНОМУ ПРОТИТЕЧІЙНОМУ ТЕПЛОБМІННИКУ

Вивченню контактної конденсації присвячено цілий ряд робіт. Аналіз яких свідчить, що застосування сітчастих чи пористих матеріалів інтенсифікує процеси тепло- і масообміну. Сітчаста насадка має розвинену питому поверхню контакту та відрізняється технологічністю виготовлення. Застосування сітчастих поверхонь у якості насадок дозволить знизити металоємність протитокових насадкових теплообмінних апаратів. Очевидно, що розробка ефективних теплообмінних поверхонь даного типу є складним завданням, для вирішення якого крім традиційних досліджень теплообміну і гідродинаміки течії необхідно застосовувати чисельне моделювання [1].

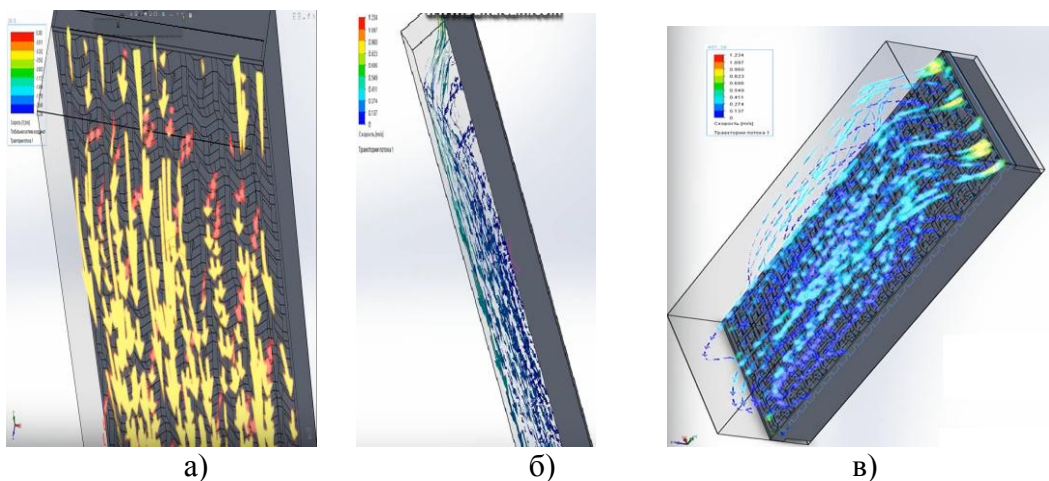


Рис. 1 Фрагмент течії вздовж вертикальної стінки каналу з сітчастим покриттям:

- а) ламінарна течія;
- б) вид збоку, що дозволяє оцінити максимальну товщину потоку та траєкторію окремих рідинних частинок, крапель, потоків;
- в) аксонометричний вигляд каналу з суттєвими турбулентностями.

Було проведено чисельний експеримент з вертикальною прямокутною ділянкою контактного утилізатора теплоти (КУТ). Геометричні дані моделі: висота вертикального каналу 30 мм, ширина 12 мм, глибина (від стінки до стіки) 10 мм. Сітчаста поверхня складалася з нержавіючого провуда діаметром 5×10^{-4} м, діаметром вічка просвіту 5×10^{-4} м. Через щілину 2×10^{-3} м рівномірно подавалася вниз вода з витратою від 1×10^{-3} до 5×10^{-3} кг/с. В результаті були отримані візуальні траєкторії руху часток рідини, за якими можна обрати місця стабілізаційних зон руху, метастабілізаційних, а також деякі «граничні» режими руху рідини. При цьому збільшення витрати рідини призвело до заповнення верхньої прохідної газової частини каналу, що відповідає реальному фізичному перебігу процесу течії рідини при великих витратах через щілинний розподілювач. Дана модель дозволяє представити наглядно складні процеси розвитку течії в закритому каналі, що досить складно спостерігати в реальному закритому каналі.

Перелік посилань:

1. Задвернюк В.В., Лохманець Ю.В. Моделювання процесів тепло- та масообміну двофазної протитокової течії в каналах прямокутного перерізу. Енергетика. Екологія. Людина. Наукові праці НТУУ «КПІ», ІЕЕ. – Київ: НТУУ «КПІ», ІЕЕ, 2012. С.484-494.

УДК 697.1

Студент 4 курсу, гр. ОТ-31 Терезюк А.М.
Асист. Оборонов Т.Ю.

МОДЕЛЮВАННЯ ОПАЛЕННЯ ЖИТЛОВИХ ПРИМІЩЕНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕПЛОЇ ПІДЛОГИ

У сучасних умовах одним з важливих та актуальних питань є опалення житлових приміщень, енергозбереження та економічність різних видів опалення. Традиційно для індивідуальної системи встановлюють електричний або газовий котел, що не є економічно. В даній статті, як альтернативний метод опалення розглядається тепла підлога [1]. В даний час існує два види теплої підлоги: водяна та електрична. Кожен з цих видів має ряд своїх переваг та експлуатаційних характеристик.

Водяна тепла підлога – різновид системи опалення, де в якості теплоносія виступає вода середньої температури, приблизно від 30 до 50°C та є одним з економічних методів опалення. В основний комплект входять труби, розподільний колектор і циркуляційний насос. Даний тип опалення може використовувати тепло від будь-якого джерела енергії включаючи сонячні колектори, теплові насоси, будь-які види нагрівачів та котлів, в тому числі електричні котли, централізовану систему опалення, що дозволяє контролювати процес роботи теплої підлоги, температуру теплоносія, період роботи.

Особливістю електричної теплої підлоги є одножильний або багатожильний кабель, який перетворює електричну енергію в тепло та здатен нагріватися до 70°C. Такі системи випускаються декількох видів: резистивний – саморегулюючий кабель, який змінює свою потужність в залежності від температури нагріву; плівковий інфрачервоний – являє собою плівку з вкрапленнями полімеру; термомат має в собі карбонові стрижні – нагрівачі елементи, які розташовані та закріплені на скловолокнистій сітці.

Один з елементів оцінки ефективності використання енергетичних ресурсів є створення математичних моделей на базі програмних продуктів. Програмний продукт EnergyPlus дозволяє аналізувати енергетичні характеристики приміщень, визначати енергетичну потребу приміщення з метою підвищення енергоефективності. Даний програмний продукт є одним з найбільш точних та розгорнутих програмних пакетів для моделювання енергопотребити житлового сектору [2].

Для дослідження опалення різними видами теплової підлоги була створена модель кімнати за допомогою EnergyPlus. Кімната має одну зовнішню стіну та вікно орієнтовану на захід. Конструкція будівлі відповідає вимогам забудови 70-х років. Погодні умови обирались для січня місяця типічного року за міжнародними даними International Weather for Energy Calculations для міста Києва [2]. Крім погодних умов задавався рівень опалення різними типами підлоги, який забезпечував прийнятний рівень температури повітря в приміщенні.

В результаті проведених досліджень за допомогою створеної моделі на базі EnergyPlus можна визначити допустимі та оптимальні з точки зору енергоефективності види теплової підлоги для опалення будівель.

