

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

СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ НАУКОВОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИКИ

Матеріали ХІХ Міжнародної
науково-практичної конференції
молодих вчених і студентів
м. Київ, 20–23 квітня 2021 року

ТОМ 1



Київ- 2021

УДК 620.9(062)+621.311(062)

С91

Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики. У 2-х т. : Матеріали XIX Міжнар. наук.-практ. конф. молод. вчених і студ., м. Київ, 20–23 квіт. 2021 р. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2021. – Т. 1. – 334 с.

ISBN 978-966-990-025-8 (Заг.)

ISBN 978-966-990-026-5 (Т. 1)

Подано тези доповідей XIX Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених та студентів «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики» за напрямками: атомна енергетика, ядерна захищеність та нерозповсюдження, теплообмін і гідродинаміка в теплопередаючих і енергетичних пристроях, теплогідравлічні процеси в тепло- і парогенеруючих 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, провідн. наук. співроб.

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.

В.А. Волошук, д-р техн. наук, проф.

П.О. Барабаш, канд. техн. наук, доц.

П.П. Меренгер, ст. викл.

П.В. Новіков, доц.

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

І.А. Остапенко, асист.

Д.О. Федоров, асист.

Т.Б. Бібік, канд. техн. наук, ст. викл.

М.В. Воробйов, канд. техн. наук, ст. викл.

Є.С. Алексеїк, ст. наук. співроб.

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 № 11 від 26 квітня 2021 р.)

ISBN 978-966-990-025-8 (Заг.)

ISBN 978-966-990-026-5 (Т. 1)

© Автори тез доповідей, 2021

© КПІ ім. Ігоря Сікорського (ТЕФ), 2021

СЕКЦІЯ №1

Атомна енергетика

Аспірант Мандриченко К.Е.
Доц., к.т.н. Клевцов С.В.

АЛЬТЕРНАТИВНІ МЕТОДИ ІМОВІРНІСНОГО АНАЛІЗУ БЕЗПЕКИ БАГАТОБЛОЧНИХ АЕС

Розробка поточних робіт за напрямом багатоблочного імовірнісного аналізу безпеки (ІАБ) зумовлена необхідністю відображення можливої реакції майданчику з декількома енергоблоками на впливи (включаючи вплив аварії на одному блоці на інші блоки майданчика або одночасні події, викликані зовнішніми або внутрішніми ініціаторами).

З 1980-х років публікувалися технічні документи щодо багатоблочної імовірнісної оцінки безпеки. Однак лише після аварії на АЕС Фукусіма було прискорено та посилено дослідження за напрямом ІАБ по відношенню до всього майданчику. Розгляд зазначеного питання необхідний з огляду на те, що більшість майданчиків сучасних АЕС містить більше ніж один енергоблок, що зумовлено прагненням економічної вигідності. В свою чергу, аналізи безпеки, що проводяться на АЕС, для підтвердження їх належного рівня безпеки, проводяться в контексті кожного окремого енергоблоку. При цьому повноцінних методик з оцінки ризику майданчику на даний час не існує. Тому логічною стала поява тенденції з розробки підходів, які дозволять оцінити рівень безпеки майданчика в цілому.

МАГАТЕ були розроблені та опубліковані методологічні документи та рекомендації [1, 2] щодо врахування зовнішніх небезпек та технічного підходу до імовірнісної оцінки безпеки для декількох блоків АЕС.

Розгляд існуючих досліджень показав наступне: висунуто пропозиції щодо розробки логічної структури багатоблочного ІАБ [3]; розроблюється методологія оцінки ризику з використанням традиційної та розповсюдженої методології ІАБ. Розроблені декілька більш детальних підходів, застосовних до ІАБ 1-го та 2-го рівнів для майданчиків, що містять до шести блоків [4, 5], які також мають ряд консервативних припущень та обмежень, але задають напрямок для розвитку методології. Для цілей таких досліджень розробляються програмні засоби, наприклад, для кількісного визначення частот аварійних послідовностей [6].

В переважній більшості сучасних досліджень прийнята запропонована [7] схема класифікації за якою події на декількох енергоблоках було відсортовано за шістьма категоріями: ініціюючі події, спільні з'єднання, ідентичні компоненти, залежність від близькості, людський фактор та організаційні залежності [8]. Окремі дослідження пропонують підходи за кожною з категорій. Однак підсумком їх результатів є наявність консервативних відступів та необхідність спрямованості на реалістичний підхід.

При оцінці ризику необхідно прагнути до реалістичності результатів, однак використання, як, наприклад, при оцінці відмов з загальних причин (ВЗП) [4], консервативних підходів призводить до втрати в результатах багатоблочного ІАБ реалістичності. Звідси така необхідність удосконалення підходів.

Загалом при моделюванні багатоблочного ІАБ використовується статичний або динамічний підхід. Так, МАГАТЕ запропоновано простий та практичний підхід до статичного багатоблочного ІАБ [9], згідно якого логіка одноблочного ІАБ спрощується, після чого декілька таких моделей інтегруються з використанням традиційних залежностей з загальних причин одного блоку для обробки залежностей декількох блоків. В протиположності пропонуються альтернативні більш складні та реалістичні методології [8], засновані на динамічних дослідженнях, метою яких є оцінка показників ризику процесів в динаміці, з врахуванням часового фактору.

Опираючись на розглянуті профілі ризику для декількох енергоблоків, можна зробити висновок, що ВЗП, залежність від відмов персоналу та імовірність сейсмічної вразливості становлять домінуючу частину внеску при оцінці багатоблочних показників

ризик. Отже, подальші зусилля по удосконаленню методології багатоблочного ІАБ повинні бути зосереджені на розробці додаткових рекомендації по зазначеним напрямам.

Специфіка та час становлять основні змінні функції імовірності помилки персоналу, оцінка яких необхідна для аналізу надійності людського фактору. В цьому сенсі, окрім залежних відмов блока та відмов з загальних причин, важливою складовою є аналіз дій персоналу.

Детальному аналізу повинні підлягати аварійні інструкції та керівництва, їх застосовність у випадку впливів з аваріями на декількох енергоблоках АЕС, доступність ресурсів в обмежених умовах та можливість реалізації процедурних дій за відповідних обставин. Тому виникає необхідність коректного врахування неоднозначностей, що виникають при аварійних процесах, наприклад, впливи в результаті важкої аварії на можливість реалізації керування процесом на сусідніх блоках, дії групи інженерної підтримки при керуванні важкими аваріями на декількох енергоблоках одночасно, реакція на комбінації впливів тощо. При цьому виникають процедурні недотримання та постає питання достатності існуючих приписів.

Аналіз за даним напрямом та розробка пропозицій з врахування людського фактору доцільні з точки зору, що окрім оцінки самого ризику, важливим питанням є керування ризиком на майданчику. Саме тому необхідний детальний розгляд людського фактору в контексті впливів на майданчик з застосуванням динамічного підходу з метою підвищення ефективності різноманітних методів керування та ліквідації аварій.

Перелік посилань:

1. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Consideration of External Hazards in Probabilistic Safety Assessment for Single Unit and Multi-unit Nuclear Power Plants, Safety Reports Series No. 92, IAEA, Vienna (2018).
2. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Technical Approach to Probabilistic Safety Assessment for Multiple Reactor Units, Safety Reports Series No. 96, IAEA, Vienna (2018).
3. H.-G. Lim, D.-S. Kim, S.H. Han, J.-E. Yang, Development of logical structure for multi-unit probabilistic safety assessment, Nucl. Eng. Technol. 50 (2018).
4. D.-S. Kim, S.H. Han, J.H. Park, H.-G. Lim, J.H. Kim, Multi-unit Level 1 probabilistic safety assessment: Approaches and their application to a six-unit nuclear power plant site, Nucl. Eng. Technol. 50 (2018).
5. J. Cho, S.H. Han, D.-S. Kim, H.-G. Lim, Multi-unit Level 2 probabilistic safety assessment: Approaches and their application to a six-unit nuclear power plant site, Nucl. Eng. Technol. 50 (2018).
6. S.H. Han, H.G. Lim, S.C. Jang, J.E. Yang, AIMS-PSA: a software for integrated PSA, in: Proceedings of the 13th International Conference on Probabilistic Safety Assessment and Management (PSAM 13), Seoul, Korea, 2016.
7. Dennis, M., Modarres, M., Mosleh, A., Framework for assessing integrated site risk of small modular reactors using dynamic probabilistic risk assessment simulation, European Safety and Reliability Conference (ESREL2015) Zürich, Switzerland, Sept. 2015.
8. Zhou T, Modarres M and Droguett EL. A review of multiunit nuclear power plant probabilistic risk assessment research. Am Soc Mech Eng Digit Collect. Epub ahead of print 24 October 2018.
9. IAEA Division of Nuclear Installation Safety. "Methodology for Multiunit Probabilistic Safety Assessment, NSNI Project on Multiunit PSA, Phase I," January 2018 (Draft).

Аспірант Сущенко К.О.
Проф., д.т.н. Носовський А.В.

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРТНОЇ ОЦІНКИ ПОТОЧНОГО І ПРОГНОЗОВАНОГО РІВНЯ ПІДКРИТИЧНОСТІ ЯДЕРНО-НЕБЕЗПЕЧНОГО СКУПЧЕННЯ ПАЛИВОВМІСНИХ МАТЕРІАЛІВ ВСЕРЕДИНІ ОУ

Ядерна безпека кожного скупчення в об'єкті «Укриття» (ОУ) визначається тільки як доведена гарантія відсутності (або можливості оперативного виключення) умов виникнення самопідтримуваної ланцюгової реакції поділу (СЛР). Після установки нового безпечного конфайменту (НБК) і припинення доступу в ОУ атмосферних опадів всі приміщення, в яких виявлені скупчення паливовмісних матеріалів, можуть бути визнані ядерно-безпечними за винятком південно-східної частини підреакторного прим. 305/2, місця утворення і виходу потоків чорних лавоподібних паливовмісних матеріалів (ЛПВМ). Тут в зоні проплавлення 2-х метрового моноліту залізобетону опорної плити шахти реактору (ОП) знаходиться ядерно-небезпечне скупчення (ЯНС), ймовірність виникнення СЛР в якому не може бути виключена [1].

В даний час після насування НБК та припинення доступу води в ОУ спостерігається постійне зростання нейтронної активності, яке може бути викликано введенням позитивної реактивності при виході води з перезволоженого середовища ЯНС. Рішення проблеми контролю стану підкритичності ЯНС є актуальним для забезпечення ядерної безпеки комплексу НБК ОУ. З метою забезпечення ядерної безпеки та недопущення виникнення СЛР необхідно оцінити нейтронно-фізичні характеристики ЯНС. Через відсутність доступу до розмножуючого середовища, а також неможливості відбору проб з огляду на їх високу активність, ці оцінки можна виконати тільки за допомогою моделювання.

Для прогнозування динаміки щільності потоку нейтронів (ЩПН), реєстрованої датчиками системи контролю ядерної безпеки (СКЯБ), необхідно було створити математичну модель, що визначала б прогнозований тренд ЩПН, ґрунтуючись на реєстрованій динаміці і розрахункових залежностях ефективного коефіцієнту розмноження нейтронів (K_{ef}) від концентрації води ($K_{ef}(C)$) [2].

Метод ґрунтується: на використанні розрахунково-експериментальних залежностей K_{ef} від концентрації води (отриманих для версій матеріальних моделей шару чорних ЛПВМ і критичної маси (КМ)) в розмножуючому середовищі і на зв'язку наступних динамічних параметрів в точковій моделі підкритичної розмножуючої системи:

$$\varphi \rightarrow n \rightarrow \frac{dn}{dt} \rightarrow \frac{dK_{ef}}{dt} \rightarrow \frac{dC}{dt} \rightarrow K_{ef}(t) \rightarrow \varphi(t),$$

де: φ [н/см²·с] – ЩПН, що реєструється; n [н/см³] – щільність нейтронів в системі; C [г/см³] – концентрація води в розмножуючому середовищі; $\frac{dn}{dt}$ – швидкість наростання щільності нейтронів; $\frac{dK_{ef}}{dt}$ – швидкість введення реактивності; $\frac{dC}{dt}$ – швидкість зміни концентрації води в процесі зневоднення ЯНС.

Результати моделювання динаміки ЩПН, що реєструється блоком детектування (БД) №3 наведені в таблиці 1, де: φ_i – щільність нейтронів витоку, що реєструється БД на початку i -го розрахункового інтервалу, [н/(см²·с)]; φ_{i+1} – щільність нейтронів витоку, що реєструється БД в кінці i -го розрахункового інтервалу, [н/(см²·с)]; $V_{СЛі}$ – швидкість зменшення концентрації води в розмножуючому середовищі чорних ЛПВМ на i -му інтервалі, [г/(см³·с)]; $V_{СКі}$ – швидкість зменшення концентрації води в розмножуючому середовищі ПВМ з високою концентрацією палива i -му інтервалі, [г/(см³·с)]; $K_{efКМі}$ – ефективний коефіцієнт розмноження нейтронів в середовищі ПВМ з високою концентрацією урану в кінці i -го інтервалу; $K_{efЛі}$ – ефективний коефіцієнт розмноження нейтронів в середовищі чорних ЛПВМ в кінці i -го інтервалу; $C_{КМі}$ – концентрація води в

середовищі ПВМ з високою концентрацією урану в кінці і-го інтервалу, $[г/см^3]$; $C_{лі}$ – концентрація води в середовищі чорних ЛПВМ в кінці і-го інтервалу, $[г/см^3]$; dp_i/dt – швидкість введення позитивної реактивності в розмножуюче середовище ПВМ з високою концентрацією урану, усереднене по і-му інтервалу, $[β/с]$.

Графічне представлення модельної динаміки ЩПН, що реєструється, та її прогнозна динаміка показані на рисунку 1.

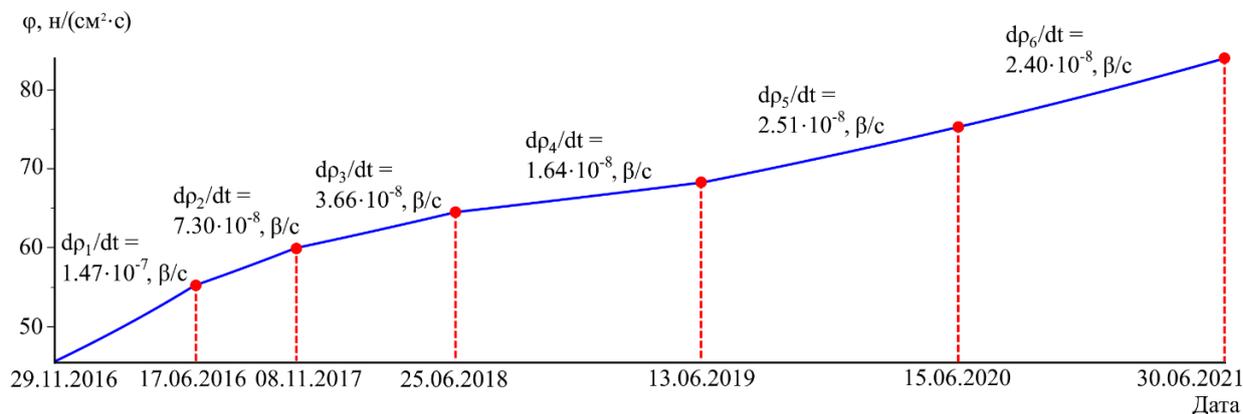


Рисунок 1 - Змодельована динаміка ЩПН, що реєструється БД №3

Таблиця 1 - Розрахункові і прогнозні значення сумарної ЩПН, $K_{ефКМ}$ та швидкості виходу води з КМ

№ інт.	$\Phi_i, н/(см^2 \cdot с)$	$\Phi_{i+1}, н/(см^2 \cdot с)$	$V_{сли}, г/(см^3 \cdot с)$	$V_{ски}, г/(см^3 \cdot с)$	$K_{ефКМі}$	$K_{ефлі}$	$C_{КМі}, г/см^3$	$C_{лі}, г/см^3$	$dp_i/dt, \beta/с$
1	45.5988	55.2122	3E-09	1.801E-09	0.9346	0.3205	0.4889	0.6383	1.47E-7
2	55.2122	60.0340	3E-09	1.010E-09	0.9404	0.3279	0.4763	0.6008	7.30E-8
3	60.0340	64.7019	3E-09	5.357E-10	0.9450	0.3403	0.4657	0.5415	3.66E-8
4	64.7019	68.5500	3E-09	2.499E-10	0.9483	0.3612	0.4581	0.4500	1.64E-8
5	68.5500	75.8700	3E-09	4.082E-10	0.9535	0.3829	0.4451	0.3546	2.51E-8
6	75.8700	84.0437	3E-09	4.082E-10	0.9586	0.4052	0.4317	0.2560	2.40E-8

Розроблений метод оцінки $K_{еф}$ дозволив спрогнозувати подальшу динаміку зміни нейтронної активності ЯНС в приміщенні 305/2. Припускаючи незмінність швидкості зменшення концентрації води в розмножуючому середовищі скупчення консервативна оцінка швидкості введення позитивної реактивності (за поточною динамікою ЩПН витоків на інтервалах спостереження) не перевищила $10^{-7} \beta/с$. Таким чином на сьогоднішній день при максимальній швидкості введення реактивності поточний період подвоєння ЩПН не менше 2-х років.

Перелік посилань:

1. Высотский Е.Д., Ключников А.А., Краснов В.А. Локализация ядерно-опасных скоплений топливосодержащих материалов // Проблемы безопасности атомных электростанций і Чернобиля. - 2007. – Вип. 7. – С. 66 – 75.
2. Е.Д. Высотский. Алгоритм оценки уровня подкритичности скопления ядерно-опасных делящихся материалов, локализованного внутри ОУ / Е.Д. Высотский, Р.Л. Годун, К.О. Суценко // Nuclear Power and the Environment. – 2020. – С. 49 – 56.

Студент 3 курсу, гр. ТЯ-81 Дзерун М.С.
Доц., к.т.н. Лещенко Б.Ю.

ФАБРИКА НЕЙТРОНІВ

Джерело нейтронів пропонується на об'єднанні ряду високоенергетичних прискорювачів і дослідного реактора з контрольованим спектром (ADS). На "Нейтронній фабриці" очікується, що прискорювачі і реактор можуть експлуатуватися як самостійно так і в поєднанні для створення різних видів "контрольованих нейтронів" в енергетичному та часовому просторах [1]. Цей проект пропонується реалізувати на базі прискорювачів та дослідницького реактора університета Кіото, Японія.

Структурна схема оригінального плану "Нейтронної фабрики" [2] показана на рис. 1. Дейтрони або молекули водню з інтенсивністю пучка 100 мА, добуті з джерела іонів, прискорюються до 400 кеВ за допомогою першого радіочастотного прискорювача (RFQ). Другий RFQ підвищує енергію пучка до 2 МеВ, використовуючи тільки 10% початкового струму (10 мА). Наступний лінійний прискорювач на основі дрейфових трубок (DTL) працює з робочим навантаженням 1% (струм 1 мА), щоб отримати енергію пучка 20 МеВ. Перед входом в наступний прискорювач молекули H_2^+ проходять через «стріповий» пристрій, який перетворює молекулярний пучок в пучок протонів (прискорення протонів є економічним для енергій більше 20 МеВ), з подальшим прискоренням їх до енергії 100 МеВ. Нарешті, протонний пучок 300 МеВ і 0,3 мА отримують за допомогою лінійного прискорювача (DAW). Цей протонний пучок прямує до мішені, яка розміщена в центрі активної зони дослідницького реактора, що знаходиться у підкритичному стані. Імпульс протонів із прискорювача генерує великий потік нейтронів із мішені і переводить реактор в робочий стан. Потік нейтронів в режимі ADS може зростати до 20-40% в порівнянні з роботою реактора без керування прискорювачем. Енергетичний спектр реакторних нейтронів залежить від спектра нейтронів, що переводить реактор із підкритичного в робочий стан.

Використовуючи дейтрони з енергією 400 кеВ з першого RFQ, інтенсивні нейтрони 14 МеВ можуть генеруватися через D-T реакцію. Ці нейтрони придатні для дослідження матеріалів термоядерного реактора, в тому числі важливо вирішити проблему, пов'язану з отриманням та обробкою великої кількості тритію. Нейтрони з енергією 3 МеВ можуть генеруватися через реакцію D-Be з використанням дейтронів з енергією 2 МеВ з другого RFQ. Ці нейтрони можуть бути сповільнені до епітермальних нейтронів, які вважаються ефективними в медицині для терапії методом борного нейтронного захоплення (BNCT). Використовуючи 20 МеВ дейтрони з першого DTL, близько 10 МеВ нейтронів можна генерувати через реакцію D-Be. Ці нейтрони можна використовувати в нейтронній спектроскопії методом часу прольоту.

Протони з енергією 100 МеВ можуть генерувати нейтрони з вищою енергією, ніж вищезазначені, які придатні для фізики нейтронів. Використовуючи протони з енергією 300 МеВ від кінцевого DAW, великі потоки нейтронів можуть генеруватися в результаті реакції розщеплення. Ці нейтрони придатні для експериментів з розсіювання нейтронів, для аналізу структури різних матеріалів. Нарешті, інтенсивні нейтрони, що генеруються в ADS, можуть бути використані для різних галузей досліджень нейтронної науки.

Також є удосконалені схеми [1, 2], як показано на рис. 2. Кінцева енергія протонного пучка була підвищена до 500 МеВ. Від прискорення дейтрона було відмовлено, оскільки існує сильний запит на використання P-Li реакції на утворення епітермальних нейтронів для медичних цілей і, схоже, є безнадійно обробляти велику кількість тритію. Розглянемо два плани. Система лінійних прискорювачів (план 1), а інша – частково заснована на кільцевій циклотронній системі для прискорення вищої енергії протона (план 2).

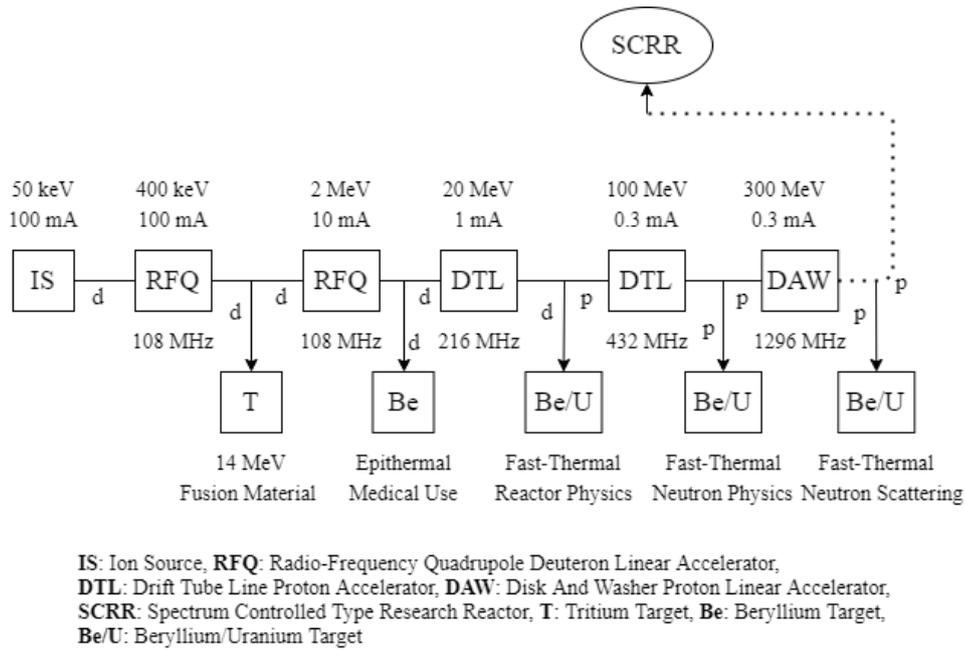


Рисунок 1 - Структурна схема оригінальної “Нейтронної фабрики”

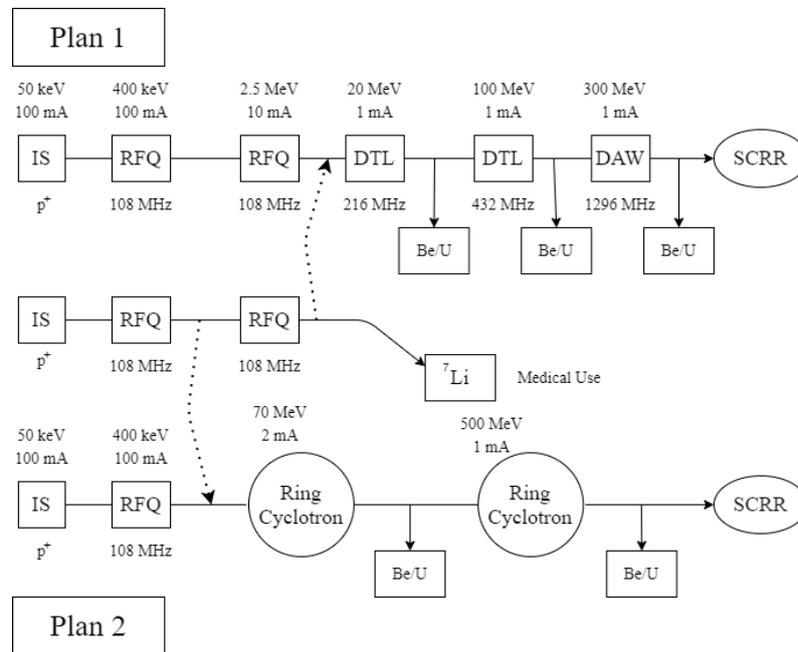


Рисунок 2 - Структурна схема удосконаленої “Нейтронної фабрики”

Перелік посилань:

1. Leshchenko B.E., Onishchuk Yu.N., Litovchenko P.G., Kolomiets N.F., Dryapachenko I.P., Koval G.N. The accelerator based neutron sources in Ukraine and their application for nuclear physical and applied utilization. Report IAEA, Technical Committee Meeting on Application of Accelerator Based Neutron Sources, Debrecen, Hungary, 2000.
2. “Factory Project at KURRI,” Proc. 11th Symp. On Accelerator Science and Technology, Oct. 21 – 23, 1997, Harima, Hyogo, Japan.

Студент 3 курсу, гр. ТЯ-81 Коваленко О.В.
Аспірант, Філонова Ю.С.

КОНЦЕПЦІЯ СПРЯЖЕНОГО РОЗРАХУНКУ ПОЛЕЙ РАДІАЦІЙНОГО ЕНЕРГОВИДІЛЕННЯ ТА ТЕМПЕРАТУРИ З УРАХУВАННЯМ ОСОБЛИВОСТЕЙ ФОРМОЗМІНИ ВИГОРОДКИ ВВЕР-1000

На сьогоднішній день вигорodka реактора ВВЕР-1000 є основним лімітуючим фактором понад проектного терміну експлуатації. Переоцінка ресурсу вигорodka є комплексною задачею, яка в загальному випадку потребує аналітичних обґрунтувань зони періодичних натурних досліджень, а також повного аналізу прогнозного стану. Провести дослідження, а отже і отримати верифікаційні результати неможливо для «гарячого» стану реактора з урахуванням радіаційного поля. Єдиний спосіб, який дозволяє отримати геометричні характеристик вигорodka – це дослідження зміни геометрії у холодному стані, а потім ці експериментальні данні інтерпретувати на «роботу на потужності». Якість прогнозу стаціонарного стану вигорodka при роботі на номінальній потужності очевидно залежить від фізичної обґрунтованості розрахункової моделі. Взагалі, всі математичні моделі, які використовуються для оцінки напруженого стану використовують експериментальні данні, які узагальнені неявними функціями. Сучасна процедура переоцінки стану вигорodka послідовна і базується на трьох основних кроках: розрахунок радіаційного енерговиділення і пошкоджуваності [1], розрахунок температурного поля [2] та оцінка формозміни [3]. Результати, які отримані послідовним аналізом свідчать про те, що починаючи з 20-25 кампанії внаслідок деградації геометрії можуть з'являтися радіальні перетоки із активної зони у напрямку внутрішньокорпусної шахти реактору з інтенсивністю еквівалентною проектному байпасу теплоносія (~1% від номінальної витрати). Це призводить до того, що локально змінюються умови експлуатації активної зони, а отже і з'являється зворотній зв'язок, принаймні між другим та третім кроком послідовної процедури.

З метою обґрунтування надійності тепловідводу від вигорodka при зміні умов охолодження (контактна задача) була розроблена спеціальна, знову ж таки, послідовна методика, яка дозволила оцінити вплив контактної задачі, а також верхню межу інтенсивності радіального перетоку, яка склала ~5÷7%. Надивлячись на те, що за результатами аналізу стаціонарного стану при роботі на номінальному рівні потужності критичних змін параметрів активної зони не виявлено, все одно виникає потреба переоцінки аварійних режимів з мінімальним запасом до кризи теплообміну. Таким чином послідовна методика контактної задачі вимагає аналізу системного впливу РУ на активну зону, що є досить складною розрахунковою проблемою. До того ж, в запропонованій методиці радіаційні енерговиділення приймаються як вхідні данні.

В даній роботі описується концепція формування полів радіаційного енерговиділення – температури з урахуванням радіального перетоку фіксованої форми. Розрахунок температури вигорodka виконується на за допомогою CFX, а поле радіаційного енерговиділення – MCNXP2.6. Для обміну даними між кодами розроблений спеціальний інтерфейс за допомогою MATLAB, принципова схема якого представлена на Рис. 1. За допомогою MATLAB організована спеціальна функція, яка на основі користувацьких налаштувань та даних (температура, густина), автоматично генерує вхідний файл для MCNXP2.6. Всього інтерфейс включає в собі три наперед задані розрахункові моделі: вигорodka та її кріпильні елементи, а також шахта (CFX, 3D; поперечний переріз з монолітним матеріалом вигорodka (MCNXP2.6, 2D); поперечний переріз у місці розкриття (MCNXP2.6, 2D). Остання модель дозволяє в умовному поперечному перерізі вигорodka задавати розподіл гомогенізованого матеріалу 08X18H10T – вода. Можливість формувати розподіл матеріалу, густини, та температури по поперечному перерізу вигорodka в

MCNPX2.6 забезпечена шляхом використання технології чарункового опису геометрії (аналог дискретизації в CFX). Використання такої технології має два суттєві недоліки – неможливість паралельно розігрувати історії, а також підвищені вимоги до об'єму оперативної пам'яті. Перша проблема вирішується концепцією розрахунку на одній ітерації (Рис.2), друга – шляхом використання Linux.

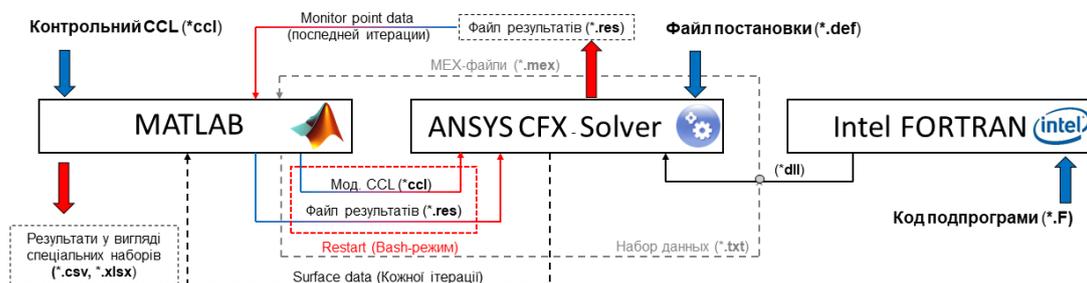


Рисунок 1 – Принципова схема взаємодії MATLAB-CFX [4]

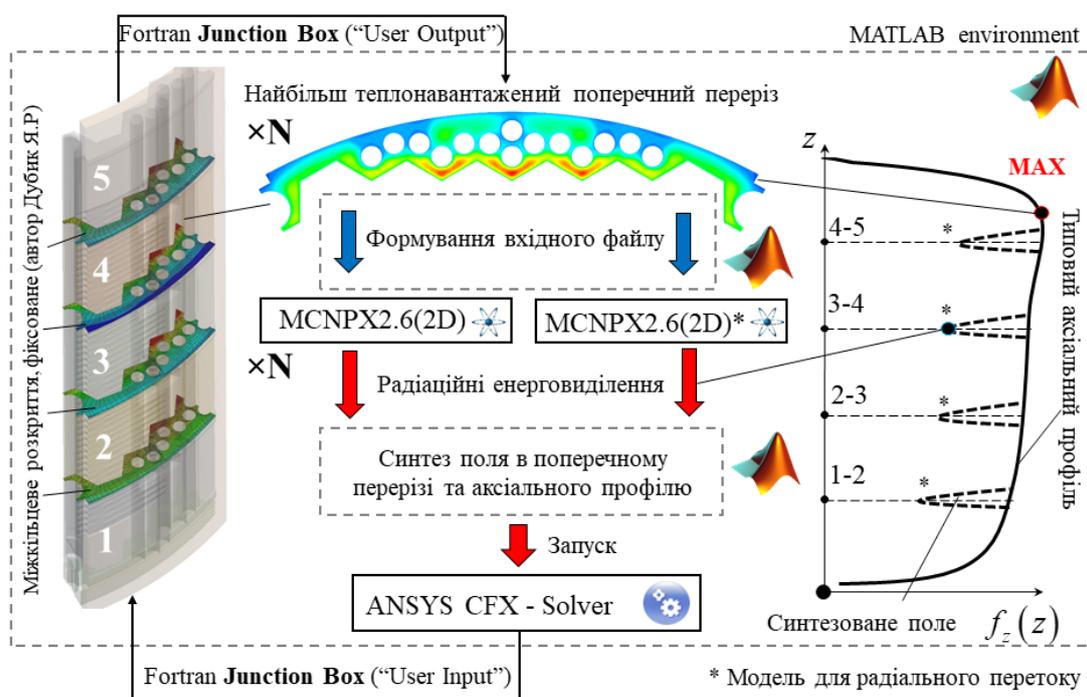


Рисунок 2 – Принципова схема спряженого розрахунку полів енерговиділення та температури

Перелік посилань:

1. Расчет флюенса нейтронов и тепловыделения в конструкционных элементах реактора ВВЭР-100 0 методом Монте-Карло / А.Абдуллаев, С. Солдатов, В. Ганн, С. Черницкий. // Ядерна та радіаційна безпека. – 2018. – №1. – С. 11–16.
2. Dybuk Y. Swelling of the WWER-1000 Reactor Core Baffle / Y. Dybuk, V. Filonov, Y. Filonova. // IASMiRT. – 2019.
3. Improved Computational Fluid Dynamics Framework for Reactor Core Baffle Swelling Assessment / Y.Filonova, Y. Dubyk, V. Filonov, V. Kondratjuk. // Journal of Nuclear Engineering and Radiation Science. – 2021. – №1. – С. 1–10.
4. Філонов В. В. Применение связки MATLAB + FORTRAN ДЛЯ расширения расчетных возможностей ANSYS CFX / В. В. Філонов, О. В. Коваленко, Ю. С. Філонова. // тезиси VII МНПК "Компьютерная гидромеханика". – 2020.

Студент 4 курсу, гр. ТЯ-71 Абрамов Ю.Ю.
Доц., к.т.н. Клевцов С.В.

ВПРОВАДЖЕННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ УДОСКОНАЛЕННЯ УЩІЛЬНЕННЯ ГОЛОВНОГО РОЗ'ЄМУ РЕАКТОРА ТИПУ ВВЕР-1000

Робота присвячена контролю ущільнень рознімних з'єднань реакторних установок (РУ) з ВВЕР-1000. Порушення герметичності рознімних з'єднань може призводити до аварій, пов'язаних з виходом радіоактивного теплоносія за межі відповідного контуру РУ, а так само викликати корозійне ушкодження (або руйнування) елементів конструкції РУ.

З 1985 року, на ущільнювальній поверхні і в канавках, які використовуються для укладання в них пруткових нікелевих прокладок з метою ущільнення головного роз'єму реактора (ГРР), стали виявлятися мікротріщини, вм'ятини, забоїни і інші дефекти. Причиною їх утворення є корозійне розтріскування металу, що знаходиться під напругою, наявність агресивного середовища на фланці корпусу реактора, а також через низьку культуру виробництва, технічного обслуговування і ремонту ГРР [1].

При затягуванні шпильок ГРР відбувається пластична деформація прокладок із заповненням обсягу ущільнюючих канавок, при прикладанні більшої сили для затягування шпильок ніж потрібно, відбувається також деформація ущільнюючих канавок та витягування різьби шпильок, і саме цей процес більше всього впливає на зношення ущільнення ГРР, і тому контроль цього процесу повинен бути якомога більш якісним. І саме цією вимогою обумовлена необхідність встановлення нового обладнання, що має більшу точність виконання своєї функції [2].

Повинно застосовуватись спеціальне обладнання, яке дозволяє виконувати ущільнення ГРР з проведенням вимірів параметрів ущільнення, а також з автоматичним обчисленням і фіксацією даних:

- притискний пристрій для прокладок, для якісної і надійної установки (укладання) прокладок в трикутні канавки фланця корпусу реактора, що б уникнути "вискакування" з канавки, і як наслідок їх перетиску верхнім блоком;

- пристрій для монтажу верхнього блоку, для точного поєднання верхнього блоку з фланцем корпусу реактора по отворах під шпильки і патрубки з дотриманням співвісності по каналах системи управління і захисту реактора (СУЗ) і забезпеченням установки верхнього блоку без перекосу;

- пристрій для контролю профілю канавок ГРР, для вимірювання профілю канавок, його допустимого або неприпустимого відхилення. Перспективним варіантом є система контролю ущільнюючих поверхонь (СКУП) ГРР, що оснований на оптичному методі замість часто використовуваної каліброваної кульки;

- гайковерт для одночасної затяжки всіх шпильок ГРР;

- машина багатофункціональної дії, за допомогою якої проводиться вимірювання дефектів на ущільнюючих поверхнях ГРР, їх шліфовка, обробка металу фланця корпусу гострінням, фрезеруванням, виробництво зварювальних робіт при виправленні як локальних дефектів, так і повного зняття поверхневого шару металу на необхідну глибину [1].

Своєчасне виявлення і усунення дефектів ущільнюючої поверхні може попередити ситуацію, коли через ці дефекти для забезпечення герметичності доводиться збільшувати силу обтиску прокладок, що в свою чергу призводить до значної деформації ущільнюючої прокладки, фланців і шпильок, і як наслідок їх капітального ремонту чи заміни з подальшими капітальними витратами.

Контроль щільності роз'єму реактора виконується за допомогою свердління в порожнині між прокладками. Таким чином, міжпрокладочна порожнина підключена до датчика тиску. При появі нещільності внутрішньої прокладки і підвищенні тиску в

міжпрокладочній порожнині персонал блочного щита управління (БЩУ) має можливість дистанційно контролювати процес затягування шпильок для створення більшої сили затягування в проблемному місці і як наслідок усунення нещільності [3].

Оскільки значну роль у щільності ГРП відіграє геометрична цілісність ущільнюючих поверхонь, то для їх контролю використовується пристрій для контролю ущільнюючих канавок, що базується на вимірюванні відстані (виступу) каліброваної кульки, поміщеної в канавку, відносно ущільнювальної поверхні фланця корпусу реактора.

Перспективний варіант СКУП ГРП засновується на тіньовому методі. Тіньовий метод полягає в тому, що світло джерела падає на спеціальний бар'єр, який формує затінену область в канавці, в точності повторює її профіль, яка в свою чергу реєструється відеокамерою. На відміну від традиційного методу вимірювання параметром є площа перетину ущільнювальної канавки і нам'ятини [3].

Використання сучасного обладнання також дає певні переваги:

- у гайковертів останніх поколінь одночасна гідравлічна витяжка і відкручування шпильок є лише однією з багатьох функцій. У систему зараз інтегровані не тільки транспортування реакторних шпильок і гайок кришки, а й вимір, збір і реєстрація всіх відповідних робіт і параметрів. Так наприклад, під час процесу витяжки шпильок при ущільненні відбувається електронна реєстрація фактичного подовження всіх реакторних шпильок, висновок інформації на екран центрального пульта гайковерта, і введення в пам'ять ПК. Таким чином після закінчення процесу витяжки шпильок при ущільненні є можливість документального підтвердження належного ущільнення корпусу реактора. Також нові гайковерти легші і мобільніші, керування ними дистанційне, а отже і кількість радіаційних навантажень на персонал менша, а кількість задіяних працівників менша;

- багатофункціональна машина, прикладом якої може бути діюча наразі в Україні US-3000R, просто необхідна при ремонті ГРП, бо вона дозволяє виконувати такі операції як видалення утвореного дефекту на ущільнюючій поверхні, обробка наплавленої поверхні і відновлення канавки на ущільнюючій поверхні, з дуже високою точністю проведення операцій, а також в дистанційному режимі, що зменшує отриману дозу опромінення персоналом. Саме завдяки такій машині можливе повне відновлення ГРП.

Отже, сучасне обладнання із системами контролю виконання процесів сприяє оптимізації часу на виконання операцій майже в два рази та значно зменшує знос елементів, що належать до ГРП. А саме обладнання повністю контролюване та просте в експлуатації.

Перелік посилань:

1. Комплексна програма підвищення безпеки енергоблоків АЕС України Київ: Розпорядження // Кабінет міністрів України.– 2010.– С. 73
2. Селезньов О.В., Хайретдінов В.У. [та ін.]. система контролю ущільнюючих поверхонь головного роз'єму реактора: Збірник праць 3-ої НТК «Забезпечення безпеки АЕС з ВВЕР / Подольск, 2003 т. 3, с. 203-216.
3. Прантль А., Свобода В., Здебор Я. характеристика ущільнення фланців в реакторі типу ВВЕР: Збірник праць 7-ої НТК «Забезпечення безпеки АЕС з ВВЕР / Подольск, 2011 т. 4, с. 237-240.

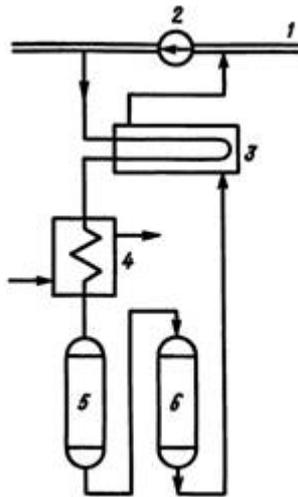
Студент 4 курсу, гр. ТЯ-72 Бондарук М.В.
Доц., к.т.н. Коньшин В.І.

ОЧИЩЕННЯ ТЕПЛОНОСІЯ 1-ГО КОНТУРУ ЕНЕРГОБЛОКУ З ВВЕР-440

На АЕС велику роль в надійності її роботи відіграє водно-хімічний режим (ВХР). Цей режим є основою підтримання необхідних норм якостей теплоносія 1-го контуру, до якого висувається ряд вимог. В якості теплоносія на блоках типу ВВЕР використовується вода. Це зумовлено її фізично-ядерними властивостями та доступністю в природі.

При тривалій роботі теплоносії 1-го контуру піддається значному забрудненню, яке викликане корозією конструкційних матеріалів під час експлуатації та посиленням корозійної агресивності теплоносія внаслідок борного регулювання реактивності. Домішки в теплоносії можуть бути як в розчиненому стані, так і в не розчиненому. Очищення теплоносія 1-го контуру від нерозчинних забруднень досягається застосуванням механічних фільтрів, передбачених системою очищення. В іонообмінних фільтрах використовуються іонообмінні смоли «ядерного» класу високої чистоти [1].

На ВВЕР-440, зазвичай, установки водоочищення мають два іонообмінних фільтра, розрахованих на роботу без скидання тиску (рис. 1). За проектом один з фільтрів повинен завантажуватися катіонітом (смола КУ-2-8 чс), інший - аніонієм (смола АВ-18-8 чс).



1 - трубопровід 1-го контуру; 2 - головний циркуляційний насос; 3 - регенеративний теплообмінник; 4 - доохолоджувач продувки; 5 - катіонітовий фільтр в K^+ - NH^- формі;
6 - аніонітовий фільтр в OH^- формі

Рисунок 1 – Схема очищення продувочної води на АЕС з ВВЕР-440 [2]

З часом стало зрозуміло, що двох фільтрів для підтримання ВХР при перехідних процесах недостатньо. У перехідних процесах внаслідок зміни запасу реактивності, пов'язаного з впливом температурних ефектів і «отруєння», виникає необхідність оперативної зміни концентрації борної кислоти. Тому прийшли висновку, що найбільш вдалим рішенням буде відведення окремого аніонітового фільтра для регулювання концентрації борної кислоти. Цей фільтр при стаціонарній роботі реактора відключається від 1-го контуру і підключається до нього тільки при необхідності зменшення концентрації рідкого поглинача нейтронів. Також, в ВВЕР-440 виявилось можливим заповнити один з двох фільтрів сумішшю катіоніта та аніоніта (в співвідношенні 1:1). При стаціонарному режимі роботи реакторної установки очищення теплоносія відбувається лише на цьому

фільтрі, який отримав назву ФЗД (фільтр змішаної дії). Другий ж фільтр завантажувався аніонітом та слугував для регулювання концентрації борного розчину кислоти [2].

Для видалення розчинних домішок (рідких) та їх подальшої переробки передбачена система, що включає в себе сім видів спеціального водоочищення (СВО). Частина системи СВО відноситься до установок реакторного відділення (СВО-1 та СВО-2), а інша частина – до установок спецкорпусу (СВО-3, СВО-4, СВО-5, СВО-6 та СВО-7) [3]. Кожна установка водоочищення має своє призначення:

1. СВО-1 – очистка продувної води теплоносія 1-го контуру від продуктів корозії в дисперсній формі;
2. СВО-2 – очистка організованих протічок и продувної води 1-го контуру від хімічних та радіоактивних забруднень в період нормальної експлуатації реактору; очистка теплоносія при всіх операціях, зв'язаних з змінною концентрації борної кислоти в 1-ому контурі, газовидалення, при розігріві 1-го контуру під час пуску, при опорожненні петель чи контуру в період ремонту;
3. СВО-3 – очистка трапних вод: неорганізовані протічки 1-го контуру, неорганізовані протічки з системи технічного водопостачання спецкорпусу і реакторних відділень; води дезактивації; регенераційні води СВО;
4. СВО-4 – очистка води басейнів витримки відпрацьованого палива, води баків аварійного запасу розчину борної кислоти, баків зливів басейнів перевантаження;
5. СВО-5 – очистка продувної води парогенераторів
6. СВО-6 – очистка вод з вмістом бору з одночасної регенерацією борної кислоти;
7. СВО-7 – очистка вод спецпаральні.

Загалом рідкі радіоактивні відходи на АЕС розбиті на чотири групи:

- група I – знесоленні води організованих протічок, води розпушування іонітових фільтрів;
- група II – трапні води;
- група III – сольові відходи, до яких входять води регенерації, регенераційні розчини, води лабораторій;
- група IV – інші відходи.

Призначення систем поводження з рідкими радіоактивними відходами полягає в локалізації, переробці та затвердінню цих відходів для наступного їх зберігання [4].

Можна зазначити, що засоби забезпечення водно-хімічного режиму забезпечують підтримку нормованих показників якості теплоносія і допустимий стан внутрішніх поверхонь обладнання та трубопроводів основного контуру, що безпосередньо є важливою ланкою в забезпеченні безпечного режиму експлуатації на АЕС.

Перелік посилань:

1. Гостков В.В. (1999). Режимы и нормы эксплуатации оборудования по химико-радиоактивному цеху АЭС. Иваново: Ивановский государственный энергетический университет. 258 с.
2. Эксплуатационные режимы водо-водяных энергетических реакторов – очистка воды 1-го контура. URL: <https://leg.co.ua/arhiv/generaciya/ekspluatsionnye-rezhimy-vodo-vodyanyh-energeticheskikh-reaktorov-23.html> (дата звернення: 12.03.2020).
3. Копылов А. С. «Спецводоочистка на атомных электростанциях»/ Копылов А. С. – Москва, 1988. – 208 с.
4. Чиж В. А., Карницкий Н. Б., Нерезько А. В. «Водоподготовка и водно-химические режимы ТЭС и АЭС», 2010. – 351 с.

Студент 4 курсу, гр. ТЯ-72 Вігор Я.П.
Асист. Остапенко І.А.

АНАЛІЗ ВПЛИВУ РАДІАЦІЙНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА МІЦНІСТЬ КОРПУСІВ РЕАКТОРІВ ТИПУ ВВЕР-1000

Максимальний вплив на механічні властивості металу корпусу в процесі експлуатації надає нейтронне опромінення, що приводить до радіаційного окрихчування. Основним фактором, що визначає зміну властивостей матеріалів (критичної температури крихкості, межі текучості та інших) під опроміненням, є величина флюенса швидких нейтронів. Крім того, відомо, що зміна властивостей сталі під опроміненням є результатом впливу цілого ряду інших факторів, які можна розділити на дві групи:

- фактори, пов'язані з властивостями самих матеріалів, - хімічний склад і мікроструктура сталі;
- фактори, пов'язані з умовами опромінення, - температура опромінення, форма спектра і щільність потоку нейтронів.

Результати випробувань зразків-свідків є підставою для встановлення фактичних змін металу корпусів-свідків в умовах експлуатації АЕС і повинні використовуватися для прогнозування ресурсу роботи корпусів-реакторів (КР), з точки зору опору крихкому руйнуванню. На відміну від західних програм зразків-свідків, в Україні, так само як і в Росії використовується двоповерхова установка зразків-свідків. Нейтронний потік, падаючий на зразки верхнього ряду, приблизно дорівнює нейтронному потоку, падаючому на внутрішню поверхню корпусу реактора проти центру активної зони. Зразки нижнього ряду сприймають дещо більший (приблизно в 2,5 рази) потік швидких нейтронів і призначені для прогнозування стану металу корпусу реактора на найближчі 5 або 10 років. Крім опромінюючих зразків під кришкою корпусу реактора знаходяться температурні зразки. Вони призначені для відділення змін властивостей металу, пов'язаних з температурним старінням, від змін, пов'язаних з дією радіації (рис.1) [1].

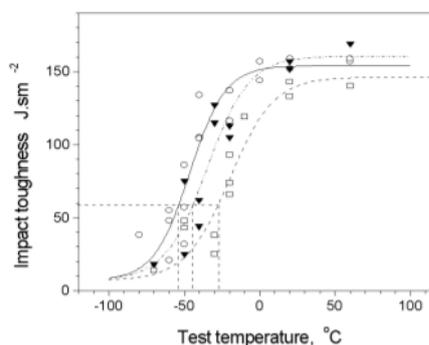


Рисунок 1 - Температурна залежність ударної в'язкості за результатами випробувань зразків-свідків металу зварного шва (P-0,005%, Si- 0,06%, Ni-1,72%) після 5 років опромінення: неопромінені зразки (○), термічні зразки (▼) і опромінені зразки (□).

Корпуси реакторів типу ВВЕР-1000 виготовляються зі сталі перлітного класу типу 15X2НМФАА. Концентрація найбільш небезпечних з точки зору радіаційного окрихчування елементів - фосфору і міді обмежена: фосфору - межею 0,010%, міді - 0,1%, а сума концентрацій фосфору, сурми і олова - рівнем 0,013%. З метою підвищення технологічності при зварюванні обичайок в сталь доданий ванадій (не більше 0,1%), а також нікель як елемент, зміцнюючий феррит одночасно з підвищенням його в'язкості. Дослідження радіаційного окрихчування [2] показало, що для матеріалів з підвищеним вмістом нікелю спостерігаються значні відмінності в дозовій залежності. Експериментальні

дані показують, що нікель значно збільшує чутливість корпусних сталей до радіаційного окрихчування. У нормативних документах, що діють в СНД, встановлено, що при утриманні нікелю $\leq 1,3\%$ Ступінь радіаційного окрихчування оцінюється за формулою:

$$\Delta T_f = A_f F^{1/3}.$$

Де флюенс F виражений в одиницях $10^{18} \frac{\text{нейтр.}}{\text{см}^2}$ ($E \geq 0,5 \text{ MeV}$), а коефіцієнт радіаційного окрихчування A_f становить:

для основного металу $A_f = 23, T_{ko} < 250^\circ\text{C}$;

для металу зварного шва $A_f = 20, T_{ko} < 0^\circ\text{C}$.

Оскільки в корпусних сталях українських АЕС вміст міді і фосфору дуже низький і для всіх блоків дуже близький, а концентрація нікелю істотно розрізняється, то ефект зміщення температури крихко-в'язкого переходу під дією опромінення можна пов'язати з різним вмістом нікелю в сталі. Монотонне збільшення радіаційного окрихчування з концентрацією нікелю спостерігається на зразках зварного шва на противагу основному металу. Накопичений досвід показав, що теплове окрихчування навіть при відносно низькій (до 350°C) температурі може істотно впливати на безпеку при тривалій експлуатації. Так, з метою запобігання окрихчування теплостійких хромомолібденових сталей при відпустці і в процесі експлуатації в матеріалі має бути обмежено вміст фосфору, олова, сурми, кремнію і марганцю. Обмеження цих домішок в металі шва враховуються критерієм Брускато X :

$$X = \frac{(10P+4Sn+5Sb+As)}{100} \leq 15 \cdot 10^{-6},$$

а для основного металу – критерієм Ватанабе I :

$$I = (Mn + Si)(P + Sn) \cdot 10^4 \leq 150.$$

У зв'язку з цим ЦНДІ КМ «Прометей» в кінці 1990-х років для автоматичного зварювання сталі 15Х2МФА розробив зварювальний дріт марки Св-10Х3ГМФТАВІІ і флюс ФП-33, а для ручного електродугового зварювання тієї ж сталі - електроди марки ЕП-35 (на базі дроту Св-10Х3ГМФТА-ВІІ) [1]. У порівнянні з використовуваним раніше дротом Св10ХМФТУ в дроті нової марки вміст молібдену збільшено з 0,4 ... 0,6 до 0,6 ... 0,8%, що дозволило отримати метал зварного шва рівномірним основному металу. Збільшення вмісту хрому з 1,6 ... 1,8 до 2,1 ... 2,5% забезпечило отримання металу литого шва з більш вузькою структурою. Виготовлення дроту марки Св-10Х3ГМФТА-ВІІ засвоєно промисловістю, вона виплавляється на особливо чистій шихті із застосуванням вакуумно-індукційної і вакуумно-плазмової переплавки. Відмінною особливістю флюсу марки ФП-33 є менший вміст в ньому таких активних оксидів, яким є діоксид кремнію і оксид марганцю, а також наявність діоксиду титану. Це дозволяє при зварюванні знизити інтенсивність відновлення кремнію і марганцю в металі шва з флюсу, що сприяє підвищенню опору тепловому окрихчуванню. Так, гарантоване значення межі текучості при температурі 350°C становить не менше 420 МПа, а критична температура крихкості не перевищує -20°C . Дослідження схильності до теплового окрихчування металу шва даної композиції показало, що метал шва відрізняється низькою чутливістю до теплового окрихчування в разі тривалої витримки при температурі старіння 350 ... 550°C .

Перелік посилань:

1. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ И ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ И РЕСУРСА АЭС С РЕАКТОРАМИ ВВЭР / И. В. Горынин, Г. П. Карзов, Б. Т. Тимофеев, С. Н. Галяткин. // Автоматическая Варка. – 2006. – С. 20.
2. РАДИАЦИОННОЕ ОХРУПЧИВАНИЕ КОРПУСНЫХ СТАЛЕЙ УКРАИНСКИХ АЭС / [И. Н. Вишневский, Э. У. Гриник, Л. И. Чирко та ін.]. // Научный центр "Институт ядерных исследований" НАН Украины, г. Киев. – 1997. – С. 20.

Студент 4 курсу, гр. ТЯ-72 Іванов Д.С.
Доц., к.т.н. Новаківський Є.В.

ОПТИМІЗАЦІЯ СТРАТЕГІЙ ТЕХОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТ (У Т.Ч. НА ОСНОВІ ІМОВІРНІСНИХ ПІДХОДІВ)

Імовірнісний підхід та його напрямки.

Основою імовірнісного підходу [1] є системний кількісний аналіз мислимих сценаріїв аварій (випадків), а також послідовне дослідження кожного випадку, включаючи шляхи розвитку процесів і ситуацій, з урахуванням накладених відмов елементів системи, масштабу наслідків, впливу невизначеностей і людського фактору.

Найбільш важливими напрямками використання імовірнісного аналізу є:

- порівняльний аналіз технічних рішень по установці і системам безпеки (ймовірні оцінки дозволяють зробити обґрунтований вибір між конкуруючими рішеннями, а також дослідити чутливість результатів до зміни вихідних параметрів);
- регламентні перевірки систем безпеки (кількісні дослідження дають можливість визначити оптимальну періодичність перевірок);
- оцінка вкладу різних чинників і систем в показники захищеності і вибір пріоритетних напрямків її підвищення.

Імовірнісний аналіз аварій і оцінка безпеки.

Комплексний аналіз безпеки [2] припускає поряд з оцінкою величини наслідків аварій визначення частоти їх виникнення та деякого інтегрального показника, що враховує обидва зазначені чинники. В якості такого показника використовують ризик.

Ризик від АС - це міра потенційну небезпеку атомної станції, виражена імовірнісним розподілом наслідків (ступіню ураження людей, матеріальних збитків) аварій на АС або деякої характеристикою зазначеного розподілу. В якості такої характеристики часто розглядається середнє значення величини наслідків. Так якщо P - ймовірність деякої аварії з наслідком C , то складова ризику від даної аварії запишеться у вигляді $R=P \cdot C$.

Імовірність P визначається головним чином ймовірністю виникнення вихідного події, що призводить до розглянутої аварії, надійністю захисних, локалізуючих, керуючих і забезпечуючих систем, виконуючих функцій безпеки при даній аварії, імовірнісним розподілом погодних умов.

Величина наслідків залежить від потужності реактора, ступеня ушкодження активної зони і першого контуру, ефективності локалізуючих систем, характеру розсіювання радіонуклідів в навколишнього середовища і ряду інших чинників.

Визначений у такий спосіб ризик може бути використаний для порівняння рівня безпеки як атомних станцій різного типу та місцезнаходження, так і рівня небезпеки АС в порівнянні з небезпекою неядерних енергоджерел, промислових об'єктів, транспортних засобів, катастрофічних природних явищ (землетрус, урагани і ін.) і побудови на цій основі імовірнісного критерія безпеки.

Основою, організуючим початком імовірнісного аналізу аварій є графоаналітичний метод "дерева подій". За початкову точку "дерева подій" береться вихідна подія і в залежності від стану систем, що впливають на перебіг аварійної ситуації, здійснюється логічний перебір різних шляхів роз- ку аварії ("гілок дерева подій") і се наслідків.

Для побудови "дерева подій" необхідно визначити, які системи впливають на розвиток аварії. Так, для аварії з розривом трубопроводу першого контуру установки з ВВЕР до таких систем відносяться: система надійного електропостачання, система пасивного вприскування від гідроакумуляторів, система актину уприскування низького тиску, спринклерна система, система локалізації радіоактивних продуктів всередині герметичних приміщень або захисної оболонки.

Після визначення важливих для розвитку аварій систем, вони рас покладаються в порядку за часом дії їх на перебіг режиму.