Перелік посилань:

1. Дешко В.І. Моделювання переривчастого опалення будівель / В.І. Дешко, І.Ю. Білоус, М.І. Жижя // VIII Міжнародна науково-технічна конференція «Енергетика. Екологія. Людина». Зб. тез доповідей. – К.: НТУУ «КПІ». – 2016. –С. 185-190.
2. The official website EnergyPlus Energy Simulation Software [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://app1.eere.energy.gov/buildings/energyplus>.

Зміст

СЕКЦІЯ №1 Атомна енергетика	3
Паливні цикли ВВЕР-440 на основі касет із збільшеним завантаженням урану та підвищеним збагаченням.	4
<i>АДІЛЬШАЄВ Т.Т., студент гр. ТЯ-33</i> <i>Керівник - асист., к.т.н. Кондратюк В.А.</i>	
Вплив пост-фукусімських заходів на безпеку АЕС.	5
<i>БАРАНОВ Д.О., студент гр. ТЯ-33</i> <i>Керівник - асист. Остапенко І.А.</i>	
Розрахунок поля іонізуючого випромінювання навколо залізобетонного контейнеру сухого зберігання відпрацьованого ядерного палива.	6
<i>БЄЛИХ Д.О., магістрант гр. ТЯ-61м</i> <i>Керівник - асист., к.т.н. Кондратюк В.А.</i>	
Розробка програми продовження строку експлуатації енергоблоку з РУ ВВЕР-1000.	7
<i>БІДУН А.В., студент гр. ТЯ-32</i> <i>Керівник - асистент Гашимов А.М.</i>	
Можливість роботи серійних енергетичних блоків ВВЕР 1000 в режимі добового регулювання потужності.	8
<i>БОБОШКО В.Ю., студент гр. ТЯ-33</i> <i>Керівник - асист., к.т.н. Кондратюк В.А.</i>	
Технологія хімічних промивок поверхонь теплообміну ПГ-1000.	9
<i>ГАНЬКО Т.О., студент гр. ТЯ-32</i> <i>Керівник - асист. Остапенко І.А.</i>	
Оцінка впливу сейсмічної дії на безпеку АЕС.	10
<i>ГАРАНЬ О.В., магістрант гр. ТЯ-61м</i> <i>Керівник - доц., к.т.н. Коньшин В.І.</i>	
Техніко-економічні показники варіантів продовження проектного терміну експлуатації енергоблоків з реактором ВВЕР-1000.	11
<i>ГЕРШТУН О.М., магістрант гр. ТЯ-51м</i> <i>Керівник - ст.викл., к.т.н. Філатова В.І.</i>	
Аналіз аварійних ситуацій при втраті теплоносія першого контуру реактора ВВЕР-1000.	12
<i>ГОЛОВЕНКОВ Д.О., студент гр. ТЯ-33</i> <i>Керівник - асист., к.т.н. Кондратюк В.А.</i>	
Удосконалення випробувального стенду ZST для визначення впливу попереднього напрацювання на характеристики теплостійкої сталі.	13
<i>ГОРБАЧОВ П.П., студент гр. ТЯ-51</i> <i>Керівник - доц., к.т.н. Тимошенко О.В.</i>	
Необхідність забезпечення и поддержания культуры безопасности	14
<i>ДЕНИСЮК Р.И., студент гр. ТЯ-31</i> <i>Руководитель – асист. Остапенко И.А.</i>	
Плазма для Міжнародного Експериментального Термоядерного Реактора (ITER).	15
<i>ДЯЧЕНКО А.Д., студенти гр. ТЯ-42</i> <i>Керівник - доц., к.ф.-м.н. Лещенко Б.Ю.</i>	
Аналіз радіаційних наслідків при тяжких аваріях на АЕС.	16
<i>ІВАНОВ З.В., студент гр. ТЯ-32</i> <i>Керівник - асист. Гашимов А.М.</i>	

Впровадження АІМАС на Українських ядерних установках.	17
<i>Кайдик Б.В., магістрант гр. ТЯ-61м</i>	
<i>Керівник - керівник НЦДК ІЯД НАН України, к.ф.-м.н. Гаврилюк В.І.</i>	
<i>Керівник - ст.викладач, к.т.н. Бібік Т.В.</i>	
Методологія моделювання систем фізичного захисту АЕС згідно з вимогами чинного законодавства України.	18
<i>КАЛИТА І.А., магістрант гр. ТЯ-61м</i>	
<i>Керівник - ст.викл., к.т.н. Бібік Т.В.</i>	
Підвищення безпеки реакторних установок з водяним охолодженням на прикладі реактору типу ВПБЕР-600.	19
<i>КАЛБЯН Г.А., студент гр. ТЯ-31</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Коньшин В.І.</i>	
Розробка компенсуючих заходів для обладнання систем важливих для безпеки АЕС, яке має статус "кваліфікація не встановлена".	20
<i>КАНСЬКИЙ О.М., магістрант гр. ТЯ-61м</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Коньшин В.І.</i>	
Зменшення водообміну при добовому регулюванні потужністю РУ ВВЕР-1000.	21
<i>КОЗНЮК Д.В., магістрант гр. ТЯ-61м</i>	
<i>Керівник - асист., к.т.н. Овдієнко Ю.М.</i>	
Імовірнісний аналіз безпеки 1-го рівня для басейну витримки енергоблока з ВВЕР-1000.	22
<i>КОПЧИНСЬКА І.В., студент гр. ТЯ-31</i>	
<i>Керівник - ст.викл., к.т.н. Бібік Т.В.</i>	
Методика продовження терміну експлуатації реакторів ВВЕР.	23
<i>КОРЕНЮК Б.С., студент гр. ТЯ-33</i>	
<i>Керівник - асист., к.т.н. Кондратюк В.А.</i>	
Попередня оцінка технічного стану теплообмінників системи розхолодження басейну витримки енергоблоку №3 ВП ЮУАЕС.	24
<i>КРАВЦОВА Т.Г., магістрант гр. ТЯ-61м</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Коньшин В.І.</i>	
Розробка теплогідролічної моделі елементів активної зони ЯПУ "Джерело нейтронів".	25
<i>КУХОЦЬКИЙ О.В., аспірант</i>	
<i>Керівник - Член-кореспондент НАН України, професор, д.т.н. Носовський А.В.</i>	
Методи збільшення глибини вигорання палива в реакторах ВВЕР.	26
<i>МУХАМАДЄЄВ О.О., студент гр. ТЯ-32</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Коньшин В.І.</i>	
Шляхи модернізації системи компенсації тиску для реакторів типу ВВЕР - 1000.	27
<i>НЕЧИПОРУК О.П., студент гр. ТЯ-33</i>	
<i>Керівник - асист., к.т.н. Кондратюк В.А.</i>	
Атомна енергетика України.	28
<i>ОМЕЛЬЧУК Е.О., студент гр. ТЯ-51</i>	
<i>Керівник - асистент Семеняко О.В.</i>	
Пасивні системи безпеки як рішення щодо мінімізації наслідків запроектованих аварій на АЕС.	29
<i>ОНИЩУК Ю.А., студент гр. ТЯ-32</i>	
<i>Керівник - асист. Федоров Д.О.</i>	
Подовження строку експлуатації обладнання та трубопроводів ядерної установки енергоблоку №1 ВП ЗАЕС методом розрахунку на статичну та циклічну міцність.	30