Висновки:

Отже, імовірносний підхід можна застосувати і поєднати з техобслуговуванням та ремонтом. І цим самим оптимізувати роботу станції та персоналу, підвищити безпеку та скоротити кількість аварійних ситуацій. В подальшому розглядаючи дану тематику в своїй дипломній роботі я буду посилатися на статистику та плану проведення ППР для конкретних об'єктів та систем, розгляну та порівняю статистику відмов того чи іншого обладнання, цим самим співставляю статистику відмов та створення аварійних ситуацій.

Перелік посилань:

1. Н.И. Гераскин, КРИТЕРИИ БЕЗОПАСНОСТИ, ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ И РИСКА В ЗАДАЧАХ ЗАЩИТЫ ЯДЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ И МАТЕРИАЛОВ, Московский инженерно-физический институт (государственный университет). 115409 Москва, Каширское шоссе, 31
2. А.М. Бахметьев, О.Б.Самойлов, Г.Б. Усынин, Методы оценки и обеспечения безопасности ЯЭУ, Москва Энергоатомиздат 1988

Студент 4 курсу, гр. ТЯ-71 Квятковський Б.Б.
Ст.викл., к.т.н. Семеняко О.В.

МОДЕРНІЗАЦІЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ РАДІАЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ НА АЕС

Згідно з законодавством України, діяльність в сфері використання ядерної енергії та охорони навколишнього середовища певним чином регламентується. Для цього на кожній атомній електричній станції (АЕС) передбачено створення автоматизованих систем радіаційного контролю (АСКРО), що повинні безперервно здійснювати спостереження за рівнем радіації на різних ділянках майданчика АЕС. Радіаційний фон в районі розміщення АЕС не повинен перевищувати значення, що було зафіксовано до її будівництва [1].

Всі системи АСКРО повинні безперервно здійснювати контроль радіаційного фону та повинні безперервно перебувати в робочому стані. Саме тому цю систему потрібно модернізувати, щоб ймовірність виходу її з ладу була практично відсутньою [2]. Також важливим параметром є правильність показників датчиків цієї системи. Адже АЕС може працювати в різних режимах, і метеорологічні умови постійно змінюються, тому врахування всіх чинників є важливим. На сайтах кожної АЕС в режимі реального часу можна спостерігати рівень радіаційного фону та метеодані [3].

У випадку факелу викиду радіонуклідів на АЕС, датчики системи АСКРО повинні це зафіксувати, проте за певних умов це може не відбутись, через обмежену кількість та неправильне розташування датчиків АСКРО. Тому дати об'єктивну оцінку радіаційного фону поблизу майданчика АЕС є досить складним завданням. Для кожної АЕС існують вимоги Стандарту до формування мережі розміщення датчиків АСКРО, проте в більшості випадків спостерігаються відхилення від цих вимог [4].

На даний час є важливою модернізація розміщення постів вимірювання радіаційного контролю, адже практично на всіх АЕС кількість датчиків є недостатньою, тому при факелі викиду при певному напрямку та силі вітру датчики можуть нічого не зареєструвати [5]. Модернізація полягає в визначенні їх оптимальної кількості та правильному їх розміщенні, так щоб за аварійних умов хоча б один зареєстрував радіоактивний викид.

Кількість датчиків залежить від багатьох факторів, але насамперед від кількості енергоблоків на АЕС. В зоні спостереження їх повинно налічуватись близько 100. Якщо АЕС має один енергоблок, то на промисловому майданчику та на санітарно-захисній зоні їх кількість не повинна бути меншою ніж 25 штук, а при збільшенні кількості енергоблоків, їх кількість буде тільки збільшуватись [6].

В найбільш простому варіанті, розміщення датчиків прораховується для одного енергоблоку [7]. В випадку декількох енергоблоків їх розміщення можна оптимізувати. Для цього будуються спіралі Архімеда. Вони будуються для кожного енергоблоку окремо. Знаходяться точки перетину прямих, що проходять через датчики та джерела викиду. Точки що дублюються, з метою збереження коштів їх можна відкинути. Точки які залишаються є необхідною кількістю датчиків, що розміщуються між блоками АЕС.

При модернізації автоматичної системи радіаційного контролю, розміщення вже встановлених датчиків потрібно оптимізувати враховуючи розміщення поблизу населених пунктів, розу вітрів, рельєф місцевості, чисельність населення в населених пунктах, можливі джерела викиду, економічні чинники, фізико-технічні чинники [7]. Взявши до уваги всі перераховані фактори та розрахувавши азимутальний розподіл γ -датчиків та розрахувавши їх необхідну кількість, можна говорити про відповідність Стандарту до формування мережі постів контролю [8].

При розміщенні датчиків, що можуть зареєструвати факел викиду, потрібно враховувати їх поріг чутливості та радіус санітарно-захисної зони (СЗЗ) [9].

Датчики типу БДМГ(блоки детектування гама випромінювання) мають поріг

чутливості на рівні 0,1 мкЗв/год, що практично дорівнює потужності дози радіаційного фону природнього середовища [10].

Для вирішення питання доцільності встановлення та правильного розміщення таких датчиків існує декілька підходів. Проте для ефективного розміщення постів контролю принципи їх розміщення повинні відрізнятися для промайданчику, санітарно-захисної зони та зони спостереження [11].

Для виявлення викиду на промайданчику достатньо розташувати датчики по периметру промайданчика. Розташування здійснюється таким чином, щоб ймовірність зафіксувати викид була максимальною. В санітарно-захисній зоні висуваються вимоги, щодо фіксування викиду поза промайданчиком. В зоні спостереження враховують екологічні та санітарно-гігієнічні підходи. Вона може складати на відстань від 3000 до 30000 метрів [12].

В результаті оптимізації розміщення датчиків АСКРО та врахування всіх факторів найбільш достовірну інформацію буде отримано при розміщенні датчиків рівномірно за азимутом, проте відстань від можливого джерела викиду буде різною. Також для отримання більш точних показників кількість датчиків АСКРО повинна бути збільшена до оптимального рівня.

Перелік посилань:

1. Оптимізація місць розміщення та кількості постів автоматизованої системи контролю обстановки АЕС / С.В. Барбашев, П.О. Аверенков // Ядерна та радіаційна безпека. — 2017. — № 3. — С. 40-45.— Бібліогр.: 21 назв. — укр.
2. Україна. Закони. Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку: [введ. в дію Постановою Верховної Ради України № 40/95-ВР від 08 лютого 1995 р.] // Відомості Верховної Ради України. — 1995. — № 12. — Ст. 81.
3. Україна. Закони. Про захист людини від іонізуючого випромінювання: [введ. в дію Постановою Верховної Ради України № 15/98-ВР від 14 січня 1998 р.] // Відомості Верховної Ради України. — 1998. — № 22. — Ст. 115.
4. Україна. Норми та правила в атомній енергетиці. НП 306.2.141-2008. Загальні положення безпеки атомних станцій (ОПБ-2008): [Затвердж. наказом Держатомрегулювання від 19.11.2007 № 162, за реєстр. в Мін'юсті 25.01.2008 за № 56/14747].
5. Богорад В. І. Імовірісно-стохастичний метод оптимізації радіаційного контролю навколишнього середовища АЕС : дис.кандидата фізико-математичних наук: 01.04.01. Одеса, 2000. 118 с.
6. Автоматизированные системы контроля радиационной обстановки: принципы построения и методы реализации / С.В. Барбашев, Б.С. Пристер // Ядерна та радіаційна безпека. — 2013. — № 1. — С. 41-47. — Бібліогр.: 35 назв. — рос.
7. НП 306.2.141-2008. Загальні положення безпеки атомних станцій. Офіційний вісник України. 2008. № 95.
8. Хмельницкая АЭС : Техничко-экономическое обоснование энергоблоков № 3, 4. 43-812.203.004.ОЭ.13.16 / ГП НАЭК «Энергоатом». К., 2011. Т. 13, ч. 16. 164 с.
9. Ривненская АЭС : Обоснование расположения постов контроля АСКРО РАЭС. 11/09 – 12.100.ОД.1 / ГП НАЭК «Энергоатом». К., 2012. 117 с.
10. ДГН 6.6.1.-6.5.001-98. Норми радіаційної безпеки України. К., 1997. 121 с.
11. Raskob W. European approach to nuclear and radiological emergency management and rehabilitation strategies (EURANOS). Kerntechnik. 2007. Vol. 72. № 4. P. 172—175.
12. Ehrhardt J., Weis A. (Eds.). EUR 19144 — RODOS: Decision support system for off-site nuclear emergency management in Europe (Nuclear science and technology series). Luxembourg : Office for Official Publications of the European Communities, 2000. VII, 259 pp.

Студент 4 курсу, гр. ТЯ-71 Колодій Н.О.
Доц., к.т.н. Клевцов С.В.

МОДЕРНІЗАЦІЯ ПЕРЕВАНТАЖУВАЛЬНОЇ МАШИНИ НА АЕС З ВВЕР 1000

Мета перевантаження – відновлення надлишкової реактивності активної зони для забезпечення необхідної тривалості кампанії, проведення КГО ТВЕЛ ТВС і фізичної інвентаризації палива.

Призначення ПМ - виконувати транспортно-технологічні операції з ядерним паливом.

Необхідність модернізації викликана моральним і фізичним зносом перевантажувальної машини. За багато років експлуатації енергоблоків України деякі перевантажувальні машини жодного разу не реконструювалися [1].

Перевантажувальне обладнання працює в важких умовах, піддаючись впливу нейтронного і γ -випромінювань, а також корозійного середовища. У той же час перевантажувальне обладнання повинно бути достатньо надійним, так як вихід його з ладу під час перевантаження може привести або до аварії, або до тривалого простою реактора. Також важливим параметром є швидкість перевантаження ТВЗ.

Реконструкцію і модернізацію ПМ необхідно виконувати з врахуванням програми розширення експлуатації ядерного палива Westinghouse, а також впровадження технології поводження з відпрацьованим ядерним паливом з застосуванням контейнерів компанії HOLTES.

Модернізація перевантажувальної машини і заміна її систем спрямовані на підвищення безпеки і надійності роботи енергоблоку [1].

Слід зазначити, що транспортно технологічні операції по переміщенню ядерного палива на енергоблоці, є одними з найбільш ядерно-відповідальних робіт, і будь-яке порушення такої технології є неприпустимим.

При реконструкції ПМ повній заміні повинні підлягати робоча штанга, приводи переміщення, телевізійна штанга, всі кабельні сполучення. Незмінними можна залишити лише металоконструкції мосту та візка, що пересувається по ньому, попередня проаналізувавши ступінь зношення цього обладнання.

Зокрема модернізацію автоматизованої системи управління перевантажувальною машиною слід будувати на принципах високої надійності, чіткої логіки і глибокого резервування, що дозволить виключити будь-які помилкові дії операторів, тим самим, гарантуючи надвисоку надійність роботи перевантажувального комплексу [2].

В рамках модернізації перевантажувальної машини необхідно оновити всі підшипники, електродвигуни з редукторами, приводи робочої та телевізійної штанги, телевізійну камеру, всю кабельну продукцію та датчики контролю.

Паралельно з наданням рекомендацій по модернізації МП, в роботі надаються рекомендації по проведенню реконструктивних робіт з механічної частини перевантажувальної машини, зокрема, підвищення точності центрування штанги, її вільного ходу, точності виїзду на координату розташування паливної касети.

Крім того, перевантаження ядерного палива повинна супроводжуватися оперативним контролем герметичності оболонок ядерного палива, або говорячи технічною мовою - щільності тепловіділяючих елементів, в яких знаходиться саме ядерне паливо, так званий "sipping контроль" [3].

Важливою частиною цієї роботи є аналіз безпечної роботи модернізованих систем перевантажувальної машини та можливість роботи машини з ядерним паливом Westinghouse, надання рекомендації щодо заміни електроприводів та електророботизації ПМ.

Важливою обставиною в умовах модернізації перевантажувального обладнання АЕС є збільшення реально можливої вертикальної і горизонтальної швидкостей при переміщеннях ТВС, ПС СУЗ або СВП, також вертикальної швидкості переміщення ПС СУЗ та СВП в направляючих каналах ТВСМ з використанням чохла кластера [4].

Слід зазначити, що в конструкції перевантажувальної машини важливу роль відіграють троси, а точніше, кріплення і переміщення внутрішньої секції робочої штанги, захоплення кластера і фіксатора. Саме ці механізми відповідають за безпечне перевантаження палива. Тому було проаналізовано та обґрунтовано необхідність вибракування тросів різного діаметру.

Крім того, будь-яка модернізована система ПМ має бути сумісна з будь-якими електродвигунами, встановленими на перевантажувальній машині [5].

Комплексна модернізація та реконструкція системи управління перевантажувальної машиною для енергоблоків АЕС з ВВЕР-1000 дозволить не тільки підвищити ефективність і безпеку робіт при перевантаженні ядерного палива на українських АЕС, але і вирішити питання продовження ресурсу енергоблоків у понадпроектний строк при використанні нової сучасної системи управління перевантажувальної машинної з тривалим терміном надійної експлуатації [3].

В межах даної роботи описано практичні напрацювання та набутий у процесі модернізації досвід та обґрунтована можливість застосування його під час аналогічних робіт на усіх енергоблоках України.

Перелік посилань:

1. Енергетична стратегія України на період 2030 р. від 17 серпня 2017 р. №145-р Київ: Розпорядження // Кабінет міністрів України.– 2006.– С. 75
2. Погосов А.Ю. Передаварійні фізичні процеси та надійний тепловідвід в ядерних енергоустановках. Одеса: Наука і техніка, 2014.– 264 с..
3. ИНСТРУКЦИЯ по обеспечению ядерной безопасности при транспортировке, перегрузке и хранении свежего и отработавшего топлива на энергоблоках 1,2,3 ЮУ АЭС 1.14-064ИЭ
4. Збірник докладів міжнародної конференції «Атомна енергетика на порозі ХХІ століття». ОАО «Машинобудівний завод», Електросталь, 8—10 червня 2000 р.
5. Захарко Ю.А., Прошкин А.А., Шестопапов А.А. Кількісно – ймовірнісний аналіз поведінки ТВЕЛ ВВЕР. – Атомна енергія, 1990, т. 68, вип.. 3, с. 177 – 182.

Студент 4 курсу, гр. ТЯ-71 Корчун В.С.
Асист. Федоров Д.О.

КЕРУВАННЯ КОНФІГУРАЦІЮ ОБЛАДНАННЯ ЕНЕРГОБЛОКУ З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ АЕС

Основою прийняття будь-якого рішення з регулювання безпеки ядерних установок є оцінка впливу наслідків прийнятого рішення на безпеку. У загальному випадку, ці оцінки можуть виконуватися на основі як детерміністичних, так і імовірнісних методів. Відсутність достатнього досвіду експлуатації, необхідних знань про механізми старіння, відмови та зносу обладнання тощо є причиною того, що детерміністичні методи аналізу безпеки протягом розвитку ядерної енергетичної галузі переважали над іншими методами. Однак, слід зазначити, що оцінки безпеки на основі детерміністичних підходів, в деяких випадках ведуть до зайвого консерватизму при прийнятті регулюючих рішень.

Наприклад, до невикористання великих обсягів і завищеної періодичності контролю, випробувань, перевірок і технічного обслуговування обладнання АЕС тощо. Зайвий консерватизм вимог часто призводить і до негативних явищ з точки зору безпеки - прискореному спрацюванню ресурсу обладнання, збільшенню дозових навантажень на персонал, тощо.

У практиці аналізу безпеки ядерної енергетики в світі широко освоюються і використовуються імовірнісні методи, які дозволяють обґрунтовано концентрувати зусилля і кошти саме в тих областях, де існують дефіцити безпеки, або які мають найбільший вплив на безпеку ядерних установок. Роботи з імовірнісних аналізів проводяться і в Україні. Зокрема, однією з умов ліцензування енергоблоку АЕС, відповідно до вимог [1, 2], є розробка глави імовірнісного аналізу безпеки (ІАБ) в звіті з аналізу безпеки (ЗАБ).

Одним із результатів робіт з ІАБ є розробка сучасних моделей, які можуть бути використані в якості основи при виконанні аналізу проектних і запроектованих аварій, для обґрунтування інструкцій з ліквідації аварій та інших аналізів. Логічним продовженням робіт з ІАБ, виконаних в рамках оцінки безпеки, є застосування ризик-орієнтованих підходів при експлуатації і в регулюючій діяльності.

Впровадження в національну практику ризик-орієнтованих підходів дозволить:

- забезпечити прийняття більш обґрунтованих/збалансованих рішень з питань безпеки АЕС;
- сфокусувати увагу на тих проблемах, які пов'язані з найбільшим ризиком для безпеки;
- ефективно використовувати ресурси для реалізації найбільш пріоритетних заходів підвищення безпеки АЕС;
- приймати рішення з питань безпеки, кількісно оцінюючи імовірнісними методами невизначеності, які неможливо оцінити детерміністичними методами;
- підвищити економічні показники роботи АЕС, підвищити коефіцієнт використання встановленої потужності і коефіцієнт готовності, що дозволить знизити витрати на виробництво електроенергії.

Слід зазначити, що до теперішнього часу, обґрунтування умов безпечної експлуатації енергоблоку АЕС в частині допустимого часу роботи на потужності при наявності виведеного обладнання чи каналу системи безпеки (СБ), проводиться виключно виходячи з досвіду експлуатації та використовуючи детерміністичний підхід.

ІАБ надає необхідну інформацію для визначення відносної значимості обладнання енергоблоку з погляду ризику. Якісні і кількісні результати ІАБ, наприклад, можуть бути

використані для полегшення ідентифікації конструкцій, систем та елементів, що мають низькі значимості з погляду ризику. Такі системи, обладнання і конструкції є кандидатами на зниження вимог програм технічного обслуговування. ІАБ може бути використано для вирішення багатьох аспектів пов'язаних з ремонтом та оптимізацією обслуговування, наприклад:

- планування технічного обслуговування;
- вибір або градація обладнання;
- рішення пов'язані з обслуговування в оперативному режимі;
- контроль за конфігурацією під час технічного обслуговування;
- спостереження за впливом ризику на технічне обслуговування;
- зміни в технічній специфікації для задоволення потреб обслуговування.

Впровадження ризик-орієнтованих підходів [3] прийняття рішень по оптимізації технічного обслуговування та ремонту енергоблоків АЕС спрямовано на підвищення надійності систем безпеки та важливих для безпеки (СВБ), зниження витрат на їх технічне обслуговування, зниження імовірності помилок персоналу, поліпшення ремонтопридатності систем.

Збільшення періодичності планових випробувань каналів СБ при роботі реакторної установки на потужності і обладнання СВБ дозволяє:

- знизити темпи вироблення проектного ресурсу елементів обладнання;
- знизити витрати на проведення технічного обслуговування і ремонтів систем реакторної установки (РУ).

Збільшення допустимого часу ремонту каналів систем безпеки при роботі РУ на потужності дозволяє:

- скоротити кількість перехідних режимів, пов'язаних з переведенням РУ в стан «холодного зупину» з подальшим пуском енергоблоку;
- скоротити час простою енергоблоку і, як наслідок, підвищити коефіцієнт використання встановленої потужності.

Отже, після реалізації ризик-інформованого підходу у кількісній оцінці ризику, пов'язаного із конфігурацією енергоблоку АЕС та додаткове обґрунтування змін у технологічному регламенті безпечної експлуатації (ТРБЕ) [4], дає змогу отримати так званий альтернативний регламентний документ. А його використання, в залежності від умов експлуатації, розширює дозволений час виведення обладнання СБ та СВБ в ремонт з урахуванням реалізації компенсуючих заходів. При цьому структура діючих ТРБЕ не змінюється;

Такі зміни можуть сприяти не тільки поліпшенню показників безпеки, а й комплексним показникам надійності енергоблоку в цілому.

Перелік посилань:

1. РД “Требования к содержанию отчета по анализу безопасности действующих в Украине энергоблоков АЭС с реакторами типа ВВЭР”, Госкоматом Украины, 1995;
2. НП 306.2.141-2008. Загальні положення безпеки атомних станцій, Державний комітет ядерного регулювання України, Київ 2008;
3. НП 306.2.217-2017. Вимоги до ризик-інформованого прийняття рішень з безпеки атомних станцій
4. Технологический регламент безопасной эксплуатации энергоблока №2 Запорожской АЭС, 02.ГТ.00.РГ.01-14

Студент 4 курсу, гр. ТЯ-71 Кузьменко В.М.
Асист. Остапенко І.А.

ІНТЕГРАЦІЯ АСКРО АЕС В ЄДИНУ АВТОМАТИЗОВАНУ СИСТЕМУ КОНТРОЛЮ РАДІАЦІЙНОЇ ОБСТАНОВКИ

Після аварії на АЕС «Фукусіма-1», Японія, на засіданні Ради національної безпеки України було прийнято рішення про створення Єдиної автоматизованої системи контролю радіаційної обстановки (далі - ЄАСКРО) в Україні. Чинники, які свідчать про необхідність реалізації заходу [1]:

1. Вимоги норм, правил і стандартів з ЯРБ України
2. Міжнародні рекомендації (МАГАТЕ, Ріскаудіт)
3. Результати аналізів безпеки
4. Вимоги / приписи національних наглядових органів
5. Накопичений досвід

АСКРО АЕС [2] за видом діяльності є автоматизованою системою безперервного контролю радіаційної обстановки та метеорологічних параметрів на промайданчику, у санітарно-захисній зоні та в зоні спостереження АЕС.

Метою АСКРО є оцінка та прогнозування радіаційної обстановки в режимі нормальної експлуатації АЕС, проектних і запроектованих аваріях, а також при знятті АЕС з експлуатації.

За своїм призначенням і впливом на безпеку технічні засоби АСКРО відносяться до систем нормальної експлуатації, важливих для безпеки.

Технічними засобами АСКРО [3] є блоки детектування, пристрої детектування, автоматична станція погоди, метеорологічний комплекс, радіоканали, антени, грозозахист та генератори. Вони розташовані на місцях постів та точок контролів АСКРО. Спостереження за радіаційною обстановкою ведуться безперервно в автоматичному режимі, що дозволяє оперативнo отримувати інформацію з постів контролю, проводити систематичний аналіз даних, виконувати прогноз радіаційної обстановки для всіх населених пунктів 30-ти кілометрової зони спостереження. Постами контролю вимірює газо-аерозольних викидів через усі вентиляційні труби енергоблоків АЕС; рідких скидів АЕС; потужності дози, концентрації йоду і аерозолів на промайданчику АЕС і в населених пунктах зони розташування АЕС.

У складі АСКРО [3] є пересувні пости контролю, обладнаних на автомобілях високої прохідності. Пересувні пости оснащені комплектом устаткування для контролю радіаційних, хімічних і метеорологічних параметрів, а також обладнанням для відбору проб, проведення вимірів в польових умовах і забезпечення автономного функціонування. Пересувні пости забезпечені обладнанням для визначення координат на місцевості і передачі інформації по супутникових каналах зв'язку. Завдяки цьому вони можуть працювати в будь-якій точці 30-ти кілометрової зони АЕС, а також надавати допомогу в проведенні радіаційної розвідки на інших АЕС України та за її межами.

За допомогою автоматичних комплексів визначаються більш 30 метеорологічних параметрів, включаючи щільність потоку сонячного випромінювання, баланс приходить і минає випромінювання від поверхні землі, дальність видимості і стану погоди за кодами Всесвітньої метеорологічної організації. Крім цього, комплекси здійснюють дистанційне зондування атмосфери до висоти 3000 м з визначенням швидкості і напрямку горизонтального вітру, швидкості вертикальних рухів повітря, температури повітря по верствам, категорії стійкості атмосфери. Інформація про метеорологічну обстановку і радіаційних параметрах використовується в програмному комплексі оперативного прогнозу радіаційної обстановки в зоні спостереження АЕС, розробленого інститутом радіаційного захисту АТН України.

Розрахунковий комплекс проводить аналіз радіологічних наслідків можливих аварій і використовується для підтримки прийняття рішення про захисні контрзаходи при виникненні аварійної ситуації або радіаційної аварії на АЕС для персоналу АЕС і для жителів усіх населених пунктів 30-кілометрової зони. Методи розрахунку комплексу узгоджені з Міністерством охорони здоров'я України. Інформація системи АСКРО передається керівництву АЕС, в НАЕК «Енергоатом» і ДІЯР України, обласну Державну адміністрацію, обласні управління МНС та екології.

Крім автоматизованих методів контролю, в будівлі ЦПК АСКРО проводяться роботи з лабораторного контролю радіаційного впливу АЕС на навколишнє середовище.

Лабораторний і автоматизовані контролю є взаємодоповнюючими, перший з яких має високу чутливість, а другий оперативністю.

Реконструкція (модернізація) автоматизованої системи контролю радіаційної обстановки АСКРО в ДП НАЕК «Енергоатом» виконується в рамках заходу № 14401, 24101 «Модернізація систем радіаційного контролю (СРК) АЕС» на майданчиках ВП ЗАЕС, ХАЕС, ЮУАЕС. На ВП РАЕС АСКРО впроваджена. Для інтеграції АСКРО АЕС в ЕАСКРО необхідно виконати [2]:

- розробку і впровадження ЕАСКРО по плану реалізації технічного проекту ЕАСКРО
- модернізацію АСКРО на ВП ЗАЕС, ВП ХАЕС, ВП ЮУАЕС;
- АСКРО АЕС інтегрувати в ЕАСКРО.

Організаційно-технічні заходи щодо інтеграції систем АСКРО в ЕАСКРО будуть визначені після підготовки технічного проекту єдиної системи.

Необхідно замінити технічні засоби на нові, що відповідають сучасним вимогам та реалізують функції системи радіаційного контролю:

- радіаційний контроль теплоносія першого контуру;
- радіаційний контроль системи аварійного охолодження зони (САОЗ);
- радіаційний контроль системи СВО;
- радіаційний контроль активності промконтура;
- радіаційний контроль технічної води;
- радіаційний контроль активності системи СГО;
- радіаційний контроль вентиляційних систем енергоблоків;
- радіаційний контроль ІРГ, аерозолів, йоду в приміщеннях енергоблоків;
- дозиметричний контроль в приміщеннях енергоблоків.
- контроль активності теплоносія першого контуру за реперних нуклідів;
- контроль протікання ПГ по азоту-16;
- контроль ПЕД, об'ємної активності ІРГ і радіонуклідів йоду в гермооб'ємі при МПА;
- контроль потужності дози нейтронів в ЦЗ, сховище СЯП;
- модернізація РК за нерозповсюдженням радіоактивних речовин;
- модернізація РК мережної води;
- контроль ПЕД на БЩУ, РЩУ;
- заміна блоків і пристроїв детектування (БДМГ, УДЖГ, БДАБ, УДГБ і ін.) На сучасні;
- розширення функцій АСКРО;
- впровадження автоматизованої системи обліку доз опромінення і контролю перебування персоналу в контрольованій зоні (АС УКП).

Перелік посилань:

1. Письмо ГИЯРУ от 16.02.2012 №15-04/1094 «Про заходи ЄАСКРО до заходів КзППРБ АЕС»
2. <https://www.rnpp.rv.ua/ru/askro.html>
3. ИЭ.0.0026.0166 АСКРО Інструкція з експлуатації система нормальної експлуатації, важлива для безпеки

Студент 4 курсу, гр. ТЯ-72 Левченко О.Ю.
Доц., к.т.н. Коньшин В.І.

ОЦІНКА СТАНУ ТРУБОПРОВІДІВ СВО-5 ЯЕУ З РЕАКТОРОМ ВВЕР-1000 З МЕТОЮ ПРОДОВЖЕННЯ СТРОКУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ У ПОНАДПРОЕКТНИЙ ПЕРІОД

Оскільки устаткування АЕС експлуатується в умовах термічного, механічного, корозійного і радіаційного впливів, то необхідно визначити вплив на зміну властивостей металу обладнання та трубопроводів в процесі експлуатації, що дозволить прогнозувати їх зміну на продовжуваній строк служби. У зв'язку з цим для забезпечення безпечної експлуатації актуальним стає вдосконалення розрахунків на міцність для обґрунтування продовження терміну служби з урахуванням тривалих термінів експлуатації [1].

В процесі експлуатації парогенераторів (ПГ) АЕС виникає проблема деградації трубопроводів спецводоочистки-5 (СВО-5). Встановлювати нові трубопроводи дуже коштовно. З часом прохідний переріз трубопроводів зменшується та є місця, де трубки пошкоджуються, тому однією з проблем, що потребує вирішення, є збереження прохідного перерізу за рахунок зменшення концентрації домішок, що впливають на корозію та утворення накипів [2].

Потрібно провести роботи по розробці циклічної міцності за період експлуатації і продовження терміну служби трубопроводу для оцінки залишкового ресурсу з урахуванням:

- зміни механічних властивостей;
- зміни товщини стінки трубопроводу внаслідок корозії;
- зміни товщини стінки трубопроводу внаслідок ерозійно-корозійного зносу;
- впливу середовища на зародження і розвиток тріщиноподібних дефектів;
- максимальних відхилень геометричних розмірів елементів, що зварюються від номінальних;
- впливу концентраторів напружень зварних з'єднань;
- впливу вібраційних навантажень.

Комплекс досліджень включає в себе роботи по виготовленню модельних зварних з'єднань трубопроводів АЕС, розгляд модельних трубопроводів в стані різних термінів експлуатації, випробуванню зразків виготовлених з модельних зварних з'єднань, проведення аналізу та узагальнення отриманих результатів [3].

Наукова новизна досліджень буде відображена в наступних результатах:

1. Встановлення критеріїв та параметрів технічного стану трубопроводів АЕУ, виготовлених з корозійностійких сталей аустенітного класу, які найбільшою мірою відображають зміни механічних властивостей металу зварних з'єднань трубопроводів в процесі тривалої експлуатації [3].

2. Розробка методу оцінки підростання тріщиноподібних дефектів в процесі експлуатації на основі зміни властивостей при тривалих термінах служби і побудови поля розподілу швидкості росту тріщин, що визначає наявність або відсутність консерватизму в існуючій методиці розрахунку.

3. Розробка методу моделювання тривалого експлуатаційного впливу в умовах термічного і термомеханічного старіння [3].

4. Виявлення зміни мікроструктури, що обумовлюють зміну механічних властивостей зварних з'єднань трубопроводів в процесі тривалої експлуатації.

За результатами оцінки технічного стану та залишкового ресурсу трубопроводу приймається рішення про можливість продовження терміну служби трубопроводів СВО-5 на 10 років прийнятої моделі експлуатації.

Перелік посилань:

1. Отчет о НИР "Исследование состояния основного металла и сварных соединений трубопроводов первого блока Смоленской АЭС после 100 тысяч часов эксплуатации". М., ВНИИАЭС, НИКИЭТ, ИЦП МАЭ, 1999.
2. "Основные положения по сварке и наплавке узлов и конструкций атомных электростанций, опытных и исследовательских ядерных реакторов и установок" ОП 1513-72, М., Энергоатомиздат, 1985.
3. "Правила контроля сварных соединений и наплавки узлов и конструкций атомных электростанций, опытных и исследовательских ядерных реакторов и установок" ПК 1514-72, М., Энергоатомиздат, 1985.

Студент 4 курсу, гр. ТЯ-71 Підпалій Д.В.
Доц., к.т.н. Коньшин В.І.

ПРИВОДИ ОРГАНІВ РЕГУЛЮВАННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТА ЗАХИСТУ

Приводи органів регулювання системи управління та захисту

Комплекс електрообладнання системи управління і захисту реактора (КЕ СУЗ) входить до складу АСУ ТП енергоблока АЕС і являє собою історично сформовану багатофункціональну систему, призначену для управління реактивністю і потужністю реактора, а також реалізації захисних функцій шляхом впливу на органи регулювання реактора в режимах нормальної експлуатації і порушень нормальної експлуатації, проектних аварій [1].

До основних функцій КЕ СУЗ відносяться:

- управління потужністю реактора і енергорозподілу в активній зоні у всіх режимах роботи РУ;
- реалізація захисних функцій;
- автоматичне і дистанційне керування групами ОР, дистанційне керування окремими ОР;
- автоматичне регулювання потужності реактора;
- контроль і індикація положення ОР або груп ОР;
- діагностика обладнання КЕ СУЗ, приводів і датчиків положення ОР;
- управління приводами ЗР на стенді вертикальному.

До складу КЕ СУЗ традиційно входить обладнання наступних функціональних підсистем [1]:

- виконавчої частини АЗ-ПЗ, що здійснює реалізацію аварійного та попереджувального захисту реактора;
- групового та індивідуального управління органами регулювання реактора, що реалізує зміна потужності реактора шляхом переміщення окремих ЗР і груп ОР в активній зоні, а також контроль положення всіх ЗР реактора;
- автоматичного регулювання потужності реактора, що реалізує автоматичне регулювання потужності реактора за заданими програмами шляхом підтримки заданих значень регульованих параметрів РУ (заданої потужності реактора або заданого значення тиску пара в головному паровому колекторі);
- інформаційно-діагностичної мережі, що здійснює збір, архівування інформації по положенню всіх ЗР реактора, станом і функціонуванню електрообладнання СУЗ, приводів і датчиків положення ОР, передачу інформації в суміжні системи і СВБУ, а також інформаційну підтримку обслуговуючого персоналу в локалізації та усунення несправностей устаткування;
- електроживлення обладнання, що входить до складу КЕ СУЗ;
- управління приводами ЗР на стенді вертикальному.

Загальні вимоги, які можна висунути до них можуть бути наступні: приводи ОР СУЗ повинні запобігати самовільне переміщення ОР в напрямку підвищення позитивної реактивності реактора при полонці та припинення електропостачання приводи ОР СУЗ повинні бути оснащені вимірювальними показчиками положення ОР і кінцевими вимикачами, які керують безпосередньо ОР.

В разі недосконалості безпосереднього контакту повинна гарантуватися правильна робота, з можливістю часткового контролю. Застосовувані показчики положення ОР повинні забезпечити достовірну інформацію про положення ОР і в разі, якщо станеться вимикання і подальше включення електроживлення. Одночасно повинні забезпечити безперервний і надійний контакт з робочими частинами ОР в експлуатаційних умовах.

У технічних умовах виконання ОР повинні бути наведені конкретні числові значення наступних величин: - робоча швидкість переміщення ОР з дозволеними допусками, - час падіння ОР в активну зону в режимі аварійного захисту або швидкість переміщення в режимі аварійного захисту, із зазначенням часу, за яке дана швидкість досягається, - досягається точність визначення положення ОР, - робочий хід ОР для окремих приводів ОР СУЗ повинні бути специфіковані вимоги по ремонтпридатності і обслуговування.

Експлуатаційні вимоги: зазвичай $v \sim 10 \div 30 \text{ mm.s}^{-1}$ в частині активної зони, де ОР найбільш ефективні. Залежно від типу конструкції ОР, переміщення ОР плавне або покрокове. Розмір кроку визначено даними кроком реактивності.

Швидкість зміни не повинна перевищувати значення $0,07 \beta_{\text{ef}}$, причому вага 1 кроку не повинен перевищувати $0,3 \beta_{\text{ef}}$ органу ручного регулювання з ефективністю більше ніж $0,7 \beta_{\text{ef}}$, точність досягнення необхідного положення необхідна $2 \cdot 10^{-5} \delta k$ (в ВВЕР -1000 + 10 мм), контроль положення ОР, робота в режимі аварійного захисту.

Вимоги щодо до ядерної безпеки.

Надійне забезпечення переміщення ОР в напрямку зменшення реактивності, обмеження швидкості вноситься реактивністю, запобігання можливості «виштовхування» ОР з АЗ ВВЕР-440 - гідравлічний упор ВВЕР-1000 - закриття засувки «випливання» замикач і фіксуєчих магнітів, забезпечення швидкої реакції ОР при виникненні сигналу аварійного захисту ВВЕР- 440 - період розгону до швидкості падіння ВВЕР-1000 - час від подачі сигналу до початку руху ЗТ з кластером, надійне звільнення ОР при його введенні в АЗ в разі виникнення аварійної ситуації, надійне забезпечення герметичності першого контуру в з'єднаннях ОР у всіх експлуатаційних і аварійних ситуаціях, надійне охолодження приводів ОР (якщо це необхідно, як у ВВЕР-440), надійне з'єднання приводів ОР з абсорбуючою частиною ОР [2, 3].

Приводи ОР СУЗ є складовою частиною системи контролю і управління реактора ВВЕР-440 / В213. У реакторі працює 37 приводів ОР СУЗ, які розділені по функції в СУЗ на 6 робочих груп. Забезпечують наступні функції [4]:

- переміщення касети АРК в режимі регулювання реактора
- утримування касети АРК в заданому положенні
- скидання касети АРК в аварійному режимі реактора
- контроль фактичного положення касети АРК
- установка касети АРК в задане положення

Перелік посилань:

1. И.Я.Емельянов, В.В.Воскобойников, Б.А.Масленок: Основы конструирования исполнительных механизмов управления ядерных реакторов, Энергоатомиздат Москва, 1987
2. L.Haniger, J.Zdebor: Pohony regulačních orgánů reaktorů VVER na jaderných elektrárnách v ČSSR, ČSKAE, ÚISJP Zbraslav, 4/1988
3. J.Zdebor, E.Pribulla :Control of Selected VVER Components Life Time ŠKODA JS Experience, 18th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology, Beijing, China, August 7-12, 2005
4. J. Zdebor : Pohony regulačních orgánů ŠKODA nové generace, Bezpečnost jaderné energie, SÚJB Praha, 3/4 2006

Студент 4 курсу, гр. ТЯ-72 Полупан А.О.
Доц., к.т.н. Філатов В.І.

АНАЛІЗ ПАСИВНИХ СИСТЕМ БЕЗПЕКИ, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЮТЬ ЦІЛІСНІСТЬ ЗАХИСНИХ ОБОЛОНОК ТА НАДІЙНИЙ ЗАХИСТ ГЕРМООБ'ЄМУ НА РЕАКТОРАХ НОВИХ ПОКОЛІНЬ

Однією з найголовніших проблем атомної енергетики в 90-х роках минулого століття після важкої аварії в Чорнобилі стало підвищення рівня безпеки експлуатації ядерних енергетичних реакторів. З'явилась необхідність переглянути технології підтримання рівня безпеки проєктованих і експлуатованих на АЕС ядерних енергетичних реакторів і перейти до використання пасивних систем безпеки. Дані системи функціонують в основному завдяки природним силам та таким явищам, як гравітація, природня конвекція, температура, тиск та інші, і дають змогу відмовитись від обладнання, в роботі якого можливі відмови. Зникає необхідність застосування таких приладів як вентилятори, насоси, дизель-генератори та інших механізмів з частинами, що обертаються. Також пасивні системи не потребують значної кількості допоміжних систем, для роботи систем безпеки стають непотрібними мережі змінного струму, системи охолодження води й сейсмостійкі будівлі для їх розміщення.

Найголовніша перевага пасивних систем це можливість забезпечення цілісності і працездатності гермооб'єму реактора без потреби в електроенергії, адже гермооб'єм ядерного реактора (контейнмент) є найбільш важливим бар'єром проти викиду радіоактивних матеріалів у навколишнє середовище при аваріях на атомних електростанціях, тому розробка надійної системи охолодження захисної оболонки ЯР є одним з ключових напрямків в розвитку сучасних ядерних реакторів.

Також однією з пріоритетних задач при виникненні аварійних ситуацій на АЕС є збереження цілісності захисної оболонки. ЗО реакторів всіх типів мають певні проєктні обмеження по внутрішнім параметрам, таким як температура та тиск, при перевищенні яких можлива відмова ЗО з втратою локалізуючої функції. На сучасних АЕС підтримання параметрів в заданих межах реалізується активними системами, для підтримання нормальної роботи яких необхідне зовнішнє електропостачання.

На АЕС з ВВЕР-1000, що експлуатуються нині, не передбачені технічні засоби для запобігання пошкоджень ЗО в умовах аварій з повним довгим знеструмленням. В нових проєктах закордонних АЕС, а також в еволюційних проєктах РУ з ВВЕР, передбачені пасивні системи зниження параметрів під ЗО в таких аваріях, проте всі ці системи мають низку недоліків. Основні недоліки – обмеження часу їх роботи та можливість бай пасування ЗО при відмовах. Тому актуальність створення СПВТ (Система пасивного відведення залишкових тепловиділень) гермооболонки та їх впровадження на діючих енергоблоках АЕС є безперечною.

Для вирішення зазначеного завдання пропонується схема СПВТ з використанням випарно-конденсаційних пристроїв замкнутого типу – низькотемпературних кільцевих двофазних термосифонів (ДТС) [1]. ДТС забезпечує ефективне відведення теплоти від атмосфери ГО до кінцевого поглинача завдяки переносу прихованої теплоти пароутворення свого проміжного теплоносія. Випарник кільцевого ДТС розміщується поблизу купольної частини ГО, конденсатор виводиться за межі гермооб'єму. Випарник і конденсатор пов'язані між собою транспортними паровим і конденсатним трубопроводами (рис.1).

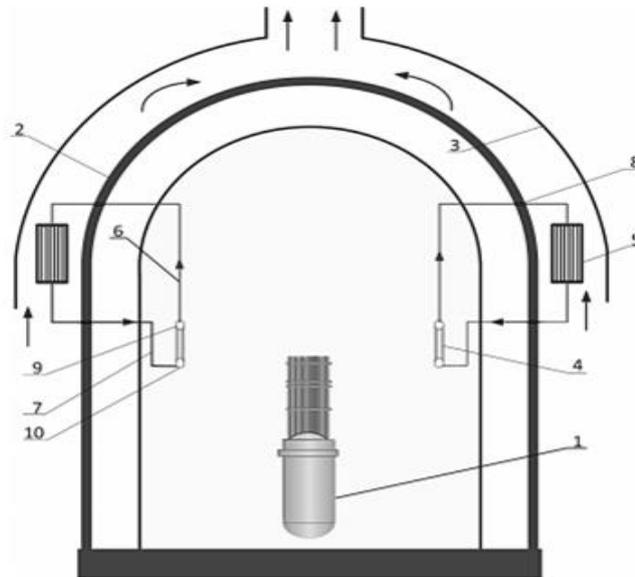


Рисунок 1 – Схема автономної СПВТ

Тепловідведення від атмосфери ЗО 2 до зовнішньої поверхні випарника 4 здійснюється завдяки природній конвекції, а потім від випарника - до проміжного теплоносія. За рахунок зовнішнього підведення теплоти проміжний теплоносій ДТС випаровується, пар через збірний колектор 9 надходить в паровий трубопровід 6, який через гермопроходки 8 виводиться за межі захисної оболонки 2 реакторної установки 1 і з'єднується з конденсатором 5. Конденсатор 5 охолоджується потоком атмосферного повітря через повітряний канал 3, при цьому пар в конденсаторі конденсується і по конденсатному трубопроводу 7 та роздаючому колектору 10 повертається у випарник 4.

Всі елементи випарника ДТС виконані з пластин і розташовані поблизу внутрішньої поверхні ЗО. Випарники СПВТ практично не відбирають корисного об'єму ЗО.

Тепловідвідна здатність СПВТ розраховується так, щоб при всіх можливих станах енергоблоку, включаючи запроектовані аварії з розривами трубопроводів першого контуру і паропроводів гострого пару при роботі на потужності, не допустити зростання параметрів у ЗО понад допустимих меж. Наприклад, для ЗО РУ ВВЕР-1000 - це тиск не більше 5 бар (абс.) і температура парогазової суміші не вище 150° С. При цьому температура навколишнього повітря приймається максимально можливою для майданчика АЕС, наприклад до +45° С.

Пасивні системи безпеки здійснюють охолодження захисної оболонки і безпечно відведення залишкового тепла. Всі системи спроектовані так, щоб відповідати критеріям безпеки, виробленим контролюючими органами та комісіями з ядерного регулювання за одиничними відмовами.

Перелік посилань:

1. Наффаа Х.М., Герлига В.А., Шевелев Д.В., Балашевський А.С. «Оценка эффективности системы отвода тепла от защитной оболочки РУ с ВВЭР в условиях длительного обесточивания» // Ядерна та радіаційна безпека. - 2013. - Вип. 2. - С. 27-31. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ydpb_2013_2_8

Студент 4 курсу, гр. ТЯ-71 Пугачов П.О.
Доц., к.т.н. Клевцов С.В.

ВИКОРИСТАННЯ ДИЗЕЛЬ-ПРИВІДНОГО НАСОСУ ДЛЯ АВАРІЙНОГО ПІДЖИВЛЕННЯ І БОРЮВАННЯ 1-ГО КОНТУРУ АЕС З ВВЕР-1000/320

Аварія на АЕС "Фукусіма" показала, що можливі не враховані або недостатньо вивчені при проектуванні АЕС, малоймовірні поєднання вихідних подій, які можуть призвести до втрати зовнішнього електропостачання станції і одночасної відмови всіх джерел змінного струму системи аварійного електропостачання енергоблоку, що збігається з втратою кінцевого поглинача тепла.

Пропонується рішення з метою вироблення та реалізації єдиної для енергоблоків з реакторна установка ВВЕР-1000 (В-320) стратегії ліквідації запроектованої аварії, викликаній тривалим повним знеструмленням енергоблоків на майданчиках АЕС з відмовою всіх джерел змінного струму та втратою кінцевого поглинача тепла з накладенням умов, при яких наявність електроживлення і охолоджувальної води не дозволить виконати підживлення першого контуру.

Комплекс заходів, що забезпечує запобігання пошкодження активної зони заснований на використанні дизель-насосних і генераторних установок.

На один енергоблок В-320, для переключення і підтримки реакторної установки в стабільному контрольованому стані протягом 72 годин, на додаток до наявного мобільного обладнання (мобільна насосна установка парогенератора, басейн витримки, бризгальний басейн і мобільна дизель-генераторна станція 0,4 кВ) необхідно і достатньо мати додаткову насосну установку підживлення першого контуру для підживлення та борювання першого контуру [1].

У розрахункових сценаріях використовувався насос CRN 95 виробництва «Grundfos» (Данія) з характеристиками:

- номінальна витрата: 95 м. куб./год;
- напір при номінальній витраті: 190 м;
- напір при витраті 50 м³/год: 220 м;
- робочий інтервал витрати: 45 ÷ 120 м. куб./год;
- температура рідини: -30 ÷ +120 °С (за окремим запитом виробник має можливість реалізувати від -40 до + 180 °С);
- тип рідини: вода;
- номінальна потужність двигуна: 55 кВт;
- клас ізоляції: F;
- виконання: вертикальний багатоступінчастий відцентровий герметичний насос.

Аварії зі збереженням цілісності першого і другого контурів:

Рекомендовані першочергові дії стратегії повинні бути спрямовані на забезпечення функцій безпеки «підкритичність» і «тепловідвід» за рахунок застосування мобільної дизель-генераторної станції, мобільної насосної установки парогенератора, мобільної насосної установки бризгальних басейнів. Основною метою для даного сценарію є переключення реакторної установки в стабільний стан з низькими Теплогідролічними параметрами 1-го контуру.

Аварії з накладенням відмови у вигляді втрати теплоносія першого контуру внаслідок течії з еквівалентним діаметром не більше 15 мм і відсутності можливості виконати підживлення першого контуру штатними засобами.

Стратегія управління запроектованої аварією аналогічна зазначеної вище. Як показали розрахунки, з урахуванням відновлювальних дій персоналу, що використовує цю стратегію,

максимальна проектна межа пошкодження твелів протягом 72 годин з початку аварії не досягається

Аварії з накладенням відмови у вигляді втрати теплоносія першого контуру внаслідок течії з еквівалентним діаметром від 15 до 100 мм і відсутності можливості виконати підживлення першого контуру штатними засобами.

При такій аварії, найприйнятнішим варіантом уникнути важкого пошкодження активної зони є подача напруги 6 кВ на один з каналів системи безпеки для можливості відновлення охолодження активної зони реактора за проектною схемою. У разі відсутності можливості виконати підживлення першого контуру штатними засобами, дії персоналу щодо подолання наслідків запроектої аварії полягають у використанні мобільної дизель-генераторної станції, мобільної насосної установки парогенератора, мобільної насосної установки бризгальних басейнів, а також додаткової насосної установки, що працює на реактор - додаткової насосної установки підживлення першого контуру

Аварії з течєю теплоносія з першого контуру реакторної установки в другий (від "малих" течій з розривом однієї трубки до "великих" течій з розгерметизацією кришки колектора першого контуру парогенератора).

Для аварій з таким результатом дії персоналу повинні бути спрямовані на забезпечення підкритичності реакторної установки, організації тепловідведення від активної зони і мінімізації радіоактивного впливу

Це дозволить вирішити наступні проблеми:

запобігання течіям через ущільнення головний циркуляційний насос;

борювання теплоносія 1-го контуру для досягнення підкритичного стану реактора продовж 72 годин;

аварійне підживлення при високому тиску 1-го контуру у разі відмови системи аварійного охолодження активної зони високого тиску при течіях 1-го контуру.

Крім того, для застосування стратегії управління даною аварією необхідно виконати наступне: мобільні насосні установки повинні розташовуватися тільки стаціонарно в місцях їх найбільш вірогідного застосування або поблизу цих місць в спеціальних сейсмостійких майданчиках / приміщеннях, які унеможливають заливання водою.

Місця врізки були обрані виходячи з того, що найкращий спосіб охолодження активної зони - це подача води безпосередньо в реактор, тобто через напірні трубопроводи гідродинамічного елементу системи аварійного охолодження активної зони.

В результаті очікується підвищення безпеки енергоблоків за рахунок забезпечення управління запроектною аварією і запобігання розвитку її у важку аварію. Рішення перерахованих завдань дозволить отримати час не менше 72-х годин для повного відновлення працездатності одного каналу системи захисту. Вплив мобільних генераторних і насосних установок на навколишнє середовище обмежена лише викидом в атмосферу вихлопних газів дизельних моторів в разі аварії на АЕС, ймовірність виникнення якої дуже мала [2].

Перелік посилань:

1. КсПБ 13308 (Звіт_№720_Етап_1_ЗАЭС)
2. КсПБ 13308 (Звіт_№720_Етап_2_ЗАЭС)

Студент 4 курсу, гр. ТЯ-71 Рожньов І.А.
Доц., к.т.н. Рогачов В.А.

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ГІДРОУДАРУ НА ФУНКЦІОНУВАННЯ БЗОК

Система «быстродействующих запорно-отсечных клапанов» (БЗОК) призначена для ізоляції парогенератора (ПГ) по парі шляхом відсікання паропроводів на ділянці між ПГ і головним паровим колектором (ГПК) з метою:

- виключення аварійного розхолодження першого контуру при аваріях з розривом в системі паропроводів високого тиску;
- обмеження потрапляння теплоносія першого контуру в ГПК при аваріях з течєю першого контуру в другий.

У межі БЗОК включені наступні елементи - засувка, електродвигун, привід, ланцюги силового живлення з силовим вимикачем, керуючі вентиля, паропроводи обв'язки, ланцюги силового живлення керуючих вентилів.

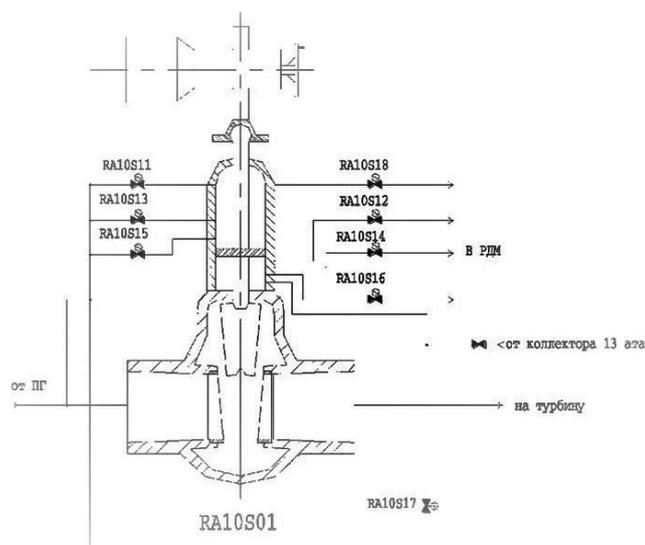


Рисунок 1 - Схематичне зображення БЗОК

Затвор приводиться в дію робочим циліндром, який керується від власного середовища або від електроприводу. Робоче положення запірної засувки - відкрите, при цьому корпус і робочий циліндр знаходяться під тиском середовища. Відкриття БЗОК при наявності перепаду тиску $P > 1$ кгс/см² здійснюється власним середовищем, при $P \leq 1$ кгс/см² відкриття може проводитися за допомогою вбудованого електроприводу і автоматичної муфти. При необхідності швидкого закриття БЗОК, муфта автоматично деблокується.

Проектом передбачається автоматичне закриття БЗОК при збігу наступних умов:

- а) швидкості падіння тиску в паропроводі за ПГ до 0,5 кгс/см²/с;
 - б) зниження тиску в II контурі (паропроводі від даного ПГ) до 55 кгс/см²;
- або:
- а) зниження тиску в паропроводі від даного ПГ нижче 50 кгс/см²;
 - б) різниці температур насичення I і II контурів (в паропроводі) більше 75 °С;
 - в) температурі I контуру більше 200 °С.

При експлуатації АЕС можливо виникнення аварії «Течія з 1-го контуру в 2-й». Наслідком аварії є заповнення паропроводу аварійного ПГ пароводяною сумішшю або насиченою водою. Для запобігання потрапляння води в ГПК відбувається швидке закриття БЗОК, яке може призвести до виникнення гідроудару на засувку.

Розрізняють декілька механізмів фізичних явищ, що призводять до гідроударів: хвиля тиску в однофазному потоці, прискорення пробки води в паропроводі, конденсація парових бульбашок.

У даних умовах має сенс розглядати тільки один - хвиля тиску в однофазному потоці. Це класичне явище гідроудару (ГУ). Різка зміна швидкості потоку, наприклад, при спрацьовуванні швидкодіючої арматури, призводить до виникнення хвилі тиску, яка поширюється в рідині.

Залежно від часу поширення ударної хвилі T і часу перекриття засувки (або іншої запірної арматури) t , в результаті якого виник гідроудар, можна виділити 2 види ударів:

- повний (прямий) гідравлічний удар, если $t < T$;
- неповний (непрямий) гідравлічний удар, если $t > T$.

При повному гідроударі фронт ударної хвилі, що виникла, рухається в напрямку, протилежному первинному напрямку руху рідини в трубопроводі. Його подальший напрямок руху залежить від елементів трубопроводу, розташованих до закритої засувки. Можливо і повторне неодноразове проходження фронту хвилі в прямому і зворотному напрямках.

При неповному гідроударі фронт ударної хвилі не тільки змінює напрямок свого руху на протилежний, але і частково проходить далі крізь не до кінця закритої засувки.

Для оцінки даного шкідливого чинника в рамках цієї роботи був виконаний інженерний аналіз можливості виникнення гідроудару при закритті БЗОК, який наведений в [1]. Для розрахунку застосовувався розрахунковий код RELAP5 і матеріали з розрахунку гідроудару [2-3].

Розрахунок, виконаний в [1] за допомогою розрахункового коду RELAP5, мав на меті визначити динаміку заповнення водою паропроводу перед БЗОК, визначення динамічних характеристик потоку середовища через БЗОК для використання в інженерному розрахунку гідроудару.

В якості вихідної події аварії обраний сценарій з течією з першого контуру в другий Ду100 мм, в якості одиничної відмови консервативно обрана відмова регулятора живильної води на аварійному ПГ (заклинювання регулюючого клапана у відкритому положенні). Дана відмова забезпечує максимально швидке заповнення паропроводу водою і найбільшу швидкість середовища в ньому.

У ході розрахунку було отримано, що гідроудар на БЗОК є неповним і він створює додатковий тиск, який приблизно складає 1 кгс/см^2 .

Зрозуміло, що при тиску в паропроводі приблизно 60 кгс/см^2 отримана величина додаткового тиску від неповного гідроудару, що дорівнює приблизно 1 кгс/см^2 , не призведе до пошкодження БЗОК.

Отже, в результаті аналізу було визначено, що явище гідроудару для БЗОК є незначним і воно не здатне пошкодити сам БЗОК або викликати відмову на його закриття.

Перелік посилань:

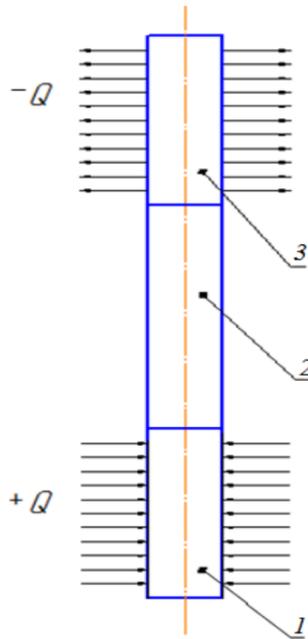
1. Технический отчёт: Анализ дефицитов безопасности, связанных с БЗОК энергоблоков ВВЭР-1000 малой серии, Киев, ИТел, 2014. – С. 21–26.
2. Основы гидравлики и аэродинамики / Калицун В. И., Дроздов Е. В., Комаров А. С., Чижик К. И., Стройиздат, 2001. - 296 с.
3. Сборник задач по гидравлике / Под ред. В. А. Большакова. - 4 изд. - Киев: Головное издательство издательского объединения "Вища школа", 1979. - 337 с.

Студент 4 курсу, гр. ТЯ-72 Сорока Ю.Ю.
Проф., д.т.н. Кравець В.Ю.

ОПТИМІЗАЦІЯ ВІДВЕДЕННЯ ТЕПЛА ВІД БАСЕЙНУ ВИТРИМКИ З МЕТОЮ НЕПЕРЕВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ МЕЖ

Атомна енергетика відіграє важливу роль в світовому виробництві енергії і також привертає увагу до системи відведення залишкового тепла від басейну витримки, що є важливою частиною атомних електростанцій з точки зору забезпечення безпеки. З цією метою використовують систему пасивного охолодження відпрацьованого ядерного палива в басейні витримки з використанням двофазних термосифонів (рисунок 1). Пасивне охолодження басейнів з відпрацьованим ядерним паливом є перспективною альтернативою активному охолодженню, а перевагою даних систем є те, що вони працюють за рахунок природної конвекції, а, відповідно, не потребують електричного живлення, що в свою чергу створює ще один додатковий бар'єр надійності, а такі системи працюють навіть у критичних для безпеки ситуаціях (знеструмлення станції).

Термосифонний модуль представляє собою металевий прямокутний трубчатий короб, який заповнений водою. Днище цього коробу має перфоровану поверхню, через яку термосифонні трубки розміщені на половину своєї висоти. Ця зона називається зоною конденсації, а інша частина висоти трубки поміщена безпосередньо в середовище, від якого потрібно відводити теплоту. Така зона термосифону, називається зоною нагріву.



1 – зона нагріву; 2 – зона транспорту; 3 – зона конденсації
Рисунок 1 - Загальний вид двофазного термосифона

Двофазний термосифон працює наступним чином: при підведенні теплоти до зони нагріву теплоносії починає кипіти, а пара, що утворюється, рухається (підіймається) в конденсатор і конденсується на його внутрішніх стінках, віддаючи при цьому теплоту фазового переходу охолоджуючому середовищу. Процеси в термосифоні протікають неперервно, що забезпечує передачу теплоти від однієї зони до іншої. Що стосується зони транспортування, то в ній зазвичай створюються адіабатні умови, тобто на цій частині трубки теплота не підводиться та не відводиться (теплообмін з навколишнім середовищем відсутній).

При збільшенні коефіцієнту заповнення термосифона, збільшується і максимальна потужність підведеного теплового потоку. Але слід зазначити, що термосифон з меншим коефіцієнтом заповнення може функціонувати при малих густинах теплового потоку більш ефективно.

Басейни витримки призначені для зберігання відпрацьованого (первинного) «гарячого» палива, що має високі рівні тепловиділення та високу активність. Залишкова температура відводиться завдяки природній циркуляції рідини. В основі системи пасивного охолодження лежить випарувально – конденсаційний пристрій замкнутого типу двофазного термосифона. Завдяки цій установці здійснюється організація пасивного відводу залишкових тепловиділень з ВВЕР.

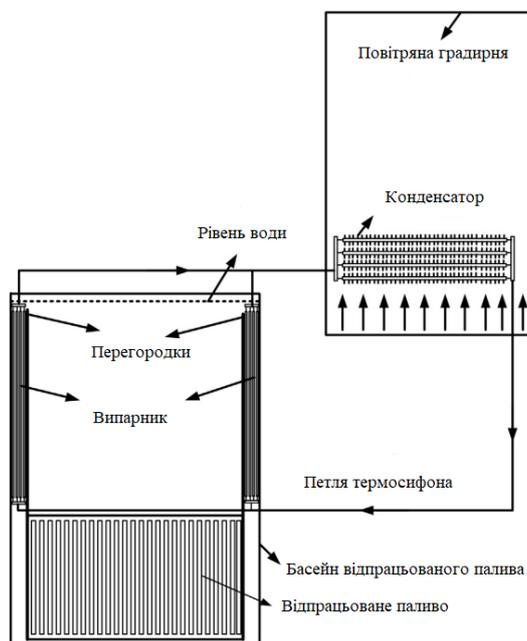


Рисунок 2 - Схема секції СПВТ БВ на основі кільцевого двофазного термосифона [1]

Залишкові тепловиділення від відпрацьованого ядерного палива відводяться за рахунок природної конвекції водою басейна витримки. Трубки випарника розміщуються в басейні з відпрацьованим паливом для поглинання тепла. В двофазній петлі термосифона тепло передається від секції випарника до секції конденсатора. Зовнішній поверхні двофазних термосифонів передається теплота з басейна витримки, а теплоносій термосифона випаровується за рахунок зовнішнього підводу теплоти. Атмосферне повітря охолоджує конденсатор, але й сама пара конденсується за рахунок масових сил, а потім повертається у випарник. Для підвищення коефіцієнта тепловіддачі потрібно використовувати повітряні градирні.

Під час нормальної роботи ядерного реактора, температура води в басейні з відпрацьованим паливом нижча, ніж робоча температура рідини в петлі термосифона і пасивна система охолодження не працює. Але як тільки трапляється аварія, то температура в басейні з відпрацьованим ядерним паливом підвищується, тим самим створює запуск пасивної системи охолодження.

Перелік посилань:

1. Wen Fu, Xiaowei Li, Xinxin Wu, Zhengming Zhang // Annals of Nuclear Energy. – 2015. - №85. – с. 346 - 356

Студент 4 курсу, гр. ТЯ-71 Сорока О.І.
 Асист. Федоров Д.О.

ГЕТЕРОГЕННЕ РОЗБАВЛЕННЯ БОРНОЇ КИСЛОТИ В ТЕПЛОНОСІЇ ПЕРШОГО КОНТУРУ ВВЕР-1000

У водо-водяних реакторах (ВВЕР) широко застосовується борне регулювання. Розчинена в теплоносії, борна кислота являється поглиначем нейтронів. В режимі умов нормальної експлуатації енергоблоку вона розподілена гомогенно по активній зоні (АкЗ). Для компенсації повільних змін реактивності протягом компанії проводиться водообмін теплоносію системою продувки-підживлення і борного регулювання першого контуру [1].

У випадку ненавмисного розбавлення теплоносія першого контуру деборованою водою, зменшення концентрації бору призводить до введення додатної реактивності, що може спричинити введення реактору в критичний стан і при додаткових відмовах систем безпеки до пошкодження АкЗ [2].

Відповідно до [3], при виконанні аналітичних робіт по оцінці безпеки ВВЕР, аналізуються порушення, в результаті яких відбувається рівномірне зменшення концентрації борної кислоти в теплоносії першого контуру. Тобто, приймаються різнопланові відмови в системах нормальної експлуатації реакторної установки (РУ), коли із-за подачі дистилату концентрація борної кислоти поступово зменшується, але при цьому залишається однорідною в теплоносії першого контуру.

Сучасні розрахункові інструменти аналізу [4] дозволяють враховувати гіпотетичний феномен, при якому відбувається нерівномірне розбавлення борної кислоти, коли в окремих ділянках трубопроводів першого контуру формується пробка деборованої води, котра може потрапити в об'єм АкЗ реактору. В цьому випадку, можливе різке зростання реактивності в наслідок відсутності в цій області середовища рідкого поглиначя нейтронів, його локальний перегрів і пошкодження тепловиділяючих збірок (ТВЗ).

На рис. 1 приведена нодалізаційна схема теплогідравлічної моделі реактора, для теплогідравлічного коду RELAP5-3D яка буда застосована у розрахунках на підтримку проекту поглибленого аналізу безпеки енергоблоку № 5 Запорізької АЕС [5].

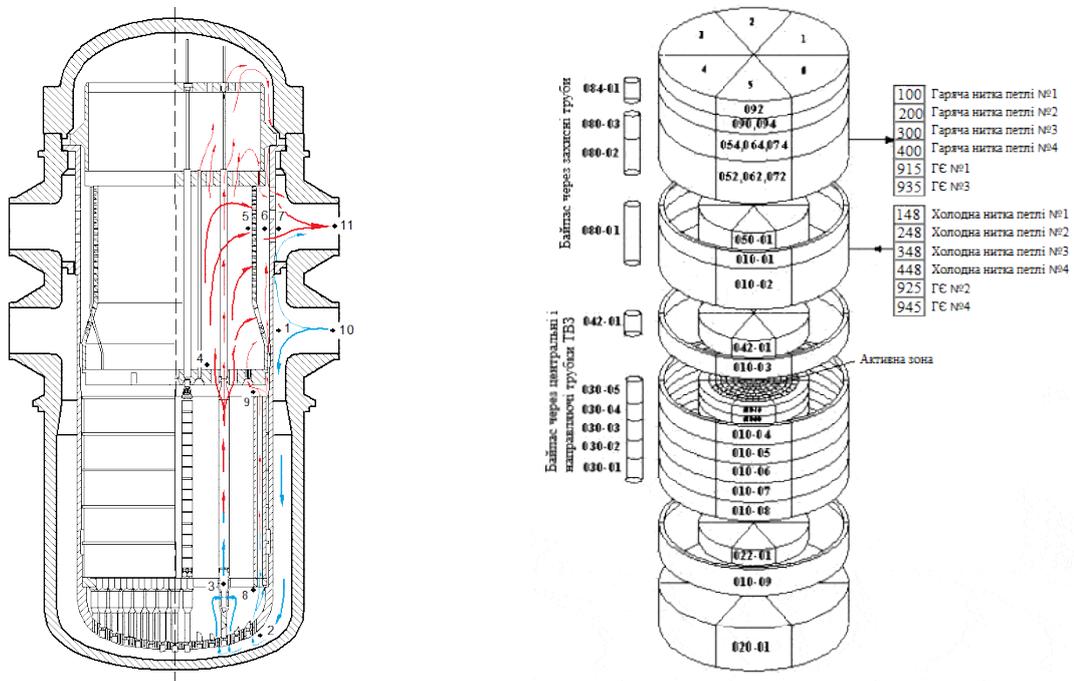


Рисунок 1 - Нодалізаційна схема теплогідравлічної моделі реактора ВВЕР-1000 для RELAP5-3D

В даній роботі пропонується виконати дослідження аварійних процесів з негомogenous розбавленням борної кислоти теплоносія першого контуру РУ типу ВВЕР-1000. Наступні представницькі сценарії для випадку кінця паливної компанії з відповідними вихідними подіями (ВПА) можуть бути розглянуті:

- ВПА «Течія із першого контуру в другий», заклинювання ЗК КТ, перетік деборованого середовища другого контуру при зниженні тиску у першому;
- ВПА «Повна втрата живильної води в ПГ», тривале кипіння теплоносія у АкЗ та конденсація на трубчатці ПГ при протіканні аварійного процесу, утворення пробки чистого конденсату в U-подібній частині трубопроводу холодної нитки циркуляційної петлі;
- ВПА «Мала течія першого контуру», утворення пробки чистого конденсату у трубопроводах системи аварійного охолодження АкЗ в наслідок негерметичності зворотних клапанів;

Головна відмінність такої роботи від попередніх [6] полягає у постановці вирішення задачі, в частині сполучення модулів тривимірної кінетики та теплогидравліки. Результати такої роботи можуть бути корисними з точки зору підвищення безпеки енергоблоку у частині внесення рекомендації в дії стратегій протиаварійних процедур СОАІ та КУВА

Перелік посилань:

1. Иванов В.А. Эксплуатация АЭС: уч. пос. Санкт-Петербург, Энергоатомиздат, 1994, 384с.
2. Овчинников Ф.Я. Эксплуатационные режимы водо-водяных энергетических реакторов: уч.пос. Москва, Энергоатомиздат, 1988, 359с.
3. Deterministic Safety Analysis for Nuclear Power Plants: IAEA Safety Standards Series No. SSG-2 (Rev.1), 2019, 85p.
4. Spadoni A., D'auria F. Assessment of thermal-hydraulic codes against boron transport phenomenon at system level, 6th Int. Conf. Nuclear Option., S6, 26, 2006
5. Шкарупа А.М. Применение кода RELAP5-3D в поддержку анализа безопасно-сти энергоблоков АЭС Украины / А.М. Шкарупа, И.Н. Каденко // Ядерна фізика та енергетика. - 2006. – № 2 (18). – С. 75 – 81
6. Ушева К.И., Михальчева Э.А., Кутень С.А., Хрущинский А.А., Руденков И.В., Бабичев Л.Ф., Родионов А.Н. Анализ аварийных сценариев, связанных с неравномерным разбавлением борной кислоты в теплоносителе первого контура // СБОРНИК ТРУДОВ 11-й международной научно-технической конференции ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ АЭС С ВВЭР 21 -24 мая 2019 года, ОКБ «ГИДРОПРЕСС», Подольск, Россия.

Аспірант Федоров Д.О.
Проф., д.т.н. Туз В.О.

ОСОБЛИВІСТЬ ЯВИЩА КРИТИЧНОГО ВИТОКУ ТЕПЛОНОСІЯ НА НАДКРИТИЧНИХ ПАРАМЕТРАХ

В технічному додатку до літератури [1] представлена інформація про критичні моделі течії для однофазних і двофазних потоків. Деякі з них запропоновані без теоретичних викладок і представлені у вигляді напівемпіричних співвідношень, що зв'язують критичну витрату і термодинамічні параметри стану середовища. Для узгодження з відповідними експериментальними даними вводяться безрозмірні поправочні коефіцієнти.

Інші моделі, навпаки, отримують шляхом вирішення набору двох і більше балансових рівнянь, що описують фундаментальні закони збереження маси, імпульсу і енергії для кожної фази окремо або для представленої гомогенної суміші.

Модель [2], що представляє класичний термодинамічний підхід, прийнято називати гомогенною рівноважною моделлю (homogeneous equilibrium model) - НЕМ. Вона спочатку розглядалася для середовищ в посудинах під тиском при аналізі витікання через трубу, діаметр якої малий у порівнянні з лінійним розміром посудини. Це найбільш простий підхід, яке може бути сформульований для рівноважної постановки задачі, при якому виділяють наступні припущення:

- однорідність середовища (представляється однокомпонентною з усередненими по масовому вмісту теплофізичними властивостями);
- процес витікання середовища усталений і ізоентропійний;

Слід зазначити, що дана модель була розроблена для визначення критичної витрати двофазної суміші, припускаючи, що між фазами немає проковзування.

Однією з перших масштабних робіт, пов'язаної з дослідженням феномена критичного витоку при надкритичних параметрах (НКП), була робота [3], де перед авторами в ході проведення численної серії експериментів було поставлено два завдання.

Перше завдання полягало в отриманні даних необхідних для оцінки застосовності існуючих, вищеописаних моделей. Друга мета полягала в отриманні даних по теплопередачі для підтвердження деяких існуючих кореляцій конвективного теплообміну. Важливо відзначити, що для води при надкритичних умовах, були протестовані тільки НЕМ і отримано аналітичне рішення для критичного витрати, через рівняння Бернуллі.

Автори вперше запропонували кореляцію для оцінки псевдокритичної температури води за допомогою тиску гальмування потоку. Підхід можна вважати аналогічним концепції недогрітого середовища, використовуваної для киплячих рідин при надкритичних тисках. В цілому при порівнянні моделей в докритичних умовах автори виявили, що НЕМ модель прогнозує заірні характеристики потоку досить задовільно, в той час як інші моделі демонструють дещо кращі результати.

У фундаментальній праці [4,5] при використанні гомогенної рівноважної моделі авторами була виконана діаграма режиму витікання при різкій розгерметизації петлі з теплоносієм при НКП. Вдалося показати і визначити, що інтенсивність критичного витоку багато в чому, буде визначатися умовним геометричним сполученням середовища з різним фізичним станом теплоносія (див. рисунок 1):

- критичне середовище (до точки 22,1 МПа по тракту падіння тиску з течії);
- перегріта пара (22,1 МПа і температура вище T_s);
- перегріта рідина з подальшим вибуховим скипанням (22,1 МПа, а температура нижче 647,3 К);
- двофазна суміш (тиск нижче 22,1 МПа, і температура T_s);

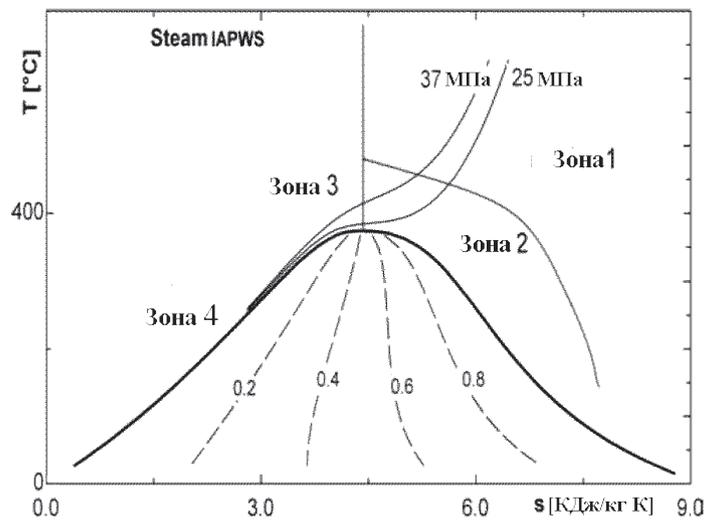


Рисунок 1 - Карта фізичних станів теплоносія при зниженні тиску у T-S діаграмі

Подальше застосування аналітичного підходу для вивчення питання критичного витoku при НКП дозволило виявити, що відбувається переоцінка критичної витрати до 40% від отриманих експериментальних даних. До того ж було визначено, що реальний час розгерметизації набагато більше, ніж може бути оцінений НЕМ, де розширення постулюється як ізоентропійний процес.

У роботі [6], автором було виявлено, після виконання порівняння експериментальних даних з прогнозом за допомогою рівняння Бернуллі, НЕМ і базової моделі КТ теплогідралічного коду RELAP, що у всіх випадках прогнозування при НКП стикається з істотною похибкою

Отже, при контурних течіях теплоносія ядерного реактору при НКП виникає ситуація, коли термодинамічні параметри витікаючого середовища, а також спосіб опису процесу витікання вимагають з'ясування поточного стану середовища. Не менш значущою складністю є міжфазні співвідношення в даному процесі в разі наявності фазових переходів по тракту.

Таким чином, явище кризи течії при НКП характеризується послідовною зміною двох і більше термодинамічних станів середовища по тракту проходження теплоносія в течію. Цим пояснюється особливість кризи течії при НКП, оскільки геометрична позиція переходу від НКП до будь-якого іншого стану є багатофакторним процесом, для якого цілісної моделі не існує. До того ж сама задача є принципово нелінійною з великою кількістю невизначеностей.

Перелік посилань:

1. Critical flow models. State of art report on critical flow modeling. F. D'auria, P. Vigni, University of Pisa, Italy, 1980
2. Moody, Frederick J. Maximum discharge rate of liquid-vapor mixtures from vessels. USA, 1975
3. Lee D H, Swinnerton D. Evaluation of critical flow for supercritical steam-water. EPRI-NP-3086, Final report, USA, 1983
4. Mignot G, Anderson M, Corradini M. Initial Study of Supercritical Fluid Blowdown, Fusion Science and Technology, USA, 2007
5. Mignot G, Anderson M, Corradini M. Critical Flow Experiment And Analysis For Supercritical Fluid., Nuclear Engineering and Engineering Physics Department, University of Wisconsin, USA, 2007
6. Experimental study of critical flow of water at supercritical pressure, Y Chen, C Yang, S Zhang, M Zhao, K Du - Frontiers of Energy, 2009

Студент 4 курсу, гр. ТЯ-72 Черепанов І.Ю.
Асист., Остапенко І.А.

КОНЦЕПЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПРОЕКТНЫМИ АВАРИЯМИ СИСТЕМОЙ ВНЕШНЕГО ОХЛАЖДЕНИЯ КОРПУСА РЕАКТОРА ЭНЕРГОБЛОКОВ №3 И №4 ХАЭС

Начиная с 2030 по 2040 мы начнём постепенно выводить энергоблоки из эксплуатации. Длительность цикла сооружения энергоблока АЭС составляет 8-12 лет (активная фаза приблизительно 6-7 лет), таким образом возникает необходимость уже сейчас заниматься замещением существующих мощностей. Строительство новых энергоблоков АЭС, а также достройка блоков №3 и №4 имеют важное значения для энергосистемы и обеспечению энергетической безопасности Украины, так как атомная энергетика способна предложить не только дешёвую электроэнергию (в условиях растущих цен на нефть, газ и уголь) для поддержания роста промышленности, а также удовлетворения потребительского спроса, но и экологически чистую электроэнергию, что является одним из ключевых факторов для борьбы с изменением климата. [1] Имеется возможность повысить общую безопасность энергоблоков благодаря внедрению новых систем в проекты для управления тяжёлыми запроектными авариями такими как расплав активной зоны, в рамках достройки ХАЭС-3,4 возник запрос о том, чтобы первоначальный проект содержал изменения, отвечающие современным требованиям, выдвинутым к новым блокам 3го поколения.

Если детально рассматривать энергоблоки №3 и №4 ХАЭС, их реализация является ключевым моментом в вопросе ввода новых мощностей, также достройка этих двух энергоблоков принесёт большую экономическую выгоду как Украине в целом в виде поступлений в гос. бюджет, так и для региона, кроме этого проект несёт выгоду и в социальном плане, так как для его реализации будет создано много новых рабочих мест (стройка даст 5-8 тысяч рабочих мест, заводы 15-20 тысяч) и сами энергоблоки создадут персоналу АЭС 2 тыс. новых рабочих мест. На момент 1990 г. (приостановления строительства) готовность их реализации была следующей:
-Энергоблок №3 – 75% готовность строительных конструкций (общая – 28%)
-Энергоблок №4 – 28% готовности СК (общая – 10%)

Возможность обеспечения требований к проектной долговечности и надёжности эксплуатации существующих строительных конструкций (с учётом проведения комплекса ремонтно-восстановительных работ) была подвержена в 2006-2009 годах, а также проведены повторные обследования и оценка технического состояния в 2019 году. [2]

Распоряжением от 26.07.2018 №579 Кабинетом Министров Украины было одобрено Техничко-экономическое обоснование строительства энергоблоков №3 и №4 ХАЭС, в котором также учтена необходимость реализации мероприятий по повышению безопасности, предусмотренные «Комплексной программой повышения безопасности и надёжности действующих АЭС Украины», а также «Дополнительными требованиями по безопасности к проектам новых энергоблоков АЭС», при помощи ИЯИ Ржеж. [3]

Тяжёлая авария – запроектная авария, при которой происходит тяжёлое повреждение активной зоны. [4] Как и любая авария, ТА хар. исходным событием, путями протекания и последствиями. В ряде дополнительных решений по системам безопасности блоков №3 и №4 ХАЭС было предусмотрено реализация комплекса мероприятий которые позволяют сохранять ГО свои локализирующие функции при авариях, включая тяжёлых аварий с расплавлением топлива:

- система контроля и удаления водорода (СКУВ);
- система регулируемого (фильтруемого) сброса давления из ГО (СРФС);
- система снижения давления в первом контуре;

-система внешнего охлаждения корпуса реактора (СОКР) ;

Стратегия управления тяжёлой аварией для АЭС с реактором ВВЭР-1000 называется «In-Vessel Retention» (IVR).[5] Согласно концепцию этой стратегии, необходимо обеспечить охлаждение кориума внутри корпуса реактора с внешней стороны. Для этого необходимо обеспечить затопление шахты реактора (ШР) теплоносителем в ранней фазе ТА, обеспечение переноса тепла от расплава к теплоносителю через корпус реактора, отвода тепла из ШР в конфаймент и последующий отвод тепла из конфаймента к конечному поглотителю. В рамках своей дипломной работы, а также приведенной стратегии я решил сделать больше акцент на рассмотрении СОКР, её основными назначениями являются предотвращение повреждения корпуса реактора при тяжелых авариях с разрушением АЗ и исключение выхода кориума за пределы корпуса реактора, а также сохранение локализирующих свойств ЗО, что значительно влияет на минимизацию радиационного воздействия на население в результате ТА с расплавлением топлива. В своей дипломной работе как пример работы СОКР я опирался на демонстрацию большой LOCA аварии с потерей работоспособности всех активных аварийных систем. СОКР состоит из:

-базовый запас охлаждающей воды;

-контур естественной циркуляции охлаждения корпуса реактора;

-пассивная часть;

-активная часть;

В дипломной работе детально расписаны составляющие системы охлаждения корпуса реактора, её принцип работы, а также подтверждения её эффективности в виде экспериментальных данных и расчётных.

В заключение важно отметить необходимость проведения мер по повышению безопасности действующих энергоблоков, а также тех которые будут введены в эксплуатацию в будущем. Наличие реализованной концепции по управлению запроектными авариями является важным фактором не только для строительства блоков №3 и №4 ХАЭС, но и других блоков ВВЭР-1000 или других водо-водяных реакторов большой мощности, так как с их помощью получится не только избежать последствий ТА, но и эффективно справляться с ней.

Перелік посилань:

1. Строительство энергоблоков №3, №4 Хмельницкой АЭС. Оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС) – ГП «НАЭК» «Энергоатом»
2. На Хмельницькій АЕС відбулась нарада з питань будівництва 3 та 4 енергоблоків.
URL: <http://www.xaec.org.ua/store/pages/rus/khnppnews/2021-02-12/83.html>
3. Розпорядження КМУ №579 від 26.07.2018: Про схвалення техніко-економічного обґрунтування «Будівництво енергоблоків №№3,4 Хмельницької АЕС». База даних «Законодавство України»/ВР України.
URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/579-2018-p#Text>
4. Загальні положення безпеки атомних станцій. НП 306.2.141-2008.
5. In-vessel Retention for VVER-1000. Batek, D., 2015.

Магістрант 5 курсу, гр. ТЯ-01мн Анюшкіна А.А.
Доц., к.т.н. Коньшин В.І.

БЕТОН ЯК БІОЛОГІЧНИЙ ЗАХИСТ ЯДЕРНИХ РЕАКТОРІВ

Складовою частиною будь-якої ядерної установки є біологічний захист. Основне призначення біологічного захисту реактора – забезпечення безпечних умов роботи обслуговуючого персоналу та обладнання [1].

Вимоги до матеріалу біологічного захисту:

- мати хороші захисні властивості;
- повинні бути конструкційно міцними;
- мати високу радіаційну і термічну стійкість;
- вогнестійкі;
- хімічно інертні;
- не виділяти отруйних та вибухонебезпечних газів під дією температури та опромінення;
- зберігати стабільні розміри.

У природі немає матеріалів, які відповідають відразу всім вимогам. Однак в значній мірі вимогам задовольняють бетони, особливо, якщо ретельно і економічно обґрунтовано обрати їх склад.

Зазвичай захисним шаром бетону оточується активна зона реактора і вся система технологічного обладнання, що є джерелом іонізуючого випромінювання (контури з теплоносієм, сховища відпрацьованих ТВЕЛ та інше).

Завдання проектувальників полягає у правильному виборі складу і товщини бетонного захисту, які могли б забезпечити ослаблення потоку випромінювання до безпечного рівня.

Бетон знайшов широке застосування в якості матеріалу біологічного захисту ядерних реакторів завдяки хорошим захисним і технологічними властивостями та невеликій вартості [2, 3].

Використання бетону дає дві великі переваги: по-перше, він може бути укладений в будь-яку необхідну форму і по-друге, захисні властивості бетону можна змінювати в досить широких межах шляхом підбору його складу.

Поглинаюча здатність у різних матеріалів різна, а отже, створення високоефективного біологічного захисту можливе тільки при застосуванні відповідних високоефективних поглиначів іонізуючого випромінювання.

Вибір матеріалу для біологічного захисту залежить від виду, інтенсивності та проникаючої здатності випромінювання.

Наприклад, для захисту від γ -випромінювання потрібні матеріали з елементів з великим масовим числом. Захистом від α і β -частинок слугують тонкі екрани, виготовлені з легких металів. Найскладнішим є захист від нейтронів.

Ослаблення потоку нейтронів відбувається в результаті уповільнення швидких нейтронів і поглинання теплових нейтронів.

Елементи в високим атомним номером мають високий переріз пружного розсіяння нейтронів. В якості важкого елементу в захисті часто застосовують залізо.

Для збільшення ймовірності захоплення теплових нейтронів бажано в бетон ввести бор у вигляді малорозчинних у воді сполук.

Найбільш ефективним сповільнювачем теплових нейтронів є водень, оскільки зменшення енергії нейтронів в результаті одного зіткнення обернено пропорційно масі частинок, що стикаються. Внаслідок рівності мас нейтрона і ядра водню – в одному акті розсіювання нейтрона на водні в середньому втрачається половина енергії нейтрона.

Таким чином, вискоєфективний матеріал захисту реактора повинен мати в своєму складі водневмісні речовини і важкі елементи, а також бор. Всі ці речовини можуть бути застосовані в захисті як шари, що чергуються, але краще у вигляді рівномірної суміші. Бетон являє собою саме таку рівномірну суміш з елементів з різними масовими числами.

Водневмісним компонентом в бетоні є вода, хімічно зв'язана в цементі. Важкі матеріали вводяться у бетон у вигляді важкого цементу, або у вигляді руд чи металевих наповнювачів [4].

Бетон поєднує у собі властивості, які роблять його ефективним в будівництві біологічного захисту.

Біологічний захист ядерних установок має великий об'єм і високу вартість, тому правильний, технічно і економічно обґрунтований вибір матеріалів для цього захисту має велике значення для безпечної роботи персоналу і обладнання [5].

Перелік посилань:

1. Бронштейн И. Э. Радиационная безопасность персонала атомных электростанций. / И. Э. Бронштейн. – Л., 1988. – 77 с.
2. Бетон в защите ядерных установок. – М.: «Атомиздат», 1973. – 319 с.
3. Бетон для биологической защиты. – М.: Московский филиал «Оргэнергострой», 1963. – 270 с.
4. Комаровский А. Н. Строительство ядерных установок. / А. Н. Комаровский. – М.: «Атомиздат», 1969. – 503 с.
5. Мемарианфард М. Е. Эффективные бетоны для биологической защиты реакторов ВВЭР-1000. / М. Е. Мемарианфард. – М.: Вестник МГСУ, 2009. – 131с.

Магістрант 5 курсу, гр. ТЯ-01мн Гаврик В.С.
Асист. Остапенко І.А.

ОЦІНКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТА РЕСУРСУ КОРПУСУ РЕАКТОРА ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ АЕС

В нашій країні АЕС виробляють близько 45% від усієї електроенергії, але, на жаль, термін експлуатації більшості з них підходить до кінця. Саме тому інженери нашої країни шукають рішення цієї проблеми, адже зупин одного енергоблоку АЕС несе за собою великі збитки. Дана проблема є актуальною в нашій країні, адже більшість теплових електростанцій також закінчують свій термін служби, а так звана зелена генерація на даний момент не може забезпечити видобуток електроенергії в таких об'ємах як на АЕС. Тому, на мою думку, необхідно використовувати ресурс енергоблоків АЕС по максимуму тому, що на сьогоднішній день економіка країни не дозволить нам будувати нові енергоблоки або замінювати надзвичайно дорогі елементи АЕС. Основним незамінним елементом, від якого залежить подальша надійна робота енергоблоку в цілому є корпус реактора. Заміна даного елемента є економічно не виправданою затратною, тому проводять ряд заходів щодо продовження терміну його експлуатації [1].

Для продовження терміну експлуатації елементів енергоблоку, а в даному випадку саме корпусу реактора, проводять оцінку його технічного стану та залишкового ресурсу.

Дана програма необхідна для вирішення питання щодо продовження терміну експлуатації корпусів реакторів, адже в нашій державі закінчуються терміни експлуатації блоків ВВЕР-1000, а заміна корпусів є економічно затратними заходами [1].

На початку проводять попередню оцінку технічного стану корпусу реактора та випробування зразків-свідків на одноосьовий, позацентровий розтяг та на ударний вигин.

Головною метою попередньої оцінки технічного стану є порівняний аналіз фактичних параметрів матеріалів корпусу, умов експлуатації та відхилень від норм, а також аналіз дефектів та пошкоджень з проектними вимогами нормативно-технічної документації. Також важливим питанням є встановлення механізмів старіння, адже в сукупності вони призводять до зміни механічних властивостей, розтріскування та руйнування металу [2].

Програма зразків-свідків [3] передбачає контроль зміни властивостей металу корпусу. Зразки-свідки виготовляють на тому самому заводі де виготовляють корпус, притримуючись усіх технологій виготовлення. Вони виготовляються з основного металу (металу, що розташований навпроти активної зони), металу зварного шву та металу зони термічного впливу. Зразки-свідки випробовують на розтяг, ударний вигин, розвиток тріщин та малоциклічну втому.

Всі завантажені в реактор зразки укомплектовують в контейнери. Контейнерні збірки, що опромінюються, встановлюють в простір між верхнім торцем вигородки і нижнім торцем блоку захисних труб в спеціальних трубах, приварених до верхнього торця вигородки.

Комплекти, що опромінюються, призначені для встановлення спільного впливу опромінення та температурного впливу. Температурні комплекти призначені для виявлення теплового старіння матеріалу.

Модернізація контейнерних збірок полягає в зміні конструкції таким чином, щоб забезпечити опромінення зразків в контейнері приблизно однаковим потоком нейтронів. Модернізована контейнерна збірка вміщує в себе зразки для випробувань на одновісний, позацентровий розтяг та ударний вигин. Далі проводять теплогідралічний розрахунок (метою якого є встановлення найбільш несприятливих подій), розрахунок на міцність (визначаються показники, які характеризують навантаження на матеріал) та розрахунок на сейсмічний вплив [4].

Аналіз умов опору крихкому руйнуванню виконується з метою того, що у всіх розрахункових точках тріщини в матеріалі, постульованій в критичних зонах корпусу, при усіх режимах і проектних аварій інтенсивність напруження не перевищить допустиме значення. За даним критерієм термін експлуатації корпусу визначається як період часу, протягом якого значення температури не досягне значення температури крихкості матеріалу. Таким чином, технічний стан вважається забезпечуючим працездатність корпусу, якщо значення визначальних параметрів не досягають гранично-допустимих значень.

Необхідно щоб корпус забезпечував цілісність під час виконання всіх робочих функцій. Продовження терміну експлуатації можливе на підставі аналізу результатів випробувань та розрахунків, накопиченої інформації про технічний стан матеріалу корпусу на період його експлуатації.

Перелік посилань:

1. Звіт МАГАТЕ ІАЕА-ЕВР-WWER-14 «Питання безпеки та їх ранжування для АЕС з ВВЕР-1000 малої серії»
2. Звіт МАГАТЕ ІАЕА-ЕВР-WWER-08 «Вказівки щодо аналізу гідравлічного теплового удару для АЕС з ВВЕР»
3. ПМ-Т.0.03.120-08. «Типовая программа контроля свойств металла корпусов реакторов ВВЭР-1000 по образцам-свидетелям» – К.: ГП НАЭК «Энергоатом», 2009.
4. 1152.75.00.000 ТО. «Образцы-свидетели». 1152.75.00.000. Техническое описание. Инструкция по эксплуатации, 1979.

Магістрант 5 курсу, гр. ТЯ-01мн Гаврик В.С.
Ст. викл. Сахно О.В.

ФОРМУВАННЯ ВИХІДНИХ ДАНИХ ДЛЯ ІМОВІРНІСНОГО АНАЛІЗУ БЕЗПЕКИ ВІД СЕЙСМІЧНИХ ВПЛИВІВ

Одним з етапів забезпечення безпеки на атомних електричних станціях є проведення аналізу безпеки як і на стадії проектування, так і під час експлуатації енергоблоку. Аналіз безпеки атомних станцій базується на поєднанні детерміністичного та імовірнісного методів аналізу безпеки [1]. Для отримання найбільш точних результатів перелік вихідних подій для аналізу безпеки має включати всі можливі внутрішні та зовнішні події, а також їх можливі комбінації.

Для розробки повного імовірнісного аналізу безпеки першого рівня необхідне виконання імовірнісного аналізу безпеки від сейсмічних впливів для всіх категорій вихідних подій та для всіх можливих експлуатаційних станів блоків атомних станцій, що проектуються, споруджуються або експлуатуються.

Детальність та глибина дослідження може залежати від самої цілі дослідження та безпосередньо рівня сейсмічності на місцевості. Дослідження застосовуються для всіх типах реакторів.

В свою чергу, імовірнісний аналіз безпеки від сейсмічних впливів може виконуватися для [2]:

- Забезпечення виконання нормативних вимог щодо ліцензування енергоблоків;
- Підвищення рівня сейсмічної безпеки;
- Сприяння створення ефективної програми по управлінню ризиками;
- Обґрунтування можливості безпечної експлуатації енергоблоків у понадпроектний термін.

Імовірнісний аналіз безпеки від сейсмічних впливів є достатньо новим напрямом в Україні. На разі роботи з виконання імовірнісного аналізу безпеки від сейсмічних впливів розпочато лише для окремих енергоблоків Запорізької АЕС. При проведенні таких робіт вітчизняні фахівці опираються на передовий досвід провідних зарубіжних наукових установ та міжнародних організацій.

У доповіді виконується аналіз особливостей виконання імовірнісного аналізу безпеки від сейсмічних впливів.

Особливість виконання імовірнісного аналізу безпеки від сейсмічних впливів пов'язана з унікальним характером дії сейсмічного ризику. Землетрус викликає одночасні можливі відмови обладнання з загальних причин та діє на весь майданчик атомної станції, тобто все обладнання припадає під дію землетрусу. Тому використання параметрів експлуатаційної надійності як у типовому імовірнісному аналізі безпеки від інших небезпек є неефективним та не дозволяє отримати коректний результат. В імовірнісному аналізі безпеки від сейсмічних впливів в якості вихідних даних використовується умовна імовірність відмови в залежності від рівня сейсмічного впливу. Ці значення умовної імовірності відмови отримують за результатами виконання таких аналізів як [3]:

- Аналіз сейсмічної небезпеки майданчику АЕС;
- Аналіз пошкоджуваності елементів енергоблоку.

Головною метою аналізу сейсмічної небезпеки майданчику атомної станції є визначення залежності частоти землетрусу від рівня пікового прискорення ґрунту, тобто визначення частоти ініціювання сейсмічної події. Частоти повинні бути оцінені по всьому діапазону можливих сейсмічних рівнів. Для характеристики сейсмічного руху зазвичай використовують такий параметр як пікове прискорення ґрунту.

Землетруси різних рівнів та різних джерел навколо ділянки майданчику АЕС можуть призвести до одного і того ж руху ґрунту на майданчику АЕС. Аналіз сейсмічної небезпеки майданчику атомної станції має враховувати всі джерела та відповідно групувати їх під час оцінки частоти виникнення для кожного рівня пікового прискорення ґрунту.

Важливим елементом у виконанні імовірного аналізу від сейсмічних впливів є аналіз пошкоджуваності елементів енергоблоку. Метою аналізу пошкоджуваності елементів енергоблоку є оцінка стійкості важливих елементів обладнання або систем через такий параметр як пікове прискорення ґрунту. Пошкоджуваність елементів обладнання або системи визначається кривою, за якою можна визначити умовну імовірність відмови в залежності від значення параметру пікового прискорення ґрунту.

Метою даної роботи в цілому є дослідження та встановлення підходу до виконання аналізу пошкоджуваності елементів енергоблоку.

Основним завданням роботи є побудова кривої залежності умовної імовірності відмови обладнання енергоблоку від значення параметру пікового прискорення ґрунту. Для виконання даного завдання необхідно дослідити та проаналізувати прийняті іноземними фахівцями підходи до аналізу пошкоджуваності елементів енергоблоку, встановити єдиний підхід, за допомогою якого буде виконуватися побудова кривої пошкоджуваності, та провести збір інформації про необхідні вихідні дані для обраного підходу.

Перелік посилань:

1. Общие положения безопасности атомных станций (ОПБ 2008), НП306.2.141-2008, Государственный комитет ядерного регулирования Украины, Киев, 2008.
2. Probabilistic safety assessment for seismic events, IAEA-TECDOC-724 – International Atomic Energy Agency, Vienna, 1993.
3. Seismic Probabilistic Risk Assessment Implementation Guide EPRI-3002000709 Final Report, December 2013.

АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЩІЛЬНОСТІ ГОЛОВНОГО РОЗ'ЄМУ РЕАКТОРА ВВЕР-1000

Реактор є ключовим елементом енергоблоку, оскільки він заміні не підлягає, а його технічний стан є одним із вирішальних факторів продовження експлуатації енергоблоку. Герметичність усієї конструкції реактора забезпечується головним роз'ємом, який є одним з найбільш відповідальних вузлів. Його робочий стан критично важливий для безпеки експлуатації реактора і атомної станції в цілому. Операції ремонту ущільнюючих поверхонь кришки верхнього блоку і головного роз'єму корпусу реактора є унікальними, тому що проводяться без демонтажу основного обладнання за допомогою спеціальної установки. Кожна розгерметизація реактора призводить до зміни фізичних навантажень і деформації компонентів ГРР. Тому, після розгерметизації в обов'язковому порядку проводиться контроль дефектів ГРР. За умови, що знайдені дефекти є критичними, необхідно проводити ремонт. Оскільки процедура ремонту є дорогою і складною, збільшення терміну безвідмовної експлуатації компонентів ГРР є актуальним завданням.

Накопичений досвід експлуатації реакторних установок (РУ) з ВВЕР показав, що в цілому прийнята в проектах РУ з ВВЕР конструкція вузла ущільнення головного роз'єму реактора (ГРР) забезпечує надійну роботу. Незважаючи на це, починаючи з 1985 року, на ущільнюючій поверхні і в канавках, які використовуються для укладання в них пруткових нікелевих прокладок з метою ущільнення ГРР, стали виявлятися мікротріщини, забоїни та інші дефекти. Аналіз цих дефектів показав, що причиною їх утворення є корозійне розтріскування металу (наплавленої поверхні) внаслідок напружень, викликаних наявністю агресивного середовища на фланці корпусу реактора, а також низької культури виконання технічного обслуговування і ремонту обладнання РУ, в тому числі ГРР [1].

В доповіді проводиться аналіз можливості покращення процедури відновлення щільності ГРР для забезпечення довготривалої експлуатації його компонентів без погіршення фізико-механічних властивостей та втрати функціональності.

Аналізуються існуючі процедури відновлення щільності ГРР. Вони передбачають або ручну вибірку дефектних участків та їх подальше заплавлення, або використання спеціальної установки UR-3000R зі змінними модулями, які дозволяють виконувати фрезерні, токарні, зварювальні, сверлильні та шліфувальні роботи. Показано, що швидкість накопичення дефектів на металі ГРР, через які втрачається її щільність, залежить від процедури наплавки під час проведення робіт з відновлення щільності [2].

З метою підвищення надійності вузла ущільнення ГРР було запропоновано використовувати під час ремонтних робіт технологію СМТ (Cold Metal Transfer – холодний перенос металу). СМТ процес - це MIG / MAG процес, який має абсолютно новий тип відриву краплі [3]. З назви зрозуміло, що процес дозволяє здійснювати «холодний» перенос металу при зварюванні або пайці. У порівнянні зі звичайним MIG / MAG процесом, тут вкладається значно менше тепла. Це дозволяє застосовувати СМТ процес там, де раніше технології MIG/MAG зварювання було вкрай важко застосовувати.

Сам процес заснований на зварюванні коротким замиканням. Під час такого процесу утворення короткого замикання супроводжується значним підвищенням струму (різким зниженням напруги і підвищенням опору), що неодмінно призводить до підвищення тепловкладення в основний метал. Із СМТ дугою ситуація інша, при першому виявленні короткого замикання струм знижується до мінімально допустимого значення, в той же час відбувається відрив краплі за рахунок зворотного руху зварювального дроту [4].

Процес СМТ являє собою простий в застосуванні спосіб з'єднання сталі з алюмінієм. Аналіз показав, що цей процес може бути реалізований на базі установки відновлення щільності ГРП UR-3000R шляхом заміни зварювального модуля. Практичне застосування модернізованої установки UR-3000R потребує удосконалення процедури відновлення щільності ГРП, серед іншого – стосовно підвищення вимог до культури виконання як безпосередніх процедур, так і робіт з технічного обслуговування і ремонту ГРП загалом.

В ході дослідної експлуатації модернізованої установки UR-3000R було встановлено, що реалізовані удосконалення дозволяють:

1. Збільшити продуктивність наплавки в 2 рази під час відновлення ущільнюючої поверхні верхнього блоку та в 3 рази під час відновлення ущільнюючої поверхні фланця корпусу реактора.
2. Зменшити тепловий вплив на метал ГРП під час проведення ремонтно-відновлювальних робіт, що позитивно відобразиться на терміні його безвідмовної експлуатації.

Також перевагою використання модернізованої установки UR-3000R для робіт з відновлення щільності ГРП є те, що виконання зварювальних робіт з її допомогою потребує значно меншого часу, що дозволяє суттєво знизити дозове навантаження на персонал, який приймає участь у відновлювальних роботах. Отже, запропоновані в роботі удосконалення процедур і обладнання для відновлення щільності ГРП можуть бути рекомендовані до впровадження на всіх енергоблоках АЕС України.

Перелік посилань:

1. Комплексная (сводная) программа повышения безопасности энергоблоков АЭС Украины. – 2010. – С. 227
2. Оптимизация плановых ремонтов энергоблоков атомных электростанций с ВВЭР : монография / В. І. Скалозубов, Ю. Л. Коврижкін, В. М. Колиханов; НАН України, Ін-т проблем безпеки АЕС. - Чорнобиль (Київ. обл.) : - Ін-т проблем безпеки АЕС, 2008. - 496 с.
3. Отчет ГРП ХАЭС 2018 [Електронний ресурс]. – 2018.
4. СМТ [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://tctena.ru/technologii/cmt>.

Магістрант 5 курсу, гр. ТЯ-мн Муштук П.М.;
магістрант 5 курсу, гр. ТЯ-мн Паламарчук М.М.
К.ф.-м.н. Халімончук В.А.

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ТА ПРОГРАМИ РОЗРАХУНКОВОГО ДОСЛІДЖЕННЯ КСЕНОНОВИХ АКсіАЛЬНИХ КОЛИВАНЬ ПОТУЖНОСТІ В РЕАКТОРАХ ВВЕР-1000

Впровадження маневрених режимів експлуатації ВВЕР-1000 на АЕС України є актуальним завданням для оптимізації роботи єдиної енергосистеми з характерними для неї добовими коливаннями споживання електроенергії. Робота в єдиній енергосистемі, зі значною часткою електроенергії, що виробляється на АЕС, вимагає протягом доби періодичного зниження потужності реактора з номінального рівня до ~75÷80% від номінального значення на час ~6÷8 годин з подальшим відновленням вихідного значення [1].

Слід зауважити, що режим маневрування потужністю являє собою типовий ксеноновий перехідний процес. Відомо, що в тепловому реакторі при досить високих значеннях щільності потоку нейтронів існує можливість виникнення локальних коливань потужності, пов'язаних з періодичним просторово-часовим перерозподілом концентрації ксенону в об'ємі активної зони через локальне збурення щільності потоку нейтронів. Такі коливання потужності відбуваються з періодом близьким до періоду напіврозпаду ^{135}I . Для реалізації маневрених режимів необхідно обґрунтувати їх технологічну можливість і безпеку з урахуванням виникаючих при цьому ксенонових коливань потужності [2]. Чи будуть ці коливання мати затухаючий або зростаючий характер залежить від рівня потоку в реакторі, величини і знаку коефіцієнта реактивності за потужністю, а також ряду інших факторів.

З урахуванням великого значення характерного часу ксенонових перехідних процесів загальноприйнятою практикою є використання для їх моделювання адіабатичного наближення. Суть цього наближення полягає в тому, що просторова складова щільності потоків нейтронів визначається з рішення стаціонарних рівнянь транспорту нейтронів, а часова залежність зводиться до зміни параметрів (перерізів взаємодії нейтронів) рівнянь транспорту нейтронів відповідно до змін концентрацій ^{135}Xe , температури теплоносія та палива.

Оскільки в роботі передбачається використати одновимірну (аксіальну) модель в двогруповому дифузійному наближенні, то відповідні стаціонарні рівняння мають наступний вигляд:

$$\begin{aligned} \nabla_z D_1 \nabla_z \phi_1 - \Sigma_1 \phi_1 + \frac{1}{K} \Sigma_g (v \Sigma_{f1} \phi_1 + v \Sigma_{f2} \phi_2) &= 0, \\ \nabla_z D_2 \nabla_z \phi_2 - \Sigma_{a2} \phi_2 + \Sigma_{1 \rightarrow 2} \phi_1 &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

Позначення нейтронно-фізичних констант в цих рівняннях є загально прийнятими в літературі з фізики реакторів [3].

Зворотній зв'язок за концентрацією ^{135}Xe в стаціонарному та нестационарному станах передбачається враховувати на основі зміни концентрації ^{135}Xe в кожній аксіальній ноді та виконання відповідного коригування макроскопічного перетину поглинання цих нод у вигляді:

$$\Sigma_{a2} = \Sigma_{a2}^0 + \sigma_x \cdot X(t),$$

де Σ_{a2}^0 – макроскопічний перетин поглинання нейтронів теплової групи в розрахунковій ноді без концентрації ядер ^{135}Xe , σ_{xe} – мікроскопічний переріз поглинання нейтронів одним ядром ксенону, а $X(t)$ – концентрація ядер ксенону для відповідного моменту часу в перехідному процесі, що може бути визначеною з рівнянь кінетики ксенону:

$$\begin{aligned} \frac{dX(t)}{dt} &= \lambda_I I(t) + \gamma_X \Sigma_f \Phi - \lambda_X X(t) - \sigma_X X(t) \Phi \\ \frac{dI(t)}{dt} &= \gamma_I \Sigma_f \Phi - \lambda_I I(t) \end{aligned} \quad (2)$$

де X і I – концентрації ядер ізотопів ^{135}Xe і ^{135}I ; $\lambda_I = 2.9 \cdot 10^{-5} \text{ c}^{-1}$ і $\lambda_X = 2.11 \cdot 10^{-5} \text{ c}^{-1}$ – постійні розпаду ^{135}Xe і ^{135}I ; $\gamma_I = 0.056$ і $\gamma_X = 0.003$ – вірогідності появи ядер ^{135}Xe і ^{135}I на один акт ділення.

У цих рівняннях використано припущення, що ^{135}I має малий переріз поглинання і тим самим його вигоранням нехтується. Крім того, прийнято, що ^{135}I є безпосереднім продуктом ділення, хоча насправді він з'являється в результаті радіоактивного β -розпаду ізотопу ^{135}Te , що є його попередником. Виправданням такого підходу є дуже малий час життя ^{135}Te , що складає 2 хвилини.

Для врахування зворотного зв'язку за температурами теплоносія та палива, а також густиною теплоносія будуть розроблені спеціальні теплогідрравлічні модулі програми.

Для розрахунку рівнянь (1) буде використано кінцево-різницевий перехід до системи алгебраїчних рівнянь і їх розв'язок ітераційним способом з розподілом ітерацій на внутрішні та зовнішні. Нейтронно-фізичні константи кожного аксіального слою визначаються усередненням з урахуванням кількості та типів ТВЗ відповідно до завантаження активної зони, що розглядається. Константи типів ТВЗ є попередньо розраховані з використанням спектральних кодів. Розв'язок рівнянь (2) передбачається аналітичним способом.

Таким чином, описаний алгоритм буде реалізовано в розрахунковій програмі на алгоритмічній мові ФОРТРАН, виконано тестові розрахунки та необхідні доопрацювання для використання розробленої програми в якості методичного посібника в освітньому процесі з аналізу аксіальних ксенонових коливань потужності в ВВЕР-1000 та розробці алгоритмів безпечної реалізації режимів маневрування потужністю на блоках АЕС України з ВВЕР-1000.

Перелік посилань:

1. Халімончук В.А., Кучин О.В. Впровадження в експлуатацію на українських АЕС нових типів палива: стан, конструкційні особливості, переваги, проблеми, можливість реалізації маневрених режимів., ДНТЦ ЯРБ, 2008
2. Дементьев Б.А. Кинетика и регулирование ядерных реакторов. уч. пос. Москва, Энергоатомиздат, 1986, 272с.
3. Основы теории и методы расчета ядерных энергетических реакторов. Уч. пос. под редакцией Г.А.Батя. Энергоиздат, Москва, 1982

Магістрант 5 курсу, гр. ТЯ-01мп Петишин О.В.
Асист., к.т.н. Овдієнко Ю.М.

АНАЛІЗ БЕЗПЕКИ РОБОТИ РУ ВВЕР-1000 НА ПОТУЖНОСТНОМУ ЕФЕКТІ РЕАКТИВНОСТІ БІЛЬШЕ 30 ДІБ

Робота реакторної установки (РУ) на зниженому рівні потужності з використанням потужностного ефекту реактивності може бути використано для продовження паливної кампанії РУ і як наслідок додаткового вироблення енергії з тим же завантаженням палива. По досягненню реактором кінця кампанії на номінальному рівні потужності він може бути виведений в режим, саморегулювання. При цьому подальше вигорання палива і підтримання критичності реактора йде за рахунок поступового самовільного зменшення потужності, і вивільнення відповідної реактивності, зумовленої від'ємним потужностним коефіцієнтом [2].

Ефект продовження кампанії з мимовільним зниженням потужності нижче номінальної використовується на атомній електричній станції (АЕС) з водо-водяним енергетичним реактором (ВВЕР). Наявний досвід роботи в цьому режимі показує, що кампанія може бути продовжена не більше ніж на 30 еф. діб. Електрична потужність блоку за цей час зменшується в порівнянні з номінальною приблизно на 30%, а температурний рівень теплоносія в першому контурі приблизно на 5%. Можна помітити, що одночасно йде зниження параметрів пара, що виробляється на турбіну і як наслідок зменшення коефіцієнт корисної дії блоку [2].

При роботі РУ на зниженому рівні потужності на момент досягнення розрахункової тривалості початку роботи на потужностному ефекті реактивності, вказаної в НФХ (нейтронно-фізичних характеристиках), допускається продовження роботи на цьому рівні потужності до моменту досягнення зниження концентрації борної кислоти в ТПК (теплоносій першого контуру) не менше 0,1 г / дм³ і не можливості подальшої підтримки цього рівня потужності. Загальна тривалість паливної кампанії енергоблоку з урахуванням роботи на потужностному ефекті реактивності не повинна перевищувати тривалості, зазначеної в НФХ (нейтронно-фізичних характеристиках) з урахуванням похибки розрахунку.

Можливість роботи енергоблоку (ЕБ) в режимі продовження кампанії з використанням потужностного ефекту реактивності дозволяється тільки в тому випадку, якщо не порушуються умови експлуатації ядерного палива, передбачені в каталожному описі і в проекті РУ. У разі порушень цих вимог, вимог до тривалості роботи на потужностному ефекті реактивності, вимог до порядку зміни потужності при роботі на потужностному ефекті реактивності дозвіл на експлуатацію енергоблоку в режимі продовження кампанії з використанням потужностного ефекту реактивності з зазначеними відступами оформляється технічним рішенням, яке повинне бути погоджене з Держатомрегулюванням України [1].

До початку роботи ЕБ з використанням потужностного ефекту реактивності повинні бути виконані і узгоджені розрахунки нейтронно-фізичних характеристик (НФХ) [3].

Якщо до моменту початку роботи енергоблоку на етапі використання потужностного ефекту реактивності РУ експлуатувалася на рівні потужності більше від номінального, зміна потужності при роботі ЕБ в режимі продовження кампанії з використанням потужностного ефекту реактивності виконується наступним чином:

- потужність реактора повинна знижуватися ступенями, переміщенням вниз регулюючої групи ОР СУЗ (органів регулювання системи управління та захисту) з подальшим переміщенням регулюючої групи вгору до початкового положення для компенсації вигорання палива.

- витяг регулюючої групи ОР СУЗ (органів регулювання системи управління та захисту) після закінчення перехідного процесу на Хе має бути на величину не більше 5% висоти активної зони впротягом доби;

- загальне зниження теплової потужності реактора при роботі на потужностному ефекті реактивності не повинно бути більше 30% від номінального рівня.

Згідно технологічного регламенту безпеки енергоблоку (ТРБЕ) експлуатація ЕБ на потужностному ефекті реактивності дозволяється не більше 30 діб [4].

Мета цієї роботи - запропонувати оптимальний режим роботи РУ ВВЕР-1000 з використанням потужностного ефекту реактивності тривалістю більше 30 діб та обґрунтувати безпеку реалізації запропонованого режиму. Для аналізу було обрано ЕБ №1 ЗАЕС

Обґрунтування безпеки буде виконано на основі розрахункового аналізу НФХ в кінці паливної кампанії в порівнянні з результатами розрахунків паливної кампанії, реалізованої у відповідності з поточною практикою формування паливних завантажень ВВЕР-1000.

При виконанні аналізу будуть враховуватися вимоги до роботи енергоблоку у режимі продовження кампанії з використанням роботи на потужностному ефекті реактивності викладені у ТРБЕ [4]. В ході проведення аналізу передбачається розглянути роботу на постійному зниженому рівні потужності, яка у порівнянні з режимом ступеневого зниження навантаження є більш “щадним” режимом з точки зору експлуатації палива.

Перелік посилань:

1. Андрущечко С.А. АЭС с реактором типа ВВЭР-1000.
2. Общие положения безопасности атомных станций. НП 306.2.141-2008. Госатомрегулирование Украины г. Киев.
3. Мерзликин Г.Я. Теория ядерных реакторов.
4. Технологический регламент безопасной эксплуатации ЭБ №1 ЗАЭС.

Магістрант 5 курсу, гр. ТЯ-01мн Розвазкий Я.В.
Ст. викл., к.т.н. Сахно О.В.

АНАЛІЗ НАДІЙНОСТІ ШРУ-А В УМОВАХ ТЕЧІ ТЕПЛОНОСІЯ З 1-ГО В 2-Й КОНТУР

ШРУ-А (швидкодіюча редуційна установка) відноситься до захисних систем безпеки та призначена для скидання надлишкової пари і підтримання заданого тиску в ПГ (парогенераторі) в аварійних режимах і забезпечення розхолодження РУ (реакторної установки) з заданою швидкістю при зупинці енергоблоку. Загалом, ШРУ-А встановлено на головному паропроводі кожного парогенератора на невідсічній ділянці і є багатофункціональним виконавчим органом. В одному випадку вона є регулюючим запобіжним пристроєм, і його функція полягає у відведенні надлишків пара з парогенератора в атмосферу, тобто в даному випадку воно є виконавчим органом регулятора тиску пара в парогенераторі. В іншому випадку воно є виконавчим органом регулятора швидкості розхолодження реакторної установки. При цьому швидкість розхолодження задається оператором [1].

Виробником ШРУ-А, встановлених на АЕС України, не було підтверджено їх кваліфікацію на режими з витокм води та пароводяного середовища що виникає під час розриву паропроводу.

Відсутність кваліфікації ШРУ-А для роботи на воді або пароводяної суміші призводить до необхідності розгляду можливих причин відмови ШРУ-А у відкритому положенні при аварійному розхолодженні або при течі теплоносія з першого контуру в другий. Тому виникає питання надійності і працездатності ШРУ-А в таких режимах. Особливо важливим є відмова на закриття редуційної установки її після відкриття, яка може привести до:

- викиду радіоактивних продуктів в навколишнє середовище;
- некерованому розхолодженню РУ і виникнення повторної критичності;
- непоправної втрати теплоносія [2].

В останніх двох випадках з великою імовірністю може відбутися пошкодження активної зони з перевищенням проектних меж.

Типовим рішенням такої технічної проблеми є:

- заміна діючої арматури ШРУ-А на арматуру, що задовольняє чинним правилам і нормам з безпеки в атомній енергетиці;
- модернізація ШРУ-А шляхом заміни виймальних частин і приводів арматури на виймальні частини і приводи, що задовольняють чинним правилам і нормам з безпеки в атомній енергетиці.

Разом з тим модернізація або заміна діючих клапанів вимагає значних матеріальних витрат. Тому для оптимізації витрат і дотримуючись принципу ALARA (підвищення безпеки настільки, на скільки це можливо з урахуванням технічних, економічних і соціальних факторів) необхідно спочатку вивчити питання про внесок можливої відмови ШРУ-А при роботі на пароводяній суміші в загальний рівень безпеки АЕС.

Якщо консервативно постулювати обов'язкову відмову ШРУ-А при попаданні в нього пароводяної суміші, то імовірність його відмови буде визначатися імовірністю попадання в нього пароводяної суміші або води з накладенням умов щодо підвищення тиску в паровому колекторі парогенератора до уставок відкриття ШРУ-А. Оцінку імовірності виникнення зазначеного сценарію можливо провести на основі результатів поглибленого аналізу безпеки АЕС з ВВЕР 1000/В-320 в яких представлено моделювання протікання аварії, пов'язаної з течєю теплоносія з першого контуру в другий [2].

Отже, питання працездатності ШРУ-А на пароводяній суміші і дослідження можливості його надійної роботи в таких режимах є актуальним завданням.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні задачі:

- виконати розрахунково-аналітичний аналіз працездатності;
- забезпечити кваліфікацію ШРУ-А та його компонентів на сейсмічні впливи та “жорсткі” умови середовища, що можуть виникнути внаслідок розриву паропроводу.

Необхідність забезпечення працездатності та надійності виконання функцій безпеки ШРУ-А в режимах витoku пароводяної суміші є обов'язковою умовою підвищення надійності і ефективності управління запроектованими аваріями з міжконтурними течами.