<i>ОРЕХОВ А.Ю., магістрант гр. ТЯ-51м</i> <i>Керівник - к.т.н., ст. викладач Бібік Т.В.</i>	
Аналіз загальних підходів до продовження терміну експлуатації АЕС з реактором типу ВВЕР-1000.	31
<i>ОСТАЛЬСЬКИЙ Д.М., студент гр. ТЯ-33</i> <i>Керівник - асист. Серафим Р.І.</i>	
Аналіз стратегій з управління важкими аваріями для ВВЕР-440.	32
<i>ПЕЧЕРИЦЯ І.О., студент гр. ТЯ-32</i> <i>Керівник - доц., к.т.н. Коньшин В.І.</i>	
Методологія зняття з експлуатації енергоблоків з реактором ВВЕР - 440.	33
<i>ПОЛИЩУК С.М., магістрант гр. ТЯ-51м</i> <i>Керівник - с.в., к.т.н. Філатов В.І.</i>	
Применение BEST-ESTIMATE+UNCERTAINTY EVALUATION підхода при анализе реактивностных аварий РУ типа ВВЭР-1000.	34
<i>ПОПЕНКО А.О., спеціаліст гр. ТЯ-51с</i> <i>Керівник - доц., к.т.н. Овдієнко Ю.М.</i>	
Аналіз безпеки при знеструмленні енергоблоку ВВЕР-1000 з припиненням відову тепла від басейна витримки.	35
<i>РУДИКА О.А., студент гр. ТЯ-32</i> <i>Керівник - асист., к.т.н. Овдієнко Ю.М.</i>	
Модернізація системи продувки парогенератора для реактора типу ВВЕР.	36
<i>САВЧУК Ю.С., студент гр. ТЯ-33</i> <i>Керівник - асист., к.т.н. Кондратюк В.А.</i>	
Перспективні тепловиділяючі збірки для ВВЕР	37
<i>СІНЦІН В.Р., студент гр. ТЯ-33</i> <i>Керівник - асист. Федоров Д.О.</i>	
Ксенонові коливання в активній зоні ВВЕР-1000.	38
<i>СТЕЛЬМАХ Д.І., студент гр. ТЯ-33</i> <i>Керівник - асист. Серафим Р.І.</i>	
Система примусового скидання тиску із під ГО.	39
<i>СТРАТИЛАТ Д.П., магістрант гр. ТЯ-51м</i> <i>Керівник - ст. викладач, к.т.н. Бібік Т.В.</i>	
Основні причини корозії теплообмінних трубок парогенераторів ПГВ-1000М в умовах експлуатації енергоблоку з реактором ВВЕР-1000 та методи боротьби.	40
<i>ТОКМАН Г.А., студент гр. ТЯ-32</i> <i>Керівник - асист., к.т.н. Кондратюк В.А.</i>	
Реактори ВВЕР з паливом підвищеного збагачення.	41
<i>ТРОФИМЕНКО О.Р., студент гр. ТЯ-31</i> <i>Керівник - асистент Остапенко І.А.</i>	
Оценка распределения расходов по ВКУ реактора ВВЭР-1000.	42
<i>ФИЛОНОВ В.В., магістрант гр. ТЯ-61м; ФИЛОНОВА Ю.С., магістрант гр. ТЯ-61м</i>	
Вибір оптимальної двопараметричної моделі турбулентності для CFD аналізу теплообміну при надкритичних параметрах.	43
<i>ФИЛОНОВ В.В., магістрант гр. ТЯ-61м</i> <i>Керівник - асист., к.т.н. Кондратюк В.А.</i>	
Використання CFD аналізу термошоку корпусу реактора під тиском.	44
<i>ФИЛОНОВА Ю.С., магістрант гр. ТЯ-61м</i> <i>Керівник - асист., к.т.н. Кондратюк В.А.</i>	
Стратегія керування аваріями зі зменшенням витрати теплоносія через активну зону ядерного реактора ВВЕР-440	45

<i>Філонюк А.К студент гр. ТЯ-31</i> <i>Керівник – асист. Гашимов А.М.</i>	
Заходи та аналіз безпеки при експлуатації РУ ВВЕР-1000 на підвищеному дозволеному рівні потужності.	46
<i>ХАІТ Д.М., студент гр. ТЯ-32</i> <i>Керівник - асист. Овдієнко Ю.М.</i>	
Теплогідравлічні процеси при омиванні пучків труб водою надкритичних параметрів.	47
<i>ЧЕРНЮК О.О. магістрант гр. ТЯ-51м</i> <i>Керівник - доц., к.т.н. Коньшин В.І.</i>	
Аналіз впровадження керівництв з управління важкими аваріями на енергоблоках АЕС України.	48
<i>ШАРУН В.І., студент гр. ТЯ-33</i> <i>Керівник - асист. Серафін Р.І.</i>	
Оценка эффективности системы пассивного отвода тепла приреакторного бассейна выдержки отработанного ядерного топлива.	49
<i>ШВАЙ С.Ю., магістрант гр. ТЯ-51м</i> <i>Керівник - доц., к.т.н. Кравець В.Ю.</i>	
Аналіз можливостей роботи реактору ВВЕР-1000 в маневреному режимі.	50
<i>ШОЛУДЬКО М.С., студент гр. ТЯ-33</i> <i>Керівник - асист. Серафін Р.І.</i>	
Перепризначення числа циклів навантаження обладнання та трубопроводів ядерної установки енергоблоку № 1 ВП ЮУАЕС у надпроектний період до 60 років.	51
<i>ЯВОРСЬКИЙ А.О., магістрант гр. ТЯ-51м</i> <i>Керівник - к.т.н., ст. викладач Бібік Т.В.</i>	
Аналіз стану проблем транспортування відпрацьованого ядерного палива.	52
<i>ЯЦЕНКО М.В., магістрант гр. ТЯ-61м</i> <i>Керівник - проф., д.т.н. Носовський А.В.</i>	
Проблеми Міжнародного Експериментального Термоядерного Реактора (ITER).	53
<i>ЯЦЮК О.А., студент гр. ТЯ-42</i> <i>Керівник - доц., к.ф.-м.н. Леценко Б.Ю.</i>	
СЕКЦІЯ №2 Теплообмін і гідродинаміка в теплопередаючих пристроях і енергетичних установках	54
Течія та теплообмін в пучках гвинтоподібних труб.	55
<i>АНДРУСІК Н.Ю., магістрант гр. ТФ-61м</i> <i>Керівник - ст. вик., к.т.н. Баранюк О. В.</i>	
Теплотехнічні характеристики теплових труб з сітчастою капілярною структурою.	56
<i>БАЖУРА М.В., студент гр. ТФ-31; КОЗАК Д.В., аспірант</i> <i>Керівник - ст.викл., к.т.н. Хайрнасов С.М.</i>	
Інтенсивність теплообміну труб краплеподібної форми.	57
<i>БОНДАР В.А., магістрант гр. ТФ-61м</i> <i>Керівник - асистент Семеняко О.В.</i>	
Теплопередающие характеристики двухфазных миниатюрных термосифонов.	58
<i>ГУРОВ Д.И., студент гр. ТФ-31</i> <i>Керівник - доц., к.т.н. Кравець В.Ю.</i>	