Перелік посилань:

1. Ю.А.Комаров. Вероятностные оценки влияния на безопасность квалификации БРУ-А ВВЭР 1000/В-320 при двухфазных режимах и в «жестких» условиях // Проблемы безопасности атомных электростанций і Чернобиля: наук.-техн. зб. — 2010. — Вип. 13.
2. Богодист В.В., Скалзубов В.И. Консервативный метод обоснования квалификации БРУ-А АЭС С ВВЭР-1000 при двухфазных режимах истечения // Проблемы безопасности атомных электростанций і Чернобиля. — 2009. — Вип. 12.

Магістрант 5 курсу, гр. ТЯ-мн Якимчук А.О.
Ст. викл., к.т.н. Бібік Т.В.

МОДЕЛЮВАННЯ АКТИВНОЇ ЗОНИ РЕАКТОРА ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО ВИЗНАЧЕННЯ НЕЙТРОННО-ФІЗИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЯДЕРНОЇ УСТАНОВКИ ЗА ДОПОМОГОЮ КОДУ SERPENT

Важливість спостереження за активною зоною реактора є однією з головних проблем експлуатації. На сьогоднішній день всі енергетичні установки типу ВВЕР забезпечуються системами внутрішнього реакторного контролю, основним завданням яких є отримання енергорозподілу в АкЗ на основі показань датчиків прямого заряду.

Саме вимоги до швидкості розрахунку поля ЕВ за показами ДПЗ не дозволяють проводити на діючому енергоблоці важкі аналітичні розрахунки залежності ЕВ від величини електричного сигналу детектора [мкА] в процесі моніторингу стану АкЗ. Для вирішення цього завдання проводяться попередні високоточні розрахунки та формування так званої бібліотеки нейтронно-фізичних констант ДПЗ. Завдання бібліотеки полягає у описі головних залежностей нейтронно-фізичних характеристик ДПЗ від параметрів середовища в АкЗ апроксимаційними функціями, коефіцієнти яких якраз і представляють собою наповнення вищезгаданої бібліотеки НФХ. Подібний підхід в програмній реалізації дозволяє за долі секунди визначати коефіцієнти для перерахунку електричного сигналу ДПЗ в лінійне ЕВ.

Метою даної роботи є верифікація нового Монте-Карло коду Serpent [1] для підготовки нейтронно-фізичного константного забезпечення ДПЗ.

Завданням дослідження було отримати динаміку вигорання емітера ДПЗ та розподіл швидкості реакції поглинання нейтронів ядрами ^{103}Rh в об'ємі емітера ДПЗ; відносну сумарну потужність 6-ти центральних тепловиділяючих елементів, що оточують центральний канал нейтронно-фізичних вимірювань в тепловиділяючій збірці. Отримані результати порівняти зі значеннями отриманими іншим спектральним кодом – MCU [2] і представленими в документі [1].

В рамках представленої роботи, згідно документу [1], засобами Монте-Карло коду Serpent [3] було створено модель ТВЗ з уран-гадолінієвим паливом, у центральній трубці якої розміщено ДПЗ. Відтворена конфігурація паливної решітки ТВЗ з 12-тьма уран-гадолінієвими вигоряючими поглиначами (рисунок 1).

Було проведено порівняння результатів розрахунку у спектральному Монте-Карло коді Serpent та даних, які наведені у документі [1]. Для розрахунків методом Монте-Карло відтворено $5 \cdot 10^8$ нейтронних історій [4, 5]. Геометрія, матеріальні характеристики та параметри вигорання були змодельовані відповідно до [1].

Згідно розрахунків максимальне за модулем відносне відхилення результатів Serpent від MCU в [7-10] складає:

- 1) 4,85% – при визначенні ядерної концентрації ^{103}Rh ;
- 2) 6,28% – при визначенні швидкості реакцій поглинання нейтронів;
- 3) 0,42% – при визначенні потужності шести центральних ТВЕЛ.

Середнє відносне відхилення результатів Serpent від MCU на всьому діапазоні глибини вигорання палива складає:

- 1) 1,02% – при визначенні ядерної концентрації ^{103}Rh ;
- 2) -0,46% – при визначенні швидкості реакцій поглинання нейтронів;
- 3) 0,09% – при визначенні потужності шести центральних ТВЕЛ.

Середньоквадратичне відхилення результатів Serpent від MCU на всьому діапазоні глибини вигорання палива складає:

- 1) 0,94% – при визначенні ядерної концентрації ^{103}Rh ;
- 2) 3,73% – при визначенні швидкості реакцій поглинання нейтронів;
- 3) 0,31% – при визначенні потужності шести центральних ТВЕЛ.

Варто відмітити, що результати Serpent розрахунку в цілому несуттєво відрізняються від результатів розрахунку MCU. Максимальне середньоквадратичне відхилення при визначенні швидкості реакцій поглинання нейтронів на всьому діапазоні глибини вигорання палива складає лише 3,73%. Подібне явище можливе за рахунок стохастичної природи розрахунку методом Монте-Карло. У цьому випадку підвищення рівня точності (кількості нейтронних історій) з великою вірогідністю зменшить максимальне значення похибки, однак варто зважати на збільшення часу розрахунку.

Середньоквадратичні відхилення при визначенні швидкостей реакцій поглинання нейтронів та сумарної потужності шести центральних ТВЕЛ менші одного відсотка, що показує достатню збіжність результатів розрахунку Serpent та MCU і може слугувати підставою для рекомендування Serpent для розрахунку вище вказаних величин при підготовці бібліотеки нейтронно-фізичних характеристик ДПЗ.

Необхідно відзначити, що будь-яка інженерна методика завжди залишає можливість для свого розвитку, пов'язаного з розвитком і поліпшенням знань з предмету, математичного та обчислювального апарату, починаючи від використання нових бібліотек оцінених ядерних даних та завершуючи максимальною деталізацією досліджуваних об'єктів.

Перелік посилань:

1. Final Specification for the VVERin-CoreSelf-Powered Neutron Detector Computational Benchmark, Nuclear Science NEA/NSC/DOC(2005)31
2. MCU home <http://mcuproject.ru/>
3. Leppänen, J., Pusa, M., Viitanen, T., Kaltiaisenaho, T. (2015). The Serpent Monte Carlo code: Status, development and applications in 2013. *Annals of Nuclear Energy*, 82, 142-150.
4. Evaluated Nuclear Data File. <https://www-nds.iaea.org/exfor/>
5. NEA Data Bank. <http://www.oecd-nea.org/databank/>
6. Leppänen, J., Mattila, R. and Pusa, M. (2014). Validation of the Serpent-ARES code sequence using the MIT BEAVRS benchmark - Initial core at HZP conditions. *Ann. Nucl. Energy*, 69, 212-225.
7. Viitanen, T. (2011). Serpent-ENIGMA - Combining Monte Carlo reactor physics with fuel performance. VTT Technical Research Centre of Finland.
8. Leppänen, J. On the feasibility of a homogenised multi-group Monte Carlo method in reactor analysis. *PHYSOR 2008, Interlaken, Switzerland: Sept. 14-19, 2008.*
9. Leppänen, J., DeHart, M. (2009). HTGR reactor physics and burnup calculations using the Serpent Monte Carlo code. *Trans. Am. Nucl. Soc.*, 101, 782-784.
10. Viitanen, T. and Leppänen, J. (2014). Validating the Serpent Model of FiR 1 Triga Mk-II Reactor by Means of Reactor Dosimetry. *EPJ Web of Conferences*, 106.

Магістрант 5 курсу, гр. ТЯ-01мн Якимчук А.О.; аспірант Трофименко О.Р.
Ст. викл., к.т.н. Бібік Т.В.

КВАЛІФІКАЦІЯ РОЗРАХУНКОВОГО МОНТЕ-КАРЛО КОДУ SERPENT ДЛЯ ДИФУЗІЙНОГО РОЗРАХУНКУ РЕАКТОРІВ ВВЕР

Актуальність забезпечення безпеки, надійності та економічності АЕС, є важливим завданням. Отримання поля енерговиділення в реальному часі – складне завдання. По полю енерговиділення визначається більшість функціоналів, контроль яких забезпечує збереження палива в активній зоні при стаціонарних і перехідних режимах роботи РУ.

Основою для вирішення завдань визначення станів реакторної установки є отримання оцінки стану реактора на заданий момент часу. Вихідною інформацією для отримання такої оцінки є сигнали датчиків технологічного контролю, що надходять від апаратури СВРК і інших систем, а також математичні співвідношення, що описують еволюцію змінних стану реактора і зв'язок між ними.

При визначенні стану активної зони практично обмежуються неповними характеристиками функцій розподілу ряду компонентів активної зони, таких як паливо, сповільнювач-теплоносій, поглиначі, отруйники, шлаки.

Завдання підготовки ефективних перетинів, підготовка гомогенізованих перетинів і їх зміна в процесі вигорання палива, можуть розглядатися окремо від завдання розрахунку реактора.

В рамках цього були проведені розрахунки кодом Serpent нейтронно-фізичних характеристик тепловиділяючої збірки з результатами представленими в документі [1, 2]. Це Монте-Карло код, призначений для нейтронно-фізичних розрахунків активної зони ядерного реактора [3, 4], при цьому він використовує безперервні за енергією бібліотеки оцінених ядерних даних.

У коді використовується підхід, аналогічний підходу, використаному в MCNP для визначення коефіцієнта розмноження нейтронів. Відмінність коду Serpent від MCNP полягає у використанні методу «Дельта-трекінгу Вудкока» (Woodcock delta-tracking method) [5, 6] для моделювання переносу нейтронів на відміну від традиційного для кодів Монте-Карло «Методу трекінгу променів» (Surface-to-surface ray-tracing method). Основною перевагою методу «Дельта трекінгу Вудкока» є те, що він значно спрощує обробку геометрії під час розрахунку, що призводить до зменшення часу моделювання, особливо для складних геометрій.

Serpent дає можливість проводити розрахунок вигорання за методом предиктор-коректор (predictor-corrector method) [7] для кожного кроку вигорання, що збільшує точність розрахунку. На додаток до традиційного методу предиктор-коректор, заснованому на лінійній інтерполяції, Serpent пропонує різні вдосконалені методи для розрахунку вигорання (наприклад, етапи вигорання діляться на підетапи, які вирішуються послідовно) [8], [9].

В рамках представленого звіту були проведені розрахунки для ТВЗ з 12 ТВЕГами. Така конфігурація ТВЗ у документі [1] позначена як UGD assembly configuration. Ця ТВЗ складається з 300 тепловиділяючих елементів (далі – ТВЕЛ) з яких 12 ТВЕГів на основі суміші діоксиду урану та діоксиду гадолінію (Gd_2O_3), 18 направляючих каналів та центральної трубки.

Моделювання ТВЗ та потвельні розрахунки виконувались для декількох станів, що відрізняються температурою палива, температурою оболонки, характеристиками теплоносія та концентраціями шлаків та отруювачів. Усі обчислення проводяться при дзеркальних граничних умовах (нескінченна ТВЗ решітка).

Нейтронно-фізичні характеристики були порашовані використовуючи бібліотеки оцінених ядерних даних ENDF/B-VII.

Отримані результати моделювання ТВЗ з гадолінієвим поглиначем показали:

- Максимальне абсолютне відхилення критичності ТВЗ в залежності від рівня вигорання, отриманого кодами HELIOS та MCNP, склало 0,0039;
- Порівняння результатів Serpent розрахунку відносних потвельних швидкостей реакції поділу в різних станах ТВЗ не перевищує 0,008;
- Були розраховані коефіцієнти розмноження для різних станів ТВЗ при різній глибині вигорання, які в цілому відповідають аналогічним розрахункам іншими кодами;
- Результати Serpent розрахунків осереднених по ТВЗ концентрацій нуклідів, а також концентрацій нуклідів у чарунках 1 та 24 узгоджуються з результатами отриманими в інших кодах;
- Результати моделювання коефіцієнту розмноження кодом Serpent показують достатній рівень кореляції з іншими кодами та отримані відхилення задовольняють прийнятному критерію прийнятності.

Проведений аналіз результатів розрахунків (залежність ефективного коефіцієнта розмноження нейтронів K_{eff} від глибини вигорання; залежність середньої концентрації нуклідів від глибини вигорання; залежності концентрації нуклідів в паливі окремих ТВЕЛ та ТВЕГ від глибини вигорання; ефекти реактивності для різних станів ТВЗ при різній глибині вигорання; відносні потвельні швидкості реакції поділу в різних станах ТВЗ), а також їх порівняння з результатами отриманими іншими кодами, дозволяють рекомендувати та кваліфікувати код Serpent для підготовки константного забезпечення для дифузійного розрахунку реакторів типу ВВЕР та потвельних розрахунків ТВЗ.

Перелік посилань:

1. A VVER-1000 LEU and MOX Assembly computational benchmark. Specification and results, Nuclear Science NEA/NSC/DOC. (2002). ISBN 92-64-18491-0, 156 p.
2. Gulik, V., Galchenko, V., Shlapak, I. (2018). The computational benchmark for Fuel Assembly of VVER-1000 with using Monte Carlo Serpent code. Nuclear Technology and Radiation Protection, 10(4), 24-30.
3. Leppänen, J., Pusa, M., Viitanen, T., Kaltiaisenaho, T. (2015). The Serpent Monte Carlo code: Status, development and applications in 2013. Annals of Nuclear Energy, 82, 142-150.
4. Leppänen, J., Mattila, R. and Pusa, M. (2014). Validation of the Serpent-ARES code sequence using the MIT BEAVRS benchmark - Initial core at HZP conditions. Ann. Nucl. Energy, 69, 212-225.
5. Viitanen, T. (2011). Serpent-ENIGMA - Combining Monte Carlo reactor physics with fuel performance. VTT Technical Research Centre of Finland.
6. Leppänen J. (2010). Performance of Woodcock delta-tracking in lattice physics applications using the Serpent Monte Carlo reactor physics burnup calculation code. Ann. Nucl. Energy, 37, 715-722.
7. Kotlyar D., Shwageraus E. (2013). On the use of predictor-corrector method for coupled Monte Carlo burnup codes. Ann. Nucl. Energy, 58, 228-237.
8. Isotalo, A. and Aarnio, P. (2011). Comparison of depletion algorithms for large systems of nuclides. Ann. Nucl. Energy, 38, 261-268.
9. Isotalo, A. and Aarnio, P. (2011). Higher order methods for burnup calculations with Bateman solutions. Ann. Nucl. Energy, 38, 1987-1995.

Магістрант 6 курсу, гр. ТЯ-91мн Горбачик С.О.
Доц., к.т.н. Халімончук В.А.

АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ КЛАСТЕРІВ СУЗ В РОЗРОБЦІ РЕАКТОРІВ МОДУЛЬНОГО ТИПУ ТА СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО РОЗРОБКИ ПАСИВНИХ СИСТЕМ ЗАХИСТУ В РЕАКТОРАХ ВВЕР

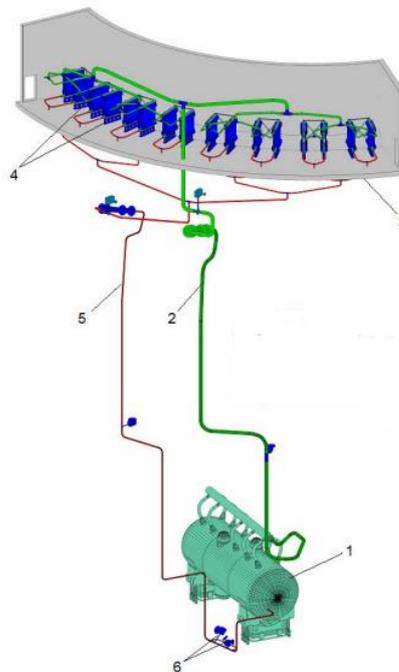
На сьогоднішній день питання будівництва нових потужностей в Україні стає все більш актуальним. Нині атомними електростанціями нашої держави виробляється більше 50% електроенергії. Оскільки в період з 2030 по 2040 роки завершуються продовжені строки експлуатації 12 енергоблоків з 15, актуальним стає питання заміщення виведених з експлуатації блоків реакторами малої потужності (модульні енергоблоки). Такий підхід в даний час є популярним та розглядається як перспективний. Крім цього, впровадження технології малих модульних реакторів може доволі швидко вирішити питання регулювання навантаження, що виникли через стрімке збільшення частки "зеленої" генерації у енергосистемі, зокрема, вони здатні задовольняти потребу в гнучкому виробництві електроенергії для самих різних користувачів і застосувань та замінити старіючі електростанції, що працюють на органічному паливі. Вони також характеризуються більш низькими початковими капітальними витратами і придатні для когенерації та застосувань, не пов'язаних з виробництвом електроенергії. Крім того, вони є варіантами безпечної та дешевої енергії, придатними для віддалених регіонів з менш розвинутою інфраструктурою і відкривають можливості створення синергетичних гібридних енергетичних систем, що поєднують ядерні та альтернативні джерела енергії, включаючи поновлювані джерела енергії [1].

Зважаючи на це в роботі розглянута можливість конструкції такого реактора на основі квадратної ТВЗ з решіткою твелів та конструкцією кластера СУЗ аналогічною тій, що використовується в реакторах ВВЕР-1000. На основі спеціально розробленого алгоритму та програми розрахунку досліджена можливість використання існуючої решітки твелів та кластера СУЗ ВВЕР-1000 на малих активних зонах, характерних для модульних реакторів. Варіантними розрахунками встановлено, що ефективність такого кластера в модульному реакторі суттєво зростає. Це може призвести до порушення (при збереженні швидкості переміщення ОР СУЗ ВВЕР-1000) допустимого значення на максимальну швидкість введення реактивності, що регламентується ПБЯ України. Крім цього, зростання ефективності кластера СУЗ може призвести до більш важкого протікання реактивнісних аварій, зокрема, проектно аварії, пов'язаної з викидом кластера СУЗ з активної зони [2].

Розглянувши аварію, яка пов'язана з викидом кластера СУЗ з активної зони реактора, було встановлено найбільш негативні шляхи протікання такої події, які пов'язані з підвищенням ефективності ОР СУЗ. На основі отриманих даних було обґрунтовано впровадження пасивних систем захисту для реакторів ВВЕР, зокрема основна увага впала на систему пасивного відведення теплоти від парогенераторів, яка при виникненні реактивнісних аварій може підтримувати безпечний контрольований стан реактора впродовж декількох діб. Як відомо, в результаті реактивнісних аварій відбувається різка зміна нейтронного потоку, яка є більш інтенсивна, ніж зміна теплового потоку. Це призводить до різкого осушення ПГ, і як результат - до оголення активної зони реактора.

Розглянута в роботі система пасивного відведення теплоти від парогенераторів виключає можливість швидкого повного осушення ПГ та дозволяє підтримувати необхідний ваговий рівень в реакторі [3].

Схематично на рисунку 1 представлено систему пасивного відведення теплоти від парогенераторів.



- 1- парогенератор;
- 2- паропровід;
- 3- бак запасу води;
- 4- теплообмінники СПВТ;
- 5- опускний трубопровід;
- 6- пускові клапани.

Рисунок 1- Система пасивного відведення теплоти від парогенераторів

Перелік посилань:

1. NuScale Inc. Final safety analysis report - part 02 - tier 02 - chapter 05 - reactorcoolant system and connecting systems. 2016.
2. IAEA Nuclear Energy Series No. NG-T-3.5 Legal and Institutional Issues of Transportable Nuclear Power Plants: A Preliminary Study / Intern. Atomic Energy Agency. —Vienna,2013.
3. Выговский, С.Б. Безопасность и задачи инженерной поддержки эксплуатации ядерных энергетических установок с ВВЭР / С.Б. Выговский, Н.О. Рябов, Е.В. Чернов. – Москва: НИЯУ МИФИ, 2013. – 304 с

Магістрант 6 курсу, гр. ТЯ-91мн Грітчина К.С.
Доц., к.т.н. Філатов В.І.

ПОВОДЖЕННЯ З ВИСОКОАКТИВНИМИ ВІДХОДАМИ НА АЕС УКРАЇНИ. СХОВИЩЕ ВАВ НА ТЕРИТОРІЇ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ АЕС.

На даний момент, у спеціалістів зі сфери атомної енергетики дуже розповсюджене використання таких термінів, як низькоактивні відходи, відходи середньої або проміжної активності, а також високоактивні відходи. Використовуючи такі терміни, вони мають на увазі наявність різних концентрацій радіоізоотопів чи радіоактивності самих відходів. Коли тільки вводилися ці поняття, то використовувалися в цілях експлуатації, і зазвичай вказували на те, як поводитися з відходами, в даних експлуатаційних умовах на певній площадці, але не слугували для точного визначення концентрації радіоактивності [1,2].

Високоактивні відходи, характеризуються високим рівнем випромінювання, але найголовнішою його відмінністю є те, що вони вимагають спеціального поводження і заходів, як наприклад, потужній біологічний захист, а також особливу систему охолодження і зв'язано це з тепловиділенням під час радіоактивного розпаду. Основна увага при поводженні з високоактивними відходами спрямована на забезпечення їх ізоляції від біосфери і виключення будь-якого значного викиду радіоізоотопів, принаймні в небезпечних для людини концентраціях упродовж тривалих періодів часу, коли така можливість існує. Експерти по поводженню з ядерними відходами в цілому згодні з тим, що задовільна схема поводження з високоактивними відходами може бути обґрунтована на такій послідовності операцій :

- проміжне зберігання в рідкій формі (якщо відходи рідкі);
- затвердіння (якщо відходи рідкі) і пакування відходів;
- зберігання твердих відходів за допомогою технічних засобів;
- захоронення твердих відходів в геологічних формаціях (на суші або під дном океану).

Згідно з існуючою нині загальноприйнятою думкою концентрати високоактивних рідких відходів, переробки палива енергетичних реакторів, що з'являються в результаті, повинні зберігатися в кислотному виді у високоміцних баках з нержавіючої сталі.

Контейнери для відходів (баки) розташовуються в товстостінних бетонних осередках або підземних камерах, що забезпечують необхідний захист, і мають або подвійні стінки, або внутрішню сталеву оболонку для виключення яких-небудь витоків з основних контейнерів (контейнера). Для відведення тепла, що виділяється при розпаді, передбачені системи охолодження (водяні) з резервними установками аварійного охолодження. Системи баків для зберігання (бакові сховища) повинні також передбачати перемішування у баках, вентиляцію, контроль, перекачування розчину як з внутрішніх, так і із зовнішніх контейнерів, конденсацію пари, видалення газ, утворюється при радіоліз, і фільтрація виходить газ.

При зберіганні кислотних відходів у баках з нержавіючої сталі, які вважаються нині безпечними і зручними, не виникало витікання або інших серйозних проблем. Це забезпечує гнучкість при експлуатації і відкриває на майбутнє широкий діапазон можливих варіантів переробки відходів. Такі баки можуть також виявитися задовільними впродовж тривалих періодів часу. Проте баки для відходів насправді мають обмежений термін служби і вимагають роботи систем відведення тепла і інших допоміжних систем. В зв'язку з цим повинне забезпечуватися необхідне спостереження і передбачатися наявність резервних баків для випадків несподіваних відмов. У разі тривалого використання баків їх кінець кінцем необхідно буде замінювати [3].

Проте зазвичай мається на увазі, що зберігання високоактивних відходів в рідкій формі має бути лише проміжною мірою і що там, де це практично здійснено, повинне

робитися затвердіння відходів. Затвердіння знижує рухливість відходів і можливість їх розсіяння. Крім того, тверда форма зручніша для транспортування, зберігання і (чи) поховання.

Оскільки на даний момент існує величезна кількість забруднених матеріалів, таких як: металеві відходи, кабельна продукція, бетонні конструкції то виникає необхідність для створення певної кількості додаткових ділянок, певних установок та об'єктів, задля їх первинної обробки та зберігання.

Для того, щоб знизити витрати на створення такого об'єкту інфраструктури для поводження з РАВ, можна використати вже існуючу споруду, яка знаходиться на майданчику ЧАЕС. Для цієї ролі пропонується реконструкція частини машинного залу 1го енергоблоку ЧАЕС. Сховище, побудоване там, буде мати призначення тимчасового зберігання ВАВ, які утворюються під час зняття станцій з експлуатації і для відходів, які утворюються після переробки відпрацьованого ядерного палива на реакторах ВВЕР.

Очікується, що така ініціатива ДСП ЧАЕС у використанні існуючих будівель і споруд допоможе значно зменшити не тільки загальні витрати на будівництво, але й терміни введення в експлуатацію нових необхідних об'єктів, а також сприятиме збереженню професійного персоналу станції.

Для того щоб зробити реконструкції реконструкція частини машинного залу 1го енергоблоку ЧАЕС необхідно було провести деякі аналізи, після яких ми отримали такі результати:

1. Аналіз результатів інженерно-технічних досліджень показує, що стан будівельних конструкцій каркаса машинного залу I черги ЧАЕС, в якому передбачається створення тимчасового сховища ВАВ, знаходиться в задовільному стані. Після виконання відносно маловитратних ремонтновідновлювальних робіт будівля придатна до реконструкції з подальшою експлуатацією терміном не менше 50 років.

2. Радіаційна обстановка у ЗВР з будівництва сховища ВАВ у цілому відповідає умовам приміщень 3-ї зони (приміщення, що обслуговуються). При цьому заходи по забезпеченню достатнього рівня радіаційної безпеки є типовими для ДСП ЧАЕС, що не передбачає суттєвих додаткових витрат [4].

3. Аналіз витрат на створення об'єкта по поводженню з РАВ у приміщеннях існуючої споруди ЧАЕС (після їхньої відповідної реконструкції) показує, що витрати будуть значно меншими в порівнянні з витратами на будівництво такого ж об'єкта на новому місці, що доводить доцільність застосування існуючих споруд для розширення інфраструктури по поводженню з РАВ у ДСП ЧАЕС.

Перелік посилань

1. "Standardization of Radioactive Waste Categories", Technical Reports Series No.101, IAEA, Vienna, (1970);
2. "Progress Report on the Results of the Inquiry on Classification of Radioactive Wastes", Working Document RWM (77)1, September 1977, Radioactive Waste Management Committee, NEA/OECD, Paris;
3. "Site Selection Factors for Repositories of Solid High-level and Alpha-bearing Wastes in Geological Formations", Technical Reports Series No.177, IAEA, Vienna, (1977);
4. Основні контрольні рівні, рівні звільнення та рівні дії щодо радіоактивного забруднення об'єктів зони відчуження і зони безумовного (обов'язкового) відселення. № ВД-95. ДАЗВ України. 28.11.2013;

Магістрант 6 курсу, гр. ТЯ-91мн Дарибогов М.М.
Проф., д.т.н. Носовський А.В.

СИСТЕМА РАДІАЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО СХОВИЩА ВІДПРАЦЬОВАНОГО ЯДЕРНОГО ПАЛИВА

Після завершення експлуатації в активних зонах реакторів відпрацьоване ядерне паливо (надалі — ВЯП) вивантажується в приреакторні басейни витримки, де зберігається впродовж 4-5 років для зниження залишкового енерговиділення.

Сучасний стан науки та техніки не дозволяє зробити остаточні висновки щодо подальшого поводження з ВЯП, тому у світовій практиці застосовується кілька підходів для вирішення зазначеного питання:

- Переробка (Росія, Великобританія, Франція, Японія).
- Захоронення — передбачає витримку ВЯП і його захоронення в глибоких геологічних формаціях (США, Фінляндія, Швеція).
- Відкладене рішення — передбачає довгострокове зберігання ВЯП, що дає можливість прийняти рішення стосовно подальшого поводження з ВЯП, беручи до уваги майбутні технології та економічні чинники. Шляхом відкладеного рішення обрали такі країни, як Аргентина, Данія, Іспанія, Канада, Литва, Німеччина, Норвегія, Південна Корея, Польща, Словаччина, Угорщина, Чехія, Хорватія.

З метою забезпечення незалежності у питанні поводження з ВЯП та згідно з «Енергетичною стратегією України на період до 2030 року» був укладений контракт на будівництво в Україні централізованого сховища для відпрацьованого ядерного палива (ЦСВЯП) [1].

ЦСВЯП – це автономна ядерна установа, призначена для тривалого зберігання відпрацьованого ядерного палива з діючих енергоблоків РАЕС, ХАЕС та ЮУАЕС Сховище розраховано на встановлення 458 контейнерів довготривалого зберігання HI-STORM американської компанії Holtec International, в яких протягом 100 років будуть зберігатись ТВЗ з ВЯП.

Для забезпечення необхідного рівня безпеки необхідно розробити систему радіаційного контролю для централізованого сховища відпрацьованого ядерного палива (СРК ЦСВЯП).

СРК здійснює збір, обробку та подання інформації про радіаційну обстановку в приміщеннях будівлі приймання ЦСВЯП, на майданчику зберігання контейнерів і на промайданчику ЦСВЯП, про радіаційні технологічні параметри, дози опромінення персоналу, про величину газоаерозольних викидів в навколишнє середовище [2]. Основною метою СРК є досягнення такої конфігурації, щоб еквівалентна доза діюча на персонал не перевищувала границь згідно НРБУ-97/Д 2000 [3]. Метою науково-дослідної роботи є розробка методичних та технічних рекомендацій щодо розробки системи радіаційного контролю ЦСВЯП.

Для досягнення цієї мети необхідно виконати наступні завдання:

1. Розрахувати дози випромінювання на поверхні контейнерів транспортування HI-STAR та контейнерів зберігання HI-STORM.
2. Проаналізувати процес перевантаження ВЯП з контейнера HI-STAR в контейнер HI-STORM та відмітити найбільш небезпечні операції при перевантаженні.
3. Підібрати блоки детектування гамма та нейтронного випромінювання відповідно до розрахованих значень доз випромінювання на поверхні контейнерів.
4. Підібрати місце розташування датчиків з найбільш небезпечними операціями при поводженні з ВЯП НА ЦСВЯП.

З огляду на те, що після знаття кришки з транспортного контейнера HI STAR, операція вивантаження БЦК з HI STAR 190 та завантаження в HI STORM виконується персоналом дистанційно, а отже не несе додаткового дозового навантаження, то було вирішено виконати розрахунок біологічного захисту контейнерів HI STAR та HI-STORM для визначення критичних рівнів радіаційних параметрів, які можуть впливати на персонал під час перевантаження та подальшого поводження з ВЯП.

За допомогою коду MCNP5 були розроблені детальні тривимірні розрахункові схеми контейнерів HI-STAR і модуля зберігання HI STORM 190.

Точки розрахунку потужності дози, на поверхні і різному віддаленні від контейнера, вибиралися виходячи з геометричних факторів максимальної дози в місцях можливого перебування персоналу при поводженні з контейнерами або виконанні регламентного обслуговування [4].

Результати розрахунку біологічного захисту контейнерів дають змогу обрати необхідний діапазон вимірювання блоків детектування гамма і нейтронного вимірювання та їх місце розташування. Блоки детектування потужності дози гамма випромінювання з діапазоном вимірювання $5 \times 10^{-8} - 2 \times 10^{-3}$ Зв/год та блоки детектування потужності дози нейтронного випромінювання з діапазоном вимірювання $10^{-7} - 10^{-1}$ Зв/год з розташування біля вузла перевантаження контейнерів дозволяє забезпечити моніторинг над не перевищенням дозволеної дози опромінення.

Перелік посилань:

1. Доповідь про стан ядерної та радіаційної безпеки в Україні у 2010 році. : Доповідь ДІЯРУ К., 2011.
2. ДНАОП-97. НРБУ-97/Д 2000 (ДНАОП 0.03-3.24-97 (ДГН 6.6.1-6.5.061-98))
Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97) / Міністерство охорони здоров'я України, 2000.
3. 571402.201.006-СКУ Стоительство ЦХОЯТ топлива ВВЭР Украины том 6/
Система контроля и управления. Окончательна редакция. 133 с.
4. Предварительный отчет по анализу безопасности ЦХОЯТ. Глава 7 Биологическая защита : ГС-17/17-04. Ред. 2 / ГП «ГНИЦ СКАР». К., 2016. 124 с.

Магістрант 6 курсу, гр. ТЯ-91мн Лещенко Д.В.
Доц., к.т.н. Філатов В.І.

РЕАЛІЗАЦІЯ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ З РЕАЛІЗАЦІЇ САДІЇ ОСТАТОЧНОГО ЗАКРИТТЯ, ЗНЯТТЯ З ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕНЕРГОБЛОКУ АЕС З РЕАКТОРНОЮ УСТАНОВКОЮ ТИПУ ВВЕР-1000

На діючих АЕС України в експлуатації знаходяться 15 енергоблоків: 13- з РУ типу ВВЕР-1000 і 2 – з ВВЕР-440.

На сьогодні встановлена потужність діючих АЕС становить близько 26% від загальної встановленої потужності електроенергетичного комплексу України (52,9 млн кВт). Протягом тривалого періоду ядерно-енергетичний комплекс забезпечує істотну частину загального виробництва електроенергії в Україні (більше 40%), що робить його стабільне функціонування важливою умовою сталого розвитку економіки всієї країни.

В середньому по всіх атомних електростанціях відпрацьовано більше 95% терміну, передбаченого вихідними проектами. Через тривалий інвестиційний цикл будівництва нових енергоблоків 80% існуючих енергоблоків АЕС України вже подовжили свій термін експлуатації додатково на 20 років. Дана процедура не вирішує проблему ЗЕ, а лише відкладає її, що в свою чергу дає час на розробку нових потужностей, а також на будівництво в Україні об'єктів поводження з ВЯП та РАО.

Експлуатуючою організацією всіх діючих АЕС є ДП «НАЕК «Енергоатом»». Саме дана організація повинна планово здійснювати зняття з експлуатації енергоблоків АЕС України.

Для АЕС з РУ типу ВВЕР розроблено «Концепцію ЗЕ АЕС України» [1], а також концепції ЗЕ для кожної АЕС що експлуатується на території України.

Згідно з даними концепціями було обрано стратегію відкладеного демонтажу, згідно з якою виділяють наступні чотири етапи:

- остаточного закриття;
- консервації;
- витримки;
- демонтажу.

Ціллю ЗЕ – є вивільнення майданчика енергоблоку від всіх видів іонізуючого випромінювання, та забезпечення безпеки персоналу, населення та довкілля.

Відкладений демонтаж дозволяє досягнути зменшення радіоактивного випромінювання за рахунок природного розпаду радіонуклідів, що з подальшою дезактивацією призводить до значного зменшення кількості РАВ.

Зняття з експлуатації енергоблоку АЕС починається після видалення з території енергоблоку ВЯП, а також всіх робочих середовищ. Саме тому після етапу остаточного зупину всі джерела іонізуючого випромінювання знаходяться в твердому агрегатному стані. Всі високоактивні тверді відходи, що утворюються на енергоблоці – знаходяться в межах ГО, тому самим оптимальним місцем для консервації ВАВ, САВ та НАВ, що не піддаються дезактивації, є гермооболонка реакторного відділу енергоблоку [2, 3].

Згідно з «Концепцією ЗЕ АЕС України», а також концепцій ЗЕ для кожної АЕС що експлуатується на території України ціллю етапу остаточного закриття є приведення енергоблоку в стан, який виключає можливість його використання в цілях, для яких енергоблок був побудований. А ціллю етапу консервації є приведення енергоблоку в стан, який відповідає безпечного збереження протягом певного періоду часу знаходяться в його межах джерел іонізуючого випромінювання.

Оскільки цілі цих двох етапів схожі і направлені на виконання робіт по дезактивації і подальшій консервації обладнання, систем, приміщень і будівельних конструкцій енергоблоку, локалізації високоактивного обладнання в приміщеннях реакторного

відділення блоку на період, який визначається Проектом виведення з експлуатації блоку АЕС, тому пропонується об'єднання даних етапів в один етап – «Підготовка енергоблоку АЕС до витримки» [4, 5]. В такому випадку ми зможемо спростити вибрану стратегію відкладеного демонтажу.

Перелік посилань:

- 1 Концепция снятия с эксплуатации действующих атомных электростанций Украины. Утверждена приказом Министерства топлива и энергетики Украины от 10.12.2015 № 798.
2. Общие положения обеспечения безопасности при снятии с эксплуатации атомных электростанций и исследовательских ядерных реакторов. Утверждены Минэкобезопасности Украины, 1998. НП 306.2.02/1.004-98.
3. НП 306.2.141-2008. Загальні положення безпеки атомних станцій. ГКЯР України, 2008.
4. Чернобыльская АЭС. Стратегия снятия с эксплуатации. <https://chnpp.gov.ua/ru/80-2011-06-10-13-28-26/2011-06-15-09-38-43/531-2012-02-02-08-30-29531>
5. Елисей Холодовсий. Снятие с эксплуатации АЭС <https://petrimazepa.com/nuclearpowerplant.html>

Магістрант 6 курсу, гр. ТЯ-91мн Микитюк І.О.
Доц., к.т.н. Коньшин В.І.

ОЦІНКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ФІЛЬТРА-ГІДРОЦИКЛОНА ГРУБОЇ ОЧИСТКИ ЯЕУ З РЕАКТОРОМ ВВЕР-1000 З МЕТОЮ ПODOВЖЕННЯ ТЕРМІНУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Фільтр-гідроциклон грубої очистки автономного контура головного циркуляційного насосу (ГЦН) є однією із найважливіших складових частин його допоміжних систем. Елементи фільтра-гідроциклона піддаються поступовому дестабілізаційному впливу зовнішніх і внутрішніх факторів. Це призводить до погіршення початкових параметрів елементів, і в кінцевому підсумку - до відмови. На сьогоднішній день встановлено, що продовження терміну використання ядерних енергетичних установок, що відпрацювали свою експлуатаційну можливість, об'єктів при частковій заміні і ремонті обладнання стає економічно і технічно доцільним способом підвищення промислового потенціалу. Однак для обґрунтування можливості продовження терміну служби кожного конкретного об'єкта необхідно виконати ретельний аналіз факторів, що впливають на їх безпеку, працездатність і довговічність.

В доповіді наведені результати повірного розрахунку фільтра-гідроциклона грубої очистки автономного контура ГЦН з метою обґрунтування можливості продовження терміну його експлуатації. Повірений розрахунок включає такі етапи: виконання розрахунків на статичну міцність, циклічну та сейсмічну стійкість [1].

Розрахунок на статичну міцність включав побудову розрахункової моделі в середовищі APM Structure, яка наведена на рисунку 1, розрахунок при параметрах, що відповідають нормальним умовам експлуатації (НУЕ) та гідровипробуванням (ГВ). Сітка фільтра-гідроциклона складається з 86260 вузлів та 329849 об'ємних елементів, що забезпечують точність розрахунків. Отримані результати розрахунку на міцність підтверджують відповідність розрахованих напружень допустимим напруженням, що зазначені в [2]. Результати розрахунку на статичну міцність наведені в таблиці 1.

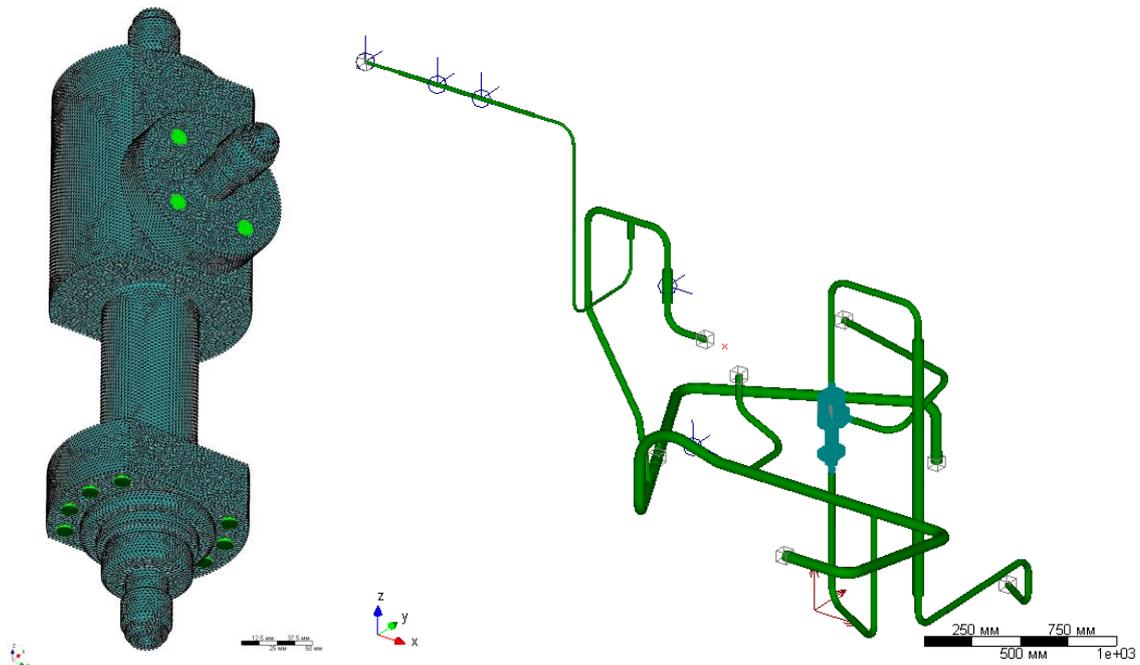


Рисунок 1 – Модель фільтра-гідроциклона без під'єднаних трубопроводів та з трубопроводами

Таблиця 1 — Напруження в елементах фільтра при НУЕ и ГВ, МПа.

Елемент	$(\sigma)_2$ НУЕ	Допустиме напруження 1,3 $[\sigma]$	$(\sigma)_2$ ГВ	Допустиме напруження 1,7 $[\sigma]^{Th}$
Корпус	67,8	144,7	79,7	222,1
Верхній патрубок	68,2	144,7	75,2	222,1
Боковий патрубок	71,2	144,7	91,2	222,1
Нижній патрубок	140,7	144,7	170,2	222,1

Розрахунок на сейсмічну стійкість проводився відповідно до [3] для комбінації параметрів НУЕ та максимального розрахункового землетрусу (МРЗ), тому що фільтр-гідроциклон відноситься до I категорії сейсмостійкості. Оскільки перша форма власних коливань має частоту більше 20 Гц, то розрахунок на сейсмічні впливи виконувався статичним методом, відповідно до [2], з використанням даних щодо прискорення ґрунту для позначок: + 26,700; + 26,000; + 25,200; + 20,400; + 19,500; + 16,800. Згідно отриманих результатів, встановлено, що діючі напруження від сейсмічних навантажень в розрахункових зонах конструкцій не перевищують допустимі напруження.

Розрахунок на циклічну стійкість проведено на підставі аналізу циклів навантаження фільтра-гідроциклона грубої очистки автономного контура ГЦН протягом всього терміну експлуатації обладнання та із застосуванням «методу дощу» для схематизації циклів навантаження. Результатом застосування «методу дощу» є масив циклів навантаження ($\{\sigma_{\min}, \sigma_{\max}\}$, σ_{\min} де - найменше напруження за цикл, а σ_{\max} - найбільше), отриманий на основі заданого графіка наведених напружень. Розрахунок відбувається для трьох станів в яких може знаходитися фільтр: початковий стан, робочий стан та навантаження тиском гідравлічних випробувань. Характеристики станів наведені в таблиці 2. Встановлено прогнозовану кількість циклів навантаження та визначено сумарну пошкоджуваність елементів фільтра-гідроциклона за період 60 років, даний параметр задовольняє допустимому значенню. Таким чином циклічна міцність на прогнозований період забезпечена.

Таблиця 2 – Характеристика станів експлуатації фільтра-гідроциклона

Стан фільтра:	T, °C	P, МПа
Початковий	20	17,6
Робочий	350	17,6
Навантаження тиском ГВ	20	24,5

Перелік посилань:

1. ПМ-Т.0.08.163-05. Типова програма оцінки технічного стану та перепризначення ресурсу / терміну служби посудин.
2. ПНАЭ Г-7-002-86. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок, Высшая школа, М., 1989р.
3. ПНАЭ Г-5-006-87. Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций, Высшая школа, М., 1989р.

Магістрант 6 курсу, гр. ТЯ-91мн Мироненко М.О.
Доц., к.т.н. Філатов В.І.

ПРОДОВЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПАРОГЕНЕРАТОРА ПГВ-1000М. УПРАВЛІННЯ СТАРІННЯМ

Метою проведення робіт по управлінню старінням елементів енергоблоку АЕС є забезпечення необхідного рівня безпеки протягом терміну експлуатації енергоблоку (в тому числі понадпроектного), а також досягнення максимальної ефективності його експлуатації шляхом організації виконання заходів, спрямованих на своєчасне виявлення і підтримки в прийнятних межах деградації, викликані старінням елементів, для гарантії впевненості в їх цілісності і працездатності. Результатом такої діяльності є розробка і впровадження технічно і економічно доцільних заходів, спрямованих на попередження відмов елементів енергоблоку АЕС з причин, викликаних процесами старіння, що відбуваються в цих елементах [1].

Надійна робота парогенераторів є найважливішим завданням для АЕС у всьому світі. В даний час в світі знаходяться в експлуатації 28 блоків з ВВЕР-1000, з яких в Україні експлуатуються 2 блоки АЕС з ВВЕР-440 і 13 блоків АЕС з ВВЕР-1000.

Парогенератори АЕС з ВВЕР-1000 можуть експлуатуватися в складі енергоблоку при дотриманні наступних вимог:

- елементи та вузли ПГ задовольняють вимогам по статичній міцності;
- елементи та вузли ПГ здатні чинити опір крихкому руйнуванню;
- елементи та вузли ПГ задовольняють вимогам по циклічній міцності;
- кількість працездатних труб повинно забезпечувати необхідні для експлуатації параметри енергоблоку, при цьому кількість вибухливих з експлуатації теплообмінних труб повинно бути обґрунтовано відповідними розрахунковими аналізами теплогідравлічних характеристик ПГ і РУ.

Досвід експлуатації парогенераторів ПГВ-1000м показує, що основні ушкодження на парогенераторах носять корозійний, або корозійно-механічний характер, не піддається обґрунтуванню традиційними методами механіки руйнування.

До таких ушкоджень слід віднести наступні:

- ушкодження на холодних колекторах парогенераторів ПГВ-1000м в вигляді тріщин в районі перемичок;
- тріщини в районі швів №111;
- корозійна деградація теплообмінних труб [1].

Станом лише на 1998 рік, на 25-ти ПГ, які експлуатувалися на АЕС з ВВЕР-1000 відбулося розтріскування холодних колекторів. У трьох випадках пошкодження цілісності перемичок було виявлено по підвищенню активності води ПГ через протікання з першого контуру в другий. У всіх інших випадках пошкодження виявлені в процесі експлуатаційного контролю на ППР [2].

Наявність експлуатаційних тріщин в зоні, що примикає до зварного шва №111 приварки гарячого колектора до патрубку Ду1200 корпусу, зафіксовано на чотирьох ПГВ-1000 - ПГ-1 на 5 блоці НВАЕС - жовтень 1998 р., липень 2004 р.; ПГ-1 на 1 блоці ЮУАЕС – червень 2001р.; ПГ-2 на 1 блоці ЮУАЕС - липень 2001р.; ПГ-3 на 5 блоці НВАЕС - жовтень 2001р [3].

Пошкоджень холодних колекторів ПГ з початку їх експлуатації після заміни в 1990 році не спостерігалось, що говорить про достатність реалізованих на парогенераторах «реабілітуючих» заходів. Крім того, на випадок пошкоджень колекторів розроблено технологію їх ремонту.

Специфіка механізмів руйнування колекторів в зоні зварних з'єднань №111 не дозволяє запропонувати надійні методи прогнозування їх стану. У той же час наявність систем неруйнівного контролю технічного стану критичних елементів дозволяє своєчасно виявити утворені дефекти, провести, при необхідності, ремонт розглянутого вузла за розробленою технологією і, тим самим, забезпечити в подальшому безпечну експлуатацію ПГ.

Отже, якщо проблема пошкодження колекторів вже не відіграє суттєвої ролі, а пошкодження зварних швів носить вибірковий характер, то проблема цілісності теплообмінних труб залишається важливою для всіх парогенераторів АЕС з ВВЕР-1000 [4]. Зокрема, ця проблема є дуже актуальною для блоків Южно-Української АЕС.

Забезпечення надійної роботи ТОТ парогенераторів є найважливішим завданням для АЕС з ВВЕР в усьому світі. Через пошкодження теплообмінних труб до вироблення проектного ресурсу замінені або виведені з експлуатації практично всі вертикальні ПГ першого покоління з трубами зі сплаву 600МА. Пошкодження теплообмінного пучка мають місце в різному ступені на всіх блоках АЕС і є в даний час основним фактором, що визначає залишковий ресурс ПГ. Заміна парогенераторів АЕС з ВВЕР по причини корозії теплообмінних труб проведена тільки на другому блоці Балаковської АЕС і два ПГ з цієї причини замінені на Южно-Українській АЕС [4].

Найбільш небезпечними, з точки зору можливих протікань, є корозійні виразки. Їх можна відрізнити в масиві даних ВСК за сигналами з великими значеннями амплітуди. На ЮУ АЕС корозійні виразки спостерігалися в великій кількості на фрагментах ТОТ, вирізаних з нижніх рядів теплообмінника в зоні шламових відкладень (ПГ-1, перший блок). Подібні дефекти порушують герметичність контуру і призводять до протікання теплоносія. Теплообмінні труби з такими дефектами підлягають глушінню [5].

Заходи щодо управління старінням елементів парогенераторів ПГВ-1000м повинні бути спрямовані на:

- зменшення виносів продуктів корозії з конденсатно-живильного тракту;
- вдосконалення ВХР другого контуру;
- удосконалення і розвиток засобів ВСК;
- дослідження дефектних ТОТ ПГ [6].

Перелік посилань:

1. «Современное состояние проблемы управления ресурсом ПГ АЭС с ВВЭР» Трунов Н.Б. д.т.н. , Давиденко С.И., Попадчук В.С., Жуков Р.Ю. ОАО ОКБ «ГИДРОПРЕСС», 2008.
2. «Целостность парогенераторов АЭС с реакторами типа ВВЭР-1000» МАГАТЭ, Вена, 1997.
3. Расчетный анализ факторов силового воздействия в узле приварки коллектора к корпусу ПГ в процессе ремонта и эксплуатации. М.Б. Бакиров, В.В. Потапов, Е. Е. Бахус, А.В. Богачев, Е.Ф. Зубцов, В.И. Левчук, И.В. Фролов, С.В. Чубаров ОАО «ВНИИАЭС», г. Москва, 2011.
4. РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ТЕПЛООБМЕННЫХ ТРУБ И УПРАВЛЕНИЕ РЕСУРСОМ ПАРОГЕНЕРАТОРОВ АЭС с ВВЭР, С.Е. Давиденко, Н.Б. Трунов, В.А. Григорьев, С.И. Брыков, В.С. Попадчук ФГУП ОКБ «ГИДРОПРЕСС», г. Подольск, 2007.
5. АНАЛИЗ ДАННЫХ КОНТРОЛЯ ТЕПЛООБМЕННЫХ ТРУБ ПАРОГЕНЕРАТОРОВ ПГВ-1000 НА ЮУ АЭС, ОП «Южно-Украинская АЭС», Южноукраинск, Украина, 2017.
6. Приложение Ж Типовой программы оценки технического состояния и переназначения парогенераторов ПМ-Т.0.08.164-06.

Магістрант 6 курсу, гр. ТЯ-91мн Одинець В.В.
Ст. викл., к.т.н. Сахно О.В.

ОЦІНКА БЕЗПЕКИ ПЕРСОНАЛУ АЕС У ВИПАДКУ АВАРІЙНОГО ВИКИДУ ТОКСИЧНИХ ХІМІЧНИХ РЕЧОВИН

Базовою метою безпеки АЕС є захист персоналу, населення і навколишнього природного середовища від неприпустимого радіаційного впливу під час експлуатації, експлуатації і зняття з експлуатації АЕС [1].

Ефективний контроль аварій і ліквідація наслідків вимагає, щоб оперативний персонал і персонал аварійного реагування мали доступ до певних «життєво важливих ділянок» установки і, при необхідності, могли залишатися в них. Ці зони включають, зокрема, блочний щит управління (БЩУ), резервний щит управління (РЩУ) та кризові центри, засоби аварійного реагування, лабораторні приміщення та шляхи доступу до цих зон і між ними.

Згідно з вимогами Загальних положень безпеки атомних станцій: «Проектом передбачені засоби забезпечення живучості і життєзабезпечення БЩУ при зазначених умовах експлуатації АЕС. Забезпечено автономність від БЩУ і достатня живучість та життєзабезпечення резервного щита керування для гарантованого приведення в дію систем безпеки та одержання інформації про стан реактора» [2].

Ліцензіати повинні гарантувати, що системи виробничих приміщень працюватимуть за будь-яких постульованих умов проектних аварій, щоб дозволити операторам БЩУ залишатися у виробничому приміщенні для здійснення відповідних дій, необхідних для керування аварією.

Для перевірки виконання цих вимог в Звіті з аналізу безпеки проводиться Аналіз придатності БЩУ і РЩУ в екстремальних умовах, що викликані вихідними подіями. Проте, на сьогоднішній день, в аналізі розглядаються лише характеристики систем кондиціонування та вентиляції згідно з їх технічним завданням.

У магістерській роботі пропонується доповнити цей аналіз розрахунком життєздатності приміщень БЩУ шляхом виконання аналізу концентрацій шкідливих речовин в приміщеннях будівель і споруд АЕС у випадку аварійної ситуації з викидом токсичних хімічних речовин.

Для виконання розрахунку у магістерській роботі було обрано програмний пакет НАВІТ. Цей код може моделювати ймовірні викиди хімічних речовин, як в газоподібному стані, так і в рідкому. Це дозволяє, виконувати оцінку для великої кількості аварійних ситуацій.

Програмний пакет складається з п'яти модулів, з яких два використовуються для обчислення концентрації токсичних хімічних речовин у приміщенні. Перший - EXTRAN, який розраховує швидкість викиду хімічної речовини у разі випадкового викиду через витоки або розриви резервуарів для рідини або газу. Другий код, СЕМ, моделює розчинення хімічної речовини за допомогою розрахунків балансу маси у приміщенні, що дозволяє оцінити придатність приміщення, пов'язану з опроміненням персоналу. Інші три модулі TACT5, FFPF_2 та CONHAB оцінюють дозу у приміщенні через випадковий викид радіонуклідів [3].

Для проведення аналізу постулюється гіпотетичний сценарій аварійної ситуації. Сценарій складається з аварії потягу з викидом токсичної речовини біля атомної електростанції. Початковий район дослідження обмежений окружністю радіусом 8 км. Постульована аварія призводить до випадкового викиду 50 тонн хлору. Газоподібний хлор можна стиснути і охолодити, щоб перетворити його в рідину, щоб його можна було транспортувати і зберігати. Коли рідкий хлор виділяється, він швидко перетворюється в газ, який залишається близько до землі і швидко поширюється. Небезпечна концентрація хлору

визначена Національним інститутом охорони праці (NIOSH) становить 10 ppm на підставі даних про гостру інгаляційну токсичність у людей.

Розрахунок проводиться для БЦУ об'ємом 1727,3 м³. Система вентиляції має витрату від нефільтрованого джерела всмоктування 6,6 м³/с. Крім того, вона має відфільтроване підживлююче повітря 0,29 м³/с і аварійне відфільтроване рециркуляційне повітря із зовнішнім припливом 2,88e-2 м³/с. Також, вона має систему балонного повітря з витратою 6,6 м³/с.

Результати моделювання приведені на Рис.1.

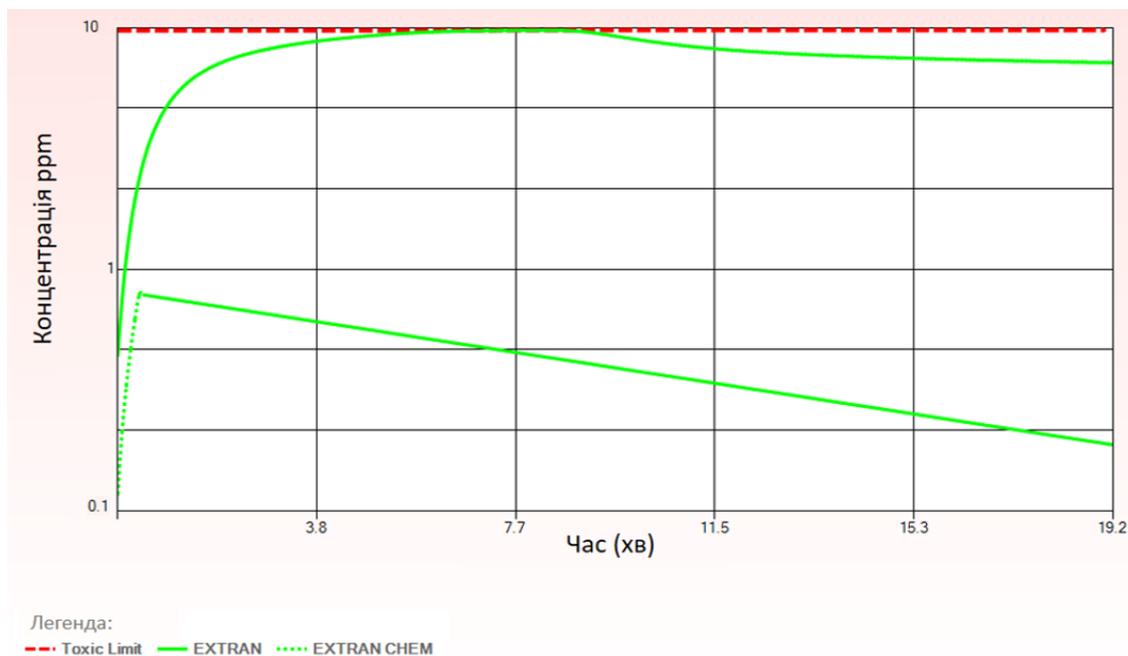


Рисунок 1 – Графік концентрацій

Для детальної оцінки життєздатності БЦУ під час аварійних ситуацій, пов'язаних з небезпечним хімічним викидом використовується показник максимальної концентрації хімічної речовини (межа токсичності), яку можна допустити без фізичної недієздатності оператора БЦУ. Результати для миттєвих розрахунків гіпотетичної аварійної ситуації показують, що максимальні значення токсичних концентрацій хлору 10 ppm досягаються на 7,3 хв дослідження тривалістю близько 2 хв. Тому можна зробити висновок, що при даній ситуації концентрація хлору перевищує токсичний ліміт і може призвести до недієздатності персоналу.

За результатами дослідження можна зробити висновок, що програмний пакет НАВІТ є ефективним інструментом аналізу живучості та придатності приміщень БЦУ при аварійних ситуаціях і може бути рекомендований для використання при аналізі безпеки АЕС.