Вплив геометричних характеристик на теплопередавальні властивості мініатюрних теплових труб.	59
<i>ДЯДЮШКО Є.В., студент гр. ТФ-31</i>	
<i>Керівник - викл., к.т.н. Алексеїк Є.С.</i>	
Комп'ютерне моделювання плівкового охолодження поверхні при подачі охолоджувача через парні отвори .	60
<i>МАЛІНОВСЬКА А.М., магістрант гр. ТФ-51м; к.т.н. ПАНЧЕНКО Н.А.</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Лебедь Н.Л.</i>	
Інтенсефікація теплообміну за рахунок заглиблень.	61
<i>МАРЧЕНКО Є.О., студент гр. ТФ-31</i>	
<i>Керівник - асист. Семеняко О.В.</i>	
Моделювання температурного режиму будівлі.	62
<i>МОРДАС Р.В., магістрант гр. ТФ-61м</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Лебедь Н.Л.</i>	
Вплив повітропроникності світлопрозорих огорожувальних конструкцій на тепловий режим будівлі.	63
<i>ПОСТОЛ А.С., магістрант гр. ТФ-51м</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Шевель Є.В.</i>	
Вплив орієнтації в просторі на граничні теплові потоки в алюмінієвих теплових трубах.	64
<i>РОЗУМ Т.В., магістрант гр. ТФ-61м</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Шевель Є.В.</i>	
Вдосконалення конструкції АПО шляхом застосування плоскоовальних труб з неповним оребренням.	65
<i>СТАРОВІТ І.С., студент гр. ТФ-41</i>	
<i>Керівник - ст. викл., к.т.н. Баранюк О.В.</i>	
Деякі аналітичні оцінки вихрового температурного ефекту при закрутці дозвуків газових потоків.	66
<i>ЮДІН І.І., студент гр. ТФ-51</i>	
<i>Керівник - проф., к.т.н. Турик В.М.</i>	
Управління вихровим тепломасообміном в елементах енергетичного обладнання.	67
<i>БАСКОВА О.О., аспірант</i>	
<i>Керівник - проф., д.ф.-м.н. Воропаєв Г.О.</i>	
Термічний опір алюмінієвої теплової труби з різьбовою капілярною структурою з ізобутаном.	68
<i>КОЗАК Д.В., аспірант</i>	
<i>Керівник - пров. н. спів., д.т.н. Ніколаєнко Ю.Є.</i>	
Теплообмен при кипінні в канавчатих теплових трубах.	69
<i>КОЗАК Д.В., аспірант</i>	
<i>Керівник - ст.н.сопр., к.т.н. Хайрнасоев С.М.</i>	
Теплогідравлічні процеси в алюмінієвих теплових трубах з водою при використанні інгібіторів корозії.	70
<i>ЛОЗОВИЙ М.О., аспірант</i>	
<i>Керівник - ст.н.спів., к.т.н. Рассамакін Б.М.</i>	
Теплогідравлічні процеси в теплових трубах, що використовуються в якості термовимикача.	71
<i>МЕЛЬНИК Р.С., аспірант</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Кравець В.Ю.</i>	
Узагальнення експериментальних даних з теплообміну та аеродинаміки при зовнішньому омиванні шахових пакетів гвинтоподібних труб.	72
<i>РЕВА С.А., аспірант</i>	

<i>Керівник - проф., д.т.н. Письменний Є.М.</i>	
Процес вигорання вугілля в циркулюючому киплячому шарі.	73
<i>ГОРБАНЬ К.С., магістрант гр. ТК-51м</i>	
<i>Керівник - проф., д.т.н. Туз В.О.</i>	
Зниження вмісту оксидів азоту в продуктах згорання за допомогою методу двостадійного спалювання.	74
<i>ГОРЯЧИЙ В.М., спеціаліст гр. ТК-51с</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Мариненко В.І.</i>	
Реконструкція котла ТП-100 з АШ на газове вугілля.	75
<i>ГРЯЗЕВ Д.С., студент гр. ТК-61м</i>	
<i>Керівник - д.т.н. Туз В.О.</i>	
Підвищення ефективності роботи парового котла Е-1-0,9Г при низьких параметрах навантаженн.	76
<i>КОБИЛЯНСЬКИЙ В.Ю., магістр гр. ТК-51м</i>	
<i>Керівник - доц., к.н.т. Рогачов В.І.</i>	
Проблеми при спалюванні високосірчаних мазутів.	77
<i>КОЛОДІН С.В., студент гр. ТК-31</i>	
<i>Керівник - проф., д.т.н. Туз В.О.</i>	
Сумісне спалювання природного газу і біогазу в котлі ДКВР-20-13ГМ.	78
<i>КОРОЛЬОВ В.С., спеціаліст гр. ТК-51с</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Мариненко В.І.</i>	
Проблеми вибору сучасних пальникових пристроїв для газового котла.	79
<i>КОШКІНА Т.М., студент гр. ТК-31</i>	
<i>Керівник - проф., д.т.н. Туз В.О.</i>	
Сонячний колектор на основі теплових труб .	80
<i>КУЛИНИЧ В.С., студент гр. ТК-31</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Мариненко В.І.</i>	
Проблемы использования современных газогорелочных устройств .	81
<i>КУЧИНСЬКА І.М., студент гр. ТК-31</i>	
<i>Керівник - асист., к.т.н. Воробйов М.В.</i>	
Елемент сонячного колектора.	82
<i>ОСТРОВСЬКИЙ Ю.В., студент гр. ТК-31</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Мариненко В.І.</i>	
Підвищення теплової ефективності печі вторинної плавки алюмінію.	83
<i>ПОТУРАЙ Л.О., студент гр. ТК-41</i>	
<i>Керівник - асист., к.т.н. Воробйов М.В.</i>	
Фотоелектричний перетворювач сонячного випромінювання.	84
<i>ПРОКОПЕНКО С.М., студент гр. ТК-31</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н.Мариненко В.І.</i>	
Аналіз пиловловлюючих систем.	85
<i>ПРОКОПЕНКО С.М., студент гр. ТК-31</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н.Новаківський Є.В.</i>	
Енерготехнологічні особливості використання альтернативний газових палив металургійних виробництв.	86
<i>СУШКОВ Ю.О., студент гр. ТК-41</i>	
<i>Керівник - асист., к.т.н. Воробйов М.В.</i>	
Газифікація біомаси з наступним спалюванням генераторного газу.	87
<i>ТИШКО О.Ю., студент гр. ТК-61м</i>	
<i>Керівник - к.т.н. Філатов В.І.</i>	
Ступінчасте випаровування в барабанних котлах.	88
<i>ЦИБРОВСЬКИЙ О.В., студент гр. ТК-31</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Рогачов В.А.</i>	

Екологічні проблеми використання попутних газів промислових підприємств.	89
<i>ШЕЛУДЬКО А.В., студент гр. ТК-31</i>	
<i>Керівник - асист., к.т.н. Воробйов М.В.</i>	
Підвищення теплоаеродинамічної ефективності економайзерних поверхонь нагріву котлів ДКВР.	90
<i>ЯНУШЕВСЬКИЙ В.А., студент гр. ТК-61м</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Рогачов В.А.</i>	
 СЕКЦІЯ №3 Сучасні технології в тепловій енергетиці	 91
Вплив теплових викидів в атмосферу.	92
<i>ШКУТА Т.Ю., студентка гр. ТС-31</i>	
<i>Керівник - асист. Шелешей Т.В.</i>	
Аеродинамічні характеристики струменево-нішового пальника.	93
<i>АРДАШНИКОВ А.Ю., магістрант гр. ТС-61м</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Грановська О.О.</i>	
Зниження витрат на перекачування теплоносія в системах тепlopостачання.	94
<i>БАЙБАРЗА А.Т., магістрант гр. ТС-61м</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Побіровський Ю.М.</i>	
Підвищення надійності парових турбін на змінних режимах.	95
<i>БЕДНАРСЬКА І.С., магістрантка гр. ТС-61м</i>	
<i>Керівник 1 - ст.вик., к.т.н. Нікуленкова Т.В.</i>	
<i>Керівник 2 - проф., д.т.н. Черноусенко О.Ю.</i>	
Модернізація теплоенергетики України с помощью струйно-нишевой технологии сжигания топлива.	96
<i>ВАСИЛЬЄВА Н.К., магістрантка гр. ТС-61м</i>	
<i>Руководитель - доц., к.т.н. Адулин М.З.</i>	
Моделювання процесу горіння в побутових твердопаливних котлах.	97
<i>ГАЛДІНОВ М.В., магістрант гр. ТС-61м</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Риндюк Д.В.</i>	
Моделювання процесу однофазного горіння.	98
<i>ГАЛДІНОВ М.В., магістрант гр. ТС-61м</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Риндюк Д.В.</i>	
Акумулявання теплоти вивільненої при її глибокій утилізації.	99
<i>ГОРОХОВА М.В., студентка гр. ТС-42</i>	
<i>Керівник - асист. Шелешей Т.В.</i>	
Теплоенергетичні засади модернізації системи тепlopостачання мегаполісу.	100
<i>ГОРСЬКИЙ В.В., магістрант гр. ТС-61м</i>	
<i>Керівник - проф., д.т.н. Кєсова Л.О.</i>	
Учет поврежденности автоматического стопорного клапана (АЗК) ЦСД в процессе эксплуатации.	101
<i>ГОРЯЖЕНКО В.Ю., магістрант гр. ТС-61м</i>	
<i>Керівник 1 - проф., д.т.н. Черноусенко О.Ю.</i>	
Продовження ресурсу ротора середнього тиску парової турбіни К-300-240 з оцінкою залишкового ресурсу.	102
<i>ДЕРНОВИЙ Д.І., магістрант гр. ТС-51м</i>	
<i>Керівник - проф., д.т.н. Черноусенко О.Ю.</i>	
Освоєння і доведення до проектних показників обладнання енергоблоку	103

1200 МВт.*ДОРОФІЙ П.С., магістрант гр. ТС-61м**Керівник - проф., д.т.н. Кєсова Л.О.***Модернізація хвостових поверхонь котлів – один із способів утилізації теплоти димових газів.** 104*ЗАДОРЖНЯ А.О., студентка гр. ТС-41**Керівник - ас.. Шелешей Т.В.***Усунення дефектів циліндрів.** 105*ЗАПІРКА О.І., студент гр. ТС-31**Керівник - проф., д.т.н. Черноусенко О.Ю.***Програмний комплекс для розрахунку шкідливих викидів ТЕС.** 106*КАБАНОВА В.В., студентка гр. ТС-31**Керівник - ст.викл., к.т.н. Нікуленкова Т.В.***Вплив конструктивно-технологічних параметрів гранулятора на процес формування гранули.** 107*КАСЕНИЧ Ю.І., студент гр. ТС-31**Керівник - доц., к.т.н. Риндюк Д.В.***Аеродинамічні характеристики стабілізаторно-нішового пальника.** 108*КОВАЛЬЧУК В.А., магістрант гр. ТС-61м;**МОРОЗ О.С., магістрант гр. ТС-61м**Керівник - Доц., к.т.н. Грановська О.О.***Газифікація як спосіб використання енергетичного потенціалу відходів.** 109*МАРИСЮК Б.О., студент гр. ТС-42**Керівник - ст. викладач Сірий О.А.***Проблеми експлуатації високотемпературних елементів енергетичного та промислового обладнання.** 110*МОРОЗ О.С., магістрант гр. ТС-61м**Керівник - проф., д.т.н. Черноусенко О.Ю.***Использование котлов ЦКШ для утилизации тепла дымовых газов.** 111*ПЕДЮРА В.Ю., студент гр. ТС-42**Керівник - асист. Шелешей Т.В.***Чисельне дослідження теплового та напружено-деформованого стану ротору ВТ турбіни Т-100/120-130 ст. № 1 ПАТ "Харківська ТЕЦ-5".** 112*ПЕШКО В.А., аспірант; ДЕРНОВИЙ Д.І., магістрант гр. ТС-51м**Керівник - проф., д.т.н. Черноусенко О.Ю.***Малоциклова втомлюваність та ресурсні показники ротору ВТ турбіни Т-100/120-130 ст. № 1 ПАТ "Харківська ТЕЦ-5".** 113*ПЕШКО В.А., аспірант; ГАЛДІНОВ М.В., магістрант гр. ТС-61м**Керівник - проф., д.т.н. Черноусенко О.Ю.***Газифікація мулового осаду станцій водоочистки.** 114*СЕРЕДЕНКО П.А., магістрант гр. ТС-51м**Керівник - проф., д.т.н. Кєсова Л.О.***Підвищення ефективності мікродифузійного спалювання газу за стабілізаторами в забаластованому окислювачі.** 115*СТАРЧЕНКО О.С., магістрант гр. ТС-51м**Керівник - доц., к.т.н. Грановська О.О.***Управление ресурсом с помощью мониторинга и диагностики оборудования энергоблоков АЭС.** 116*СТОКАЛЬСЬКИЙ Е.Р., магістрант гр. ТС-61м**Керівник - ст.викл., к.т.н. Нікуленкова Т.В.***Конденсерная технология утилизации теплоты дымовых газов на ТЭЦ.** 117*ТИШЕНКО Е.Д., студент гр. ТС-41*