Перелік посилань:

1. Про затвердження Загальних положень безпеки атомних станцій: наказ Держатомрегулювання України від 19 листопада 2007р. № 162 / Офіційний вісник України. – 2008. – № 9 – Ст. 226.
2. Загальні положення безпеки атомних станцій. НП.306.2.141-2008, затверджені наказом Державного комітету ядерного регулювання України від 19.11.2007 р. №162, зареєстровані в Міністерстві юстиції України 25.01.2008 р. за №56/14747. – 47 с.
3. Atmospheric dispersion estimates in the vicinity of buildings. J. V. Ramsdell, Jr. C. J. Fomsmire. PACIFIC NORTHWEST LABORATORY. January 1995

Аспірант Онищук Ю.А.
Доц., к.т.н. Клевцов С.В.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ДЕГРАДАЦІЇ КОРПУСУ РЕАКТОРУ ПРИ ВАЖКІЙ АВАРІЇ НА АЕС

Дослідження процесів, що відбуваються всередині корпусу реактору при протіканні важкої аварії на АЕС має важливе значення, як з точки зору основної цілі безпеки – максимально можливого зниження радіаційних наслідків для персоналу, населення та навколишнього середовища, так і з точки зору управління важкою аварією.

Предметом активного вивчення у вітчизняних та зарубіжних дослідженнях з поведінки і руйнування реакторів корпусного типу є проблема взаємодії розплаву палива з днищем корпусу реактора [1, 2, 3]. Оскільки процес деградації пошкодженої ділянки корпусу може швидко прогресувати, сприяючи швидкому виходу розплавленого палива в підреакторний простір, то дослідження характеру руйнування корпусу реактору і динаміка зміни геометрії стінки в процесі розвитку важкої аварії є важливим напрямом в підвищенні загального рівня безпеки АЕС.

Моделювання процесів в нижній частині корпусу реактора, пов'язаних з надходженням туди матеріалів зруйнованої активної зони, а також з його подальшим розігрівом і супутніми при цьому високотемпературними фізичними процесами (плавлення, конвекція, теплообмін випромінюванням, теплове руйнування та ін.) вимагає всебічного аналізу та врахування великої кількості складних та недостатньо вивчених теплогідравлічних, термомеханічних, фізико-хімічних процесів і явищ, починаючи з моменту виникнення вихідної події аварії і закінчуючи руйнуванням корпусу реактору. Для реакторів типу ВВЕР даний проміжок часу можна розділити на три основні фази [4]:

- рання фаза – осушення та початковий розігрів елементів активної зони, «здуття», розрив цирконієвих оболонок твел та блокування міжтвельного простору, розігрів елементів активної зони внаслідок погіршення тепловіддачі і паро-цирконієвої реакції;
- фаза пошкодження елементів активної зони та втрата їх геометрії – плавлення конструкційних елементів активної зони, формування значних блоkad та утворення локальних ван розплаву, їх переміщення, затвердіння, повторне плавлення;
- пізня фаза – надходження і просторовий розподіл розплаву в нижню камеру змішування, стратифікація розплаву, конвективний теплообмін та теплообмін випромінюванням, плавлення днища реактору з подальшою його механічною відмовою.

На ранній фазі важливу роль відіграють теплогідравлічні процеси, якими характеризується аварійний режим. Як правило, в процесі розвитку важкої аварії відбувається втрата теплоносія першого контуру (в результаті течі або роботи ІЗП КТ). Оскільки теплогідравлічна поведінка активної зони дуже чутлива до впливу систем і компонентів РУ, а також зовнішніх подій, таких як дії оператора, то здатність точно прогнозувати загальну теплогідравлічну поведінку є одним з істотних факторів, що впливає на моделювання подальшого протікання важкої аварії. Тому для врахування цього проводиться розробка інтерфейсу спряження розрахункової моделі з системним теплогідравлічним кодом.

При взаємодії розплаву палива з корпусом реактору вклад в протікання процесу його деградації вносять наступні механізми:

- теплове руйнування, що характеризується просторово-часовим розподілом температури та теплових потоків в корпусі реактору;
- деформація та механічне руйнування, що залежить від маси розплаву на днищі, маси самого днища та внутрішнього надлишкового тиску в реакторі.

Початкові деформації корпусу відбуваються за рахунок теплового розширення. Далі по мірі розігрівання і початку плавлення відбувається зменшення жорсткості матеріалу

корпусу та його поперечного перерізу, що в результаті може призвести до механічного руйнування. При цьому основний внесок в останній механізм руйнування вносять маса днища корпусу та маса розплаву що знаходиться на ньому. Тому, прогнозування маси, складу та температури матеріалів, що переміщуються в нижню камеру змішування, а також часу їх переміщення є критично важливими для дослідження пізньої фази важкої аварії. Також, оскільки в процесі протікання важкої аварії можуть значно змінюватися умови роботи компонентів першого та другого контуру, то в певних аварійних сценаріях внутрішній тиск в реакторі може здійснювати значний вклад в механічне руйнування корпусу за рахунок радіальних («видування» матеріалу корпусу в місці проплавлення) та осьових пластичних деформацій.

Метою роботи є розробка комплексної методики та розрахункової моделі для кількісного аналізу процесу деградації корпусу реактору при протіканні важкої аварії з урахуванням системного впливу. Виконання даного завдання досягається шляхом вирішення наступних підзавдань:

- розробка матриці валідації коду CFX на основі головних феноменів важких аварій;
- адаптація математичних моделей;
- розробка інтерфейсу спряження RELAP5 - CFX;
- розробка параметризованої процедури деградації геометрії корпусу реактора;
- валідація спряженої моделі на основі експериментальних даних;
- проведення показових розрахунків.

Загальна актуальність дослідження впливає з необхідності проведення розрахункового аналізу важких аварій при розробці та науково-технічній підтримці стратегій з управління даними аваріями та при обґрунтуванні безпеки атомних електростанцій, як при проектуванні нових, так і при продовженні терміну експлуатації діючих.

Перелік посилань:

1. T. N. Dinh. KTH Engineering Sciences Development, Validation and Application of an Effective Convectivity Model for Simulation of Melt Pool Heat Transfer in a Light Water Reactor Lower Head : diss. / Dinh – Vietnam Atomic Energy Institute, 2007. – p. 125.
2. Филиппов А.С. Разработка, верификация, применение программных средств расчётного анализа поздней стадии тяжёлой аварии на АЭС с ВВЭР: дис. док. / Филиппов – ИБРАЭ РАН, 2013. – с. 464.
3. E. Altstadt, Hans-Georg Willschütz. Modelling of in-vessel retention after relocation of corium into the lower plenum: evaluation of the temperature field and of the viscoplastic deformation of the vessel wall – Dresden, 2005. – p. 101.
4. Nuclear safety in light water reactors: severe accident phenomenology – St Louis, Elsevier Science, 2011. – p. 731.

Магістрант 6 курсу, гр. ТЯ-91мн Остаповець А.О.
Доц., к.т.н. Коньшин В.І.

ОЦІНКА РІВНЯ БЕЗПЕКИ ЕНЕРГОБЛОКА АЕС ПРИ ВПРОВАДЖЕННІ ЗАХОДІВ, ЩО КОМПЕНСУЮТЬ ПОВНЕ ТРИВАЛЕ ЙОГО ЗНЕСТРУМЛЕННЯ

При виконанні позачергової цільової переоцінки безпеки енергоблоків АЕС з урахуванням подій 2011 року на АЕС «Фукусіма - Даїчі» були визначені дефіцити безпеки, пов'язані з довготривалою відсутністю альтернативних джерел електропостачання та водопостачання. Одним з ключових завдань при аварії з повним знеструмленням АЕС і втратою проектних джерел охолодження є забезпечення відводу залишкових тепловиділень від активної зони реактора.

Актуальність теми обумовлена підтримкою необхідного рівня безпеки в умовах тривалого повного знеструмлення АЕС.

Метою даної роботи є аналіз рівня безпеки при організації відводу залишкових тепловиділень від активної зони реактора в умовах тривалого повного знеструмлення АЕС.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що отримані результати вперше дають розрахункову оцінку рівня безпеки при впровадженні заходів, що компенсують повне довготривале знеструмлення енергоблоку.

В даній роботі наведений опис основних критеріїв прийнятності, які використовуються для оцінки рівня безпеки енергоблоків АЕС.

Імовірнісний аналіз безпеки – метод кількісної та якісної оцінки, який використовується для аналізу ймовірності виникнення та шляхів розвитку аварій, а також для визначення частоти пошкодження активної зони реактора і граничного аварійного викиду і оцінки радіаційного впливу на населення [1].

З урахуванням уроків, отриманих з аварії на АЕС «Фукусіма-Даїчі», розглядалися вихідні події, пов'язані із зовнішніми впливами, внаслідок яких відбувається зневоднення бризкальних басейнів з наступною непрацездатністю дизель-генераторів РДЕС і відмовою систем безпеки. Дії персоналу повинні бути спрямовані на забезпечення відведення залишкових тепловиділень від активної зони реакторної установки. Це можливо виконати за рахунок організації подачі технічної води на споживачів систем безпеки від МНУ ББ або підживлення парогенераторів від МНУ ПГ. Також, в рамках магістерської дисертації розглянутий захід спрямований на забезпечення аварійного електропостачання в умовах тривалого повного знеструмлення АЕС за допомогою МДГС.

В аналізі використовується метод малих дерев подій та великих дерев відмов. Таким чином, залежності між захисними і забезпечуючими системами в явному вигляді моделюються тільки на рівні дерев відмов. На рівні дерев подій в явному вигляді моделюються тільки феноменологічні або функціональні залежності. Відповідно до даного методу спочатку розроблені дерева подій з функціями безпеки в якості верхніх подій. Потім дерева подій модифікуються на основі того, що замість функцій безпеки, як верхніх подій, вказуються конкретні захисні системи з відповідними критеріями успіху. Для зазначених захисних систем розроблені дерева відмов, що представляють собою логічну форму невиконання умов необхідного критерію успіху. Ступінь деталізації дерева відмов захисних систем повинна забезпечувати можливість визначення всіх критичних груп обладнання цих систем, а також взаємодії цього обладнання з відповідними забезпечуючими, керуючими та іншими системами. Дерева відмов для цих систем змодельовані окремо. Для розробки дерев подій та дерев відмов був використаний розрахунковий код SAPHIRE 8 [2, 3].

Побудова дерева відмов починається після отримання детального розуміння функціонування даної системи і особливо розуміння того, як система бере участь у всіх аварійних послідовностях. Для окремих систем може знадобитися побудова декількох

дерев відмов в тих випадках, коли критерії успіху для системи різні для різних вихідних подій. Процедура побудови дерева відмов – це дедуктивний повторюваний аналіз причин. Починаючи з верхньої події дерева – відмови системи, для кожної розглянутої події виявляються події, які є безпосередніми її причинами. Процедура закінчується в міру досягнення необхідного рівня деталізації. Такий рівень деталізації досягається тоді, коли під логічними операторами знаходяться тільки базисні події [4].

В роботі було виконано доопрацювання імовірнісної моделі. Для врахування модифікацій було обрано вихідну подію, яка враховує заходи по забезпеченню підживлення ПГ, подачі охолоджуючої води до найбільш важливих споживачів системи технічної води від МНУ, забезпечення електроживлення від МДГС, а саме вихідну подію «Знеструмлення всіх секцій нормального електропостачання, що ініційоване зовнішнім екстремальним впливом». Було розроблено необхідні дерева відмов, виконано оцінку параметрів надійності обладнання та аналіз надійності персоналу.

Для врахування можливості підживлення ПГ за допомогою МНУ до дерева відмов імовірнісної моделі були додані базові події, що моделюють відмову підживлення ПГ від МНУ – MPS-RU-SUP-F, а також помилки персоналу по підживленню ПГ від МНУ – НЕР2-SF3-E1-C та НЕР2-P-E1-C.

Для врахування забезпечення працездатності споживачів системи технічної води групи «А» в разі зневоднення бризкальних басейнів було розроблено нові дерева відмов, що моделюють підключення МНУ ББ до контуру охолодження насосів. Імовірність відмови МНУ ББ моделюється за допомогою базової події MPS-BB-SUP-F, також при моделюванні враховується імовірність помилки персоналу.

Для врахування забезпечення аварійного електропостачання в умовах тривалого повного знеструмлення було розроблено дерево відмов CV-CW-CX, яке враховує відмову в роботі МДГС.

В результаті моделювання отримано результат, який свідчить про те, що реалізовані модифікації дозволяють на два порядки знизити ЧПАЗ при виникненні довготривалого повного знеструмлення енергоблока викликаного зовнішнім екстремальним впливом і, відповідно, знизити сумарну ЧПАЗ.

Перелік посилань:

1. НП 306.2.141-2008. Загальні положення безпеки атомних станцій. Затверджені Наказом Державного комітету ядерного регулювання України, 2008.
2. Проект углубленного анализа безопасности энергоблока №5 ЗАЭС. Анализ аварийных последовательностей (моделирование деревьев событий). BOA 1900083 – А – R4 ZPG 4.
3. Systems Analysis Programs for Hands-on Integrated Reliability Evaluations (SAPHIRE) Version 8. Users' Guide, NUREG/CR-7039, June 2011.
4. Проект углубленного анализа безопасности энергоблока №5 ЗАЭС. Анализ систем (моделирование деревьев отказов). BOA 1900083 – А – R4 ZPG - 5.

ОБГРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ МНУ ДЛЯ БЕЗПЕКИ АЕС В УМОВАХ ТРИВАЛОГО І ПОВНОГО ЗНЕСТРУМЛЕННЯ

Після аварії на АЕС Фукусіма-1 ініційовані роботи по реалізації додаткових заходів для забезпечення довготривалого виконання функцій безпеки при запроектній аварії з повним знеструмленням енергоблоків майданчика АЕС і втратою відведення тепла до кінцевого поглинача.

Комплекс технічних і організаційних заходів, що забезпечують запобігання пошкодження ядерного палива в активній зоні і БВ при запроектній аварії, ґрунтується на використанні штатного обладнання, а також мобільних насосних і дизель-генераторних установок.

Метою розробки даної дипломної роботи є розробка стратегій управління запроектною аварією «Тривале повне знеструмлення майданчика АЕС з втратою кінцевого поглинача тепла», попереднє обґрунтування їх ефективності, а також розгляд питань практичної реалізації стратегій (розміщення, транспортування, схеми підключення мобільних установок і т.д.).

Прийняті наступні підходи і допущення [1]:

- Для цілей аналізу в якості вихідної події аварії постульовано поєднання землетрусу і смерчу, які накладають найбільш комплексний вплив на будівлі, споруди та обладнання АЕС. При цьому передбачається, що будівлі, споруди, обладнання віднесені до І категорії сейсмостійкості проммайданчика, кваліфіковані на 0,1 g, зберігають свою працездатність.

- Прийнято допущення, що виконання протиаварійних дій забезпечено підготовленим персоналом, що знаходяться на проммайданчику ХАЕС, інструментом, засобами зв'язку та відповідними процедурами. Відмова персоналу не розглядається (під персоналом в даному випадку розуміється оперативний персонал, аварійні бригади, члени штабу КАРП, група інженерної підтримки штабу КАРП).

- Постулюється відмова однієї мобільної установки, включаючи гнучкі трубопроводи, тимчасові кабельні траси і т.д., що забезпечує резервування виконання функцій безпеки різним набором мобільних установок (наприклад, передбачена можливість попереминої подачі води від однієї мобільної насосної установки в ПГ і БВ)

- Не розглядається накладення додаткових відмов проектного обладнання АЕС (наприклад, течі першого контуру через пошкодження трубопроводів, руйнування колектора ПГ і т.д.), якщо вони не відбуваються неминуче в ході розвитку аварії (наприклад, мала текти першого контуру через термічно пошкоджені ущільнення ГЦН, і т.п.)

- Не розглядається повне блокування всіх транспортних шляхів по шляху проходження мобільних установок від місця зберігання до місця їх застосування, якщо є, як мінімум, два маршрути.

Основним критерієм ядерної безпеки для систем зберігання та поводження з відпрацьованим паливом є вимога нормативних документів України, згідно з яким коефіцієнт розмноження нейтронів повинен задовольняти умові $keff < 0.95$ при нормальних умовах експлуатації і при проектних аваріях з урахуванням консервативно обраних початкових і граничних умов, технологічних і експлуатаційних допусків [2, 3, 4].

В режимах з відмовою системи охолодження БВ ВЯП відбувається зменшення щільності теплоносія в відсіках басейну за рахунок його розігріву і / або закипання, що обумовлює, з одного боку, зміна водо-уранового співвідношення і, з іншого боку, зменшення концентрації борної кислоти на одиницю об'єму БВ. При досягненні

оптимального водо-уранового співвідношення і зниження концентрації борної кислоти можливе збільшення розмножуючих властивостей середовища.

Перелік посилань

1. Технічний звіт. Хмельницька АЕС. Енергоблоки № 1,2. Обґрунтування можливості підживлення БВ ВЯП від джерел борованої і неборованої води (розглядаються варіанти з розведенням ГА201 за рахунок конденсації пари з БВ / БМП, варіанти з припиненням відводу тепла від ТВС через кристалізації бору в БВ ВЯП).
2. НП 306.2.141-2008 «Загальні положення безпеки атомних станцій».
3. НП 306.2.106-2005 «Вимоги до проведення модифікацій ядерних установок та порядку оцінки їх безпеки».
4. НП 306.2.162-2010 «Вимоги до оцінки безпеки атомних станцій».

Магістрант 6 курсу, гр. ТЯ-91мн Рижко А.В.
Ст. викл., к.т.н. Сахно О.В.

ДОСЛІДЖЕННЯ СТРАТЕГІЇ ЛОКАЛІЗАЦІЇ РОЗПЛАВУ КОРІУМУ ВСЕРЕДИНІ КОРПУСУ РЕАКТОРУ ДЛЯ РУ ТИПУ ВВЕР-440

Реактори типу ВВЕР 440/В213 були спроектовані в 70-ті роки минулого століття у відповідності з діючими на той час в атомній енергетиці стандартами в області безпеки АЕС. Можливість реалізації сценарію важкої аварії (ВА), при якому буде відбуватися плавлення активної зони з переростанням ВА у зовнішньокорпусну фазу, не розглядався. Однак, після важкої аварії на АЕС Фукусіма, в результаті якої були одночасно втрачені три незалежні канали систем безпеки, для енергоблоків ВП РАЕС була виконана додаткова цільова переоцінка безпеки [1].

Характерними ВА, в результаті яких відбувається руйнування і розплавлення активної зони з утворенням в нижній частині корпусу реактора басейну з коріуму (розплаву палива і конструкційних матеріалів активної зони), є ВА, в результаті яких відбувається повне, тривале знеструмлення енергоблоку (відмова активних систем безпеки).

З причини конструктивних особливостей ВВЕР 440/В-213 при ВА з повним знеструмленими енергоблоку і переходом аварії на зовнішньокорпусну фазу розвитку ВА, втрата цілісності ГО виникає не в результаті високого тиску в ГО, а в результаті проплавлення бетонної плити ГО коріумом [2]. Одним з основних завдань з управління такого роду ВА є локалізація коріуму в корпусі реактора. Для збереження структурної цілісності КР необхідно забезпечити охолодження його зовнішньої поверхні.

В даній роботі проаналізовано затоплення приміщення шахти реактору (ШР) теплоносієм і створення замкнутої петлі циркуляції теплоносія для відводу енергії залишкового енерговиділення через зовнішню поверхню корпусу реактора. Таким чином створюється замкнута петля охолодження корпусу реактору з пасивним рухом теплоносія [3].

Забезпечення достатнього й ефективного відводу тепла залишкового енерговиділення від коріуму через зовнішню поверхню КР дозволить зберегти необхідну товщину стінки КР для запобігання неприпустимих деформацій КР.

Загальна схема розрахункового аналізу передбачає послідовне застосування декількох розрахункових кодів (Рисунок 1). Загальні параметри моделі першого контуру, днища КР і ГО визначаються в розрахунку кодом MELCOR. На підставі результатів даного розрахунку визначаються вхідні дані для розрахунку на моделі коду RELAP. Модель коду RELAP являє собою виділений контур циркуляції.

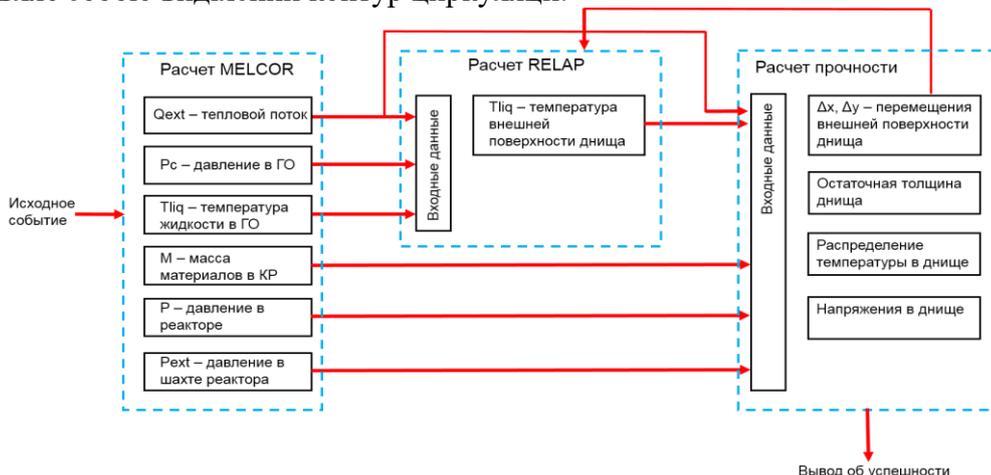


Рисунок 1 – Загальна схема розрахункового аналізу

На підставі розрахунку RELAP і MELCOR визначаються вхідні дані для аналізу міцності. У свою чергу аналіз міцності дає переміщення днища КР, які повинні бути враховані в моделі RELAP. Оскільки даний процес не може відбуватися одночасно між обраними кодами, то вибираються максимальні переміщення, які і використовуються в моделі RELAP.

На підставі даних по міцності робиться висновок про успішність процесу охолодження КР.

Реалізація зовнішнього охолодження КР (ЗОКР) полягає в створенні замкнутої петлі охолодження, яка буде відводити тепло від КР в режимі природної циркуляції. Для цього необхідно організувати подачу охолоджуючої води в підреакторне приміщення ШР (А004) з приміщення боксів ПГ (А201) таким чином, щоб корпус реактора був занурений у воду до опорних закладних, і забезпечити вихід утвореної пари через зазор між КР і опорною фермою, через технологічні щілини в теплової ізоляції та біологічний захист зони патрубків реактора і далі в прим. А201, де буде відбуватися конденсація пари за рахунок охолодження на будівельних конструкціях. Далі, конденсат осідає на підлогу приміщення боксу ПГ (А201) і повертається в замкнуту петлю охолодження ЗОКР. Таким чином закриту циркуляційну петлю природної циркуляції, що забезпечує відведення залишкового тепла з КР, можна описати наступним чином:

- на початковій фазі ВА на нижній позначці ГО (боксі ПГ) формується басейн з боровмісною водою;
- після відкриття спеціального клапана вода з нижньої позначки ГО по вентиляційних трубопроводах рециркуляційною системи вентиляції, надходить в приміщення ШР і затоплює ШР з реактором;
- нагріваючись від зовнішньої поверхні КР, вода випаровується і піднімається по «киплячому каналу» і далі пар іде в бокси ПГ через зазори в районі опорних конструкцій КР;
- в ГО на будівельних конструкціях, конструктивних елементах відбувається конденсація пара, конденсат повертається назад в басейн на підлогу боксів ПГ і далі по вентиляційних трубопроводах рециркуляційною системи вентиляції ШР повертається в приміщення ШР.

В результаті дослідження була підтверджена стратегія утримання розплаву коріуму в межах КР для збереження цілісності КР та запропоновано практичні заходи щодо реалізації цієї стратегії.

Перелік посилань:

1. Концептуальное техническое решение о внедрении системы внешнего охлаждения корпуса реактора для энергоблоков с реакторами В-213 (111-055-ТР_РЦ-1) от 12.01.2018г.
2. П. Матейович, М. Барнак, М. Бахраты, Р. Беркы: Assessment of In-vessel кориум retention for ВВЭР-440/В213 reactors, Joint OECD/NEA – EC/SARNET2 Workshop, Issy-les-Moulineaux, France, Октябрь 12 - 14, 2009
3. Охлаждение КР при решении тяжелых аварий АЭС Дукованы. Часть I. Общие принципы и технологические предпосылки внедрения. (ООО Инженерное расчетное общество Трнава 2013г).

Аспірант Філонов В.В.
Проф., д.т.н. Письменний Є.М.

ПРОСТА АДАПТАЦІЯ "КЛАСИЧНИХ" ПРИСТІНКОВИХ ФУНКЦІЙ ТЕМПЕРАТУРИ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ТЕПЛООБМІНУ ПРИ НАДКРИТИЧНИХ ПАРАМЕТРАХ

Універсальні пристінкові функції (УПФ) є дуже потужним інструментом в інженерній практиці застосування методів CFD. Фактично, це дає можливість досить просто «проекувати» значення граничних умов на стінці до найближчого по нормалі вузла розрахункової сітки. УПФ декількох типів, які можна умовно поділити на групи згідно з рівнянням переносу до якого застосовується пристінкова функція (силові – швидкість; теплові – температура/ентальпія; турбулентні – кінетична енергія турбулентності/дисипативна функція). Однією з основних переваг застосування УПФ – менш жорсткі умови для дискретизації розрахункової сітки біля стінки. До того ж, якщо застосовувати УПФ для задач, для яких вони власне конструювалися і калібрувалися, то здебільшого вдається отримати узгодження між розрахунком та експериментом з точки зору інтенсивності теплообміну/дисипації (як локально, так і усереднено). Одним з недоліків методу УПФ є те, що вони неявні, а отже потребують спеціальної імплементації.

Сучасні пристінкові функції узагальнені на всю товщину прилеглої шару, а також враховують неізотермічність течії (узагальнення Кадера). Концепція нерівноважних пристінкових функцій дає можливість враховувати поздовжній градієнт тиску в прилеглому шарі.

Тим не менш, для «нелінійних» задач теплообміну, в яких є суттєва зміна теплофізичних властивостей, а також вплив природної конвекції УПФ фактично не працюють. Тобто прогнозний профіль температури стінки при граничних умовах другого роду і кількісно і якісно відрізняється від експериментальних даних. Таким чином, застосування УПФ неможливе для режимів погіршеного теплообміну при надкритичних параметрах теплоносія. Створення спеціальних пристінкових функцій (СПФ) потребує експериментальних досліджень структури потоку теплоносія при погіршені теплообміну.

Першим етапом створення СПФ є адаптація існуючих УПФ температури на основі комплексних зондових досліджень надкритичного потоку CO₂ [1]. Результати досліджень, а також узагальнень свідчать про те, що при суттєвому впливі плавучості та зміни теплофізичних властивостей профілі швидкості U⁺ та h⁺ подібні між собою (DHT, Рис 1).. Зважаючи на те, що при «лінійному» теплообміні профілі U⁺, h⁺ та T⁺ між собою подібні (NORM, Рис. 1), а також на те, що в сучасних кодах застосовується комбінації U⁺- T⁺, була запропонована досить проста модифікація пристінкової функції температури:

$$h^+ = \rho u_\tau \frac{h - h_w}{q_w} \approx \rho u_\tau \left(\frac{\partial h}{\partial T} \right)_p \frac{(T - T_w)}{q_w} = \rho u_\tau \bar{C}_p \cdot \frac{(T - T_w)}{q_w} = \frac{\bar{C}_p}{C_p} T^+ \Rightarrow T_{НКП}^+ = \frac{C_p}{\bar{C}_p} T_{КЛ}^+ \quad (1)$$

\bar{C}_p - середня ізобарна теплоємність на проміжку у⁺ від 0 до локального значення, T⁺ - один із УПФ, НКП – надкритичні параметри, КЛ – класична.

Нормальний («лінійний») теплообмін характеризується незначним впливом термічного прискорення, оскільки відсутні значні градієнти теплофізичних властивостей, а отже і плавучості. В цьому випадку $\frac{C_p}{\bar{C}_p} \cong const \approx 1$, тобто при використанні УПФ можна отримати задовільне узгодження результатів CFD з експериментом (без врахування low-Re ефектів).

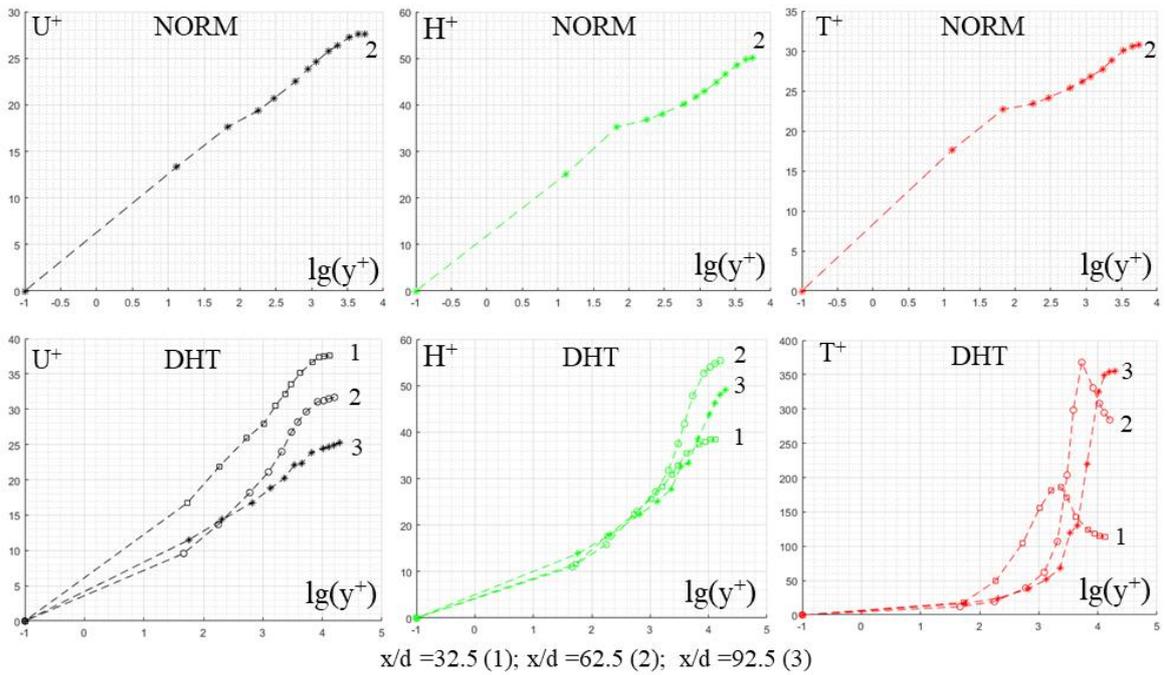


Рисунок 1 - Експериментальні УПФ (NORM – нормальний, DHT погіршений теплообмін)

В загальному випадку, структуру двозонної температурної УПФ можна представити як:

$$T^+ = e^{-\Gamma} f_{lam} y^+ + e^{\frac{1}{\Gamma}} \left[f_{urb} \ln(y^+) + B(\text{Pr}, \text{Pr}_t) \right] \quad (2)$$

Функція $B(\text{Pr}, \text{Pr}_t)$ характеризує додатковий термічний опір температурного примежового шару. Зважаючи на те, що «принципово» профіль швидкості не змінюється при переході від нормального в погіршений теплообмін, то в першому наближенні, можна оцінити вплив модифікації $B(\text{Pr}, \text{Pr}_t) \frac{C_p}{C_p}$ на температурну УПФ. Для демонстрації

результатів апріорної оцінки (Рис.2) була обрана класична температурна УПФ Кадера.

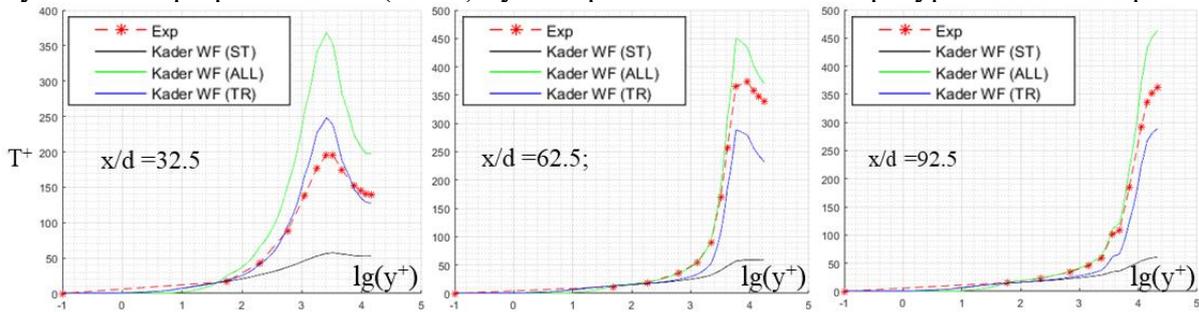


Рисунок 2 - Адаптовані УПФ (СПФ) (ST – стандартна, ALL – адаптація (1), TR – адаптація термічного опору $B(\text{Pr}, \text{Pr}_t)$)

Строго кажучи, отримана модифікація не є універсальною у сенсі УПФ, проте із-за того, що метод пристінкової функції ітеративний, принципово організація розрахунків не змінюється.

Перелік посилань:

- 1) В.А. Курганов, Ю.А. Зайгарник и др. / “Теплообмен и сопротивление в трубах при сверхкритических давлениях теплоносителя: итоги научных исследований и практические рекомендации”, Москва, 2018.

ЗНИЖЕННЯ РИЗИКУ ПОШКОДЖЕННЯ АКТИВНОЇ ЗОНИ В СТАНІ РУ "ПЕРЕЗАВАНТАЖЕННЯ ПАЛИВА"

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

Одним із найважливіших етапів експлуатації атомної станції є процес перевантаження палива. Порядок проведення та пристрої перевантаження ядерного палива встановлено правилами ядерної безпеки реакторних установок атомних станцій з реакторами з водою під тиском [1]. Перевантаження активної зони здійснюється на основі технічних рішень, програм перевантаження, робочих графіків, картограм перевантаження [2].

Імовірнісний аналіз безпеки (ІАБ) першого рівня [3] для роботи на зниженому рівні потужності та зупиненого енергоблоку, виконаний для АЕС показує, що неготовність системи підживлення-продувки 1 контуру та борного регулювання ТК і системи вводу борного концентрату ТВ10 при зупинці блоку на планово-попереджувальний ремонт ППР, вносять значний вклад в частоту пошкодження активної зони ЧПАЗ. З аналізу випливає, що в наслідок неготовність систем ТК і ТВ10 блок може виявитися в стані, при якому неможливе виконання функції безпеки.

Система ТК призначена для:

- заповнення і підживлення 1 контуру теплоносієм;
- заповнення ГЄ САОЗ;
- підтримання матеріального балансу теплоносія 1 контуру;
- підтримання заданої концентрації борної кислоти в 1 контурі;
- планового регулювання потужності реактора;

Також з ІАБ випливає, що недоступність бака-прямака через ремонт являється критичною, тому що в цьому випадку неможливо використовувати наявні канали системи аварійного охолодження активної зони САОЗ низького тиску НТ і високого тиску ВТ для відводу тепла в режим рециркуляції через бак-прямок.

Метою роботи є зниження ризику пошкодження активної зони при перевантаженні палива з ціллю підвищення надійності експлуатації.

Перелік посилань:

1. НП 306.2.145-2008 «Правила ядерної безпеки реакторних установок станцій з реакторами з водою під тиском».
2. СОУ НАЕК 064:2013 «Перевантаження палива в реакторі ВВЕР-1000. Номенклатура експлуатаційних та експериментів».
3. Звіт з аналізу безпеки. Імовірнісний аналіз безпеки. Додаток II. Вихідні події аварій і експлуатаційні стану. АТ КІЕП

СИСТЕМА ПРИМУСОВОГО СКИДАННЯ ТИСКУ З СИСТЕМИ ГЕРМЕТИЧНОГО ОГОРОДЖЕННЯ РЕАКТОРНОЇ УСТАНОВКИ

Вивчення світового досвіду експлуатації АЕС, в тому числі АЕС Фукусіма, та врахування можливих ризиків забруднення навколишнього середовища під час важких аварій спонукало до розвитку технології фільтруючого викиду. Система примусового фільтрованої скидання парогазової суміші з гермооболочки підвищує безпеку енергоблоку. Ця система тиску призначена для високоефективного очищення парогазової суміші, що надходить з СГО у процесі аварійної вентиляції, а також для захисту герметичного огородження, яка є останнім бар'єром безпеки від втрати цілісності.

Система примусового скидання тиску з СГО розроблена на основі технології французької компанії AREVA, яка діє на 50-ти енергоблоках світу і об'єднує в своїй концепції два методи фільтрації - «мокрый» (1 стадія) і «сухий» (2 стадія) – рисунок 1.

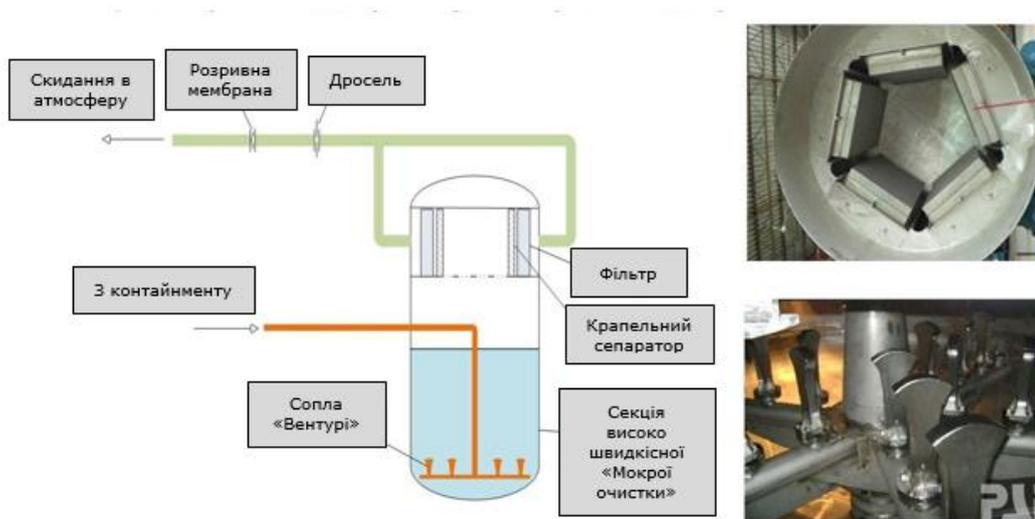


Рисунок 1 – Схема системи примусового скидання тиску

Ефективність такої технології доведена роками досліджень і випробувань, в тому числі незалежними міжнародними тестами. Завдяки двоступеневому очищенню забезпечується висока ефективність змісту аерозолів, а також виключається небезпека забивання і оплавлення аерозолів в метало-волоконному фільтрі.

СГО є останнім бар'єром на шляху розповсюдження радіоактивних речовин від зруйнованої активної зони реактора (в результаті важкої аварії). Основна мета для впровадження системи примусового скидання тиску з контейнера (СПСТ) є попередження руйнування СГО під час важкої аварії при збільшенні тиску в епіцентрі аварії вище межі безпечної експлуатації [1]. Конструкцією СПСТ передбачено повернення в зону локалізації аварії утриманих системою радіоактивних речовин після завершення циклів скидання середовища із зони локалізації аварії [2].

Після завершення роботи СПСТ, відфільтровані радіоактивні речовини залишаються в межах останнього бар'єра захисту.

Система примусового скидання тиску при важких аваріях з пошкодженням корпусу реактора і виходом розплаву в шахту реактора [3]:

- попереджує руйнування герметичного огородження від перевищення тиску в зоні локалізації аварії вище проектного значення тиску;

- обмежує викиди радіоактивних речовин в навколишнє середовище;
- забезпечує відведення із зони локалізації аварії в навколишнє середовище теплоти, що виділяється при протіканні аварії;
- забезпечує безпечне скидання водню з епіцентру аварії в складі паро-газової суміші;
- виконує високоефективне очищення парогазової суміші, що виходить з гермооболонки.

Головний елемент системи примусового фільтрованої скидання - унікальний аерозольно-йодний фільтр, який забезпечує затримку 99,9% аерозолів і 99% газоподібного йоду. Використання високоефективної фільтрації зводить до мінімуму викид радіоактивності в атмосферу [4].

Заряд акумуляторів систем скидання розрахований на 10 діб, тому при повному аварійному знеструмленні у атомників буде додатковий час для прийняття управлінських рішень і запобігання радіоактивного зараження.

За розрахунками фахівців, можливість виникнення тиску, здатного навіть при важких аваріях зруйнувати гермооболонку реакторів типу ВВЕР, що експлуатуються в Україні, мізерна. Проте, Енергоатом прийняв рішення встановити системи аварійного скидання парогазової суміші з контейнеру енергоблоку на всіх вітчизняних атомних станціях.

Перелік посилань:

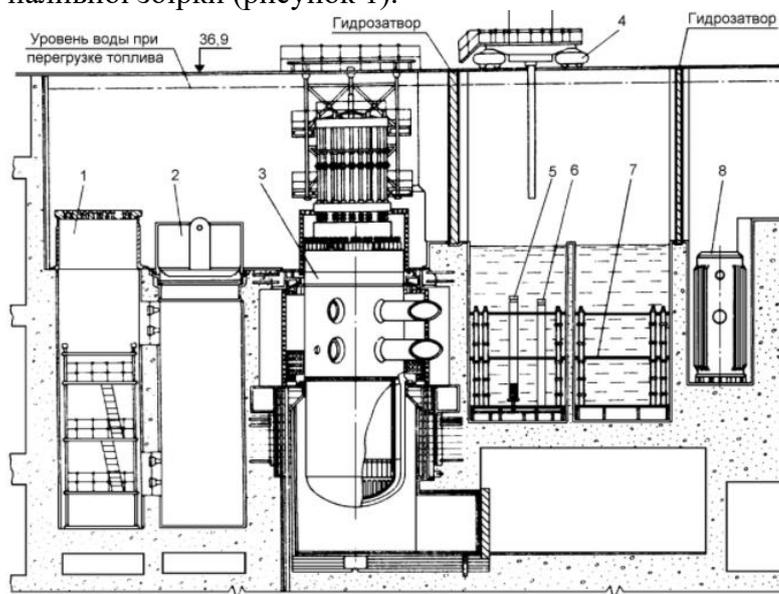
1. URL: <https://www.rnpp.rv.ua/vprovadzhennya-sistemi-primusovogo-skidannya-tisku-vazhlijivij-element-zaxistu-raes.html>
2. URL: <http://reform.energy/news/na-raes-predstavili-kontseptsiyu-sistemy-prinuditelnogo-sbrosa-davleniya-5008>
3. URL: [https://ekb.com.ua/noviny/на-энергоблоке-№2-южно-украинской-аэс-2.html](https://ekb.com.ua/noviny/na-enerгоблоке-№2-южно-украинской-аэс-2.html)
4. URL: <https://ae24.ru/news/show?id=237>

МОДЕРНІЗАЦІЯ СТЕЛАЖІВ ДЛЯ КРІПЛЕННЯ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ТВЗ В БАСЕЙНІ ВИТРИМКИ

Атомна енергетика – складний виробничий комплекс, для надійного функціонування якого необхідно якісне, відповідальне і продумане управління, висококваліфікований персонал, впровадження новітніх технологій. З кожним роком досліджуються і впроваджуються нові елементи модернізації обладнання на АЕС. Основною метою впровадження модернізацій для обладнання - це збільшення терміну експлуатації чи збільшення ККД для існуючого обладнання.

Значну увагу на АЕС приділяють басейну витримки. 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].

Опромінене ядерне паливо, на відміну від свіжого, має значну радіоактивність через вміст великої кількості продуктів поділу і має властивість самонагріватись на повітрі до високих температур. Після вилучення ТВЗ з активної зони реактора збірка витримується 2 — 5 років у басейні витримки. Басейн витримки є прямокутним резервуаром зі стелажими — окремими металевими конструкціями вертикальної прямокутної форми, призначеними для розміщення та зберігання тепловідільних збірок. Басейн витримки примикає безпосередньо до шахти реактора, з'єднаним з нею перевантажувальним каналом для транспортування паливної збірки (рисунк 1).



- 1 – шахта ревізії БЗТ; 2 – шахта ревізії ВКУ; 3 – реактор;
4 - перевантажувальна машина; 5 - гермопенал; 6- пенал КГО;
7- стелаж басейна витримки; 8- транспортний контейнер

Рисунок 1 – Схема розміщення і транспортування ТВЗ

У басейні витримки діє радіаційне випромінювання тому, приділяють значну увагу

для матеріалів з яких виготовляють стелажі і для конструкції стелажів щоб забезпечувати певні визначені умови. Конструкція стелажів забезпечує[2] :

- Вертикальність установлених в ньому збірок і герметичних пеналів;
- Уникнення механічних пошкоджень зовнішніх поверхонь збірок при їх установці/вилученні із чарунок стелажа;
- Фіксацію встановлюваних в стелаж паливних збірок і герметичних пеналів;
- Надійне відведення залишкового тепловиділення відпрацьованих ТВЗ;
- Розміщення чарунок по рівносторонньому трикутнику при якому підкритичність більше 0,05;
- Положення касет на одному рівні.

Тому, модернізація стелажів для кріплення ТВЗ в басейні витримки проводиться з метою покращення теплофізичних властивостей та конструкції стелажів, що впливає на ефективність використання та збільшення терміну експлуатації басейна витримки .

Перелік посилань:

1. Окончательный отчет по анализу безопасности. Том 19. Глава 19 Вероятностный анализ безопасности. Хмельницкая АЭС. Энергоблок №2. ПАОКИЕП.
2. Концерн “Росэнергоатом”. Балаковская атомная электростанция. “Технологические системы реакторного отделения”, - часть 2.

РОЗРОБКА ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТІВ СИСТЕМ ВАЖЛИВИХ ДЛЯ БЕЗПЕКИ НА ОСНОВІ РИЗИКО-ІНФОРМОВАНОГО ПІДХОДУ НА ЕНЕРГОБЛОЦІ ЗАЕС №2

Впровадження ризик-інформованих підходів у процедуру формування умов безпечної експлуатації енергоблоків №1 та №2 на атомній електростанції (АЕС) «Каньйон Діабло» (англійською Diablo Canyon Power Plant) дав унікальний досвід для ядерної енергетичної галузі.

Це дозволило покращити коефіцієнт використання встановленої потужності за рахунок скорочення тривалості планово-попереджувальних ремонтів (ППР), поліпшити економічні показники роботи АЕС в цілому. Також, підвищити рівень культури безпеки персоналу, через візуалізацію результатів імовірнісного аналізу безпеки [1]:

- поглибити розуміння важливості надійної роботи обладнання
- значимість виконання робіт з урахуванням конкретних поточних умов

Згідно з проектом ядерної установки (ЯУ) та технологічним регламентом безпечної експлуатації, при роботі енергоблока на потужності системи важливі для безпеки (СВБ) можуть перебувати у непрацездатному стані протягом конкретно встановленого часу. Проте, при розробці проекту ЯУ, цей часовий інтервал був встановлений на підставі детерміністичного підходу (без аналізу ймовірнісними методами), тому отримані значення включали певну долю консерватизму.

Відсутність достатнього досвіду експлуатації та необхідних знань про механізми старіння і зносу обладнання стало причиною того, що детерміністичні методи аналізу безпеки переважали над ймовірнісними. Втім використання ймовірнісних методів дозволяє обґрунтовано концентрувати зусилля та кошти саме у тих областях, де існують дефіцити безпеки, або у тих, що найбільше впливають на безпеку ядерних установок.

Розробка даного проекту дозволить:

- проведення ремонту частини систем або обладнання, важливих для безпеки, що виконуються в ППР при роботі енергоблоку на номінальному рівні потужності, як наслідок - оціночно зменшення ППР на 8 -20 діб, при первісній довжині ППР 60 – 70 діб, зниження до 30 - 40 діб. Орієнтовно - додаткова робота 1-го енергоблоку протягом 10 - 20 діб (до 120 діб додатково при роботі шести енергоблоків ЗАЕС);
- обґрунтування збільшення дозволеного часу виведення в ремонт обладнання та зменшення кількості зупинок енергоблоку за рахунок переоцінки встановлених в технологічному регламенті безпечної експлуатації обмежень за часом непрацездатності систем та обладнання, як наслідок – оціночне, зменшення на один зупин енергоблоків в рік для 6-ти енергоблоків, орієнтовно - додаткова робота одного енергоблоку протягом 6 діб.
- збільшення часу між опробуваннями та міжремонтного інтервалу для систем, важливих для безпеки, із забезпеченням необхідної надійності виконання функцій, як наслідок - зниження кількості операцій із обладнанням – менша деградація СВБ [2].

Обґрунтування виконання технічного обслуговування і ремонтів СВБ при роботі енергоблоку на потужності та збільшення дозволеного часу виведення обладнання в ремонт

реалізується з використанням ризик-монітору, що використовує програмне забезпечення RiskSpectrum, RiskWatcher, [3] а збільшення інтервалу періодичності опробувань СВБ із використанням моделі імовірнісний аналіз безпеки в кодї RiskSpectrum PSA, SAPHIRE 8 [4].

Слід зазначити, що даний проект на Запорізькій атомній електростанції (ЗАЕС) є пілотним. Отже протягом його реалізації передбачається уточнення положень технічного керівництва [5] для врахування практичного досвіду виконання. Очікується, що за результатами впровадження та апробації пілотного проекту “Оптимізації технічного обслуговування та ремонту на енергоблоці №2 ЗАЕС”, технічне керівництво [5] буде переглянуте та доопрацьоване для подальшого використання на інших енергоблоках українських АЕС.

Перелік посилань:

1. Diablo Canyon Power Plant. Interdepartmental Administrative Procedure. AD7.ID14. Rev. 16. Assessment of Integrated Risk.
2. Концептуальне рішення 02.АБ.00.РІІ.828-18 «Впровадження ризик-інформованого керування конфігурацією АЕС з метою підвищення безпеки та оптимізації технічного обслуговування та ремонту систем важливих для безпеки».
3. Комплект керівництв RiskWatcher: The RiskWatcher Scenario Tagging Tool, Introducing RiskSpectrum® RiskWatcher, The RiskWatcher Model Compiler, RiskWatcher Main Application, Using RiskSpectrum PSA to Prepare RiskWatcher Data, RiskSpectrum Analysis Tools (RSAT).
4. Smith, Curtis. SAPHIRE 8 “New Features and Capabilities”. USA: N. p., 2008.
5. Технічне керівництво по Проекту оптимізації технічного-обслуговування та ремонтів систем, важливих для безпеки, на основі ризик – інформованого управління конфігурацією АЕС (енергоблок №2 ЗАЕС). 21.2.OOP.2.5.ОД.02.

Магістрант 5 курсу, гр. ТЯ-01мп Чагур А.М.
Доц., к.т.н. Коньшин В.І.

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ СИСТЕМИ АВАРІЙНОГО ЗАХИСТУ РЕАКТОРА ВВЕР-1000 ШЛЯХОМ МОДЕРНІЗАЦІЇ ПРИВОДІВ ОР СУЗ

Управління потужністю реактора здійснюється персоналом за допомогою системи індивідуального і групового управління (СІГУ) або автоматичного регулятора потужності (АРП), в обох випадках дією на органи регулювання (ОР) СУЗ. У разі виходу групи ОР СУЗ при регулюванні з регламентного діапазону положень, залежного від потужності реактора, в першому контурі змінюють концентрацію борної кислоти і приводять поглинаючі стержні в нормальне положення. Як регульована величина використовується або нейтронна потужність, або тиск в головному паровому колекторі другого контура, або температура на виході з активної зони. У разі виникнення перехідних процесів з раптовим відключенням устаткування, наприклад, одного з головних циркуляційних насосів, спеціальний регулятор обмеження потужності (РОП) плавно знижує потужність реактора до роботи, що відповідає новому режиму, за допомогою дії на регулюючу групу ОР СУЗ. Якщо перехідний процес дуже серйозний, наприклад, відбувається різке розвантаження турбогенератора, спрацьовує алгоритм прискореного розвантаження блоку (ПРБ), який скиданням спеціально виділеної для цих цілей групи ОР СУЗ знижує потужність відразу на 50 % за час близько 5 с.

При спрацьовуванні аварійного захисту відключається живлення електромагнітів приводів СУЗ, і усі поглинаючі стержні під власною вагою падають в активну зону, переводячи реактор в підкритичний стан максимум за час близько 10 секунд.

На енергоблоці ЮУАЕС-3 застосовується приводи СУЗ ШЕМ-3. Для роботи з приводами ОР СУЗ застосовується устаткування СІГУ, яке в даний момент модернізується на програмно-технічні комплекси що мають широкі можливості як по самодіагностиці так і по діагностиці зв'язаного устаткування. Для приводів СУЗИ ШЕМ існує ряд недоліків [1, 2]:

- конструкція приводу не дозволяє ввести глибоку діагностику складових частин спільно з устаткуванням СІГУ;
- відсутнє резервування по елементах що визначає положення приводу в активній зоні;
- не досить точне визначення положення через застосування не сучасних комплектуючих виробів;
- застаріла якість комплектуючих застосованих при розробці виробу;

Приводи СУЗ ШЕМ 1160.94.00.000, термін експлуатації яких неодноразово подовжувався, відсутній ЗПП, при експлуатації росте тренд відмов, значно можуть впливати на безпечну і надійну роботу АЕС.

З метою підвищення надійності роботи системи аварійного захисту реактора ВВЕР-1000 запропоновано модернізувати приводи ОР СУЗ [3].

Привід СУЗ ШЕМ 1160.94.00.000 комплектується трьома елементами: механічній частині приводу з проектним терміном служби 20 років, блоку електромагнітів (БЕМ) з проектним терміном служби 8 років і датчиком положення приводів (ДПП) з проектним терміном служби 5 років. Проводити заміну приводу частинами, з різними термінами експлуатації, недоцільно враховуючи і те, що застосування нових складових частин приводу не приведе до усунення усіх недоліків.

Передбачається проводити заміну приводів ОР СУЗ на устаткування з одним терміном служби для усіх складових частин і що має наступні характеристики [4]:

- підвищеною надійністю, поліпшеними експлуатаційними характеристиками за

рахунок застосування нових технологій;

- тривалим терміном експлуатації до 30 років;
- можливістю проведення діагностики елементів приводу;
- резервуванням елементів що визначають положення приводу ОР СУЗ;
- точнішим визначенням положення приводу.

Перелік посилань:

1. Мерзлікін Г.Я. Теорія ядерних реакторів.
2. Тевлін С.А. Атомні електричні станції з реакторами ВВЕР-1000. – М.: Видавництво МЕІ, 2002. – 344 с. – 1000 екз. ISBN 5-7046-0831-0.
3. Комплексна (звідна) програма підвищення безпеки енергоблоків АЕС України, 2010. – 227 с.
4. Сидоренко В. А. Питання безпечної роботи реакторів ВВЭР. – М.: Атомвидат, 1977. – 216 с. – (Проблеми ядерної енергетики). – 3000 екз.

СЕКЦІЯ №2

**Ядерна захищеність
та
нерозповсюдження**

Master 5 курсы, гр. Т3-301МП Aniushkina A..
Sen. lect. Lysenko T.

ASSESSMENT OF THE PERFORMANCE OF THE PHYSICAL PROTECTION SYSTEM

For an objective assessment of the suitability of any system for performing the tasks assigned to it, it is necessary to have a method for assessing the effectiveness of this system. Such methods can be qualitative, but it is better if they are based on quantitative indicators that allow comparing different versions of the system [1].

The effectiveness of the physical protection system is a property of the system, which consists in the ability of the physical protection system to withstand the actions of the intruder in relation to nuclear materials, nuclear installations, other vulnerabilities of a nuclear facility, taking into account the threats and models of the intruder identified in the analysis of the vulnerability of a nuclear facility.

The purpose of assessing the effectiveness of the physical protection system is to assess the ability of the physical protection system to suppress unauthorized actions of the offender.

The term “suppression” means the timely exit of the security forces to the lines of neutralization of the offender [2].

The objectives of evaluating the effectiveness are:

- identification of elements of the physical protection system, overcoming which, the intruder has the highest probability of committing sabotage or theft of nuclear materials;
- consideration and identification of the most probable scenarios for the violator's actions to commit sabotage or theft of nuclear materials;
- identification of vulnerabilities in existing physical protection systems that formally meet the requirements established in regulatory documents;
- analysis of the reasons for the emergence of vulnerabilities in the physical protection system;
- assessment of the likelihood of suppressing certain actions of the intruder by security forces acting on an alarm signal in the event of an external and internal threat;
- selection of optimal design solutions at the stage of creation and modernization of the physical protection system;

Function test [3]

The assessment program confirms the compliance of the nuclear material accounting and control system and its elements with the requirements, and the performance verification program goes one step further, attempting to overcome the system.

Functional check creates or introduces contingencies or simulated contingencies in carefully controlled circumstances in order to verify their detection by the nuclear materials accounting and control system;

Functional test objectives:

Ensuring that the system, measure or element under test is capable of fulfilling its nuclear security purpose, that is, capable of detecting the unauthorized removal of nuclear material;

- Confirming or providing information for the assessment process;
- During the preparation and conduct of the verification, no violation of nuclear materials control is allowed.

As a conclusion, I can say that the assessment of the effectiveness of the physical protection system is mandatory at the design stage of the physical protection system during its creation or improvement.

Ensuring the required level of efficiency of the physical protection system should provide for a set of work to monitor and analyze the performance of the physical protection system of the tasks assigned to it to ensure physical protection and determine ways to increase the effectiveness of the physical protection system or maintain it at the required level.

Performance verification is particularly important to ensure that nuclear security objectives are met [2].

References:

1. Izmailov A.V. Methods for designing and analyzing the effectiveness of physical protection systems for nuclear materials and facilities. – M.: MEPI, 2002.
2. Kryuchkov E.F. Fundamentals of accounting, control and physical protection of nuclear materials: textbook / E.F. Kryuchkov. – Moscow: MEPI, 2007. – 544 p.
3. Bondarev P.V. Physical protection of nuclear facilities: textbook / P.V. Bondarev, A.V. Izmailov, A.I. Tolstoy. – M.: MEPI, 2008. – 584 p.:

SYNERGY OF CULTURE OF SAFETY AND CULTURE OF SECURITY

An important task today is to ensure nuclear safety and nuclear security, which is aimed at achieving the safety of a nuclear installation or any facility that uses nuclear materials, radioactive materials, and other sources of ionizing radiation. This area of activity is to protect people from the environment from dangerous levels of radiation exposure.

When considering the relationship between nuclear safety and nuclear security [1], special attention should be paid to identifying the point of conflict between the culture of safety and the culture of security. It is also important to identify the interface between the two areas of safety and to define the general principles for the development of nuclear safety and security measures.

The object of my work is the influence of safety culture on the physical protection of nuclear installations and facilities that use nuclear materials, radioactive materials and other sources of ionizing radiation in their work. The subject is the study of methodology and the development of a procedure for improving the relationship between security culture and safety culture.

The synergy of safety and physical security includes, for example: regulatory infrastructure; engineering and technical solutions in the design and construction (construction) of nuclear facilities and other facilities; measures to control access to nuclear facilities and other facilities; categorization of radioactive sources; development of source designs; ensuring physical safety when handling radioactive sources and radioactive material; emergency response plans; and radioactive waste management.

For a general understanding of the phenomenon of synergy between a culture of safety and a culture of security, we give the definition of these concepts [2]:

- Synergy is a joint action to achieve a common goal, based on the principle that the whole is something more than the sum of its parts. Synergism means the excess of the total result of the sum of its factors. This concept is also called the synergistic effect (effect $2 + 2 = 5$).