<i>Керівник - асист. Шелешей Т.В.</i>	
Використання теплообмінних апаратів нової конструкції в теплоенергетиці.	118
<i>ТКАЧЕНКО О.О., студент гр. ТС-31</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Побіровський Ю.М.</i>	
Спалювання твердих альтернативних палив в рухомому киплячому шарі.	119
<i>ЦЕЛІНСЬКИЙ М.С., магістрант гр. ТС-51м</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н.Бутовський Л.С.</i>	
Розподіл напружень у зварних з'єднаннях барабану парогенератора.	120
<i>ЧЕРНОВ С.О., магістрант гр. ТС-61м</i>	
<i>Керівник - проф., д.т.н. Черноусенко О.Ю.</i>	
Модернизация энергоблоков ТЭС с помощью БПЭ.	121
<i>ШАДРИН К.А., студент гр. ТС-41</i>	
<i>Керівник - доц. Шелешей Т.В.</i>	
Піролітичні установки як новий шлях розвитку енергетики України.	122
<i>ШЕВЧЕНКО О.Р., студент гр. ТС-31</i>	
<i>Керівник - ст.викл. Меренгер П.П.</i>	
СЕКЦІЯ №4 Проблеми теоретичної і промислової теплотехніки	123
Методи зменшення швидкості корозії вуглецевої сталі системи опалення з контактним водонагрівачем та їх промислові випробування.	124
<i>БАРАБАШ В.П., аспірант</i>	
<i>Керівник - проф., д.т.н. Пуховий І.І.</i>	
Розширення паливної бази ДВЗ використанням газодизельного циклу.	125
<i>ГОЛИК А.В., аспірант; КОВБАСЕНКО С.В., к.т.н., доц.</i>	
<i>Керівник - ст.н.спів., к.т.н. Петренко В.Г.</i>	
Порівняння результатів експерименту та математичної моделі утворення льоду в бурюльках на горизонтальній трубі.	126
<i>ПОСТОЛЕНКО А.М., аспірант</i>	
<i>Керівник - проф., д.т.н. Пуховий І.І.</i>	
Дослідження підходів визначення енергопотреби будівель.	127
<i>БІЛОУС І.Ю., ас. ; ГУРСЬКА Ю.В., магістрант гр. ОТ -51м</i>	
<i>Керівник - проф., д.т.н. Дешко В.І.</i>	
Визначення та зменшення відстані до точки запалювання факелу газового пальника котла ТП-15.	128
<i>ГОРБУНОВ А.О., магістрант гр. ТП-51м</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Хавін С.О.</i>	
Моделювання рекуперації відведеної теплоти СЕУ на базі двигуна Стірлінга в середовищі SolidWorks.	129
<i>ЗАДЬОРА А.Т., магістрант гр. ОТ -51м</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Студенець В.П.</i>	
Теплозабезпечення корпусу університету з використанням водневого контактного теплогенератора.	130
<i>КАСЯНЧУК С.Л., магістрант гр. ТП-51м; ОЧЕРЕТЯНКО М.Д., магістрант гр. ТП-21м</i>	
<i>Керівник - проф., д.т.н. Варламов Г.Б.</i>	
Виготовлення та використання оребрених з зовнішньої сторони льодяних труб.	131
<i>КИЯШКО Д.Ю., магістрант гр. ТП-51м</i>	
<i>Керівник - проф., д.т.н. Пуховий І.І.</i>	
Моделювання геотермального джерела з пористою структурою.	132

<i>КРАВЧУК О.М., магістрант гр. ТП-51м</i> <i>Керівник - доц., к.т.н. Камаєв Ю.М.</i>	
Комп'ютерне моделювання руху температурного фронту термальної води в пористому пласті.	133
<i>КРАВЧУК О.М., магістрант гр. ТП-51м</i> <i>Керівник - доц., к.т.н. Фуртат І.Е.</i>	
Дослідження тепломасообміну при безпосередньому контакті газу і рідини.	134
<i>МОРГУН Р.В., магістрант гр. ТП-51м</i> <i>Керівник - доц., к.т.н. Назарова І.О.</i>	
Підвищення ефективності утилізаторів теплоти димових газів котелень за рахунок зволоження дугтьового повітря.	135
<i>ПЕРЕВЬОРТКІНА І.Я., магістрант гр. ТП-51м</i> <i>Керівник - доц., к.т.н. Боженко М.Ф.</i>	
Теплообмін для довготривалого режиму краплинної конденсації із застосуванням гідрофобізаторів.	136
<i>ШЕВЧЕНКО О.М., магістрант гр. ТП-51м</i> <i>Керівник - доц., к.т.н. Гавриш А.С.</i>	
Розробка та дослідження генератора пароповітряної суміші барботажного типу для циклового повітря ДВЗ.	137
<i>ШУМЧЕНКО В.В., магістрант гр. ТП-51м</i> <i>Керівник - доц., к.т.н. Барабаш П.О.</i>	
Дослідження підходів до визначення теплового навантаження системи опалення.	138
<i>ЯЦЕНКО О.І., магістрант гр. ОТ -51м</i> <i>Керівник - доц., к.т.н. Суходуб І.О.</i>	
Підвищення ефективності теплонасосної системи вентиляції.	139
<i>ГОБОВА М.О., магістрант гр. ТП-61м, Притула Н.О., канд. техн. наук, асистент;</i> <i>Керівник - професор, д.т.н. Безродний М.К.</i>	
Підвищення ефективності міксерів для лиття алюмінію.	140
<i>БОЯНІВСЬКИЙ В.П., магістрант гр. ТП-61м</i> <i>Керівник - доц., к.т.н. Боженко М.Ф.</i>	
Термодинамічна ефективність опалювальних котелень.	141
<i>БОЯНІВСЬКИЙ В.П., магістрант гр. ТП-61м</i> <i>Керівник - доц., к.т.н. Куделя П.П.</i>	
Аналіз показників енергетичної ефективності теплових процесів і установок.	142
<i>ГЕЛЕТУХА С.Г., магістрант гр. ТП-61м</i> <i>Керівник - доц., к.т.н. Куделя П.П.</i>	
Джерала холодної вхідної води економайзера для глибинного охолодження димових газів.	143
<i>ГЕЛЕТУХА С.Г., магістрант гр. ТП-61м</i> <i>Керівник - доц., к.т.н. Назарова І.О.</i>	
Комбінована схема опалення і вентиляції з використанням теплоти ґрунту та вентиляційного повітря.	144
<i>ГОРДІЙЧУК В.Р., магістрант гр. ТП-61м; ПРИТУЛА Н.О., ас. к.т.н. -</i> <i>Керівник - проф., д.т.н. Безродний М.К.</i>	
Досвід використання системи сонячного опалення " Розширена стіна Тромба-Мішеля".	145
<i>ЖИВИЦЯ К. О., магістрант гр. ТП-51м</i> <i>Керівник - проф., д.т.н. Пуховий І.І.</i>	

Температурно-теплові умови роботи графітувальних печей.	146
<i>ІВАНЕНКО Д.О., магістрант гр. ТП-61м</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Боженко М.Ф.</i>	
Генерація льоду на трубі при течії в ній повітря з мінусовими температурами.	147
<i>КОЛОТЕНКО М.О., магістрант гр. ТП – 61м</i>	
<i>Керівник - проф., д.т.н. Пуховий І.І.</i>	
До питання про вибір керемічних нагрівачів.	148
<i>КОШМАК О. Р., магістрант гр. ТП- 61м</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Камаєв Ю. М.</i>	
Принципи зменшення втрат ексергії в системах теплопостачання.	149
<i>КОШМАК О.Р., магістрант гр. ТП-61м</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Куделя П.П.</i>	
Комплексні переваги теплогенератора АОМ нового покоління.	150
<i>ОСИПЕНКО Є.О., магістрант гр. ТП- 61м</i>	
<i>Керівник - проф., д.т.н. Варламов Г.Б.</i>	
Інтенсифікація конвективного теплообміну в трубному пучку апарата повітряного охолодження.	151
<i>ПЕТРЕЧУК А.Л., магістрант гр. ТП-61м</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Барабаш П.О.</i>	
Коефіцієнт термодинамічної ефективності сучасних теплових насосів.	152
<i>ЧАЛІЙ І.В., магістрант гр. ТП-61м</i>	
<i>Керівник - асист., к.т.н. Соломаха А.С.</i>	
Утилізація надлишкового активного мулу після біологічного очищення.	153
<i>ГАЛЬЄГОС Х., студент гр. ТП-31</i>	
<i>Керівник - ст.викл. Голяд М.Н.</i>	
Порівняльні характеристики способів термоізоляції будівель.	154
<i>ЕМІШЬЯН А.С., студент гр. ТП-31</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Боженко М. Ф.</i>	
Енергетичний потенціал торфу.	155
<i>ЕМІШЬЯН А.С., студент гр. ТП-31</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Хавін С.О.</i>	
Термодинамічний аналіз двоступеневої холодильної установки.	156
<i>КАРНАУХ О.О., студент гр. ТП-31</i>	
<i>Керівник - асист., к.т.н. Соломаха А.С.</i>	
Інтенсифікація процесів тепло- і масообміну за допомогою ротаційно плівкових теплообмінних апаратів.	157
<i>МАХРОВ М.А., студент гр. ТП-31</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Барабаш П.О.</i>	
Термодинамічна ефективність утилізації теплоти стічних вод у теплонасосній схемі опалення та вентиляції.	158
<i>МІСЮРА Т.О., студент гр. ТП-31; асист., к.т.н. Притула Н.О.</i>	
<i>Керівник - проф., д.т.н. Безродний М.К.</i>	
Визначення довжини початкової температурної ділянки при конденсації чистої пари на вертикальній ламінарній плівці.	159
<i>МІЩУК Є.А., студент гр. ТП-31</i>	
<i>Керівник - ст.викл. Голяд М.Н.</i>	
Термодинамічна ефективність теплонасосної схеми опалення з використанням теплоти ґрунту та стічних вод.	160
<i>ОСЛОВСЬКИЙ С.О., студент гр. ТП-31; ПРИТУЛА Н.О., ас., к.т.н.</i>	
<i>Керівник - проф., д.т.н. Безродний М.К.</i>	
Оцінювання інтенсивності контактної стабілізованої тепловіддачі від ПГС	161

до ламінарної вертикальної плівки.	
<i>СЕМЕНЮК М.І., студент гр. ТП-31</i>	
<i>Керівник - ст.викл. Голяд М.Н.</i>	
Про особливості теплообміну при конденсації під дією електричного поля.	162
<i>ВОВЧЕНКО Д.І., студент гр. ТП-42</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Гавриш А.С.</i>	
Проблема розмороження випарника в повітряному тепловому насосі.	163
<i>ДОНЕЦЬ А.В., студент гр. ТП-42</i>	
<i>Керівник - асист., к.т.н. Соломаха А.С.</i>	
Холодильна установка з водострумним компресором.	164
<i>ЛЮ Я., студент гр. ТП-42</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Барабаш П.О.</i>	
Про застосування речовин типу Дінітрол і Мегафорс для захисту теплообмінних поверхонь .	165
<i>МАГДИЧ В.П., студент гр. ТП-41; МАРКУЛАН Є.В., студент гр. ТП-41</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Гавриш А.С.</i>	
Перспективи використання склопакетів, як елемента енергоощадних та енергозберігаючих технологій.	166
<i>МАЙСТРЕНКО О.О., студент гр. ТП-41</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Гавриш А.С.</i>	
Продукти піролізу полімерних відходів, як можлива альтернатива вичопного палива.	167
<i>МАЙСТРЕНКО О.О., студент гр. ТП-41; ГОНЧАРУК П.М., студент гр. ТП-41</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Гавриш А.С.</i>	
Про застосування речовин типу Дюралюб і Тектил для захисту теплообмінних поверхонь .	168
<i>МАРКУЛАН Є.В., студент гр. ТП-41; МАГДИЧ В.П., студент гр. ТП-41</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Гавриш А.С.</i>	
Каскадні цикли холодильних установок.	169
<i>ОПАНАСЮК І.Ю., студент гр. ТП-41</i>	
<i>Керівник - асист., к.т.н. Соломаха А.С.</i>	
Візуалізація процесу в контактній камері ерліфтного типу.	170
<i>ПАНЧЕНКО О.О., студент гр. ТП-42</i>	
<i>Керівник - асист., к.т.н. Соломаха А.С.</i>	
Модернізація схеми відведення пароповітряної суміші з регенеративних підігрівачів низького тиску.	171
<i>СЕМИДОЦЬКА О.С., студент гр. ТП-42</i>	
<i>Керівник - асист., к.т.н. Соломаха А.С.</i>	
Безпека комп'ютерних мереж з динамічною адресацією за протоколом ІР.	172
<i>СОВІНСЬКИЙ М.В., студент гр. ТП-42</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Соломаха А.С.</i>	
Використання природного газу в якості альтернативного моторного палива для автотранспорту.	173
<i>У Ц., студент гр. ТП-42</i>	
<i>Керівник - ст.викл. Голяд М.Н.</i>	
Динаміка течії в контактному протитечійному теплообміннику.	174
<i>СВЯТНИЙ Л.С., студент гр. -31</i>	
<i>Керівник - ст.викладач Задвернюк В.В.</i>	
Моделювання опалення житлових приміщень за допомогою теплої підлоги.	175
<i>ТЕРЕЗЮК А.М., студент гр. ОТ-31</i>	
<i>Керівник - асист. Оборонов Т.Ю.</i>	