- Safety culture is a set of characteristics and features of the activities of organizations and the behavior of individuals, which establishes that the safety issues of nuclear power plants, as having a higher priority, is given attention, determined by their importance.

- The culture of security is a characteristic of the activities of organizations and the behavior of individuals, which indicates that the security of nuclear facilities, nuclear materials, radioactive waste, other sources of ionizing radiation should be taken into account [3].

Security is an important factor in any activity and a transparent and probabilistic analysis of security issues is used to achieve a high level of security. Physical security depends on many factors, ensuring physical security is related to the prevention of malicious acts, the definition of which is confidential, and to address them use conclusions based on the threat assessment [4].

In general, nuclear safety and nuclear security are often considered separately. The interface between nuclear safety and nuclear security is limited only by the requirement that there be no negative impact of physical protection measures on the implementation of actions aimed at ensuring nuclear safety, and vice versa. According to the IAEA recommendations [5], each of the security areas should not only not interfere with the provision of the other, but also mutually reinforce the effect of the measures taken. It is necessary to ensure synergies in the areas of nuclear safety and nuclear security.

To achieve the synergy of security culture and safety culture at nuclear facilities and enterprises that use nuclear materials, radioactive materials and other sources of ionizing radiation, it is necessary to set tasks, the solution of which will lead to the elimination of the problem.

The first step is to study the experience of countries in the development of nuclear energy on the culture of security and safety culture, to analyze the legislative and legal aspects that exist in foreign colleagues, and how the legal aspect is embodied in the work of enterprises.

The second step is to study the legal framework of Ukraine on the culture of security and culture of security, search for "weaknesses" in legal regulation, analysis of the implementation of laws in enterprises.

The third step will be a comparative analysis of foreign experience with the Ukrainian and making proposals to change the situation for the better for Ukraine, borrowing foreign experience.

The next step is to find places where a culture of security and a culture of security collide; develop proposals for ways to improve the quality of staff understanding of the concept of security culture and communicate the difference between the two cultures and their synergy to staff.

References:

1. Dybach, O., Kuzmiak, I., & Kukhotsky, O. (2013). Synergy in the areas of nuclear safety and nuclear security. Nuclear and radiation safety. Retrieved from <https://www.nuclear-journal.com/index.php/journal/article/view/456>
2. IAEA safety glossary // Terminology used in nuclear safety and radiation protection. — Vienna : IAEA, 2007.
3. State Inspectorate for Nuclear Regulation of Ukraine. Order 25.07.2013 № 76. On approval of the Procedure for formation and development of safety culture of nuclear facilities and facilities intended for radioactive waste management, other sources of ionizing radiation, and Instructions for assessing the state of safety culture of nuclear facilities, facilities designated for radioactive waste management, other sources of ionizing radiation.
4. Law of Ukraine. About physical protection of nuclear installations of nuclear materials, radioactive waste, other sources of ionizing radiation.
5. Improving The International System For Operating Experience Feedback // INSAG-23. — Vienna: IAEA, 2008.

CREATION OF A COMPLEX OF ENGINEERING AND TECHNICAL MEANS ON A HYPOTHETICAL INSTALLATION DISPENSARY

With the development of modernity, the international community is forced to pay more and more attention to the fight against nuclear terrorism and the strengthening of measures for the physical protection of nuclear facilities, nuclear materials, radioactive waste and other sources of ionizing radiation. Ukraine is currently in a complex socio-economic and political transformation in the country, which is associated with Russia's aggression on the territorial integrity of our state and the probable facts that could pose a threat to Ukraine's nuclear energy.

However, problems such as the fight against nuclear blackmail and terrorism, sabotage of nuclear installations, and the prevention of unauthorized acts on nuclear materials, radiation sources and radioactive substances can become real. The trend in Ukraine is to strengthen the regime of physical protection, accounting and control of nuclear materials, appeal to the policy of the IAEA and other international organizations in order to learn from the experience and implement physical protection systems taking into account the IAEA recommendations.

The system of physical protection of nuclear facilities, nuclear materials, radioactive waste, other sources of ionizing radiation is a set of organizational, legal and engineering measures taken to create conditions aimed at minimizing the possibility of sabotage, theft, or any other illegal seizure of radioactive materials and strengthening of the nuclear non-proliferation regime [1].

According to the current legislation [1, 2, 3], the facility that handles IRS must define a system of physical protection. The definition of a physical protection system is to establish the initial data on [4]:

- tasks of a specific system of physical protection;
- system configurations;
- functions of the physical protection unit and the security unit;
- list and content of physical protection procedures;
- system efficiency criteria.

After that, the developed project of the IRS physical protection system is checked by the licensee for compliance with the technical task and in case of its compliance is approved by the head of the relevant enterprise, institution or organization that deals with IRS. The approved project is sent to the SNRCU for state examination. The state examination is carried out by the SNRCU with the involvement of the Security Service of Ukraine and central executive bodies that carry out law enforcement activities.

Creation of the system of physical protection of IRS the licensee begins only after receiving positive conclusions of the state examination of physical protection.

Complex of engineering and technical means (CETM) of the physical protection system as an integral part of the physical protection system of the object. CETM provides the maximum possible reduction of the human factor on the efficiency of the system's performance of its tasks. Defining a physical protection system is impossible without defining a CETM.

CETM consists of:

- technical means;
- central physical protection panel (CPFP);
- software.

The aim of the work is to develop a CETM for the hypothetical facility "Oncology Center" (Figure 1), taking into account the requirements of the current legal framework for physical protection, accounting and control of nuclear materials, radioactive materials and other sources of ionizing radiation.

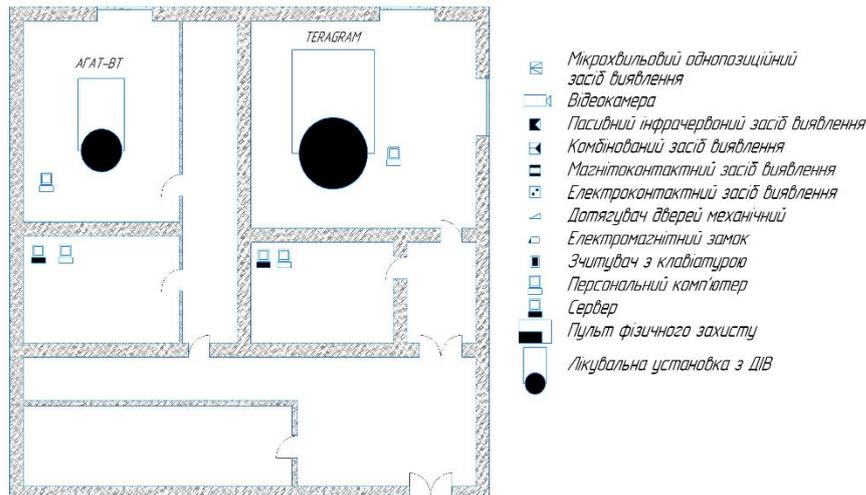


Figure 3.4 - Hypothetical oncology center

The object of work is the protection of a hypothetical object that handles IRS I-III category. The subject is a set of engineering and technical measures of the physical protection system.

In order to successfully create a hypothetical Oncodispensary facility, I need to perform an algorithm of actions.

First, it is necessary to study the regulatory framework of Ukrainian legislation in the field of physical protection, accounting and control of nuclear materials, radioactive materials and other sources of ionizing radiation and in the rules of construction of KITZ for facilities handling IRS I-III category.

Secondly, it is necessary to develop a KITZ SPZ of a hypothetical object: to determine the types, number and locations of detection, television surveillance and access control.

The final stage will be to assess the vulnerability of the created complex of engineering and technical means of the physical protection system.

References:

1. On the physical protection of nuclear installations, nuclear materials, radioactive waste, other sources of ionizing radiation: the law of Ukraine of October 19, 2000 №2064-III // Bulletin of the Verkhovna Rada of Ukraine. - 2001. N 1. St.1.
2. Convention on the Physical Protection of Nuclear Material and Nuclear Installations of October 26, 1979 / Official Website of the Verkhovna Rada of Ukraine. - [Electronic resource]. - Access mode: http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/995_024.
3. Amendment to the Convention on the Physical Protection of Nuclear Material of July 8, 2008 / Official Website of the Verkhovna Rada of Ukraine. - [Electronic resource]. - Access mode: http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/951_013.
4. On approval of the Procedure for the functioning of the state system of physical protection: Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of December 21, 2011 №1337 // Official Gazette of Ukraine. - 2011. - №100 - p.11 - Art. 3661.

Магістрант 5 курсу, гр. ТЗ-301мп Анюшкіна А.А.
Асист. Остапенко І.А.

ІНФОРМАЦІЙНА БЕЗПЕКА КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ СИСТЕМ ОБЛІКУ І КОНТРОЛЮ ЯДЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ

Міжнародне агентство з атомної енергії, національні органи регулювання ядерної та радіаційної безпеки різних країн та інші організації приділяють значну увагу питанням дослідження і регулювання комп'ютерної безпеки АЕС. Це викликано трьома основними факторами [1]:

- 1) широкомасштабний переходом від аналогових систем до цифрових інформаційних і керуючих систем (ІКС) АЕС;
- 2) вразливість таких систем до кібернетичних загроз;
- 3) збільшенням кількості випадків злочинного втручання в роботу комп'ютерних систем з серйозними наслідками.

Забезпечення комп'ютерної безпеки – завдання важливе, оскільки кібернетичні атаки можуть негативно впливати як на фізичну, так і на ядерну та радіаційну безпеку АЕС та інших ядерних установок [2].

В Україні даній проблемі не приділяється достатньо уваги і спостерігається істотне відставання в питаннях нормативного регулювання та впровадження практичних заходів захисту від комп'ютерних загроз. Роботи, що проводяться АЕС і підприємствами-розробниками ІКС щодо забезпечення комп'ютерної безпеки, не носять системного характеру через відсутність єдиних підходів, методів і нормативної бази.

Загрозами інформаційній безпеці називаються фактори, які прагнуть порушити нормальне функціонування системи. Загрози можуть бути як цілеспрямовані (суб'єктивні), так і випадкові (об'єктивні). Наприклад, порушення цілісності даних в результаті неякісного проектування бази даних може звести цінність накопичених даних до нуля. Аналогічним чином можлива повна втрата інформації в результаті апаратної аварії, якщо не робилися спеціальні заходи по її архівації та дублюванню.

Можна виділити три широких класи видів загроз [2]:

- загрози конфіденційності;
- загрози цілісності;
- загрози відмови в обслуговуванні.

Протидія об'єктивним загрозам відноситься до питань забезпечення надійності системи. Протидія суб'єктивним загрозам є основним завданням забезпечення інформаційної безпеки.

Базова класифікація злочинних дій, скоєних щодо комп'ютерних систем і які зачіпають фізичну, ядерну та радіаційну безпеку [1]:

- атаки для збору інформації з метою планування і здійснення подальших злочинних дій;
- атаки, спрямовані на відключення або погіршення роботи одного або декількох комп'ютерів (ІКС, технічних засобів), критично важливих для фізичного захисту або безпеки ядерних установок;
- порушення нормальної роботи одного або декількох комп'ютерів (ІКС, технічних засобів) спільно з іншими паралельними режимами атаки, такими як фізичне вторгнення на ядерну установку.

Питання надійності та відмовостійкості інформаційних систем поряд з питаннями забезпечення захисту інформації від несанкціонованого доступу є визначальними в справі забезпечення інформаційної безпеки.

Підприємства, що мають в обігу ядерні матеріали, відносяться до критичних систем. Повна втрата інформації про ядерні матеріали повинна бути виключена зі стовідсотковою гарантією.

Для виключення можливості повної втрати інформації в умовах нормальної експлуатації та при проектних аваріях необхідно передбачати систему зберігання і відновлення даних. Ця система включає в себе наступні елементи:

- дублювання сервера або використання дублювання на жорстких магнітних дисках (RAID-технологія);
- зберігання на підприємстві дистрибутивних копій як базового, так і прикладного програмного забезпечення;
- зберігання резервних копій баз даних. Необхідно мати не менше двох наборів, по черзі використовуваних зовнішніх носіїв резервних копій, які необхідно зберігати окремо або в сховище файлів, або після досягнення відповідної домовленості в іншому комп'ютерному центрі.

Перераховані пункти відносяться до вибору стратегії резервування функцій та інформації.

При виборі стратегії резервування необхідно оцінювати вимоги до системи в області підтримки її працездатності. Треба пам'ятати, що резервування функцій здорожує всю систему. Прагнення багаторазово і надійно резервувати функції системи вступає в протиріччя двох найважливіших інженерних принципам: по-перше, надійність системи обернено пропорційна кількості складових її компонент, по-друге, надійність системи не може бути вище, ніж у найменш надійного компонента.

В реальності СОіК ЯМ не вимагають таких жорстких нормативів. Галузевий стандарт встановлює максимальний час відновлення працездатності СОіК ЯМ – не більше 10 годин [3]. Підкреслюю, що цей норматив встановлюється для кожної конкретної підсистеми на стадії розробки комп'ютеризованої СОіК ЯМ.

Забезпечення комп'ютерної безпеки ІКС АЕС, а також розробка відповідної нормативної бази актуальні в багатьох країнах, в тому числі в Україні. З цією метою має бути проведено дослідження різноманітних аспектів комп'ютерної безпеки. Першим кроком в цьому напрямку стало вивчення можливих кібернетичних загроз.

Проведений аналіз видів кібернетичних загроз показує, що забезпечення комп'ютерної безпеки – складне комплексне завдання, при вирішенні якого треба враховувати безліч різноманітних факторів і різних видів комп'ютерних атак. Адекватні захисні заходи повинні охоплювати всі етапи життєвого циклу ІКС АЕС і передбачати комплекс організаційних, технічних і програмних засобів захисту.

Перелік посилань:

1. Computer security at nuclear facilities : reference manual : technical guidance. – Vienna : International Atomic Energy Agency, 2011. – (IAEA nuclear security series, ISSN 1816–9317; No. 17). – ISBN 978-92-0-120110-2.
2. Крючков Э.Ф. Основы учета, контроля и физической защиты ядерных материалов: учебное пособие / Э.Ф. Крючкова. – М.: МИФИ, 2007. – 544 с.
3. ДСТУ ІЕС 61513:2009. Атомні електростанції. Інформаційні та керуючі системи, важливі для безпеки. Загальні вимоги до систем (ІЕС 61513:2001, IDT). – К. : Держспоживстандарт України, 2014.

ПОДОЛАННЯ АВАРІЙНИХ ТА КРИЗОВИХ СИТУАЦІЙ ЗА ДОПОМОГОЮ РОБОТИЗОВАНИХ КОМПЛЕКСІВ

Мета даної створити захист роботизованих комплексів від іонізуючого випромінювання, задля можливості їх використання в місцях з підвищеним рівнем радіації, що забезпечує безпеку життя та здоров'я персоналу при подоланні аварійних та кризових ситуацій.

В джерелах [1, 2, 3] описано, що досвід подолання Чорнобильської та Фукусімської аварій показує, що використання людей для подолання наслідків аварії далеко не завжди доцільно, в зв'язку з високим рівнем радіації, яка негативно впливає на здоров'я персоналу. Тому доцільно використовувати роботизовані комплекси, які зможуть виконувати радіаційно небезпечні задачі.

Однією з найголовніших задач роботів при подоланні аварійних та кризових ситуацій пов'язаних з високим рівнем радіації є розвідка місцевості. На них встановлюють дозиметри, гамма-камери, датчики тиску, температури, вологості та інші. Іншою важливою задачею є розбір завалів для розчищення проходів від радіоактивних уламків.

Але всі ці роботизовані комплекси мають один спільний недолік. Це негативний вплив іонізуючого випромінювання на їх мікросхеми, які з часом виходять з ладу.

Мікросхеми чутливі до дії іонізуючої радіації. Радіаційні ефекти в проявляються як збої і відмови, які слід розділяти на два види: параметричні та функціональні.

До параметричних відносяться відмови, пов'язані зі зміною характеристик транзисторів. Параметричні відмови мають руйнівний характер і призводять до незворотних ефектів в структурі мікросхем. При застосуванні цифрових пристроїв в умовах важкої радіаційної обстановки використовують спеціальні мікросхеми, що мають підвищені характеристики захисту від радіації, а також різні конструктивні-технологічні методи, наприклад екранування.

До функціональним збоїв та відмов відносять такі події, які впливають або потенційно можуть вплинути на роботу окремого функціонального блоку або приладу в цілому. У багатьох випадках саме функціональні відмови визначають рівень радіаційної стійкості комерційних мікросхем. Це пов'язано з функціональною складністю мікросхем і різноманітністю блоків, що входять до її складу. Ці збої мають оборотний характер, тобто є можливість виправлення цієї помилки апаратно-програмними методами без відключення живлення мікросхеми.

Класифікувати різноманітні шляхи підвищення радіаційної стійкості мікросхем можливо за наступною схемою (Рис.1)



Рисунок 1 – Класифікація методів підвищення радіаційної стійкості

Метою даної роботи буде послабити вплив іонізуючого випромінювання шляхом створення захисного екрану, який планується виготовити з матеріалів, що застосовуються в аерокосмічній техніці [4], які захищають їх від сонячної радіації та використання органічних речовин таких як поліетилен [5], які добре поглинають радіацію. Окремо ці матеріали погано поглинають різноманітне іонізуюче випромінювання, тому захисний екран планується виготовити за багатошаровою схемою, щоб поступово змінювати енергію випромінювання і робити її більш піддатливою до поглинення. Екран планується зробити за наступною схемою: перший шар, де відбувається уповільнення швидких нейтронів, складається з елементів з малою атомною масою: води, парафіну, поліетилену, бетону, гідридів металів. Другий шар призначений для поглинання повільних нейтронів. Він включає в себе такі елементи, як бор, кадмій, гафній, європій. Процес поглинання супроводжується гамма-випромінюванням. І для його ослаблення передбачається третій шар, що складається з важких металів або еквівалентних їм матеріалів.

Перелік посилань:

1. Как роботы помогают ликвидировать последствия аварии на Фукусиме-1: веб-сайт.URL:<https://rb.ru/story/robot-fukushima/>.
2. Железная рота Фукусимы: веб-сайт.URL:<https://habr.com/ru/post/401239/>.
3. ЧАЭС: Робот и робототехника на ликвидации аварии: веб-сайт.URL:<http://chornobyl.in.ua/robot.html>.
4. Муллов К.Д. Воздействие космической радиации на цифровые устройства на базе ПЛИС и методы повышения радиационной стойкости данных систем. Труды МАИ. Выпуск № 87.
5. Новый материал для защиты космонавтов от радиации: веб-сайт.URL:<https://stimul.online/news/novyuy-material-dlya-zashchity-kosmonavtov-ot-radiatsii/>

МЕТОДОЛОГІЯ СВОЄЧАСНОГО ВИЯВЛЕННЯ ВНУТРІШНЬОГО ПРАВОПОРУШНИКА

Фізична ядерна безпека завжди була та залишається невід'ємною частиною Атомної енергетики, бо як відомо – ядерний матеріал може становити велику загрозу для людей, якщо потрапить не в ті руки.

За останні роки законодавча база фізичної ядерної безпеки доповнювалась та корегувалась безліч разів, дана необхідність виникала з ряду різних, будь-то політичних, економічних причин, та техногенних інновацій, теж саме стосується технічних посібників та посадових інструкцій представників фізичного захисту на АЕС [1]. Але так чи інакше, неможливо передбачити всі можливі варіанти розвитку подій, які можуть відбутися на об'єктах з ядерним матеріалом, наприклад: непередбачені аварії, акт правопорушення з метою крадіжки чи диверсії, витік важливої інформації, тощо. В кожній з цих подій найголовнішими пунктами від яких, здебільшого, залежить успіх усунення тієї чи іншої проблеми, будуть – людський фактор та час. Час – це особливо важливий ресурс у випадку, коли акт злочину був успішно завершений. Чим більше часу пройшло після злочину тим менші шанси спіймати злочинця(ів).

Головна мета даного методології своєчасного виявлення, полягає у створенні ефективного методу отримання критично важливої інформації по відношенню до ядерної та радіаційної безпеки під час спілкування з носієм, який має пряму або не пряму причетність до акту правопорушення на об'єкті з ЯМ, на основі криміналістичної теорії та практики, а також новітніх досягнень в галузі психології.

Методологічну основу даного дослідження формує загальні методи вербального та невербального контакту з носієм корисної інформації, такі як: спостереження, детального опису подій, порівняння, мімікрія та інші. Також в методиці дисертаційного дослідження будуть використовувались наукові методи криміналістично-психологічного аналізу носія: криміналістична діагностика поведінки, ситуалогії, моделювання, а також огляд криміналістичної та психо-аналітичної літератури, яка присвячена даній тематиці.

Важливо зазначити, що дана методика отримання інформації буде носити суттєво рекомендаційний характер, як можливість її застосування, а також побудована на основі процесу допиту під час розслідування, але до її складу не буде включатись ті окремі психологічні прийоми, які можуть перевищувати повноваження персоналу фізичного захисту на АЕС. Часткові вирішення цієї задачі були представленні в таких дисертаційних роботах як: «Криміналістичне моделювання невідомого злочинця за ознаками та властивостям які відображаються у злочині», Тимофіївна Г. В [2]. та «Антроподжерельна невербальна інформація в кримінальному поведженні», Вашук О. П [3].

Для більш зручного освоєння та використання даної методології [3, 4] основні психологічні прийоми будуть оформлені у вигляді схеми, приклад наведено на рисунку 1.

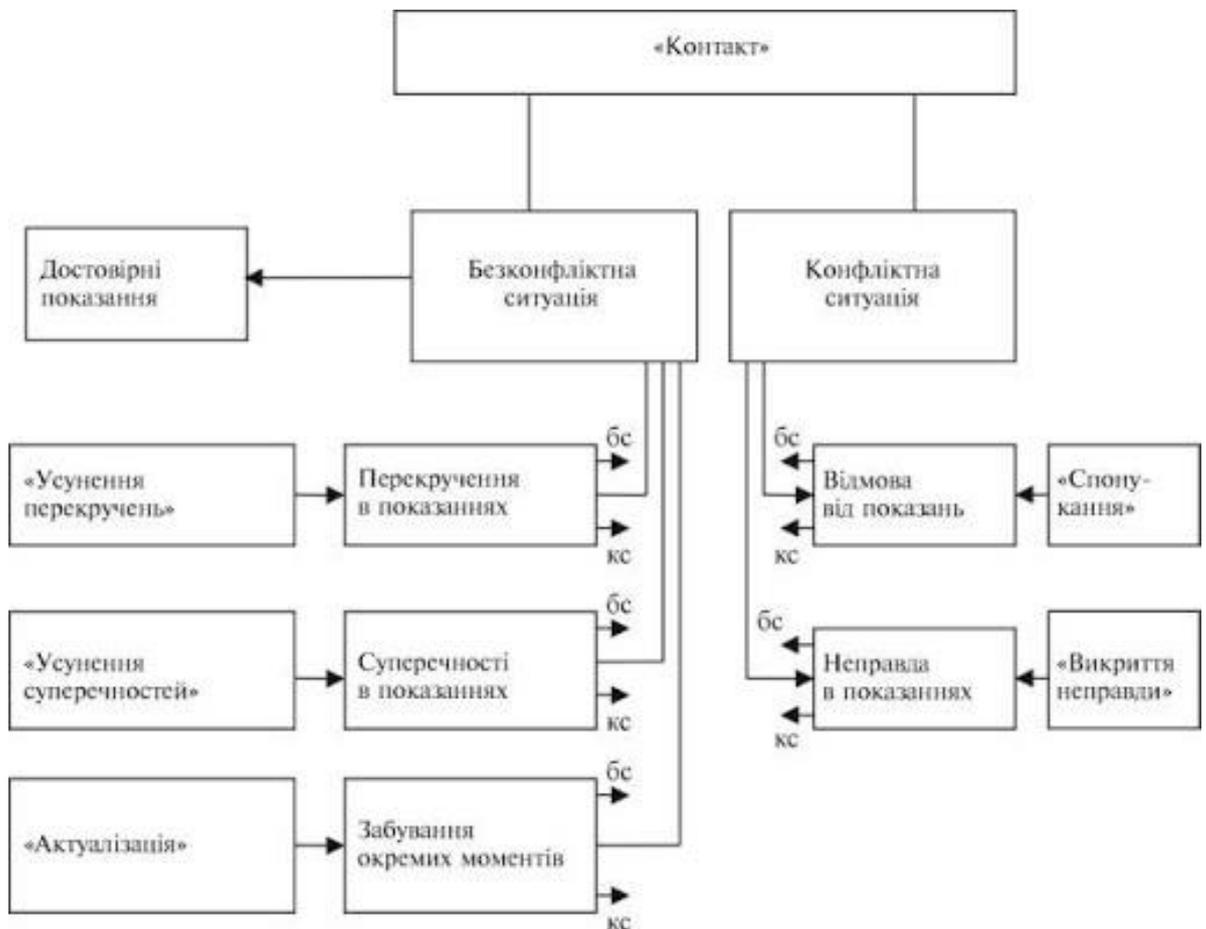


Рисунок 1 – План схема процесу отримання інформації

Завдяки даній методології загальна безпека на АЕС збільшиться у декілька разів, а час виявлення правопорушників зменшиться, що в свою чергу підвищить ефективність підрозділу з фізичного захисту.

Перелік посилань:

1. ЗАКОН УКРАЇНИ Про фізичний захист ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання [Електронний ресурс] // 2064-III. – 2001. – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2064-14#Text>.
2. Тимофеева А. В. «Криминалистическое моделирование неизвестного преступника по признакам и свойствам отображаемым в следах преступления»: дис. канд. юр. наук / Тимофеева Анна Васильевна – Челябинск, 2010. – 138 с.
3. ВАЦУК О. П. АНТРОПОДЖЕРЕЛЬНА НЕВЕРБАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ В КРИМІНАЛЬНОМУ ПРОВАДЖЕННІ: КРИМІНАЛІСТИЧНІ ЗАСАДИ : дис. докт. юр. наук / ВАЦУК ОЛЕСЯ ПЕТРІВНА – Одеса, 2018. – 145 с.
4. Джо Наварро, Марвин Карлинс. What Every Body is Saying / Я вижу о чем вы думаете / Джо Н. Марвин К. , 2010. – 336 с.
5. Роберт Чалдини. The Psychology of Persuasion / Психологія впливу / Роберт Ч. , 2017. – 352 с.

СИНЕРГІЯ КУЛЬТУРИ ЗАХИЩЕНОСТІ ТА КУЛЬТУРИ БЕЗПЕКИ

Забезпечення ядерної безпеки та ядерної захищеності є важливою та взаємодоповнюючою задачею, яка спрямована на досягнення безпеки ядерної установки або будь – якого об'єкту, де використовуються ядерні матеріали, радіоактивні матеріали, та інші джерела іонізуючого випромінювання. Ця сфера діяльності полягає у захисті людей навколишнього середовища від небезпечного рівня радіаційного впливу.

Під час розгляду питання синергії між ядерною безпекою та ядерної захищеністю [1] особливу увагу необхідно приділити виявленню точки де культура безпеки та культура захищеності входять в колізію та протирічать одна одній. Також важливим є питання виявленню інтерфейсу між двома сферами безпеки й визначенню загальних принципів розробки заходів ядерної безпеки та ядерної захищеності.

Об'єктом моєї роботи є вплив культури захищеності на фізичний захист ядерних установок та об'єктів, які в своїй роботі використовують ядерні матеріали, радіоактивні матеріали та інші джерела іонізуючого випромінювання. Предметом є вивчення методології та розробка процедури вдосконалення взаємозв'язку між культурою безпеки та культурою захищеності. Синергізм безпеки і фізичної безпеки охоплює, наприклад: регулюючу інфраструктуру; інженерно-технічні рішення при проектуванні і будівництві (спорудженні) ядерних об'єктів та інших об'єктів; заходи контролю за доступом до ядерних об'єктів та інших об'єктів; категоризацію радіоактивних джерел; розробку конструкцій джерел; забезпечення фізичної безпеки при поводженні з радіоактивними джерелами і радіоактивним матеріалом; плани аварійного реагування; і поводження з радіоактивними відходами.

Для більшого розуміння синергії між культурою безпекою і культурою захищеності приведемо визначення цих понять [2]:

– Синергізм (synergy) – спільна дія для досягнення загальної мети, заснована на принципі, що ціле представляє щось більше, ніж сума його частин. Синергізм означає перевищення сукупним результатом суми, що складають його чинники. Дане поняття також називається синергетичним ефектом (ефектом $2+2=5$).

– Культура безпеки – це такий набір характеристик та особливостей діяльності організацій і поведінки окремих осіб, який встановлює, що проблемам безпеки АЕС, як таким, що мають вищий пріоритет, приділяється увага, визначена їх значущістю.

– Культура захищеності – це характеристика діяльності організацій та поведінки окремих осіб, яка свідчить, що захищеності ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання приділяється увага з урахуванням значущості такої захищеності для забезпечення ядерної та радіаційної безпеки [3].

Будь – який вид діяльності потребує забезпечення безпеки, і для досягнення належного рівня застосовують прозорий і заснований на ймовірнісному підході аналіз питань безпеки. Фізична безпека залежить від багатьох факторів, забезпечення фізичної безпеки пов'язане із запобіганням зловмисних дій, визначення яких мають конфіденційний характер, і для їх вирішення застосовують висновки, засновані на оцінці загрози [4].

Ядерна безпека і ядерна захищеність найчастіше розглядаються окремо. Інтерфейс між ядерною безпекою і ядерною захищеністю обмежений тільки вимогою про відсутність негативного впливу заходів фізичного захисту на реалізацію дій, спрямованих на забезпечення ядерної безпеки, і навпаки. Згідно з рекомендаціями МАГАТЕ [5], кожна з областей безпеки повинна не тільки не перешкоджати забезпеченню іншій, але й взаємно

підсилювати ефект вжитих заходів. Потрібне забезпечення синергії в областях діяльності по забезпеченню ядерної безпеки і ядерної захищеності АЕС.

Для досягнення синергії культури захищеності та культури безпеки на ядерних установках та підприємствах, де використовуються ядерні матеріали, радіоактивні матеріали та інші джерела іонізуючого випромінювання, необхідно поставити задачі, вирішення яких приведе до усунення проблеми:

На першому кроці необхідно дослідити досвід країн світу у розвитку ядерної енергетики з питань культури захищеності та культури безпеки, проаналізувати законодавчі нормативно-правові аспекти, які існують у зарубіжних колег, та як юридичний аспект втілюється в працю на підприємствах.

Другим кроком є дослідження законодавчої бази України з питань культури безпеки та культури захищеності, пошук «слабких» місць в юридичному регулюванні, аналіз впровадження законів на підприємствах.

Третім кроком буде порівняльний аналіз зарубіжного досвіду з українським та винесення пропозицій для покращення ситуації в Україні.

На наступному етапі необхідно знайти місця, де культура захищеності та культура безпеки входять в колізію; розробити пропозиції щодо шляхів поліпшення якості порозуміння персоналом поняття культури захищеності та донесення різниці двох культур та їх синергії до персоналу.

Перелік посилань:

1. Dybach, O., Kuzmiak, I., & Kukhotsky, O. (2013). Синергія у сферах діяльності щодо забезпечення ядерної безпеки та ядерної захищеності АЕС. Ядерна та радіаційна безпека, (4(60), 38-41. Retrieved із <https://www.nuclear-journal.com/index.php/journal/article/view/456>
2. IAEA safety glossary // Terminology used in nuclear safety and radiation protection. — Vienna : IAEA, 2007.
3. Державна інспекція ядерного регулювання України. Наказ 25.07.2013 № 76. Про затвердження Порядку формування та розвитку культури захищеності ядерних установок та об'єктів, призначених для поводження з радіоактивними відходами, іншими джерелами іонізуючого випромінювання, та Інструкції з проведення оцінки стану культури захищеності ядерних установок, об'єктів, призначених для поводження з радіоактивними відходами, іншими джерелами іонізуючого випромінювання.
4. Закон України. Про фізичний захист ядерних установок ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання.
5. Improving The International System For Operating Experience Feedback // INSAG-23. — Vienna: IAEA, 2008.

Магістрант 5 курсу, гр. ТЗ-01мп Ковч Т.Д.
Асистент Остапенко І.А.

СТВОРЕННЯ КОМПЛЕКСУ ІНЖЕНЕРНО - ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ НА ГІПОТЕТИЧНІЙ УСТАНОВЦІ ОНКОДИСПАНСЕРУ

Сучасність розвивається таким чином, що міжнародне співтовариство вимушено приділяти все більше уваги питанням боротьби з ядерним тероризмом та посиленням заходів щодо фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання. На сьогодні Україна знаходиться у складних умовах соціально-економічних й політичних перетворень в країні, які пов'язані з агресією Росії на територіальну цілісність нашої держави та з вірогідними фактами, які можуть створити загрозу в області атомної енергетики України.

Але при цьому реальними можуть стати такі проблеми, як боротьба з ядерним шантажем і тероризмом, диверсіями на ядерних установках, запобігання несанкціонованих дій відносно ядерних матеріалів, радіаційних джерел і радіоактивних речовин. Тенденція в Україні направлена на зміцнення режиму фізичного захисту, обліку та контролю ядерних матеріалів, звернення до політики МАГАТЕ та інших міжнародних організацій з тим, щоб перейняти досвід та впровадити системи фізичного захисту з врахуванням рекомендацій МАГАТЕ.

Система фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання - це сукупність організаційно-правових та інженерно-технічних заходів, що здійснюються з метою створення умов, спрямованих на мінімізацію можливості вчинення диверсії, крадіжки, або будь-якого іншого неправомірного вилучення радіоактивних матеріалів та зміцнення режиму нерозповсюдження ядерної зброї [1].

Відповідно до чинного законодавства [1, 2, 3] об'єкт, що здійснює поводження з ДІВ має визначити систему фізичного захисту. Визначення системи фізичного захисту полягає у встановленні вихідних даних щодо [4]:

- завдань конкретної системи фізичного захисту;
- конфігурації системи;
- функцій підрозділу фізичного захисту та підрозділу з охорони;
- переліку та змісту процедур з фізичного захисту;
- критеріїв ефективності системи.

Після цього розроблений проект системи фізичного захисту ДІВ перевіряється ліцензіатом на відповідність технічному завданню і в разі його відповідності затверджується керівником відповідного підприємства, установи або організації, які здійснюють поводження з ДІВ. Затверджений проект надсилається Держатомрегулюванню України на державну експертизу. Державна експертиза проводиться Держатомрегулюванням України із залученням Служби безпеки України та центральних органів виконавчої влади, які здійснюють правоохоронну діяльність.

Створення системи фізичного захисту ДІВ ліцензіат розпочинає тільки після отримання позитивних висновків державної експертизи фізичного захисту.

Комплекс інженерно-технічних засобів (КІТЗ) системи фізичного захисту як складова частина системи фізичного захисту об'єкта. КІТЗ забезпечує максимально можливе зменшення людського фактору на ефективність виконання системою своїх завдань. Визначення системи фізичного захисту неможливе без визначення КІТЗ.

До складу КІТЗ входять:

- технічні засоби;
- центральний пульт фізичного захисту (ЦПФЗ);

– програмне забезпечення.

Метою роботи є розробка КІТЗ для гіпотетичного об'єкту «Онкодиспансер» (рисунок 1) з урахуванням вимог чинної нормативно-правової бази з фізичного захисту, обліку та контролю ядерних матеріалів, радіоактивних матеріалів та інших джерел іонізуючого випромінювання.

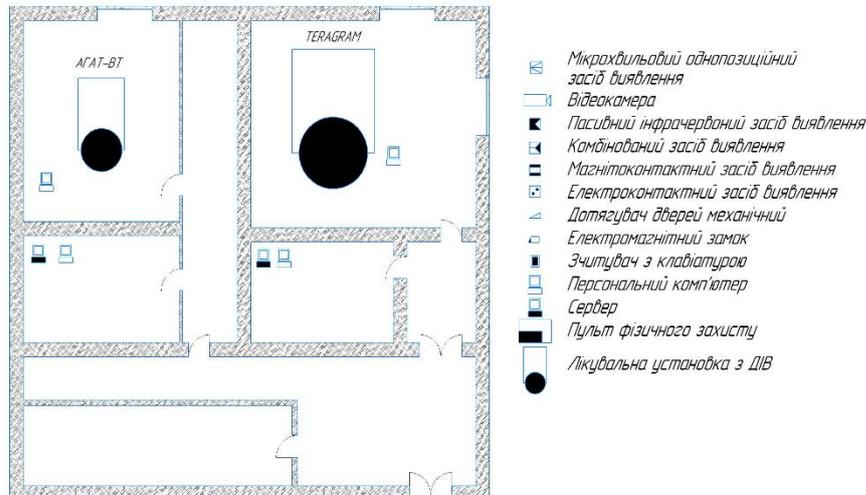


Рисунок 3.4 – Гіпотетичний онкодиспансер

Об'єктом роботи є захищеність гіпотетичного об'єкту, який здійснює поводження з ДІВ I-III категорії.

Предметом є комплекс інженерно-технічних заходів системи фізичного захисту.

Для успішного створення КІТЗ СФЗ гіпотетичного об'єкту «Онкодиспансер» мені необхідно виконати алгоритм дій.

По-перше необхідно дослідити нормативно-правову базу українського законодавства в області фізичного захисту, обліку та контролю ядерних матеріалів, радіоактивних матеріалів та інших джерел іонізуючого випромінювання та в правилах побудови КІТЗ для об'єктів, які здійснюють поводження з ДІВ I-III категорії.

По-друге необхідно розробити КІТЗ СФЗ гіпотетичного об'єкту: визначити типи, кількість та місця встановлення засобів виявлення, телевізійного спостереження та контролю і управління доступом.

Завершальним етапом буде проведення оцінки вразливості створеного комплексу інженерно-технічних засобів системи фізичного захисту.

Перелік посилань:

1. Про фізичний захист ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання: закон України від 19 жовтня 2000 р. №2064-III// Відомості Верховної Ради України. – 2001. N 1. Ст.1.

2. Конвенція про фізичний захист ядерного матеріалу та ядерних установок від 26 жовтня 1979 р. / Офіційний сайт Верховної Ради України. - [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/995_024.

3. Поправка до Конвенції про фізичний захист ядерного матеріалу від 08 липня 2008 р. / Офіційний сайт Верховної Ради України. - [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/951_013.

4. Про затвердження Порядку функціонування державної системи фізичного захисту: постанова Кабінету Міністрів України від 21 грудня 2011 р. №1337// Офіційний вісник України. – 2011. - №100 – стор.11 – Ст. 3661.

Магістрант 5 курсу, гр. ТЗ-01мп Колодійчук О.Л.
Асист. Серафим Р.І.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОЗРОБКИ МЕТОДИКИ ОЦІНКИ ВРАЗЛИВОСТІ ДЖЕРЕЛ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ МЕДИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Медицина – одна з найбільших галузей використання джерел іонізуючого випромінювання (ДІВ) в Україні. Згідно з [1] до 40% ліцензіатів у сфері використання ядерної енергії – заклади охорони здоров'я різних форм власності.

У 2020 році в Державному реєстрі ДІВ зареєстровано 450 радіонуклідних ДІВ, ввезено на територію України 117 радіонуклідних ДІВ, подовжено 1610 радіонуклідних джерел у встановленому законодавством порядку.

На сьогодні, згідно з даними Управління радіаційної безпеки Державної інспекції ядерного регулювання України, в медицині використовують 45 апаратів дистанційної гамма-терапії, 34 апарати брахіотерапії, 27 лінійних прискорювачів та 51 рентген-терапевтичний апарат. Більшість цих апаратів містять ДІВ I-II категорії (із Co-60 та Ir-192, що є джерелами γ -випромінювання).

Рівень небезпеки для людини від ДІВ I та II категорії дуже високий. Такі джерела за рахунок неналежного використання, зберігання чи протиправних дій можуть спричинити перманентну шкоду організму людини при контакті без необхідного захисту вже за кілька хвилин для ДІВ I категорії та від кількох хвилин до декількох годин для ДІВ II категорії. При перебуванні біля незахищеного джерела людина може отримати смертельні дози опромінення протягом часу від кількох хвилин до години для ДІВ I категорії, та від кількох годин до днів для ДІВ II категорії. Також ДІВ зазначених категорій несуть високу загрозу у разі їх диспергування.

Для ДІВ медичного призначення, які містять радіоактивні матеріали, створені документи лише у сфері радіаційної безпеки, в яких прописані вимоги до будівлі, правила поведінки з ними та умови нормальної експлуатації цих приладів, наприклад, у Правилах радіаційної безпеки використання джерел іонізуючого випромінювання в брахіотерапії [2] або Загальних правилах радіаційної безпеки використання джерел іонізуючого випромінювання у медицині [3].

Протиправні дії по відношенню до ДІВ медичного призначення можуть призвести до неприйнятних наслідків. Зокрема, при отриманні ефективної дози до 1 Зв спостерігаються зміни показників крові, від 1 до 2 Зв може виникнути гостра променева хвороба. Загроза життю виникає при отриманні ефективної дози близько 4 Зв і більше. До основних протиправних дій стосовно ДІВ відносяться: навмисні злочинні дії зовнішніх чи внутрішніх правопорушників, зокрема, крадіжка, також можуть бути допущені помилки персоналу через низький рівень культури безпеки на об'єкті, такі як одиночний пропуск алгоритму дії або одинична неправильна дія під час управління, ремонту або заміни обладнання з ДІВ.

ДІВ можуть бути використані правопорушниками для створення випромінювального пристрою чи «брудної» бомби. Зокрема, для великих ДІВ I категорії територія, яку потрібно буде очистити після вибуху може бути порядку квадратного кілометра і більше, а для ДІВ II категорії – до квадратного кілометра. Тому країни, в яких здійснюється діяльність з використанням ДІВ, повинні здійснювати оцінку потенційних загроз і вразливості ДІВ по відношенню до них, та, з урахуванням зазначеного, забезпечувати їх захищеність та збереження.

Для цього в державі необхідно створити дієву нормативно-правову базу з фізичного захисту ДІВ. Насамперед це повинні бути Правила фізичного захисту джерел іонізуючого випромінювання, в яких мають бути прописані вимоги до систем фізичного захисту ДІВ.

Крім того, необхідно оцінити рівень ефективності розробленої чи існуючої системи фізичного захисту ДІВ. Зважаючи на те, що на сьогодні в Україні розроблена методика оцінки вразливості тільки для ядерних установок і ядерних матеріалів [4], актуальним є питання розробки такої методики і для ДІВ, зокрема медичного призначення [5].

У роботі представлено результати оцінки стану нормативної бази України в частині вимог до ДІВ, визначено потенційні напрямки її розвитку та вдосконалення, встановлено напрямки розробки методики для оцінки ефективності системи фізичного захисту ДІВ.

Перелік посилань:

1. Доповідь про стан ядерної та радіаційної безпеки в Україні у 2018 році [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.snrc.gov.ua/nuclear/doccatalog/document?id=425406>.

2. Правила радіаційної безпеки використання джерел іонізуючого випромінювання в брахітерапії: затв. наказом Державної інспекції ядерного регулювання України та Міністерства охорони здоров'я України від 31.08.2017 № 316/998. Офіційний вісник України. 2017. № 94. С. 134.

3. Загальні правила радіаційної безпеки використання джерел іонізуючого випромінювання у медицині: затв. наказом Державної інспекції ядерного регулювання України та Міністерства охорони здоров'я України від 16.02.2017 № 51/151. Офіційний вісник України. 2017. № 45. С. 218.

4. Порядок проведення оцінки вразливості ядерних установок та ядерних матеріалів: затв. наказом Державного комітету ядерного регулювання України від 30.11.2010 № 169. Офіційний вісник України. 2011. № 100. С. 165.

5. Категоризация радиоактивных источников. Серия норм МАГАТЭ по безопасности № RS-G-1.9. Вена, 2005.

ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ОЦІНКИ ІМОВІРНОСТІ НЕЙТРАЛІЗАЦІЇ ПРАВОПОРУШНИКА

АЕС належать до об'єктів критичної інфраструктури та є стратегічно важливими для економіки країни. Експлуатація АЕС пов'язана із застосуванням ядерних та радіоактивних матеріалів, використання яких у злочинних цілях може створити загрозу для здоров'я людей, екології, а також суспільства загалом. З огляду на це важливо забезпечити ефективне функціонування системи фізичного захисту на зазначених об'єктах, що у свою чергу потребує якісної та всеосяжної оцінки вразливості її складових з метою виявлення та усунення недоліків для кожного з елементів: стримування, затримки, виявлення та реагування.

У разі вчинення атаки правопорушником на об'єкт, після здійснення переривання його дій в процесі реагування, ключовим елементом є здійснення успішної та ефективної нейтралізації для запобігання досягнення правопорушником своїх цілей [1, 2]. Нейтралізація правопорушника полягає у реалізації сукупності дій системи фізичного захисту щодо правопорушника, в результаті яких він втрачає можливість досягти своєї мети.

Ефективність проведення дій з нейтралізації залежать в тому числі й від якості та повноти аналізу процесу нейтралізації під час оцінки вразливості системи фізичного захисту, однією зі складових якого є визначення імовірності нейтралізації правопорушника (P_N). Згідно з "Порядком проведення оцінки вразливості ядерних установок та ядерних матеріалів" [3], імовірність нейтралізації (P_N) залежить від: чисельності озброєння та оснащення правопорушників, характеристики які визначені в сценарії їх дій; рівня підготовки правопорушників, наявності змови з внутрішніми правопорушниками; чисельності та рівня підготовки сил реагування; адекватності озброєння та оснащення сил реагування озброєнню та оснащенню правопорушників; ймовірності оповіщення сил реагування; часу розгортання сил реагування після їх оповіщення про тривогу. При визначенні імовірності нейтралізації враховується коефіцієнт V , який залежить від співвідношення чисельності сил реагування та чисельності правопорушників.

Наведений підхід може бути деталізований з урахуванням низки існуючих підходів основні з яких включають використання [1]:

- експертних оцінок;
- законів Ланчестера;
- методу Монте-Карло;
- ланцюгів Маркова;
- комп'ютерної симуляції бою.

Метод експертних оцінок – даний метод передбачає залучення відповідних експертів для оцінки ефективності сил реагування. Самі експерти мають відповідний досвід і можуть оцінити ефективність сил реагування у відношенні до правопорушників із заданими характеристиками.

Закони Ланчестера представляють системи диференціальних рівнянь, що описують втрати протидіючих сторін з плином часу [4]. Вони знайшли широке застосування при моделювання бойових зіткнень.

Метод Монте-Карло – загальна назва групи числових методів, заснованих на

одержанні великої кількості реалізацій стохастичного (випадкового) процесу, який формується у той спосіб, щоб його імовірнісні характеристики збігалися з аналогічними величинами задачі, яку потрібно розв'язати [5].

Ланцюги Маркова є одним із найрозповсюдженіших методів математичного моделювання реальних систем і процесів завдяки простоті представлення даних (у вигляді матриці перехідних імовірностей) і легкості їх обробки [6].

Комп'ютерна симуляція – підхід відповідно до якого у програмному середовищі з використанням описаних вище методів кількісної оцінки здійснюється моделювання бойових зіткнень з метою їх оцінки та подальшого аналізу.

В роботі наведено результати аналізу існуючих методів оцінки імовірності нейтралізації та визначено шляхи з вдосконалення підходу, що наразі встановлено у "Порядку проведення оцінки вразливості ядерних установок та ядерних матеріалів" [3].

Перелік посилань:

1. Можливості використання експертних методів та систем для вирішення задач екологічної безпеки в зонах впливу АЕС. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/140450/01-Porov.pdf?sequence=1>.
2. Облік та контроль ядерного матеріалу, фізичний захист ядерного матеріалу і ядерних установок. Тлумачний словник українських термінів. Словники термінів: українсько-англо-російський, русско-українсько-англійський, english-russian-ukrainian НП 306.7.086- [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0101578-04#Text>.
3. Наказ №169 ДКЯРУ про затвердження "Порядку проведення оцінки вразливості ядерних установок та ядерних матеріалів" [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1309-10#Text>.
4. Законы Ланчестера. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://3mer.livejournal.com/327744.html>.
5. Метод Монте-Карло и его точность [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://habr.com/ru/post/274975/>.
6. Методи визначення метастабільних станів у ланцюгах Маркова. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://mmsa.kpi.ua/sites/default/files/abstracts/2016_b_sa_matsahor_id_uk_presentation.pdf.

Магістрант 5 курсу, гр. ТЗ-01мп Різниченко А.С.
Доц., к.т.н. Клевцов С.В.

ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ФІЗИЧНОГО ЗАХИСТУ ЯДЕРНОЇ УСТАНОВКИ ЗА РАХУНОК ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ МАРШРУТИЗАЦІЇ ПЕРСОНАЛУ

Метою даної роботи є підвищення рівня фізичного захисту ядерної установки, задля попередження можливих протиправних дій внутрішніх правопорушників.

Як показує практика експлуатації ядерного об'єкта, людський фактор є невід'ємною частиною, яку потрібно при плануванні фізичного захисту ядерної установки. У фіззахисті прийнято виділяти два типи правопорушників – зовнішній та внутрішній. Протидія зовнішньому правопорушнику виконується на високому рівні, згідно діючого законодавства. Головною проблемою СФЗ ЯУ, на даний момент, вважається запобігання злочинних дій з боку внутрішнього правопорушника.

Для попередження протиправних дій чи у випадку, коли необхідно виявити причетних людей до скоєного злочину, ефективним заходом може бути впровадження системи маршрутизації персоналу ЯУ.

Оперуючи тим, що на законодавчому рівні було вказано на впровадження системи маршрутизації необхідної для високоякісної СФЗ ядерної установки, було прийнято рішення проаналізувати та зіставити наявні ефективні системи маршрутизації персоналу.

На даний момент, існує велика кількість таких систем маршрутизації, а в даній роботі будуть розглянуті системи, що використовують наступні технології:

- «Безконтактні смарт-картки»;
- Камери з системою розпізнавання обличь;
- RFID-браслети.

Розглянемо кожну з технологій більш детально.

«Безконтактні смарт-картки»

Це смарт-карти, які використовують радіочастоту (RFID) для передачі даних між картою і зчитувачем без фізичного контакту чіпу карти і зчитувача.

В основі будь-якої безконтактної карти лежить елемент, що і у найпростішого детекторного приймача - коливальний контур, базовими компонентами якого є конденсатор і котушка індуктивності.

Зчитувач випромінює змінне електромагнітне поле стандартної частоти, що збуджує змінний електричний струм в котушці індуктивності і в коливальному контурі карти. Цей струм перетвориться в постійний і заряджає конденсатор достатньої ємності, який живить чіп. Обмін інформацією між картою і зчитувачем здійснюється через цю ж котушку за допомогою модуляції коливальних електромагнітного поля пристрою.

У найпростішому випадку карта циклічно безперервно передає тільки свій унікальний номер. У більш складних системах відбувається двосторонній обмін інформацією за принципом запит-відповідь. Часто карти мають невелику флеш-пам'яттю і можуть запам'ятовувати певний обсяг інформації, наприклад, змінювати стан лічильника або зберігати довільне число [1].

Данні карти мають основні три типи, в залежності від того, на якій частоті працюють, а саме – низькочастотні (125 кГц), високочастотні (13,56 МГц і відповідають стандарту ISO 18000-3 [2]), та картки надвисоких частот (433 МГц – 2,4 ГГц). В даній роботі розглядаються високочастотні картки, що відповідають стандарту ISO 18000-3.

Камери з системою розпізнавання обличь

Розпізнавання осіб - це одні з найбільш перспективних методів біометричної безконтактної ідентифікації людини по обличчю.

Система розпізнавання – процес зіставлення осіб, які потрапили в об'єктив камери з базою даних раніше збережених і ідентифікованих зображень осіб еталонів.

За структурною реалізацією системи розпізнавання осіб можна виділити три найпоширеніші схеми.

1. Аналіз відеопотоку на сервері

Найбільш поширена схема реалізації - IP-камера передає відеопотік на сервер, де спеціалізоване програмне забезпечення виконує аналіз відеопотоку і порівняння отриманих зображень осіб, з базою осіб еталонів.

2. Аналіз відеопотоку на IP-камері

В даному випадку аналіз зображення буде проводиться на самій камері, а на сервер будуть передаватися оброблені метадані.

3. Аналіз відеопотоку на пристрої контролю доступу.

На відміну від перших двох схем де використовуються IP-камери, в даному випадку камера вбудована в пристрій контролю доступу, яке крім розпізнавання особи яке відбувається на пристрої, виконує функції управління доступом через турнікет або електрозамок встановлений на двері. База даних осіб еталонів зберігається на пристрої, і як правило вже не у вигляді фотозображень.

RFID-браслети

Така конструкція була вперше застосована на початку 90-х років австрійською фірмою SkiDada і спочатку використовувалася в якості пропуску на гірськолижні траси. Протягом деякого часу подібні транспондери набули широкого поширення, і перш за все в системах контролю доступу та платіжно-пропускних системах.

Усередині такого браслета знаходиться тонка плата, на поверхні якої розташовані доріжки, що утворюють рамкову антену з невеликим числом витків.

Для того щоб забезпечити найбільшу дальність дії, необхідно використовувати антену якомога більшої площі, тому вона займає майже весь обсяг всередині корпусу [3].

Передача даних в цих браслетах ідентична тій, що використовується у безконтактних картках, а отже й відповідає вище зазначеним стандартам ISO.

Подальше дослідження буде направлено на порівняння характеристик систем маршрутизації персоналу, оснований на розглянутих вище технологіях, в умовах ядерної установки, із врахуванням довгострокової їх експлуатації в СФЗ об'єкту, з метою визначення оптимальної технології та ефективність введення даної системи.

Перелік посилань:

1. Смарт-карты: самое подробное руководство по выбору: веб-сайт. URL: <https://securityrussia.com/blog/smart-karty.html>;
 2. Информационные технологии – Радиочастотная идентификация для управления предметами – Часть 3: Параметры радиointерфейса для связи на частоте 13,56 МГц. Доступ к документу: <http://www.gpntb.ru/rfid/pdf-doc/1.pdf>;
 3. Технология распознавания лиц от «А» до «Я»: веб-сайт. URL: <https://securityrussia.com/blog/face-recognition.html#1>;
- RFID метки – ультимативный гайд по выбору: веб-сайт. URL: <https://securityrussia.com/blog/rfid-metki.html>.

ПЕРЕВАГИ І НЕДОЛІКИ РУЙНІВНОГО АНАЛІЗУ ЯДЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ

Руйнівний аналіз (РА) характеризується високою точністю результатів, що дуже важливо з точки зору системи технологічних вимірювань. Однак виконання такого аналізу досить тривала та дорога процедура. До того ж аналіз зразків ЯМ пов'язаний з проблемою їх показності [1].

Зазвичай руйнівний аналіз включає в себе етапи відбору проби, хімічна підготовка зразків і самі вимірювання. Контрольовані матеріали можуть перебувати як в штучних одиницях (облікові одиниці), так і в балк-формі. Результати руйнівного аналізу відрізняються, як правило, більш високою точністю, ніж при неруйнівних вимірах. Однак трудомісткість і вартість РА вище, ніж неруйнівних аналізах.

Руйнівний аналіз проводять в наступних випадках

- Для перевірки результатів неруйнівних вимірювань;
- Для проведення особливо важливих контрольних вимірювань;
- Для атестації еталонів.

Такий аналіз полягає у визначенні характеристик матеріалу шляхом взяття і подальшого аналізу його проби. Таким чином, цей вид вимірювань передбачає безпосередній доступ до матеріалу. Такі методи є основними для облікових вимірювань плутонію і урану на ядерних установках. РА дозволяє визначити концентрацію елемента або його ізотопний склад з високою точністю.

Методи РА широко використовуються на заводах з виробництва гексафториду урану (UF₆), поділу ізотопів урану, по виготовленню ядерного палива. На радіохімічних заводах за допомогою РА визначають концентрації урану і плутонію в проміжних технологічних середовищах, кінцевих продуктах (регенеровані уран і плутоній) і відходах.

Одна з основних процедур РА - відбір проб. Проблема в цій процедурі полягає в тому, щоб проба характеризувала об'єкт як ціле. Здійснити відбір проб з рідин і газів не представляє великих труднощів, потрібно лише хороше перемішування. Відбір зразкових проб для твердих і сипучих матеріалів є більш складною справою. Це пов'язано з тим, що з твердого матеріалу, що містить ЯМ, пробу треба висвердлювати, а матеріал може бути неоднорідними. Сипучі матеріали можуть бути погано перемішані, неоднорідне містити вологу всередині себе і т. д. Для таких матеріалів проби контролюються розподілом точок відбору.

Серед методів руйнівного аналізу розглянемо такі методи [2]:

– Мас-спектрометричні методи визначення ізотопного складу урану і плутонію. Середня точність вимірювань ~ 0,1% (підвищена похибка для U²³⁴ і U²³⁶). В рамках цих методів РА отримують іони, які поділяють в електромагнітних полях, ставлення заряду до маси у них по-різному. Мас-спектрометричні методи застосовуються до матеріалів в різних формах оксиди урану і плутонію; метали; нітратні розчини; паливні матеріали і інші. Використання того чи іншого приладу: залежить від агрегатного стану досліджуваного матеріалу. Для газової форми використовують газові мас спектрометри, наприклад марки MI-12-01-AG (Сумське виробниче об'єднання). Для твердої фази використовують термодіфузійні мас-спектрометри, наприклад, марки FINNIGANMAT262

– Титриметричні методи. Основа - використання реакцій окислення-відновлення урану і плутонію. У процесі титрування по ЕРС визначають точку еквівалентності, де кількість грам-еквівалентів титрату дорівнює числу грам-еквівалентів речовини. Широко використовується титриметричним методом Девіса-Грея. Відповідна автоматична система Девіса-Грея дозволяє отримати результат з точністю ~ 0,3% за 10 ...

20 хв.

– Гравіметричний метод характеризується високою точністю і достовірністю результатів. Він полягає у вимірюванні маси чистого речовини відомого складу, отриманого з проби осадженням. Метод використовують для визначення урану в сплавах, окислах, солях, розчинах. Осадження урану від домішок - найскладніша процедура в методі. Зважування чистого речовини здійснюють на електронних вагах. Похибка вимірювань $\sim 0,05\%$.

За допомогою неруйнівного контролю можна проводити аналіз об'єктів не тільки при їх здачі в експлуатацію або випуску продукції. Традиційно часто практикується ще один спосіб (скоріше навіть «режим») застосування приладів неруйнівного контролю - безперервний контроль. Зокрема, це стосується трубопроводів на АЕС та інших об'єктів.

Перелік посилань:

1. Основы учета, контроля и физической защиты ядерных материалов. – учебное пособие/ под ред. Э.Ф. Крючкова. – М., МИФИ, 2007, 543 с.
2. [1977] Абрамов А.И., Казанский Ю.А., Матусевич Е.С. - Основы экспериментальных методов ядерной физики - 2-е, перер. и доп. - М.: Атомиздат, 1977. - 528 с.

СЕКЦІЯ №3

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

Мол. вчений Бехмард Г.
Проф., д.т.н. Кравець В.Ю.

ТЕПЛОПЕРЕДАЮЧІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МІНІАТЮРНИХ ДВОФАЗНИХ ТЕРМОСИФОНІВ

Сучасна тенденція зменшення масо габаритних характеристик радіоелектронного обладнання з одночасним підвищенням теплових потоків, що виділяються, призводить до необхідності вдосконалення і мініатюризації систем охолодження з підвищеними теплопередаючих характеристик. Одним з важливих вимог до таких систем є здатність передавати значні питомі навантаження при одночасному забезпеченні заданих робочих температур елементів приладового обладнання. Застосування для відводу теплоти пристроїв, в основі яких використовується випарно-конденсаційний цикл, дозволив певною мірою вирішити цю проблему. Ще одним з важливих чинників є простота виготовлення. Всім цим якостям відповідають двофазні термосифони, які успішно використовуються в різних областях техніки, і мають переваги в порівнянні з іншими видами елементів систем охолодження [1, 2]. Еквівалентна теплопровідність термосифонів $\lambda_{\text{екв}}$ в залежності від габаритів і виду теплоносія може перевищувати 100000 Вт/м К, що на три порядки вище існуючих найтеплопровідніших матеріалів (мідь, срібло, алмаз вздовж оптичної осі). Однак складність процесів, що відбуваються при передачі теплоти всередині термосифонів (кипіння, конденсація, переміщення пари і рідини), а особливо в мініатюрних термосифонах (вплив обмежених умов) не дозволяє аналітично вирішити задачу визначення їх основних теплопередаючих характеристик, до яких відносяться крім мінімального термічного опору R_{min} і максимального теплового потоку Q_{max} і еквівалентна теплопровідність $\lambda_{\text{екв}}$.

Вплив різних факторів на ці показники широко розглядався в літературі [1, 3, 4, 5], однак систематизація даних поки відсутня. Крім всіх інших факторів в мініатюрних термосифонах на процеси передачі теплоти впливають їх геометричні характеристики. Перш за все, це внутрішній діаметр парового простору, зниження якого призводить до зростання впливу капілярних сил і сил поверхневого натягу на процеси пароутворення, гідродинаміки руху двофазного потоку і конденсації [5]. Критерієм, що характеризує взаємодію сил поверхневого натягу з гравітаційними силами, може служити число Бонда ($Bo = d_{nn}/l_k$, де d_{nn} – діаметр парового простору, а l_k – капілярна стала Лапласа) [1].

У цьому дослідженні представлено вплив діаметра парового простору d_{nn} на $\lambda_{\text{екв}}$. Були обрані термосифони з внутрішніми діаметрами $d_{nn} = 3 \cdot 10^{-3}\text{м}$; $5 \cdot 10^{-3}\text{м}$ і $9 \cdot 10^{-3}\text{м}$, довжиною 0,7м. В якості теплоносія використовувалися: вода, метанол і фреон113. Довжина зон нагріву і конденсації була 0,2м. Коефіцієнт заповнення K_z , рівний відношенню об'єму, займаного теплоносієм V_p до об'єму всієї зони нагріву V_{zn} , змінювався від $0,44 \pm 0,03$ до $1,93 \pm 0,03$. Відведення теплоти від зони конденсації здійснювалося водою з температурою 20°C і постійною витратою $4,9 \cdot 10^{-3}\text{кг/с}$. Розташування в просторі - вертикальне по силам тяжіння.

Для кожного термосифона зі зростанням теплового навантаження значення $\lambda_{\text{екв}}$ монотонно збільшуються до деякого максимального значення, яке відповідає максимальному тепловому потоку. Розшарування кривих на рис.1 в основному пов'язано з впливом діаметра парового простору, а величина $\lambda_{\text{екв}}$ приблизно знаходиться на одному рівні. Для термосифона з $d_{nn} = 5 \cdot 10^{-3}\text{м}$ і приблизно однаковим значенням K_z від теплоносія впливає тільки на величину $\lambda_{\text{екв}}$ (рис.2). Дані по $\lambda_{\text{екв}}$ пропорційні $Q^{0.85}$.

Аналіз експериментальних даних показав, що існує залежність: $\lambda_{\text{екв}} = f(\text{Re}; Bo; K_z)$, де $\text{Re} = Wd_{\text{пп}} / \nu$ - число Рейнольдса; (W - швидкість руху пари, м/с;

ν - кінематична в'язкість пари, $\text{м}^2/\text{с}$). Дані для термосифонів з $d_{nn} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ в діапазоні K_3 від 0,44 до 1,93 узагальнюються залежністю (рис. 3):

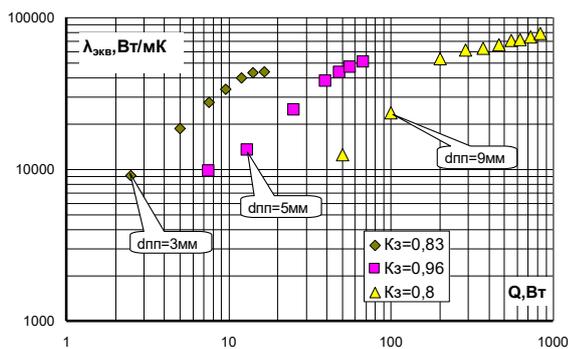


Рисунок 1 - Вплив d_{nn} на величину $\lambda_{екв}$ (теплоносій- вода)

$$\lambda_{екв} = 1,4 \cdot 10^3 \frac{Re^{0.7} K_3^{1.1}}{Bo^2} \quad (1)$$

яка справедлива при $Re \leq 1000$.

При $Re \geq 1000$ дані узагальнюються залежністю:

$$\lambda_{екв} = 6,2 \cdot 10^4 \frac{Re^{0.2} K_3^{1.1}}{Bo^2} \quad (2)$$

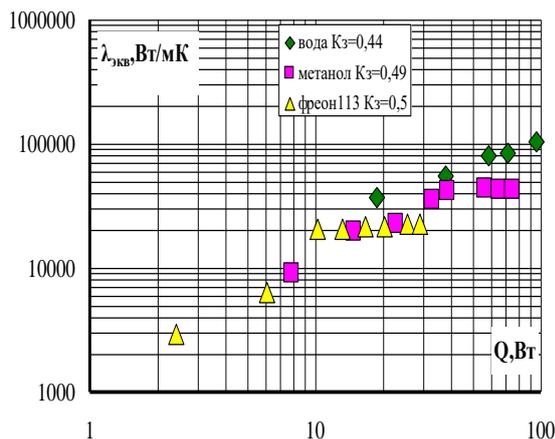


Рисунок 2 - Вплив виду теплоносія на величину еквівалентної теплопровідності $\lambda_{екв}$ ($d_{nn} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$)

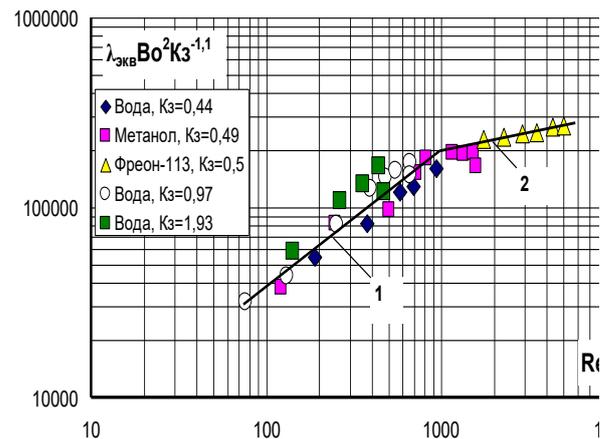


Рисунок 3 - Узагальнення експериментальних даних для термосифона з внутрішнім діаметром $d_{nn} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$

Залежності (1) і (2) справедливі в діапазоні чисел Bo від 1 до 4 і вибраних геометричних розмірів термосифонів, для теплоносіїв вода, метанол і фреон-113. Таким чином, дослідження показало, що еквівалентну теплопровідність мініатюрних термосифонів можна розрахувати по залежностям (1) і (2).

Перелік посилань

1. Безродный М.К., Пиоро И.Л., Костюк Т.О. Процессы переноса в двухфазных термосифонных системах. Теория и практика. К: Факт, 2005. 704 с.
2. Гершуні О.Н., Ніщік О.П., Письменний Є.М. Випаровувально-конденсаційні системи теплопередачі для ядерних енергетичних технологій. К.: Альтерпрес, 2007. 236 с.
3. Khazaei I., Hosseini R., Noie S.H. Experimental investigation of effective parameters and correlation of geyser boiling in a two-phase closed thermosyphon. *Applied Thermal Engineering*. 2010. Vol.30. № 5. p.406 – 412.
4. Семена М.Г., Жук С.К. Исследование процессов гидродинамики фаз в бесфитильных тепловых трубах на воде. *Теплоэнергетика*. 1976. №3. с. 82 – 84.
5. Кравец В.Ю., Коньшин В.И., Ванеева Н.С. Интенсивность теплоотдачи в зоне испарения двухфазных термосифонов. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2014. Вып. 2/5(68), с.45-50.

Postgraduate Mane K.
 Assist., cand.eng.sc. Alekseik Y.

INFLUENCE OF PHP CHANNEL DESIGN ON START-UP AND GRAVITY: A REVIEW

Pulsating heat pipe (PHP), a novel idea proposed by Akachi [1] in 1990, seems to fulfil all existing cooling requirements. Unlike conventional heat pipes, pulsating heat pipe have got simple structure and are completely free from the wick, which provides an advantage over the manufacturing aspect of it. PHP is made of a long capillary tube, which is bent into many turns. Key benefits of PHP are, its quick-thermal response, compact size, and simple construction. However, one downside of PHP is that it does not function effectively at all orientations. In order to increase its prospects in space applications many researchers investigated the impact of major parameters on PHP thermal performance. Out of all major parameters such as inner diameter, number of turns, cross section, working fluid, channel design, filling ratio (FR), heat input, and orientation, in this paper impact of channel design on PHP thermal performance is reviewed in terms of start-up and gravity influence.

The use of uneven capillary forces was initially attempted experimentally to improve flow circulation, and ultimately to increase heat transfer with the aid of channel diameter variation [2]. Investigation by Chien et al. [3] found that when square channels of alternate sizes were used in PHP instead of a uniform square channel structure, the PHP framework could work in a horizontal position. In support of these results Tseng et al. [4] came out with a strategy to make closed loop PHP in horizontal operation. Comparative analysis was conducted between standard tube diameter and alternative tube diameter (alternative tubes were flattened to oval shape with a 1.5 mm minor diameter). When operated in horizontal operation, the alternate channel layout can be initiated at a fairly low heat input and also resulted in much lower thermal resistance compared to the uniform. Sedighi et al. [5], recently fabricated PHP with an additional branch (AB-PHP; Fig. 1(a)) on pyrex glass and compared it to standard flat plate PHP (FP-PHP). As a result of the extra branches, thermal resistance decreased by 11% to 20% at different FRs, and flow circulation improved.

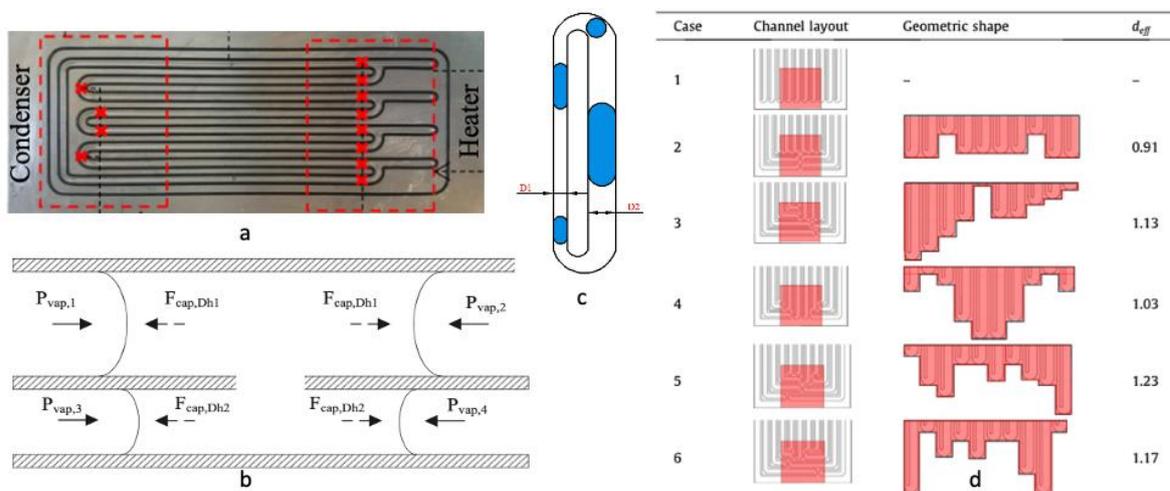


Figure 1 - Different channel design configurations ((a) [5] (b) [6] (c) [7] (d) [8])

Even after using many turns and geometric modifications, the PHP device can operate horizontally but fails to work in top heated position. To refine this problem, Tseng et al. [6] suggested a novel design using a mix of alternate double-pipe tube diameters with extra open

connections between the dual pipe, as shown in the Fig. 1(b). This novel design could allow PHP to operate in both top and bottom heated positions by adding an "extra unbalanced pressure force" for fluid circulation. When the findings of this new design were compared to those of Tseng et al. [4], it was found that thermal resistance was reduced to 0.0729 K/W, as opposed to 0.17 K/W with standard CLPHP. The use of asymmetric PHP like one shown in Fig. 1(c) showed 45% decrease in thermal resistance compared to symmetric PHP. Although the PHP model tested by Kwon and Kim [7] was verified for one turn, but it was confirmed that increase in the number of turns could allow asymmetric PHP work without gravity influence. Therefore, it was clearly stated that even in the case of horizontal operation, the use of non-uniformity in the channel layout could improve flow circulation. So in order to measure the effect of channel layout on thermal performance, the concept of effective dissimilarity as shown in Fig. 1(d) was first introduced recently by Lim and Kim [8] and experimented micro pulsating heat pipe with HFE-7000 as a working fluid (50% FR) at various values of effective dissimilarity. Effective dissimilarity is a ratio between how far the channel layout differs from the uniformly organized channel layout to how far it differs from the decreasing channel layout. The channel with maximum effective dissimilarity reported 32% higher thermal conductance than channel with minimum effective dissimilarity in horizontal operation.

Gravity has a significant impact on PHP's heat transfer efficiency. According to current studies, reducing the inner diameter, increasing the amount of turns, configuring PHP channels in three dimensions and applying of different channel design configuration to create extra unbalanced pressure forces inside the channels can be effective ways to reduce gravity's impact. Recent research on novel channel design suggests that it has a lot of potential towards operating PHP in any orientation with less start-up time, but further testing is required in terms of PHP design effects, along with all other important parameters, in order to run PHP independent of gravity.

References:

- 1 Structure of a Heat Pipe: pat. #4,921,041 U.S.A.: F28D 15/02, Hisateru Akachi; appl. No.: 207,318; filed: 15.06.88, date: 1.05.90. 29 p.
- 2 Liu S, Li J, Dong X, Chen H. Experimental study of flow patterns and improved configurations for pulsating heat pipes. *J Therm Sci.* 2007. Vol. 16. Iss. 1 P. 56–62.
- 3 Chien K-H, Lin Y-T, Chen Y-R, Yang K-S, Wang C-C. A novel design of pulsating heat pipe with fewer turns applicable to all orientations. *Int J Heat Mass Transf* 2012. Vol. 55. P. 722–5728.
- 4 Tseng C-Y, Yang K-S, Chien K-H, Jeng M-S, Wang C-C. Investigation of the performance of pulsating heat pipe subject to uniform/alternating tube diameters. *Exp Therm Fluid Sci.* 2014. Vol. 54. P. 85–92.
- 5 Sedighi E, Amarloo A, Shafii B. Numerical and experimental investigation of flat-plate pulsating heat pipes with extra branches in the evaporator section. *Int J Heat Mass Transf.* 2018. Vol. 126. P. 431–441.
- 6 Tseng C-Y, Yang K-S, Chien K-H, Wu S-K, Wang C-C. A novel double pipe pulsating heat pipe design to tackle inverted heat source arrangement. *Appl Therm Eng.* 2016. Vol. 106. P. 697–701.
- 7 Kwon G-H, Kim S-J. Operational characteristics of pulsating heat pipes with a dual-diameter tube. *Int J Heat Mass Transf.* 2014. Vol. 75. P. 184–95.
- 8 Lim J, Kim S-J. Effect of a channel layout on the thermal performance of a flat plate micro pulsating heat pipe under the local heating condition. *Int J Heat Mass Transf.* 2019. Vol. 137. P. 1232–1240.

Мол. вчений, к.т.н. Козак Д.В.
Пр. н. спів., д.т.н. Ніколаєнко Ю.Є.

ВИЗНАЧЕННЯ ВНУТРІШНЬОГО ДІАМЕТРУ ПУЛЬСАЦІЙНИХ ТЕПЛОВИХ ТРУБ З НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНИМИ ТЕПЛОНОСІЯМИ

Для підвищення ефективності охолодження потужних електронних компонентів приймально-передавальних модулів антенних систем радіолокаційних станцій в [1] запропоновано використовувати пульсаційні теплові труби (ПТТ). Оскільки діапазон температур експлуатації радіолокаційних станцій може бути дуже широким, наприклад, від $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$, то для ПТТ приймально-передавальних модулів необхідно обирати теплоносії з низькою температурою плавлення. Такими теплоносіями можуть бути, зокрема, фреони (див. таблицю).

Таблиця - Характеристики можливих фреонів для ПТТ, що працюють при низьких температурах [2]

Теплоносій	Фреон 123	Фреон 134a	Фреон 141b	Фреон 142b
Формула	C ₂ HCl ₂ F ₃	C ₂ H ₂ F ₄	C ₂ H ₃ Cl ₂ F	C ₂ H ₃ ClF ₂
Температура кипіння, °C	27,82	-26,07	32,05	-9,15
Температура плавлення, °C	-107,15	-103,30	-103,30	-130,43

Оскільки в літературі відсутні дані щодо роботи ПТТ з такими теплоносіями при низьких температурах експлуатації та інформація щодо проектування ПТТ для відповідних умов, метою даної роботи є визначити діапазон значень внутрішнього діаметру ПТТ з фреонами, що працюють в широкому діапазоні температур експлуатації.

Теплові характеристики ПТТ залежать від багатьох факторів, зокрема, від її внутрішнього діаметру та теплофізичних властивостей теплоносія. В [3] показано, що внутрішній діаметр D ПТТ повинен відповідати умові:

$$D \leq 2 \cdot \sqrt{\frac{\sigma}{g \cdot (\rho_l - \rho_v)}}, \quad (1)$$

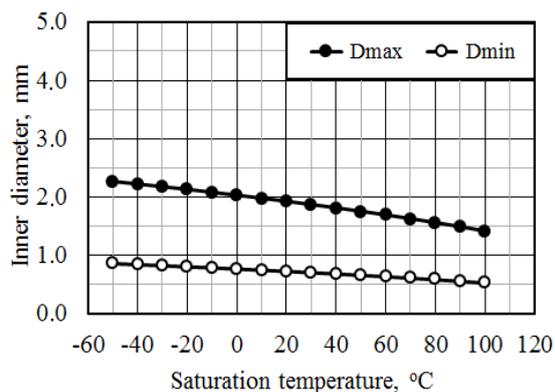
де σ – коефіцієнт поверхневого натягу, Н/м; g – $9,81\text{ м/с}^2$; ρ_l та ρ_v – густина рідини та пари теплоносія відповідно, кг/м^3 . В [4] запропоновано обирати більш вузький діапазон значень внутрішнього діаметру ПТТ, а саме – від максимального значення D_{\max} до мінімального D_{\min} , що визначаються як:

$$D_{\max} = 1,84 \cdot \sqrt{\frac{\sigma}{g \cdot (\rho_l - \rho_v)}}, \quad (2)$$

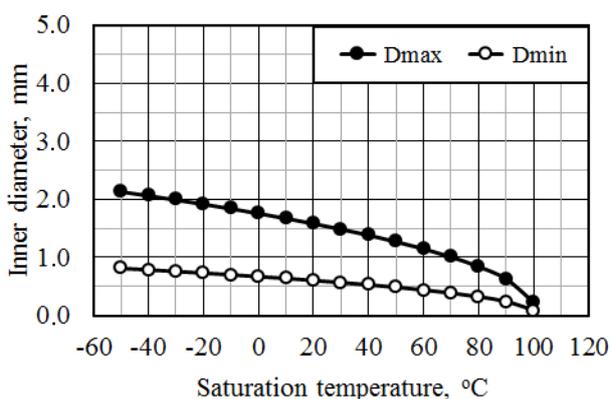
$$D_{\min} = 0,7 \cdot \sqrt{\frac{\sigma}{g \cdot (\rho_l - \rho_v)}}. \quad (3)$$

Ураховуючи залежність теплофізичних властивостей σ , ρ_l та ρ_v теплоносія від температури, нами за формулами (2) та (3) побудовано необхідні при проектуванні ПТТ графічні залежності для знаходження внутрішнього діаметру ПТТ, що працюють в широкому температурному діапазоні (рис. 1). Розширення верхнього діапазону температур до $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$ на графіках обумовлено можливістю досягнення таких значень температури

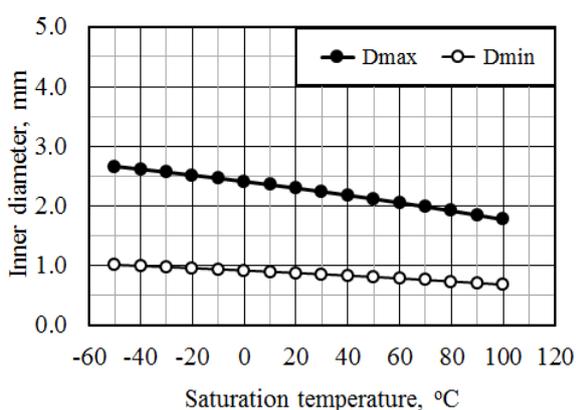
парою теплоносія при роботі ПТТ під тепловим навантаженням при температурі оточуючого повітря +50 °С.



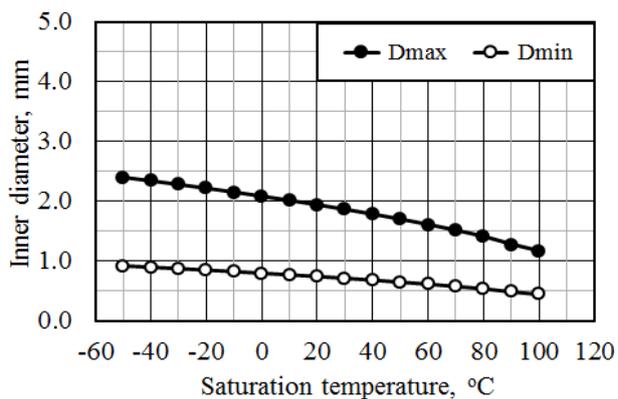
Фреон 123



Фреон 134a



Фреон 141 b



Фреон 142 b

Рисунок 1 – Залежність максимального Dmax та мінімального Dmin значень діаметра ПТТ від температури насиченої пари теплоносія для деяких фреонів

Наведені графічні залежності можна використовувати для вибору діаметру ПТТ при проектуванні систем охолодження приймально-передавальних модулів антенних систем радіолокаційних станцій.

Перелік посилань:

1. Корпус модуля антенної решітки: пат. 145511 Україна: МПК (2020.01) H01Q 21/00, F28D 15/02 (2006.01), H05K 7/20 (2006.01); опубл. 10.12.2020, Бюл. № 23. 8 с.
2. Безродный М.К., Пиоро И.Л., Костюк Т.О. Процессы переноса в двухфазных термосифонных системах. Теория и практика: Киев: Факт, 2005. 704 с.
3. Khandekar, S., Groll, M. An Insight Into Thermo-Hydrodynamic Coupling in Closed Loop Pulsating Heat Pipes. *International Thermal Sciences*. 2004. Vol. 43. pp. 13–20.
4. Lin, Y.H., Kang, S.W., Wu, T.Y. Fabrication of Polydimethylsiloxane (PDMS) Pulsating Heat Pipe. *Appl. Therm. Eng.* 2009. Vol. 29. pp. 573–580.

Робота виконана за підтримки Національного фонду досліджень України, проект № 2020.02/0357

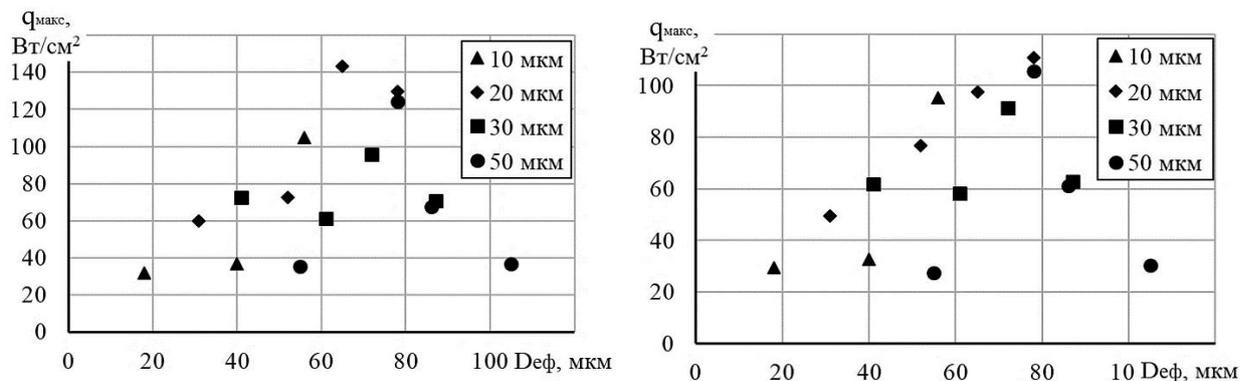
Мол. вчений Мельник Р.С.; магістрант 6 курсу, гр. ТФ-61мн Липніцький Л.В.
Проф., д.т.н. Кравець В.Ю.

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ПОРИСТИХ СТРУКТУР НА ГРАНИЧНІ ТЕПЛОВІ ПОТОКИ

Явища фазових переходів використовуються у великій кількості технологічних процесів, особливо процеси випаровування та конденсації. Найбільше це стосується різноманітного енергетичного обладнання. Також, на основі цих процесів функціонують двофазні теплопередаючі системи, як теплові труби чи парові камери. Однак, діапазон функціонування обладнання та систем обмежується критичними значеннями теплових потоків. Для збільшення цих значень використовуються різноманітні технології, однією з яких є використання пористих покриттів. Що ж стосується двофазних пристроїв теплопередачі, то в них пористі структури виконують також транспортну функцію [1]. За допомогою пористих структур можливо збільшити значення критичних теплових потоків до 3-х разів.

В даній роботі вивчався вплив параметрів металоволокнистих пористих структур на граничні значення теплових потоків. Діаметри волокон що використовувались при виготовленні зразків знаходились в діапазоні від 10 до 50 мкм. Довжина волокон у всіх випадках дорівнювала 3мм. Товщини зразків були прийняті 0.3 та 0.5мм. Діапазон пористостей знаходився в межах 65...85%. Крім того, дослідження проводились при різних температурах насичення, а саме 50, 65 та 100°C. Всі дослідження проводились в умовах капілярного транспорту рідини, що наближає дослідження до умов реального функціонування двофазних теплопередаючих систем. Робоча рідина що використовувалась в дослідженнях – дистильована вода, була обрана як найрозповсюдженіший теплоносій, що використовується в низькотемпературному діапазоні. Крім того, для води число Меріта [2] має найвище значення, що характеризує її як теплоносій з найвищою теплотранспортною здатністю.

Результати що були отримані під час проведення експериментів свідчать, що величина значень критичного теплового потоку залежить не стільки від геометричних параметрів певної пористої структури, скільки від значень ефективного діаметру пор. (рис.1), які для різних структур з різними значеннями пористості можуть набувати однакових значень. Важливо наголосити, що в дослідженнях використовувались зразки з однаковою довжиною волокон, і вплив цього параметру окремо не досліджувався.



а)

б)

Рисунок 1 – залежність максимального значення теплового потоку від ефективного діаметру для температур насичення а) 100°C та б) 65°C.

З графіків видно, що максимальні значення теплових потоків знаходяться в області ефективних діаметрів волокон від 60 до 80 мкм. Крім того, зі зниженням температури насичення ця тенденція стає все більш явною, що особливо добре видно для температури насичення 50°C (рис.2). На графіках також, добре видно, як максимальні значення теплових потоків залежать від температури насичення. Так, для температури насичення 100°C, тепловий максимальний потік знаходився на рівні 140 Вт/см², в тому ж діапазоні ефективних діаметрів пор, при температурі 65°C це значення знизилось до 110 Вт/см². Що ж стосується температури насичення 50°C, то в цьому випадку, значення максимального теплового потоку ще більше зменшилось, і стало на рівні 100 Вт/см².

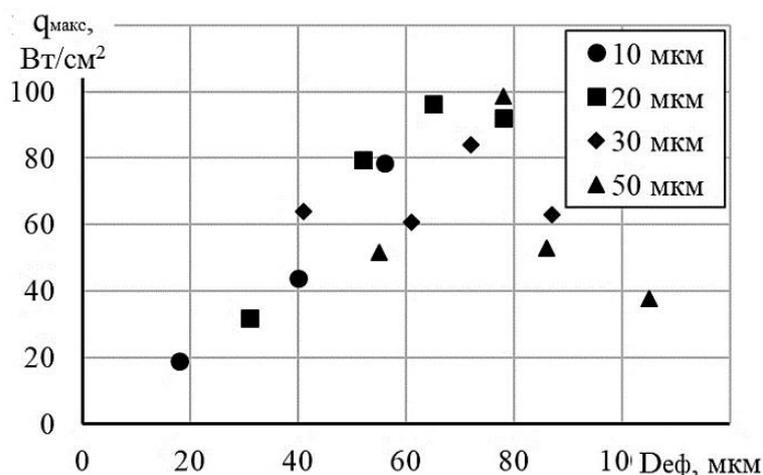


Рисунок 2 – залежність максимального значення теплового потоку від ефективного діаметру для температури насичення 50°C.

Зниження значень теплового потоку, можна пояснити зменшенням ефективності тепловіддачі при зниженні тиску насичення, через зростання відривного діаметру паровою бульбашки, що починає охоплювати більшу площу випаровування. Таким чином зменшується кількість активних центрів пароутворення. Що ж стосується максимуму в певному діапазоні ефективних діаметрів, це можна пояснити транспортними характеристиками пористої структури, а саме проникністю та капілярним напором, які по своїй суті є протилежними явищами. При зменшенні ефективних діаметрів пор, зростає значення капілярного тиску, значення коефіцієнту проникності навпаки зменшуються.

Таким чином, можна зробити висновок, що для умов проведення даного експериментального дослідження, найбільш оптимальними, з точки зору граничного теплового потоку, є параметри структур, при яких значення ефективних діаметрів пор знаходиться в діапазоні від 60 до 80 мкм. Тобто в цьому діапазоні значень ефективних діаметрів пор знаходиться оптимальна транспортна здатність пористої структури.

Перелік посилань:

1. Reay D., Kew P., McGlen R. Heat Pipes Theory, Design and Applications. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2014. 251 p.
2. H. van Gerner, R. Van Benthem, J. van Es [et al] Fluid selection for space thermal control systems. *International Conference on Environmental Systems*. 2014. №136.

Мол. вчений Мельник Р.С.; магістрант 2 курсу, гр. ТФ-91мн Ліпницький Л.В.
Пр. н. спів., д.т.н. Ніколаєнко Ю.Є.

ШВИДКОЗНІМНИЙ НАГРІВАЛЬНИЙ МОДУЛЬ ДЛЯ ТЕПЛОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ ПАРТІЇ ТЕПЛОВИХ ТРУБ

Розвиток різноманітного електронного обладнання супроводжується розширенням функціональних можливостей електронної апаратури, підвищенням щільності компоновки, зменшенням масо-габаритних характеристик та підвищенням значень теплових потоків, що виділяються в одиниці об'єму апаратури. Так, наприклад, в полотні сучасних активних фазованих антенних решіток налічується іноді декілька тисяч потужних приймально-передавальних модулів, а крок їх встановлення не повинен перевищувати половину довжини хвилі. Зазначені обставини призводять до ускладнення конструктивних рішень щодо відведення теплоти та забезпечення нормальних теплових режимів тепловиділяючих активних електронних компонентів. В подібних умовах для ефективною передачі теплоти з одночасною трансформацією теплового потоку все частіше використовують двофазні теплопередавальні пристрої – теплові труби та термосифони [1, 2].

Для проведення досліджень теплових характеристик теплових труб та термосифонів при їх розробці або при випробуванні експериментальних партій подібних теплопередавальних пристроїв необхідно використовувати потужні нагрівальні модулі для підведення теплоти до їхніх зон випаровування. Використання традиційних нагрівачів у вигляді високоомного дроту, намотаного на зону випаровування теплової труби, не дозволяє швидко перевстановлювати нагрівач з одного теплопередавального пристрою на інший, що призводить до значного збільшення часу досліджень. Крім того, в ряді випадків, звичайні ніхромові нагрівачі не можуть забезпечити потрібну густину теплового потоку, а при збільшенні струму живлення можуть вийти з ладу через перегрів. Тому розробка та виготовлення швидкознімних нагрівальних модулів є актуальною задачею.

Основними вимогами до подібних нагрівальних модулів є простота монтажу на експериментальний зразок теплової труби, висока потужність та надійність при роботі на підвищених струмах живлення. Одним з перспективних методів виготовлення потужних нагрівальних елементів є метод вакуумного плазмового осадження алмазоподібних резистивних покриттів на підкладки з керамічних теплопровідних матеріалів [3]. Саме таким методом було виготовлено нагрівальні елементи модулів, що описуються в даній роботі.

Для проведення теплових досліджень експериментальних партій циліндричних теплових труб діаметрами 12 мм, 10 мм та 8 мм було виготовлено різні нагрівальні модулі з відповідними діаметрами внутрішнього отвору. Висота всіх нагрівальних модулів однакова – 40 мм. Конструкція нагрівальних модулів для циліндричних теплових труб (рис.1) представляє собою перехідну тонкостінну втулку з алюмінієвого сплаву АД31Т, що складається з двох частин. На різних частинах втулки виконано по дві плоскі грані, на які за допомогою тонкого (до 0,15 мм) шару термоклею RTV-904 кріпляться нагрівальні елементи (рис. 2). Розміри нагрівальних елементів 25 мм х 7 мм х 1 мм. Кількість нагрівальних елементів на одному нагрівальному модулі – 4. Матеріал основи нагрівального елемента – кераміка ВК 94 з коефіцієнтом теплопровідності 25 Вт/(м·°С). На нагрівальних елементах передбачено контактні площадки, до яких припаяно проводи МГТФ (рис. 2) з поперечним перетином 0,3 мм². Для пайки використовувався припій ПСр-2,5 з температурою ліквідуса 300 °С. Вибір типу проводів ґрунтувався на наявності достатньої гнучкості та термостійкості ізоляції, адже при дослідженнях зона нагріву теплоізолюється базальтовим волокном, і значення температури поблизу нагрівача можуть

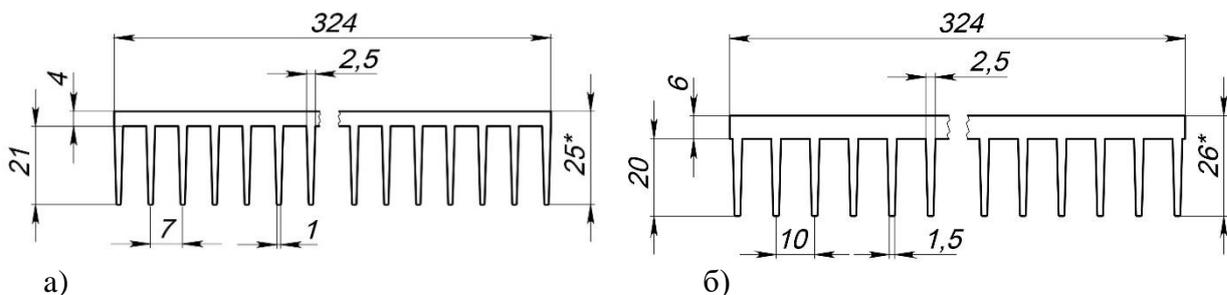
Мол. вчений, PhD Пекур Д.В.
Пр. н. спів., д.т.н. Ніколаєнко Ю.Є.

ПОРІВНЯННЯ ТЕПЛОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВОХ ВАРІАНТІВ КОРПУСІВ ПРІЙМАЛЬНО-ПЕРЕДАВАЛЬНИХ МОДУЛІВ

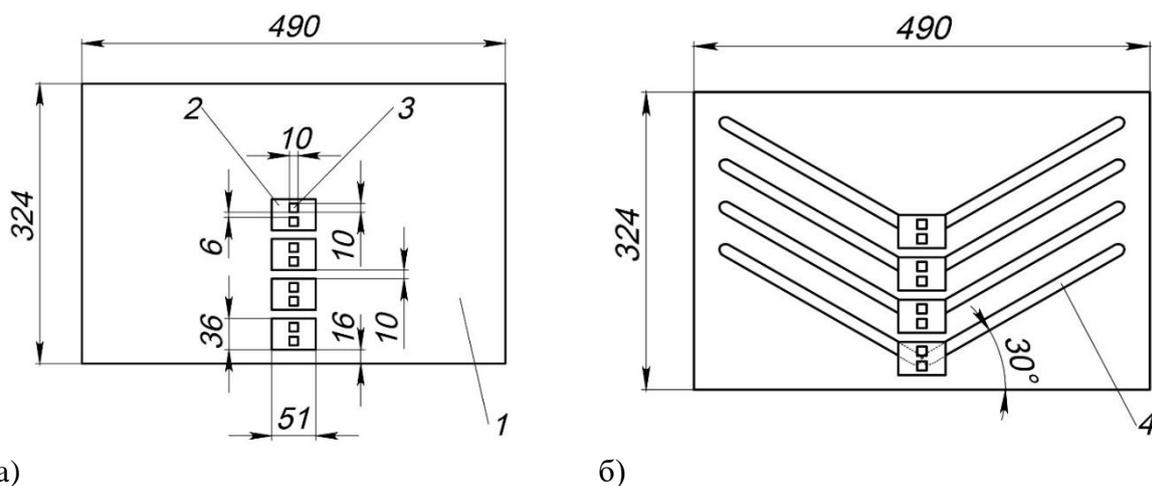
Найбільш розповсюдженим способом забезпечення теплового режиму активних елементів електронних приладів, що виділяють теплоту, є використання систем охолодження, побудованих на основі оребрених теплообмінних поверхонь, які обдуваються повітрям. Одним з застосувань таких систем охолодження є приймально-передавальні модулі (ППМ) активних фазованих антенних решіток (АФАР). Габаритні розміри ППМ деяких сучасних АФАР складають, наприклад, близько 490 мм х 275 мм х 52 мм [1]. Одна поверхня корпусу ППМ є монтажною, друга – теплообмінною. Основними тепловиділяючими активними елементами є надвисокочастотні транзистори підсилювача потужності. Потужність кожного транзистора – 28 Вт. Розміри контактної поверхні основи транзистора – 10 мм х 10 мм. Загальна кількість транзисторів – 8. Транзистори змонтовано на чотирьох мідних пластинах з розмірами 51 мм х 36 мм х 5 мм, які розміщено приблизно посередині довжини ППМ. Враховуючи, що розміри оребреної теплообмінної поверхні корпусу ППМ значно перевищують розміри потужних транзисторів, а самі ППМ мають досить щільну компоновку на полотні АФАР, проблема підвищення ефективності охолодження транзисторів є визначальною для забезпечення надійної роботи вихідних підсилювачів потужності ППМ і АФАР в цілому.

В [2] запропоновано для підвищення ефективності охолодження вбудовувати в основу корпусу ППМ плоскі теплові труби (ТТ) зі спеченою порошковою або металоволокневою капілярною структурою. Але для виготовлення таких ТТ необхідно використання високотемпературного процесу спікання. Більш простими у виготовленні є теплові труби з різьбовою капілярною структурою. Задачею даної роботи є визначення методом комп'ютерного моделювання теплових характеристик корпусу ППМ без ТТ та з вбудованими в його основу плоскими ТТ з різьбовою капілярною структурою.

Моделювання виконано для двох варіантів теплообмінної поверхні, виготовлених з різних існуючих на ринку алюмінієвих радіаторних профілів (рис. 1). Радіаторні профілі зібрані методом зварювання у суцільні конструкції корпусу ППМ (рис. 2). Методом комп'ютерного моделювання було визначено максимальну температуру транзисторів при значеннях швидкості повітряного потоку у каналах охолодження від 1 м/с до 30 м/с та температурі повітря на вході 20 °С.



а – теплообмінна поверхня типу 1 (47 ребер); б – теплообмінна поверхня типу 2 (33 ребра)
Рисунок 1 – Геометричні характеристики теплообмінних поверхонь.



а) б)
а - без теплових труб; б - з тепловими трубами

Рисунок 2 – Монтажна поверхня основи корпусу ППМ АФАР з системою охолодження:
1 – основа корпусу, 2 – мідна пластина, 3 – транзистор, 4 – ТТ

Результати моделювання (рис. 3) показують, що удосконалена конструкція системи охолодження ППМ з ТТ дозволяє знизити температуру найбільш нагрітого транзистору на 23,1..10 °С для теплообмінної поверхні типу 1 та на 16,2..6,4 °С – для поверхні типу 2 в залежності від швидкості повітря. Теплообмінна поверхня типу 1 забезпечує температуру транзисторів 60 °С вже при швидкості повітря 1,2 м/с, що принаймні у 4 рази нижче в порівнянні з системою охолодження без ТТ. Використання теплообмінної поверхні типу 2 дещо менш ефективно, крім того, підвищує масу корпусу на 0,3 кг. потоку повітря v в каналах між ребрами теплообмінної поверхні типу 1 (1 та 2) та типу 2 (3 та 4) без застосування ТТ (1 та 3) та при застосуванні ТТ (2 та 4)

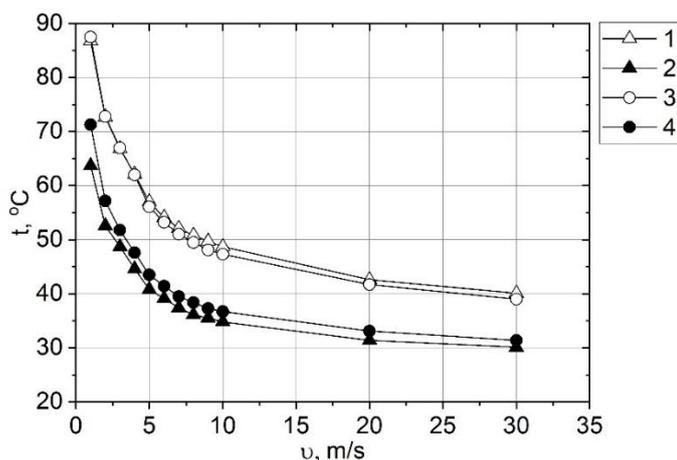


Рисунок 3 – Залежність температури t найбільш нагрітого транзистору від швидкості

Перелік посилань:

1. Ніколаєнко Ю.Є., Баранюк О.В., Рева С.А., Рогачов В.А. CFD – моделювання температурного поля корпусу-радіатора передавального модуля АФАР з повітряним охолодженням. *ТКЭА*. 2019. № 1-2. С. 27-33.

2. Корпус модуля активної фазованої антенної решітки: пат. 139015. Україна. МПК Н01Q21/00, Н05K7/20, F28D15/02. № 201906967; заявл. 21.06.2019; опубл. 10.12.2019, Бюл. №23. 7 с.

Робота виконана за підтримки Національного фонду досліджень України, проект № 2020.02/0357.

Мол. вчений, докторант, к.т.н. Соломаха А.С.
Пр. н. спів., д.т.н. Ніколаєнко Ю.Є.

СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ПОВІТРЯНИХ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ ПРИЙМАЛЬНО-ПЕРЕДАВАЛЬНИХ МОДУЛІВ

Основним функціональним вузлом активних фазованих антенних решіток (АФАР), які використовують в радіолокаційних станціях (РЛС), є приймально-передавальний модуль (ППМ). Сучасні АФАР містять до декількох тисяч ППМ (див. рис.1). Близько 70% енергії, що споживають ППМ, розсіюється у вигляді теплоти і призводить до погіршення робочих характеристик і зниження надійності системи. Для нормальної роботи необхідно підтримувати температуру кристала активних елементів вихідного підсилювача ППМ не вище 150 °С, а температуру його корпусу – не вище 70 °С; нерівномірність температури ППМ в складі АФАР не повинна перевищувати 10 °С [2].

Найбільш поширеним способом відведення теплоти завжди було використання навколишнього повітря. Проте сучасний розвиток радіолокаційної техніки призводить до мініатюризації ППМ та суттєвого збільшення теплових потоків, які необхідно відводити системою охолодження, а спроможності примусових повітряних систем охолодження дещо обмежені і не дозволяють забезпечувати заданий тепловий режим найбільш тепловиділяючих елементів.

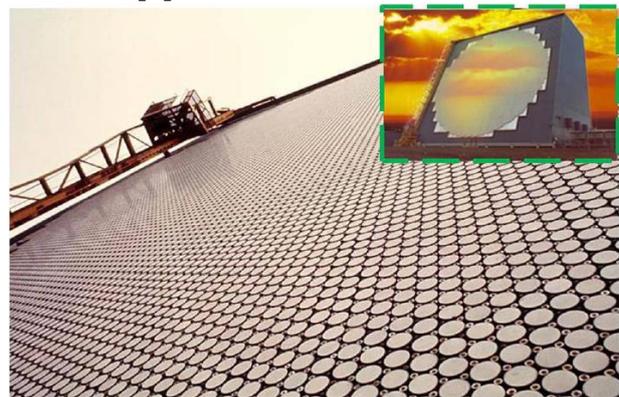


Рисунок 1 – АФАР для відстеження ракет AN/FPS-108 COBRA DANE [1]

У зв'язку з зазначеним, актуальним науковим завданням є підвищення ефективності повітряних систем охолодження, які були б здатні відводити значні питомі теплові потоки з одночасним підтриманням рівномірності температури в усій системі.

В даній роботі розглянуто існуючі конструкції повітряних систем охолодження ППМ. Одним з шляхів підвищення ефективності відведення теплоти від тепловиділяючих елементів ППМ з повітряним охолодженням є застосування теплових труб. Теплові труби цілком можуть забезпечити вказані вимоги, однак при зменшенні їх діаметру ці показники значно знижуються. Тому постійно йде пошук конструкцій, які б при малих габаритах та при мінімальному термічному опорі були спроможні відводити значні теплові потоки. Необхідно також відмітити, що часто такі теплові труби повинні працювати в умовах дії відцентрової сили, якщо РЛС обертається навколо своєї осі.

Одна з відомих конструкцій систем охолодження ППМ полягає у використанні масиву відносно довгих (довжиною понад 1 м) теплових труб з примусовим повітряним охолодженням ребрених зон конденсації, розташованих у верхніх частинах теплових труб. Такі теплові труби використовуються для охолодження плоских зон теплопідведення. Їх завданням є не лише транспортування тепла, а і рівномірний розподіл тепла та згладжування температури [2]. В роботах [2-5] експериментально перевірялося можливість покращення функціонування таких теплових труб за рахунок встановлення секції випаровування під різними кутами, зміни кількості заправки, в залежності від теплової потужності та ін. Були отримані непогані результати, проте в роботах не вказується, як такі конструкції можуть використовуватися для реальних РЛС.

В роботі [6] запропонована конструкція з каскадними басейнами (рис. 2). На відміну від класичної конструкції, в тепловій трубі відносно довга ділянка секції випаровування порівняно з адіабатичною та конденсаторною секціями, а наявність декількох каскадних

басейнів дозволяє мінімізувати перепад та коливання температури по всій довжині зони нагріву. В експериментальних дослідженнях вони показали чудові результати, проте їх висока складність виготовлення та низька надійність конструкції не дозволяє сподіватися на широке використання.



Рисунок 2 – Модель термосифону з проміжними басейнами та фото конструкції одного басейну [6]

Таким чином, тенденцією розвитку повітряних систем охолодження ППМ є вбудовування в їхню конструкцію теплових труб. Бажано при цьому, щоб теплові труби мали як можна простішу конструкцію і були технологічними у виготовленні.

В рамках виконання науково-дослідної роботи за проектом № 2020.02/0357 Національного фонду досліджень України було запропоновано нову перспективну конструкцію системи охолодження ППМ на основі відносно коротких (довжиною біля 250 мм) плоских теплових труб з різьбовою капілярною структурою. Перевагою розроблених конструктивних рішень, порівняно з існуючими аналогами, є те, що для їх виготовлення не потрібно використовувати високотемпературні процеси спікання та екструзії, що спрощує і здешевлює конструкцію теплових труб і систем охолодження на їх основі та відкриває реальні перспективи для застосування їх для приймально-передавальних модулів АФАР. Особливо важливим є й те, що розроблені засоби охолодження дозволять здійснювати модернізацію існуючих зразків РЛС, оскільки введення розроблених ТТ в склад існуючих ППМ не призводить до збільшення їхніх розмірів та не впливає на приєднання ППМ до полотна АФАР.

Перелік посилань:

1. R. L. Haupt, Y. Rahmat-Samii. Antenna Array Developments: A Perspective on the Past, Present and Future. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*. 2015. Vol. 57. No. 1, February. P. 86-96. DOI: 10.1109/MAP.2015.2397154.
2. W. W. Wits, G.J. Riele. Modelling and performance of heat pipes with long evaporator sections. *Heat Mass Transfer*. 2017. DOI 10.1007/s00231-017-2040-5.
3. Gert Jan te Riele, Wessel W. Wits. Heat pipe array for planar cooling of rotating radar systems. *Joint 19th IHPC and 13th IHPS*, Pisa, Italy. 2018.
4. K. Smith, S. Siedel, L. Akalanne, R.Kempers, Anthony Robinson. Development of a naturally aspirated thermosiphon for power amplifier cooling. *8th World Conference on Experimental Heat Transfer, Fluid Mechanics, and Thermodynamics*. 2013. DOI: 10.1088/1742-6596/525/1/012007.
5. K. Smith, S. Siedel, A. J. Robinson, R. Kempers. The effects of bend angle and fill ratio on the performance of a naturally aspirated thermosiphon. *Applied Thermal Engineering*. 2016. <http://dx.doi.org/doi: 10.1016/j.applthermaleng.2016.01.024>.
6. M. Schreiber, W.W. Wits, G. J.Riele. Numerical and experimental investigation of a counter-current two phase thermosiphon with cascading pools. *Applied Thermal Engineering*. 2016. Vol. 99. P. 133–146.

Робота виконана за підтримки Національного фонду досліджень України, проект № 2020.02/0357.

Аспирант Гуров Д.И.
Проф., д.т.н. Кравець В.Ю.

АНАЛИЗ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ НА БАЗЕ НАНОЖИДЕОСТЕЙ ДЛЯ МИНИАТЮРНЫХ ИСПАРИТЕЛЬНО- КОНДЕНСАЦИОННЫХ СИСТЕМ

В последние годы пассивные системы охлаждения, базирующиеся на испарительно-конденсационном цикле, получили огромное применение в системах охлаждения. Особо жесткие требования формируются в секторе охлаждения электронного оборудования, что связано с увеличением тепловых мощностей на единицу поверхности.

Очень важным для получения максимальных теплопередающих характеристик двухфазных систем является подбор теплоносителя. Он проводится с учетом требуемого рабочего диапазона, максимально передаваемого теплового потока, необходимого термического сопротивления, и прочих факторов.

В последние 10 лет все больше набирают популярность нанотехнологии, а использование их наработок прослеживается во многих технических направлениях, в том числе в системах термостабилизации и охлаждения. Одним из вариантов использования преимуществ нанотехнологий для систем охлаждения – применение наножидкости (НЖ) в качестве рабочей среды (теплоносителя) для тепловых труб (ТТ) и термосифонов (ТС). Несмотря на популярность этого направления в последние годы, результаты разных исследователей имеют неоднозначный и неструктурированный характер – что говорит об актуальности исследований в этом направлении [1,2].

Основной целью работы является изучение определяющих факторов, влияющих на теплопередающие характеристики миниатюрных испарительно-конденсационных систем, в качестве теплоносителя которых выступают НЖ, а также проверка целесообразности использования теплоносителей такого типа.

В роли экспериментальных образцов выступали ТС со следующей геометрией: $d_{вн}=5$ мм, $l_{общ}=700$ мм, $l_{зк}=200$ мм, коэффициент заполнения ($Kз$) = 0,44...1,66.

Исследуемые теплоносители:

- водная НЖ №1 на базе природной смеси алюмосиликатов монтмориллонита и аттапульгита;
- водная НЖ №2 на базе аттапульгита;
- водная НЖ №3 на базе аттапульгита и углеродных нанотрубок (УН);
- водная НЖ №4 на базе УН;
- водная НЖ №5 на базе синтетического алмаза;
- водная НЖ №6 на базе аморфного углерода.

Для проведения исследований был спроектирован и сконструирован стенд экспериментальный (принципиальная схема изображена на рис. 1).

Результаты экспериментов были проанализированы и отображены на рис.2 в виде зависимости термического сопротивления от передаваемого теплового потока ($Kз=0,44$), а также в табл. 1 для упрощения восприятия.

Таким образом, результаты экспериментов с НЖ показывают значительное улучшение теплопередающих характеристик, в сравнении с аналогичной системой охлаждения с водным теплоносителем. Наилучшим образом продемонстрировал себя водный теплоноситель с УН, максимально передаваемый тепловой потока для него в 2,57 раз больше, чем для воды. В случае же, если оптимизация дизайна происходит по минимальному термическому сопротивлению (или сопротивлению и передаваемому тепловому потоку комплексно) – то наилучшим вариантом из проверенных является использования НЖ с синтетическим алмазом.

Все исследуемые образцы показали значительное улучшение передающих характеристик, что доказывает целесообразность применения теплоносителей такого типа.

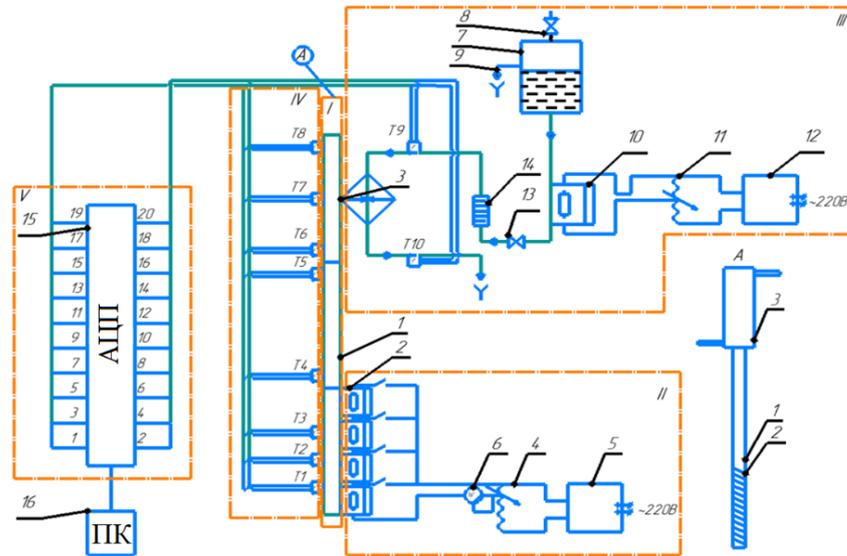


Рисунок 1 - Схема экспериментального стенда: 1 - термосифон; 2 - нагреватель; 3 - конденсатор; 4.11 - регулятор напряжения (лабораторный трансформатор); 5.12 - стабилизатор напряжения; 6 - ваттметр; 7- напорный бак; 8.13 - клапан; 9 - сливной патрубок; 10 - подогреватель охлаждающей воды; 14 - расходомер; 15 - АЦП; 16 - ПК

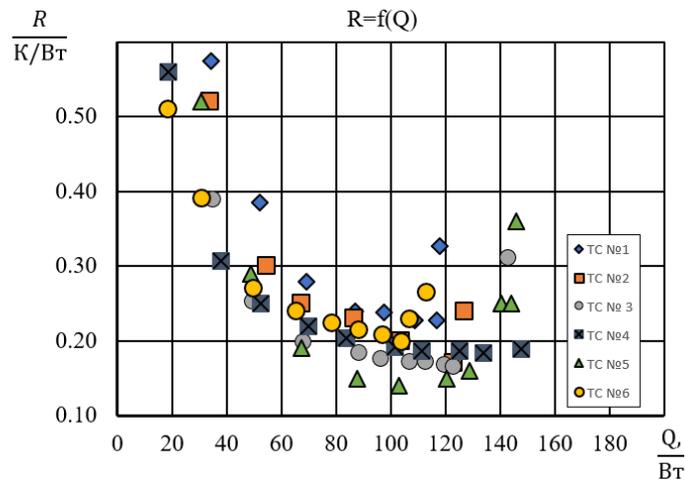


Рисунок 2 – Зависимость термического сопротивления термосифона от передаваемого теплового потока

Таблица 1

Теплоноситель	НЖ №1	НЖ №2	НЖ №3	НЖ №4	НЖ №5	НЖ №6	Вода
R _{min} , К/Вт	0.23	0.17	0.16	0.18	0.14	0.2	0.18
Q _{max} , Вт	117.8	127	143	180	140	107	70

Перелік посилань:

1. Liu Z., Yang X., Wang G., Guo G. Influence of carbon nanotube suspension on the thermal performance of a miniature thermosyphon. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2010. Vol. 53. P. 1914–1920.

2. Khandekar S., Joshi Y. M. Thermal performance of two-phase thermosyphon using nanofluids. *International Journal of Thermal Sciences*. 2008. Vol. 47. P. 659–667.

Магістрант 2 курсу, гр. ТФ-91мн Липніцький Л.В.; мол. вчений Мельник Р.С.
Доц., к.т.н. Лебедь Н.Л.

ІНТЕНСИВНІСТЬ ТЕПЛООБМІНУ ПРИ КОНДЕНСАЦІЇ НА ГОРИЗОНТАЛЬНІЙ ОБЕРНЕНІЙ ВНИЗ ПОРИСТІЙ ПОВЕРХНІ

На даний час, найбільш розповсюдженими системами охолодження електронних компонентів є системи на базі теплових труб та парових камер. Дослідженню цих пристроїв присвячено велику кількість робіт [1], проте вони у переважній більшості присвячені дослідженню термічного опору та ефективності тепловіддачі в зоні нагріву.

Відсутність достатньої кількості інформації про процеси конденсації в таких системах призводить до необхідності дослідження інтенсивності теплообміну при конденсації на пористих горизонтальних поверхнях, що звернені робочою поверхнею вниз оскільки такі умови найбільш наближені до умов функціонування парових камер. Тому проведенне дослідження є актуальним і, у першому наближенні, надає змогу оцінити вплив наявності пористого покриття на інтенсивність протікання процесу конденсації.