Показчик авторів докладів

- Абдулин М.З., 96
Адільшаєв Т.Т., 4
Алексеїк Є.С., 59
Андрусік Н.Ю., 55
Ардашніков А.Ю., 93
Бажура М.В., 56
Байбарза А.Т., 94
Барабаш В.П., 124
Барабаш П.О., 137, 151, 157, 164
Баранов Д.О., 5
Баранюк О.В., 55, 65
Баскова О.О., 67
Беднарська І.С., 95
Безродний М.К., 139, 144, 158, 160
Белих Д.О., 6
Бібік Т.В., 17, 18, 22, 30, 39, 51
Бідун А.В., 7
Білоус І.Ю., 127
Бобошко В.Ю., 8
Боженко М.Ф., 135, 140, 146, 154
Бондар В.А., 57
Боянівський В.П., 140, 141
Бутовський Л.С., 119
Варламов Г.Б., 130, 150
Васильєва Н.К., 96
Вовченко Д.І., 162
Воробйов М.В., 81, 83, 86, 89
Воропаєв Г.О., 67
Гаврилюк В.І., 17
Гавриш А.С., 136, 162, 165, 166, 167, 168
Галдінов М.В., 97, 98, 113
Гальєгос Х., 153
Ганько Т.О., 9
Гарань О.В., 10
Гашимов А.М., 7, 16, 45
Гелетуха С.Г., 142, 143
Герштун О.М., 11
Гобова М.О., 139
Голик А.В., 125
Голіяд М.Н., 153, 159, 161, 173
Головенков Д.О., 12
Гончарук П.М., 167
Горбань К.С., 73
Горбачов П.П., 13
Горбунов А.О., 128
Гордійчук В.Р., 144
Горохова М.В., 99
Горський В.В., 100
Горяженко В.Ю., 101
Горячий В.М., 74
Грановська О.О., 93, 108, 115
Грязев Д.С., 75
Гуров Д.И., 58
Гурська Ю.В., 127
Денисюк Р.И., 14
Дерновий Д.І., 102, 112
Дешко В.І., 127, 175
Донець А.В., 163
Дорофій П.С., 103
Дядюшко Є.В., 59
Дяченко А.Д., 15
Емішьян А.С., 154, 155
Задвернюк В.В., 174
Задорожня А.О., 104
Задьора А.Т., 129
Затірка О.І., 105
Живиця К.О., 145
Іваненко Д.О., 146
Іванов З.В., 16
Кабанова В.В., 106
Кайдик Б.В., 17
Калита І.А., 18
Кальян Г.А., 19
Камасєв Ю.М., 132, 148
Канський О.М., 20
Карнаух О.О., 156
Касенич Ю.І., 107
Касянчук С.Л., 130
Кєсова Л.О., 100, 103, 114
Кияшко Д. Ю., 131
Кобилянський В.Ю., 76
Ковальчук В.А., 108
Ковбасенко С.В., 125
Козак Д.В., 56, 68, 69
Кознюк Д.В., 21
Колодін С.В., 77
Колотенко М.О., 147
Кондратюк В.А., 4, 6, 8, 12, 23, 27, 36, 40, 43, 44
Коньшин В.І., 10, 19, 20, 24, 26, 32, 47
Копчинська І.В., 22
Коренюк Б.С., 23
Корольов В.С., 78
Кошкіна Т.М., 79
Кошмак О.Р., 148, 149
Кравець В.Ю., 49, 58, 71

Кравцова Т.Г., 24
Кравчук О.М., 132, 133
Куделя П.П., 141, 142, 149, 152
Кулинич В.С., 80
Кухоцький О.В., 25
Кучинська І.М., 81
Лебедь Н.Л., 60, 62
Лещенко Б.Ю., 15, 53
Лозовий М.О., 70
Лю Я., 164
Магдич В.П., 165, 168
Майстренко О.О., 166, 167
Маліновська А.М., 60
Мариненко В.І., 74, 78, 80, 82, 84
Марисюк Б.О., 109
Маркулан Є.В., 165, 168
Марченко Є.О., 61
Махров М.А., 157
Мельник Р.С., 71
Меренгер П.П., 122
Місюра Т.О., 158
Міщук Є.А., 159
Моргун Р.В., 134
Мордас Р.В., 62
Мороз О.С., 108, 110
Мухамадєєв О.О., 26
Назарова І.О., 134, 143
Нечипорук О.П., 27
Ніколаєнко Ю.Є., 68
Нікуленкова Т.В., 95, 106, 116
Новаківський Є.В., 85
Носовський А.В., 25, 52
Оборонов Т.Ю., 175
Овдієнко Ю.М., 21, 34, 35, 46
Омельчук Е.О., 28
Онищук Ю.А., 29
Опанасюк І.Ю., 169
Орехов А.Ю., 30
Осипенко Є.О., 150
Ословський С.О., 160
Остальський Д.М., 31
Остапенко І.А., 5, 9, 41
Остапенко І.А., 14
Островський Ю.В., 82
Очеретянюк М.Д., 130
Панченко Н.А., 60
Панченко О.О., 170
Педюра В.Ю., 111
Перевьорткіна І.Я., 135
Петренко В.Г., 125
Петречук А.Л., 151
Печериця І.О., 32
Пешко В.А., 112, 113
Письменний Є.М., 72
Побіровський Ю.М., 94, 118
Поліщук С.М., 33
Попенко А.О., 34
Постол А.С., 63
Постоленко А.М., 126, 147
Потурай Л.О., 83
Притула Н.О., 139, 144, 158, 160
Прокопенко С.М., 84, 85
Пуховий І.І., 124, 126, 131, 145, 147
Рассамакін Б.М., 70, 82
Рева С.А., 72
Риндюк Д.В., 97, 98, 107
Рогачов В.А., 76, 88, 90
Розум Т.В., 64
Рудика О.А., 35
Савчук Ю.С., 36
Святний Л.С., 174
Семенюк М.І., 161
Семеняко О.В., 28, 57, 61
Семидоцька О.С., 171
Серафин Р.І., 31, 38, 48, 50
Середенко П.А., 114
Сініцин В.Р., 37
Сірій О.А., 109
Совінський М.В., 172
Соломаха А.С., 152, 156, 163, 169, 170,
171, 172
Старовіт І.С., 65
Старченко О.С., 115
Стельмах Д.І., 38
Стокальський Е.Р., 116
Стратілат Д.П., 39
Студенець В.П., 129
Суходуб І.О., 138
Сушков Ю.О., 86
Терезюк А.М., 175
Тимошенко О.В., 13
Тищенко Е.Д., 117
Тишко О.Ю., 87
Ткаченко О.О., 118
Токман Г.А., 40
Трофименко О.Р., 41
Туз В.О., 73, 75, 77, 79
Турик В.М., 66
У Ц., 173
Федоров Д.О., 29, 37
Филонов В.В., 42
Филонова Ю.С., 42
Філатов В.І., 33, 87
Філатова В.І., 11

Філонов В.В., 43
Філонова Ю.С., 44
Філонюк А.К., 45
Фуртат І.Е., 133
Хавін С.О., 128, 155
Хаїт Д.М., 46
Хайрнасов С.М., 56, 69
Целінський М.С., 119
Цибровський О.В., 88
Чалій І.В., 152
Чернов С.О., 120
Черноусенко О.Ю., 95, 101, 102, 105, 110,
112, 113, 120
Чернюк О.О., 47
Шадрин К.А., 121
Шарун В.І., 48

Швай С.Ю., 49
Шевель Є.В., 63, 64
Шевченко О.М., 136
Шевченко О.Р., 122
Шелешей Т.В., 92, 99, 104, 111, 117, 121
Шелудько А.В., 89
Шкута Т.Ю., 92
Шолудько М.С., 50
Шумченко В.В., 137
Юдін І.І., 66
Яворський А.О., 51
Янушевський В.А., 90
Яценко О.І., 138
Яценко М.В., 52
Яцюк О.А., 53