Для проведення дослідження була розроблена установка принципова схема якої представлена на рис. 1. Експериментальна установка являє собою герметичний посуд, що складається з випарника В, всередину якого розташовано електронагрівач ЕН основної камери та додаткового конденсатора ДК для забезпечення кількості теплоносія в експериментальній установці). Додатковий конденсатор являє собою теплообмінник типу труба в трубі. У внутрішній трубці конденсується водяна пара, у кільцевому каналі рухається вода, що підігрівається за допомогою проточного водопідігрівача ВПП. Така схема необхідна для підтримки постійної температури насичення (тиску) всередині робочого об'єму. Було проведено дослідження на експериментальних зразках пористої структури з наступними параметрами: діаметр волокна $d_v = 20\text{мкм}$, довжина волокна $l_v = 3\text{мм}$, товщина капілярно-пористої структури $\delta = 0,22\dots 0,23\text{мм}$, пористість $\Pi = 52\%, 80\%$.

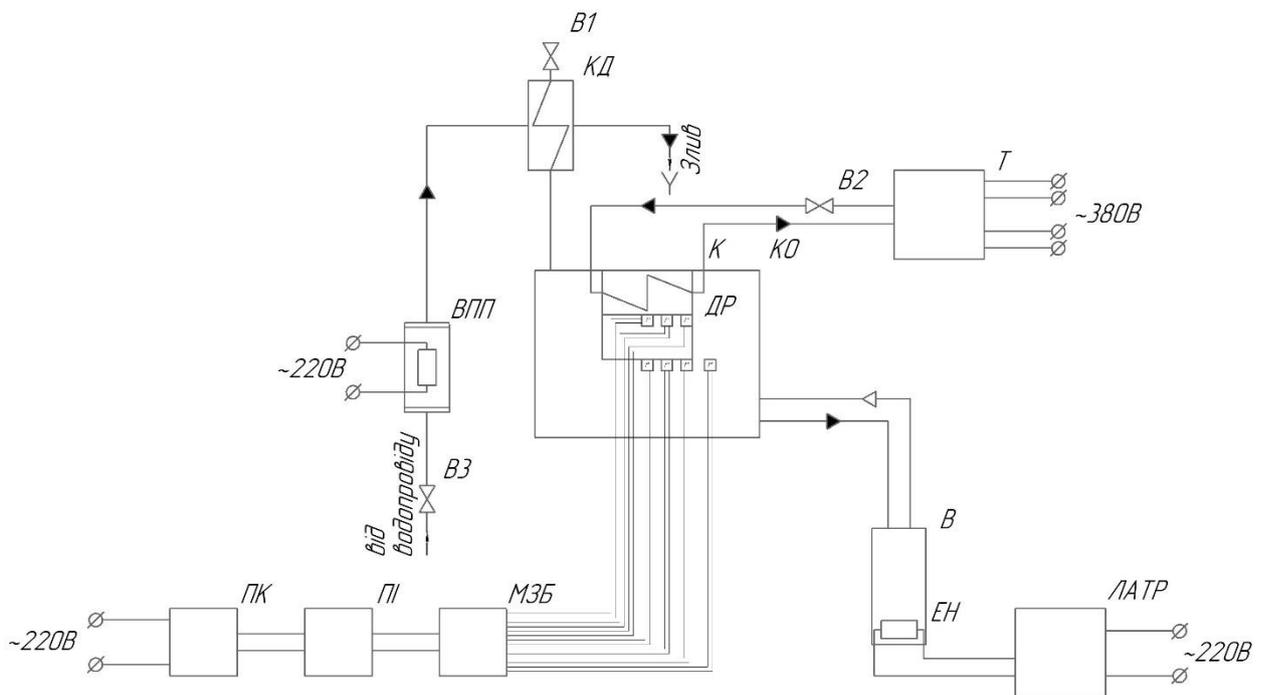


Рисунок 1 – Принципова схема експериментальної установки

Оцінка похибок проведення експериментального дослідження показала, що відносна похибка визначення коефіцієнту тепловіддачі складає $\pm 7,5\%$.

Верифікація установки була виконана шляхом співставлення експериментальних даних і даних, отриманих по теоретичній залежності [2]:

$$\frac{\alpha}{\lambda} \sqrt{\frac{\sigma}{\gamma}} = 0,1494 \sqrt{\frac{v}{a} \cdot \frac{g}{v^2} \cdot \left(\frac{\sigma}{\gamma}\right)^{3/2} \cdot \frac{r}{c\Delta t}}$$

Результати верифікації представлено на рисунку 2.

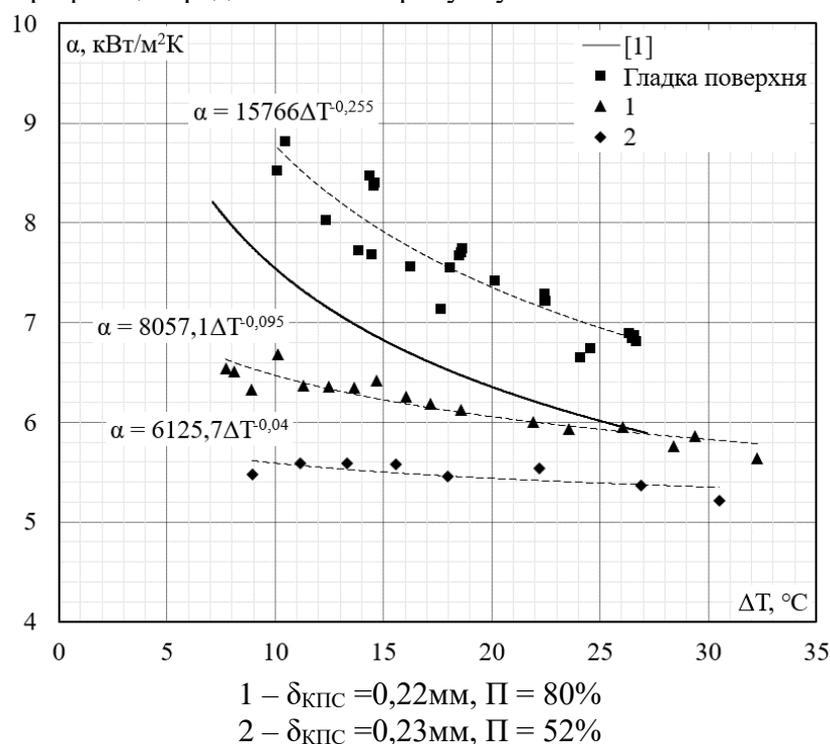


Рисунок 2 – Залежність коефіцієнта тепловіддачі при конденсації на горизонтальних обернених вниз поверхнях від температурного напору

Аналіз результатів проведеного дослідження показав:

1) інтенсивність теплообміну при конденсації на горизонтальній оберненій вниз пористій поверхні при тих же умовах знижується відносно гладкої поверхні, що зумовлено додатковим термічним опором, який вносить капілярно-пориста структура на поверхні;

2) аналіз залежностей, які представлені на рис. 2, показує, що інтенсивність тепловідводу пористої структури (зразок №1) нижче на 24% ніж на гладкій поверхні; відповідно інтенсивність тепловідводу пористої структури (зразок №2) нижча на 37,5%;

3) застосування пористих поверхонь знижує залежність інтенсивності теплопередачі від температурного напору, що обумовлено існуванням плівки, яка утворюється на поверхні метало-волокнистої капілярно-пористої структури і створює додатковий термічний опір, що пропорційно зменшенню інтенсивності теплообміну і не є постійним при змінному температурному напорі.

Перелік посилань:

1. Meng-Chang Tsai, Shing-Wen Kang, Kleber Vieira de Paiva Experimental studies of thermal resistance in a vapor chamber heat spreader. *Applied Thermal Engineering* 2013. №56. 38–44с.
2. Кутателадзе С. С. Основы теории теплообмена. Москва: Атомиздат, 1979. 416 с.

Магістрант 2 курсу, гр. ТФ-91мн Липніцький Л.В.; мол. вчений Мельник Р.С.
Пр. н. спів., д.т.н. Ніколаєнко Ю.Є.

КОНСТРУКЦІЯ ТЕПЛОВОЇ ТРУБИ З РІЗЬБОВОЮ КАПІЛЯРНОЮ СТРУКТУРОЮ ЗІ ЗМІННИМ КОЕФІЦІЄНТОМ ЗАПОВНЕННЯ

Термосифони та гравітаційні теплові труби (ГРТТ) є ефективними двофазними теплопередавальними пристроями, які розраховані на функціонування при вертикальній орієнтації або при орієнтації під кутом нахилу з розташуванням зони конденсації вище зони випаровування. Повернення теплоносія з зони конденсації до зони випаровування відбувається лише за рахунок гравітаційних сил. Відмінність ГРТТ від термосифону полягає в тому, в зоні випаровування гравітаційної теплової труби є капілярна структура для інтенсифікації процесу теплообміну. Завдяки високій теплопередавальній здатності та властивості одночасної трансформації теплового потоку термосифони та ГРТТ знаходять широке застосування у системах охолодження різноманітних електронних приладів. Зокрема, вони знаходять застосування в системах охолодження приймально-передавальних модулів активних фазованих антенних решіток [1, 2].

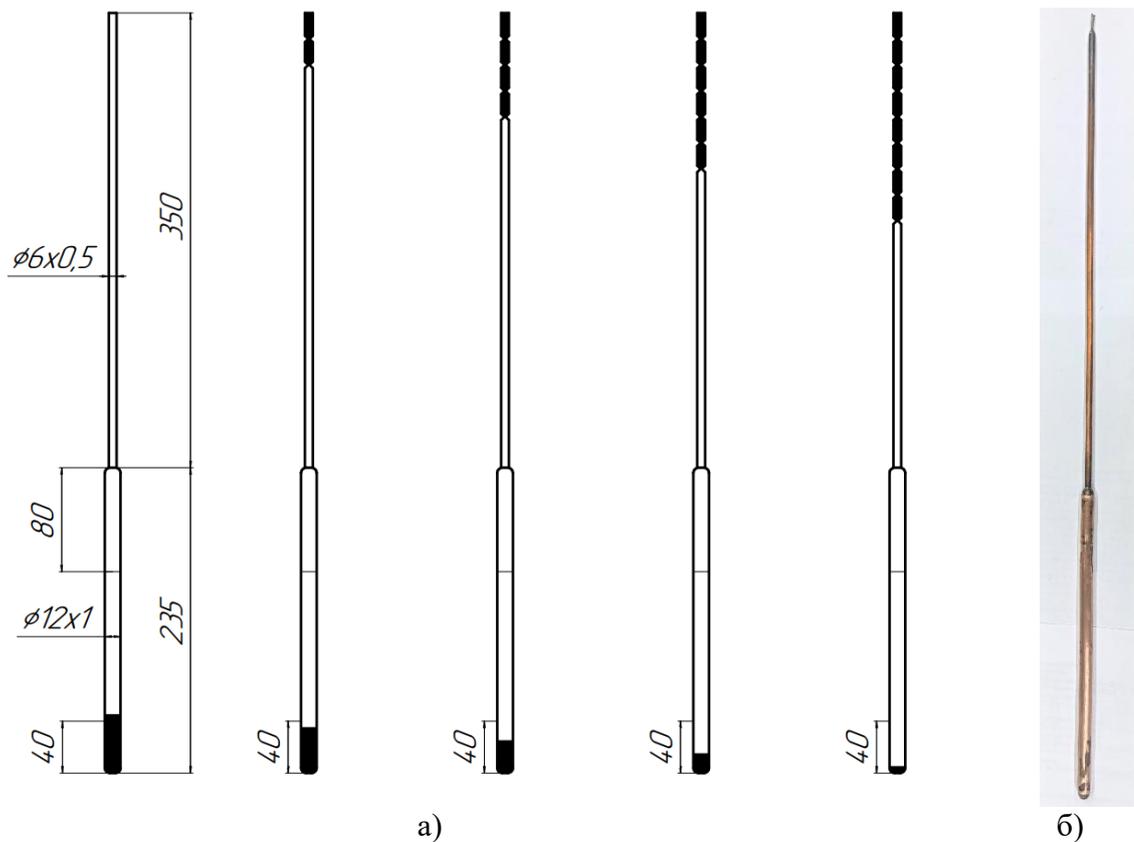
Використання в зоні випаровування гравітаційних теплових труб найбільш поширених спечених порошкової або металоволокневої капілярних структур призводить до ускладнення та, як наслідок, здорожчання конструкції теплової труби. Тому в [3] була запропонована більш проста конструкція ГРТТ з різьбовою капілярною структурою в зоні випаровування. Наявність різьби з дрібним кроком в зоні випаровування збільшує ефективну поверхню теплообміну і кількість центрів пароутворення та підвищує коефіцієнт тепловіддачі у зазначеній області та знижує термічний опір теплової труби [4].

Оскільки теплопередавальні характеристики ГРТТ з різьбовою капілярною структурою, як і термосифонів взагалі, залежать від різноманітних факторів впливу, зокрема, від коефіцієнту заповнення теплоносієм, а таких досліджень для ГРТТ з різьбовою капілярною структурою в літературі не виявлено, то визначення оптимального об'єму заповнення для таких теплових труб є на даний час актуальною задачею.

На відміну від існуючих способів дослідження впливу об'єму заповнення, які виконувались на відповідній кількості теплопередавальних пристроїв з різним об'ємом теплоносія, в даній роботі розроблена нова конструкція ГРТТ (рис. 1), яка дозволяє дослідити вплив об'єму заповнення та теплові характеристики за допомогою лише однієї теплової труби та одного процесу вакуумування, заповнення і герметизації. Крім скорочення часу досліджень перевагою запропонованого способу є й те, що він дозволяє уникнути певної не ідентичності шорсткості поверхні в зоні випаровування та ступеня вакуумування перед заповненням експериментальних зразків теплоносієм.

ГРТТ з різьбовою капілярною структурою складається з двох частин. Перша частина являє собою досліджувану ділянку діаметром 12 мм з товщиною стінки 1 мм, довжиною 235 мм, на яку встановлюється електронагрівач висотою 40 мм і конденсатор довжиною 80 мм. Друга частина – трубка з внутрішнім діаметром 5 мм, товщиною стінки 0,5 мм, довжиною 350 мм. Між собою трубки з'єднані за допомогою пайки високотемпературним припоєм ПСр-45, що дозволяє досягти вакуумної щільності з'єднання. Зона випаровування заповнена теплоносієм з певним перевищенням краю нагрівача, наприклад, на 5 мм. Це необхідно для проведення досліджень з коефіцієнтами заповнення більше 1,0.

Процес проведення досліджень впливу коефіцієнта заповнення та теплові характеристики ГРТТ з використанням даної конструкції є наступний. Ретельно теплоізолюють трубку меншого діаметру для уникнення в ній процесу конденсації пари і досліджують теплові характеристики ГРТТ з вихідним об'ємом теплоносія.



а) схематичне зображення використання конструкції; б) зовнішній вигляд
Рисунок 1 – Конструкція гравітаційної теплової труби зі змінним коефіцієнтом заповнення

Потім поступово зменшують його за допомогою зливу в трубку меншого діаметру та відсікання певної частини її довжини, заповненої теплоносієм (див. рис. 1,а). Для зменшення висоти теплоносія у зоні випаровування на 5 мм необхідно відсікти ділянку трубки меншого діаметру довжиною 20 мм. Далі проводять повторне дослідження теплових характеристик і знову зменшують об'єм заповнення на задану величину і так далі.

Таким чином можна отримати ряд експериментальних даних щодо коефіцієнтів заповнення та відповідних ним теплових характеристик теплової труби, за якими можна визначити коефіцієнти заповнення ГРТТ теплоносієм, для яких термічний опір буде мінімальним, та при яких буде отримано граничні значення теплових потоків.

Перелік посилань:

1. Wessel W. Wits, Gert Jan te Riele Modelling and performance of heat pipes with long evaporator sections. *Heat Mass Transfer*. 2017. №53. 3341–3351 с.
2. S. Siedel, A.J. Robinson, R. Kempers, S. Kerslake Development of a naturally aspired thermosyphon for power amplifier cooling. *Journal of Physics: Conference Series*. 2014. №525.
3. Гравітаційна тепла труба: пат. 109840 Україна: МПК: F28D 15/02. №109840 опубл. 12.09.2016, бюл. № 17.
4. Николаенко Ю.Е., Козак Д.В. Термическое сопротивление алюминиевой гравитационной тепловой трубы с резьбовой капиллярной структурой. *Технология и конструирование в электронной аппаратуре*. 2017. № 4-5. 24–31с.

Робота виконана за підтримки Національного фонду досліджень України, проект № 2020.02/0357.

Студент 4 курсу, гр. ТФ-71 Бугайов І.В.
Доц., к.т.н. Лебедь Н.Л.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ ПОРИСТИХ МАТЕРІАЛІВ

Коефіцієнт теплопровідності - це фізична властивість речовини, що характеризує здатність передавати тепловий потік. Специфіка і складність експериментальних досліджень ефективної теплопровідності пористих матеріалів обумовлена, головним чином низькими значеннями і суттєво нелінійним характером залежності ефективних коефіцієнтів теплопровідності від температури і тиску навколишнього середовища. Тому визначення теплопровідності пористих матеріалів є складною, але водночас важливою задачею. Дана робота присвячена опису і аналізу методів і установок для дослідження теплопровідності пористих матеріалів.

На рис.1 представлена схема установки для дослідження теплопровідності пористих матеріалів при температурах до 300°C [1].

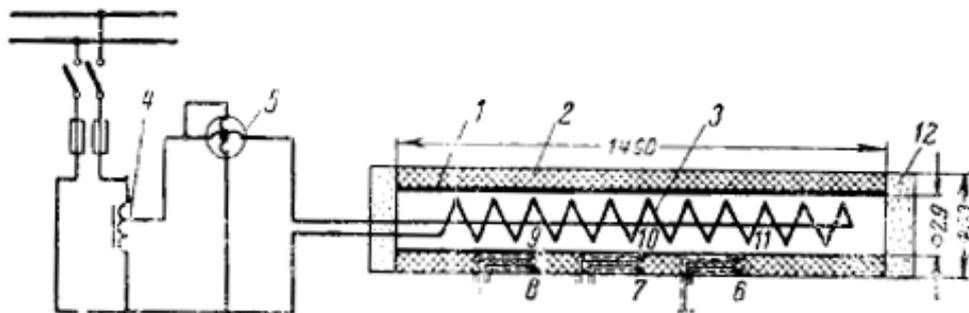


Рисунок 1 - Схема дослідної установки для визначення коефіцієнта теплопровідності методом циліндричного шару [1]

Установка являє собою металеву трубу 1, на зовнішній поверхні якої розміщується досліджуваний шар матеріалу 2. Довжина труби становить 1490 мм, циліндричний шар досліджуваного матеріалу має внутрішній діаметр 29 мм, зовнішній - (з струмопідводами 4) 53 мм. Усередині труби закладено осьової електричний нагрівач 3, що забезпечує рівномірний обігрів. Струм регулюється лабораторним автотрансформатором, а потужність контролюється ватметром. Температури досліджуваного матеріалу вимірюються термопарами, гарячі спаї яких закладені на зовнішній (6, 7, 8) і на внутрішній (9, 10, 11) поверхнях ізоляційного шару. Шар ізоляції щільно прилягає до поверхні труби, тому термопари, якими вимірюється температура внутрішньої поверхні шару, закладаються на поверхні труби. ЕРС термопар вимірюються за допомогою потенціометра. Одномірність теплового потоку забезпечується вибором довжини труби, яка значно більше, ніж її зовнішній діаметр. Крім того, торці труби захищені тепловою ізоляцією 12, а вимірювальні термопари встановлюються в середній частині по довжині труби. Дослідження проводилось в діапазоні температур від 0...300 °С. Коефіцієнт теплопровідності матеріалу обчислюється за рівнянням теплопровідності, яке в розгорнутій формі має вигляд [1]:

$$\lambda = \frac{Q \cdot \ln(d_2/d_1)}{2 \cdot \pi \cdot l \cdot (t_{c1} - t_{c2})},$$

де Q – потужність нагрівача; t_{c1} , t_{c2} – середньоарифметичне значення внутрішньої і зовнішньої поверхні зразка відповідно.

На рис.2 представлена схема робочої ділянки експериментальної установки для дослідження теплопровідності пористих матеріалів в діапазоні температур (-193..207) °С

абсолютним методом [2]. Сутність абсолютного методу полягає у тому, що тепловий потік передається вздовж зразка шляхом пропускання через нього електричного струму.

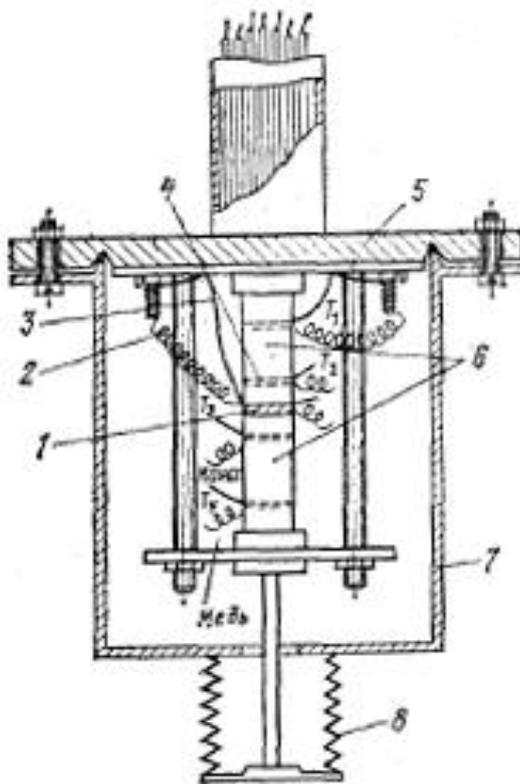


Рисунок 2 – Схема робочої ділянки низькотемпературної установки для вимірювання теплопровідності абсолютним методом [2]

Між вимірювальними зразками 6 розташований нагрівник 1 з площею поперечного перерізу, рівною площі перерізу зразків. Потужність нагрівника визначається шляхом вимірювання різниці потенціалів на його кінцях (провідник 3) і сили струму (провідник 2). Зразки і нагрівник за допомогою сильфону 8 притиснуті до фланцю 5. Весь пристрій закритий герметичним ковпаком 7. Для проведення вимірювань установка відкачується до тиску (4...10) мм.рт.ст. Різниця температур на зразку вимірюється за допомогою мідь-константанових термопар діаметром 0,15 мм, припаяних до срібних штифтів 4, що вставлені в отвори матеріалу.

Перелік посилань

1. Раков Ю.А. Экспериментальное исследование теплопроводности натрубных отложений поверхностей нагрева пылеугольных котлов: автореф. дис. канд. техн. наук: 01.04.14. Томск, 2007. 20 с.
2. Галушак М.О., Ральченко В.Г., Ткачук А.І., Фреїк Д.М. Методи вимірювання теплопровідності масивних твердих тіл і тонких плівок. *Фізика і хімія твердого тіла*. 2013. т. 14. № 2. с. 317–344.

Студент 4 курсу, гр. ТФ-71 Вальчук С.А.; магістрант 2 курсу, гр. ТФ-91мн Липніцький Л.В.

Асист. Алексеїк О.С.

ВІЗУАЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ, ЩО ВІДБУВАЮТЬСЯ В ТЕПЛОВІЙ ТРУБІ

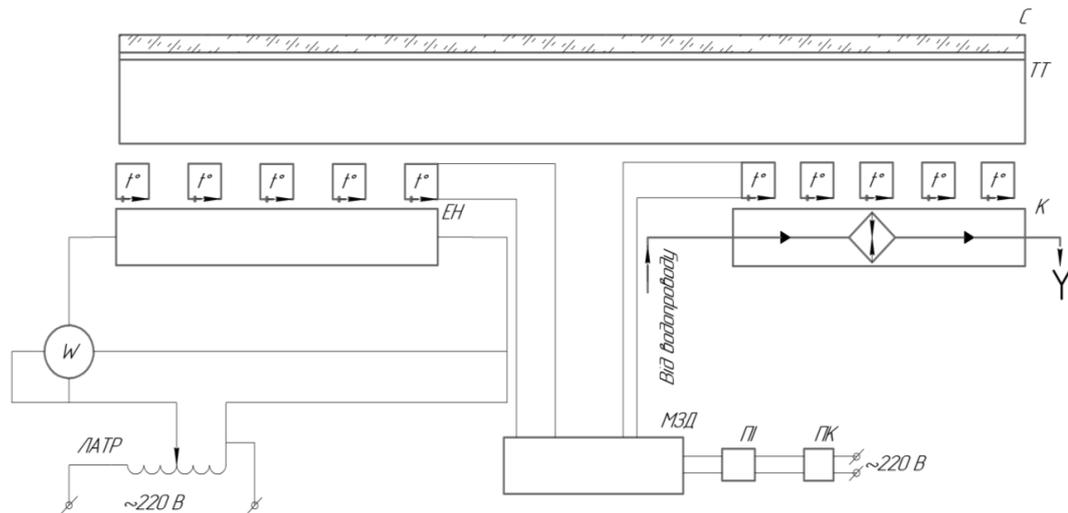
Теплова труба – це циркуляційна замкнена система, що слугує для якомога швидшого розподілу теплоти по усій своїй поверхні. Теплові труби виготовляють з добре теплопровідного матеріалу, такого як мідь, алюміній та ін. Всередині труби знаходиться капілярно-пориста структура, товщина якої зазвичай в межах 1 мм, залежно від розміру труби. В залежності від того де труба застосовується, її заповнюють теплоносієм, що кипить при даних умовах. Часто для теплових труб, що працюють в середньому температурному діапазоні це вода, спирт, аміак. Теплова труба умовно ділиться на 3 зони. В першій частині, що зазнає теплового впливу (зона нагріву), теплоносій закипає, тиск пари підвищується і вона починає рухатися в протилежну частину, де тиск менший (зона конденсації). В останній частині пара конденсується, виділяючи теплоту і потрапляє назад в зону нагріву, рухаючись по капілярній структурі. Частина по якій відбувається лише перенесення пари та теплоносія – транспортна [1-3].

Теплові труби бувають різних типів: пульсаційні, контурні, діодні, канавчасті, центробіжні, газорегулюючі, з порошковою або металоволокнистою структурою, термосифони, мініатюрні, мікротруби та пласкі труби. По діапазону робочих температур їх поділяють на низькотемпературні, середньотемпературні, високотемпературні та високотемпературні з тугоплавких матеріалів. Окрім стандартних циліндричної і плоскої форми, вони можуть бути також кільцеві, зіркоподібні, гнучкі, спіральні та ін. За властивостями теплові труби поділяють на такі групи: з високою ефективною теплопровідністю, такі, що забезпечують ізотермічність поверхні труби, трансформацію теплових потоків, теплові труби для терморегулювання та термостатування, інше. В сучасному світі теплові труби застосовуються в системах забезпечення теплового режиму радіоелектронної апаратури, в системах охолодження практично всіх комп'ютерних системах, в світлодіодних лампах та сонячній енергетиці [4-6].

В роботі проведено аналіз процесів, що протікають в пласкій тепловій трубі. Позаяк предмет дослідження відіграє важливу роль не тільки в наукових колах, але й в щоденному використанні людиною техніки, конфігурація якої включає теплові труби, актуальною проблемою є глибоке ознайомлення та вивчення властивостей і процесів, що відбуваються при роботі теплової труби. Проведені дослідження дозволять забезпечити якісне та доцільне застосування теплових труб в промисловості а також сприятимуть винайденню нових, з більш високими теплопередаючими характеристиками. Не зважаючи на те, що на сьогоднішній день було проведено значну кількість досліджень з пласкими тепловими трубами [7-9], існують певні проблеми, знайти рішення для яких дозволяють методи інженерного та комп'ютерного аналізу.

Дослідження були проведені на експериментальній установці, схема якої представлена на рис. 1. Основним елементом була власне пласка теплова труба ТТ, виготовлена з латуні. Її нижня поверхня була вкрита метало-волокнистою капілярно-пористою структурою з пористістю близько 82%. З протилежного боку була встановлена ізольована склом прозора ділянка С для візуалізації процесів кипіння та випаровування на капілярній структурі. Скло приєднувалось до корпусу труби силіконовим герметиком. Всередині труби створювався вакуум і після цього вона заповнювалась дослідною речовиною – дистильованою водою. Також установка включала в себе конденсатор К та нагрівач ЕН. В зонах теплової труби, де знаходилися конденсатор та нагрівач були розташовані мідь-константанові термопари, сигнал з яких приймалися модулем збору

даних МЗБ, який через перетворювач інтерфейсу ПІ підключається до персонального комп'ютера ПК.



ТТ – теплова труба; С – скло; ЕН – електронагрівач; К – конденсатор; ЛАТР – лабораторний автотрансформатор; МЗД – модуль збору даних; ПІ – перетворювач інтерфейсів; ПК – персональний комп'ютер

Рисунок 1 – Схема експериментальної установки

В результаті проведених досліджень візуально був виявлений розподіл фронту рідини в пористій структурі під час кризових явищ та особливості фазових перетворень. З врахуванням показань термопар в момент кризи і теплового потоку, більш детально проаналізували механізм кризи в тепловій трубі.

Перелік посилань:

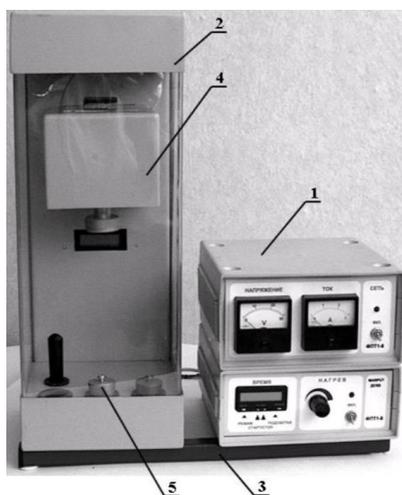
1. Хайрнасов С. М. Применение тепловых труб в системах обеспечения тепловых режимов РЭА: современное состояние и перспективы. Технологии и конструирование в электронной аппаратуре. 2015. №2-3. 19-33 с.
2. Ивановский М. Н., Сорокин В. П., Ягодкин И. В. Физические основы тепловых труб. М.: Атомиздат. 1978. 256 с.
3. Дан П.Д., Рей Д.А. Тепловые трубы. Перевод с английского Ю.А. Зейгарника. М.: Энергия. 1979. 272 с.
4. Семена М.Г., Гершуни А.Н., Зарипов В.К.. Тепловые трубы с металловолокнистыми капиллярными структурами К: Вища шк. Головное изд-во, 1984. 215 с.
5. Tang H., Tang Y., Wan Z., [et al.] Review of applications and developments of ultra-thin micro heat pipes for electronic cooling. Applied Energy. 2018. Vol. 223. P. 383-400.
6. Pacheco N., Brito F. P., Vieira R., [et al.] Compact automotive thermoelectric generator with embedded heat pipes for thermal control. Energy. 2020. Vol. 197. Art. No 117154.
7. Zhang Z., Wei K. Experimental and numerical study of a passive thermal management system using flat heat pipes for lithium-ion batteries. Applied Thermal Engineering. 2020. Vol. 166. Art. No 114660.
8. Putra N., Arianta B. Electric motor thermal management system using L-shaped flat heat pipes. Applied Thermal Engineering. 2017. Vol. 126. P. 1156-1163.
9. Zhang S., Chen J., Sun Y. [et al.] Experimental study on the thermal performance of a novel ultra-thin aluminum flat heat pipe. Renewable Energy. 2019. Vol. 135. P. 1133-1143.

Студент 4 курсу, гр. ТФ-71 Кравчук Д.А.
Доц., к.т.н. Лебедь Н.Л.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОЄМНОСТІ ПОРИСТИХ МАТЕРІАЛІВ

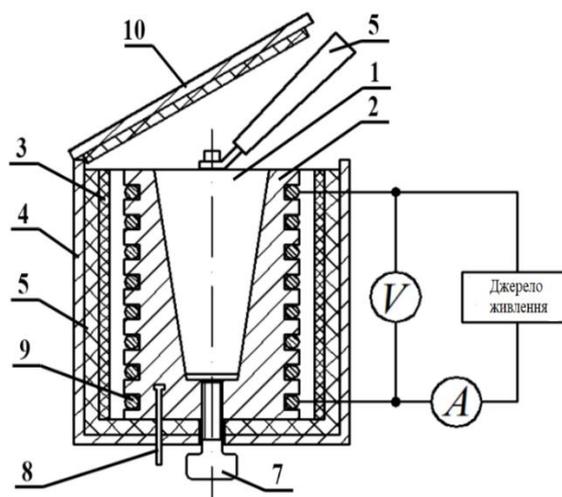
Для забезпечення необхідних параметрів процесу, а також процедури моделювання теплових процесів необхідно знати теплофізичні властивості матеріалів і середовищ. Теплоємністю називається кількість теплоти, яку необхідно підвести до одиниці кількості речовини (або відвести), щоб підвищити (або понизити) її температуру на один градус. Розрізняють об'ємну, масову та молярну теплоємності. Значення теплоємності залежить від температури, тиску і складу речовини. [1] Залежність теплоємності від температури ідеальних газів з достатньою точністю може бути отримана розрахунковим шляхом. Для реальних речовин прийнятні результати можна отримати лише експериментальним шляхом. Існує три методи експериментального визначення теплоємності: метод безпосереднього нагріву, метод змішування, метод потоку [1]. Процес теплообміну у пористих матеріалах пов'язано зі складними процесами: передача теплової енергії за рахунок теплопровідності матеріалу, теплопровідності повітря в порах та конвективного переносу в канальних порах. Інтенсивність наведених процесів залежить від теплофізичних властивостей каркасного матеріалу, рідини, яка заповнює пори, їх розмірів та кількості. Тому, створення установки і методики дослідження теплоємності пористих матеріалів потребує більш детального і обґрунтованого підходу.

У роботі [2] представлена установка для дослідження теплоємності пористих матеріалів ФПТ 1-8 (рис.1). На рис. 2 зображена принципова схема основного елемента установки ФПТ 1-8 – калориметра, який являє собою латунний корпус з конічним отвором для розміщення досліджуваного зразка. На зовнішній поверхні корпусу калориметра, в спеціальних пазах розміщується спіраль нагріву. Зовні корпус калориметра теплоізолюваний шарами азбесту і скловолокна та закритий алюмінієвим кожухом. Калориметр закривається теплоізоляційною кришкою. Температура калориметра вимірюється термопарою, яка знаходиться в корпусі калориметра. Напруга і струм в ланцюзі нагрівача вимірюється вольтметром і амперметром, які розташовані на передній панелі блоку приладів. Час нагріву калориметру вимірюється секундоміром, розташованим в блоці приладів.



1 – блок приладу, 2 – блок робочого елемента, 3 – стійка, 4 – нагрівач,
5 – фіксатор

Рисунок 1 – Вид загальний установки ФПТ 1-8 [2]



1 - зразок, 2 - корпус, 3 – азбест, 4 – кожух, 5 – рукоятка, 6 – скловолокно,
7 – гвинт, 8 – термопара, 9 – нагрівач, 10 – кришка
Рисунок 2 – Схема калориметра [2]

Методика проведення досліджень полягає у наступному. Порожній калориметр закривається кришкою і здійснюється його монотонний прогрів до заданої температури при постійному значенні напруги на нагрівачі. Під час прогріву виконується 7...10 вимірювань у часі нагріву порожнього калориметра через інтервал в 1°C . Після цього нагрівач калориметра вимикається і пристрій охолоджується до температури оточуючого середовища. Після охолодження калориметра в його камері розміщують дослідний зразок. Вмикається нагрівач калориметра, напруга на якому відповідає значенню напруги при нагріванні пустого калориметра. Фіксується час монотонного прогріву до заданої. При нагріві калориметра з дослідним зразком також виконується 7...10 вимірювань у часі через інтервал в 1°C .

Питома теплоємність зразка визначається за формулою:

$$K_{\alpha} = \frac{m \cdot c_v}{I \cdot u},$$

де K_{α} – кутовий коефіцієнт залежності різниці часу нагріву порожнього калориметру і калориметру зі зразком від зміни температури дослідного зразка; m – маса дослідного зразка; I, u – сила струму і напруга на нагрівачі.

Представлені установка і методика дозволяє з високою точністю визначати теплоємність пористих матеріалів калориметричним методом.

Перелік посилань

1. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. Москва: Энергия, 1975. 488 с.
2. Определение теплоёмкости твёрдых тел: метод.вказівки для студентів техн. спец. вузів III–IV рівнів акредитації. URL: <https://docplayer.ru/30689544-Opredelenie-teploemkosti-tverdyh-tel.html> (дата звернення: 25.03.2021).

Студент 4 курсу, гр. ТФ-71 Невчас Д.М.
Проф., д.т.н. Сорокова Н.М.

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВУЗЛА ПІДГРІВУ СУШИЛЬНОГО АГЕНТУ ДЛЯ БАРАБАННОЇ СУШИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

Барабанні сушильні установки широко використовуються в енергетичній, хімічній, будівельній, харчовій, деревообробній та інших галузях промисловості для зневоднення дисперсних пористих матеріалів. Це обумовлено рядом переваг: швидкістю сушіння, високим термічним ККД, відносною простотою конструкції і, відповідно, помірною вартістю.

За способом підведення теплоти барабанні сушарки поділяють на конвективні (найбільш поширені), контактні і комбіновані [1]. Контактні працюють як при атмосферних тисках, так і в умовах вакууму (для сушіння термочутливих або токсичних матеріалів).

Головна частина барабанної сушарки – горизонтальний чи ледь нахилений циліндричний барабан (рис.1), що обертається зі швидкістю 2 – 6 об/хв. Всередині барабана по його довжині перемішується й одночасно сушиться сипучий матеріал. Нахил барабана щодо горизонтальної осі передбачений для поступового пересування матеріалу від одного кінця до іншого і складає звичайно до 6°-8°. В деяких сушарках з метою регулювання її продуктивності можлива зміна кута нахилу барабану [2]. Основним недоліком барабанного сушіння є нерівномірність досягнення частинками матеріалу кінцевого вологовмісту. Тому всередині барабана, в залежності від особливостей структури матеріалу, що підлягає сушінню, встановлюють різні насадки чи поздовжні лопати-мішалки, що покращують контакт частинок із сушильним агентом і інтенсифікують процес [1,3].

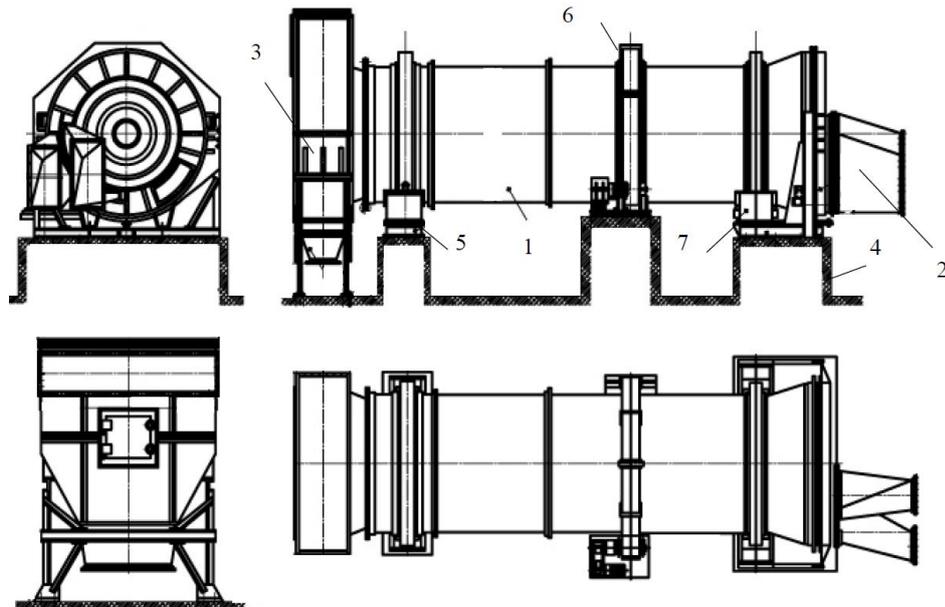


Рисунок 1 - Барабанна сушарка. 1 - барабан; 2 – отвір для вивантаження, 3 - завантажувальний отвір; 4 – основа; 5,7 – опорні колеса; 6 – привідне колесо

Важливими питаннями при створенні технологій і обладнання для конвективного сушіння є вибір сушильного агента, обґрунтування необхідних значень вихідних параметрів агента, таких як температура, вологовміст, витрата, що забезпечать ефективне проходження процесу, та режимів роботи теплообмінного обладнання для надання агенту зазначених параметрів. Ці питання є взаємопов'язаними і завжди вирішуються комплексно.

В якості сушильного агенту нерідко використовуються топкові гази, що мають високу температуру, інтенсифікують процес та здешевлюють його, особливо, якщо є можливість залучити відпрацьовані гази. Однак тенденцією сьогодення є не тільки зменшення собівартості кінцевого продукту, а і прагнення отримання якісного та екологічно чистого продукту. Для деяких галузей промисловості (харчової, пелетної) це прописано на законодавчому рівні [4].

Тому все частіше виробники схиляються до використання топкових газів, що містять велику кількість токсичних речовин, в якості теплоносія для нагріву атмосферного повітря. Застосування в якості сушильного агенту нагрітого атмосферного повітря виключає забруднення висушеного матеріалу шкідливими домішками.

В роботі для підігріву повітря димовими газами пропонується використання багатотрубного теплообмінника типу «газ-газ». Його проектування пов'язано з вибором джерела отримання димових газів. Зазвичай для цього будують спеціальні топочні пристрої в яких спалюють різні горючі гази, рідке паливо або відходи виробництва (відходи лісозаготівлі та деревообробки, відходи зернопереробних виробництв, незернова частина врожаю зернових та ін. культур, тощо) [5]. Однак набагато сучаснішим та раціональнішим методом буде утилізація димових газів з топків виробничих котелень, котлів ТЕС, плавильних, випалювальних або підігрівальних печей.

Розрахунок режимів роботи теплообмінника для підготовки сушильного агенту для барабанної сушарки ґрунтується на інформації про продуктивність сушарки по висушеному продукту, початковий і кінцевий вологовміст матеріалу, початкові температура і вологовміст сушильного агенту, витрата сушильного агенту на 1 кг випареної з матеріалу вологи, температура і витрата горючих газів на вході в теплообмінник. Зміна режимів роботи сушарки при переході до іншого матеріалу або іншої продуктивності передбачає повторне проведення громіздких обрахувань.

В роботі розроблено програмний комплекс, що включає розрахунки теплового і матеріального балансів для барабанної сушарки, в основі яких лежать закони збереження енергії і маси речовини, геометричних характеристик барабану та теплоізоляції, а також теплового стану і конструктивних параметрів багатотрубного теплообмінника, в залежності від необхідних вихідних параметрів сушильного агенту.

Створений програмний комплекс є універсальним для сушильного обладнання відповідної будови і ефективним для визначення режимних параметрів при пуско-налаштувальних роботах нової установки або при модернізації існуючої, при переході на іншу продуктивність роботи або інший вологий матеріал.

Перелік посилань

1. Акулич П.В., Акулич А.В. Конвективные сушильные установки. Методы и примеры расчета : навч. посіб. Мінск : Высшая школа, 2019. 276 с.
2. Бунецький В.А. Сушильний комплекс СК-3. <https://drive.google.com/file/d/0BzlvtyMIDzp2OUpXNmsxVkrWQm8/view> (дата звернення 17.03.2021).
3. Гомонай М.В. Производство топливных брикетов. Древесное сырье, оборудование, технологии, режимы работы: монографія. Москва: ГОУ ВПО МГУЛ, 2006. – 68 с.
4. Степанюк, А. Р., Степчук, І. В. Паливні брикети, як альтернативне паливо. Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій : матеріали конф., 2014. С. 206-208.
5. Альтернативна енергетика: Навч. посібник для студ. вищ. навч. закл. / за ред. М.Д. Мельничук та ін. Київ: Аграр Медіа Груп, 2011. 612 с.

Студент 4 курсу, гр. ТФ-71 Скрипко Є.І.; мол. вчений Мельник Р.С.
Асист. Алексеїк О.С.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ В КАЧЕСТВЕ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ В ТЕРМОСИФОНАХ

Термосифон – теплопередающий элемент на основе испарительно-конденсационного цикла, нашел широкое применение в различных устройствах теплообменного оборудования. Его основным преимуществом является высокая интенсивность теплоотдачи в областях подвода и отвода тепловой энергии. Этого добиваются путём изменения агрегатного состояния вещества (теплоносителя), находящегося внутри замкнутого объема. В зоне подвода теплоты - это процесс генерации паровой фазы (кипение), а в зоне отвода теплоты - обратный процесс (конденсация) [1].

Сегодня существует большое количество сфер для применения двухфазных термосифонов. Их можно использовать как для передачи теплоты в солнечных коллекторах, так и для систем охлаждения разнообразного оборудования [2].

Теплопередающие характеристики термосифонов зависят как от режимных параметров, так и от их геометрических размеров. В данной работе рассмотрено влияние теплоносителей на работу двухфазного термосифона (внутренним диаметр 6 мм, длиной 700мм, расход охлаждающей жидкости $4.9 \cdot 10^{-3}$ кг/с). Для изучения большего количества теплоносителей и их свойств выбрано 3 чистых теплоносителя, а именно: вода, спирт, водоспиртовой раствор (спирт и вода смешаны в пропорции 50/50 по массе) и 3 дисперсных системы, а именно: водографитовая, спирто-графитовая, водо-спирто-графитовая система.

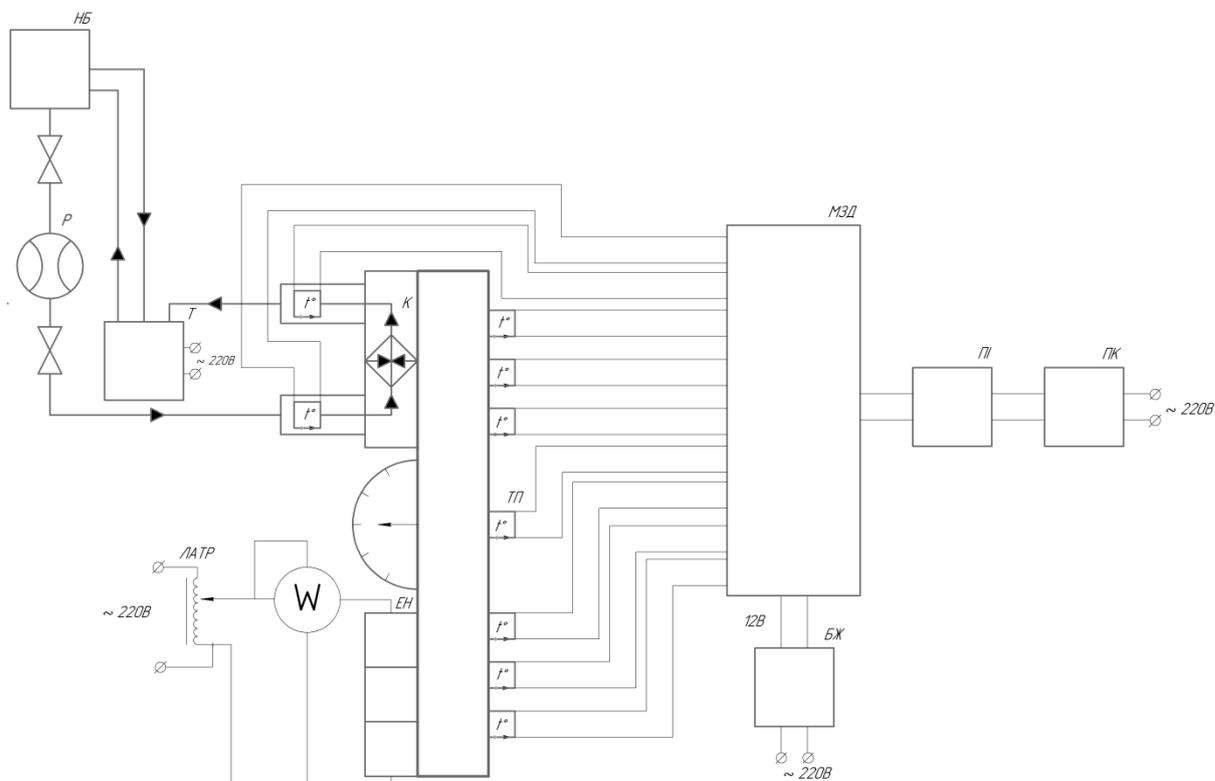
Дисперсная система образована из двух или более количества фаз, которые практически не смешиваются и не реагируют друг с другом. В данной работе дисперсная система считается Ж/Т (жидкая и твердая фаза). Жидкая фаза была смешана с измельченным графитом, который был получен с помощью шаровой барабанной мельницы (ШБМ), и отстаивался длительное время.

Для более детального изучения дисперсных систем и чистых сравнительных образцов была сконструирована экспериментальная установка, схема которой представлена на рис. 1.

При проведении экспериментов термосифон закреплялся в трех положениях. К зоне испарения термосифона тепловой поток подводился с помощью нагревателя (ЕН), подключённого к лабораторному трансформатору (ЛАТР). Контроль величины тепловой нагрузки осуществлялся с помощью ваттметра.

Температура по всей длине термосифона измерялась с помощью медь-константановых термопар ТП. Сигнал от термопар передавался на модуль сбора данных (МЗД) и далее на преобразователь интерфейса ПИ, а потом - на персональный компьютер (ПК)

Для исключения тепловых потерь в окружающую среду термосифон полностью теплоизолировался базальтовым волокном с коэффициентом теплопроводности 0.04 Вт/(м·К).



НБ – напорный бак, Р – ротаметр; Т – термостат; К – конденсатор; ЕН – электронагреватель; ЛАТР – лабораторный автотрансформатор; ТП – термодатчики; МЗД – модуль сбора данных; БЖ – блок питания; ПИ – преобразователь интерфейсов; ПК – персональный компьютер

Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки

Отвод теплоты в верхней части термосифона осуществляется с помощью конденсатора типа «труба в трубе» (К). Зона конденсации омывалась водой с расходом $4.9 \cdot 10^{-3}$ кг/с, который поддерживался постоянным с помощью напорного бака (НБ) и контролировался ротаметром (Р). Температура на входе в конденсатор и на выходе из него измерялась термодатчиками, которые находились в гильзах с глицерином. Температура воды на входе в конденсатор во время эксперимента поддерживалась постоянной с помощью термостата (Т).

Было проведено сравнение теплопередающих характеристик термосифонов с различными теплоносителями и сделаны выводы, какие из них лучше или хуже работают при различных условиях, а именно в зависимости от угла наклона термосифона.

Перечень ссылок:

1. Кравец В. Ю., Коньшин В. И., Ванеева Н. С. Интенсивность теплоотдачи в зоне испарения двухфазных термосифонов. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2014. № 2(5). С. 45-50
2. Безродный М.К., Волков С.С., Мокляк В.Ф. Двухфазные термосифоны в промышленной теплотехнике. К.: Вища школа, 1991. 75 с.

Магістрант 5 курсу, гр. ТФ-01мн Половинкін К.О.
Проф., д.т.н. Кравець В.Ю.

ФІЗИЧНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ МІКРОПРОЦЕСОРА НА ОСНОВІ ДВОФАЗНОГО ТЕРМОСИФОНА

З кожним роком мікропроцесори набувають все більшого поширення як в побутовій електроніці, так і у високопродуктивних системах. З метою надати користувачу товар, котрий відповідає сучасному рівню потреб, виробники мікропроцесорів постійно збільшують їх обчислювальну потужність.

Такий результат досягається шляхом розміщення на кристалі мікропроцесора більшої кількості напівпровідникових елементів. Збільшення напівпровідникових елементів без збільшення розмірів кристала мікропроцесора призводить до збільшення величини теплового потоку, що виділяється з одиниці поверхні мікропроцесора. Постає задача відводу значних теплових потоків від мікропроцесора [1].

В ході даної роботи було розроблено фізичну модель системи охолодження мікропроцесора на основі двофазного термосифона, яку представлено на Рис.1. Така система охолодження є високоефективною і дозволяє відводити значно більші теплові потоки від мікропроцесора, порівняно з існуючими системами охолодження [2].

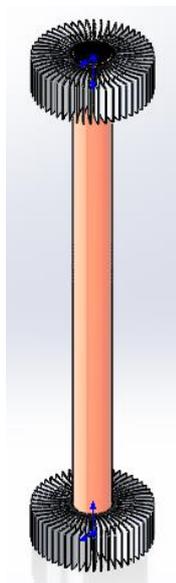


Рисунок 1 – Модель двофазного термосифона

В ході даної роботи було проведено розрахунки для різних типів оребрення зони конденсації двофазного термосифона, а також – для різних умов відводу теплового потоку від зони конденсації.

Розглядалось оребрення за допомогою припаювання витків мідного дроту в зоні конденсації термосифона. В ході розрахунку такий тип оребрення виявився низькоефективним в умовах задачі охолодження мікропроцесора.

В якості оребрення зони конденсації термосифона було вирішено використати радіатор з алюмінієвими спіралеподібними ребрами із мідною серцевиною для кращого розподілення теплового потоку по висоті радіатора. Модель даного радіатора зображено на Рис.2.

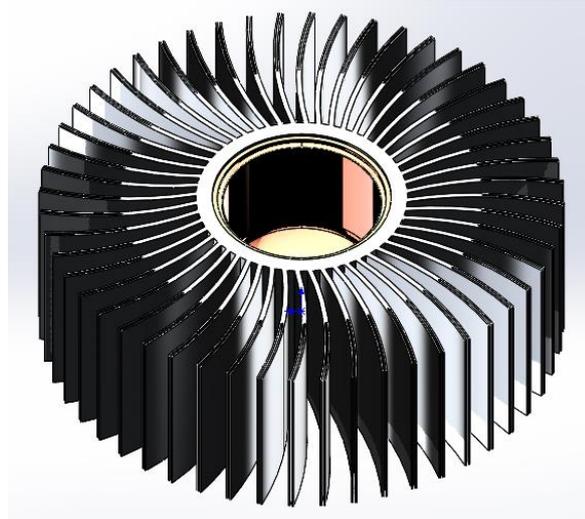


Рисунок 2 – Модель радіатора зони конденсації двофазного термосифона

В якості умов відводу теплового потоку від зони конденсації розглядалися два варіанти: вільна конвекція і вимушена конвекція. В ході розрахунку використання вільної конвекції в умовах даної задачі виявилось низькоефективним.

Як результат розрахунку вирішено використовувати для відводу теплового потоку від зони конденсації термосифона умови вимушеної конвекції з інтенсивністю теплообміну $75 \text{ [Вт/м}^2\cdot\text{К]}$.

В конструкції термосифона передбачено використання двох радіаторів з алюмінієвими спіралеподібними ребрами із мідною серцевиною, між якими впаяна мідна трубка із внутрішнім діаметром $0,03 \text{ [м]}$. Використання двох радіаторів дозволяє ефективно відводити тепловий потік як від зони конденсації термосифона, так і безпосередньо від зони нагріву. Слід зазначити, що мідна серцевина радіатора, розміщеного в зоні нагріву, дозволяє ефективно передавати тепловий потік від мікропроцесора до робочого середовища двофазного термосифона. Такий підхід дозволяє значно збільшити ефективність роботи двофазного термосифона.

В якості робочого середовища вирішено використовувати метиловий спирт. Завдяки його теплофізичним властивостям стає можливим забезпечення ефективної роботи двофазного термосифона при температурі мікропроцесора $35 \text{ [}^\circ\text{C]}$. Такі умови роботи двофазного термосифона дозволяють підтримувати оптимальний для роботи мікропроцесора діапазон температур [3].

Наступним етапом даної роботи є проведення фізичного експерименту з метою визначення похибки в ефективності роботи двофазного термосифона між розрахунковими даними та результатами даних фізичного експерименту. Аналіз цих даних дозволить оптимізувати режим роботи двофазного термосифона в умовах задачі охолодження мікропроцесора.

Перелік посилань:

1. Bieliński H., Mikielwicz J. Computer cooling using a two phase minichannel thermosyphon loop heated from horizontal and vertical sides and cooled from vertical side. *Arch. Thermodyn.* 31(2010), 4, 51–59.
2. Paramatthanuwat T., Boothaisong S., Rittidech S., Booddachan K. Heat transfer characteristics of a two-phase closed thermosyphon using de ionized water mixed with silver nano. *Heat Mass Transfer.* 2010. Vol. 46. P.281–285.
3. Безродный М.К., Пиоро И.Л., Костюк Т.О. Процессы переноса в двухфазных термосифонных системах: монография. Киев: Факт, 2003. 479 с.

Магістрант 5 курсу, гр. ТФ-01мн Половинкін К.О.
Проф., д.т.н. Сорокова Н.М.

ФІЗИЧНА МОДЕЛЬ НАНОСУПУТНИКА POLYITAN-4-BIO

В останні роки у світовому масштабі активно розвивається аерокосмічна сфера. Це пов'язано з тим, що за невеликий проміжок часу потреби людства значно збільшилися. Результатом розвитку аерокосмічної сфери є можливість користування мобільним зв'язком, отримання знімків атмосфери та поверхні планети з орбіти, детальне дослідження космічного простору та багато іншого.

Однак, однією з основних проблем цього напрямку є висока вартість постачання предметів побуту та продуктів харчування на орбіту. Відомо, що на Міжнародній космічній станції (МКС) проводились експерименти з вирощування рослин. Проте, такий підхід потребує значного часу на догляд за розвитком рослин, який космонавти можуть витратити на виконання іншої роботи [1].

В даній роботі пропонується вирішення проблеми автономного вирощування та постачання продуктів харчування на орбіту, шляхом використання наносупутників (НС) форм-фактору CubeSat.

У зв'язку з цим, Національним управлінням з аеронавтики та дослідження космічного простору (НАСА), Каліфорнійським політехнічним інститутом та Стенфордським університетом у 2010 році була створена ініціатива щодо запуску НС формату CubeSat. Ця ініціатива надає можливість некомерційним організаціям та освітнім установам запуску стандартизованих супутників.

Перевагами НС формату CubeSat є відносно невелика вартість (декілька десятків тисяч USD), маса (до 10 кг) та габарити, які змінюються в межах від 100x100x100 мм до 100x100x600 мм. У порівнянні з оцінкою проведення дослідів на МКС, застосування НС істотно спрощує і здешевлює біоексперименти [2] в умовах космічного простору,

Наразі в КПІ ім. Ігоря Сікорського здійснюється розробка НС PolyITAN-4-Bio, який зображено на Рис.1.

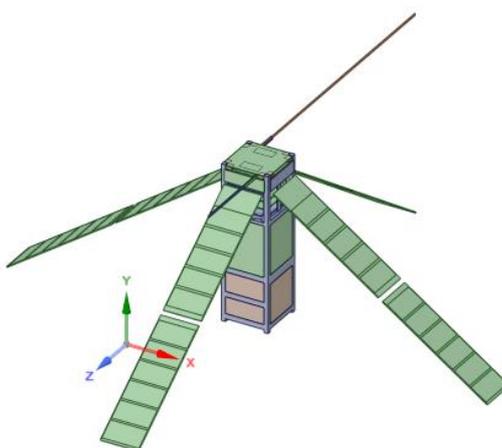


Рисунок 1 – Модель НС PolyITAN-4-Bio

Головною особливістю PolyITAN-4-Bio є спеціально сконструйована герметична біокапсула, яку зображено на Рис.2. Біокапсулу розроблено для підтримки життєдіяльності рослин в умовах впливу космічного середовища та мікрогравітації.

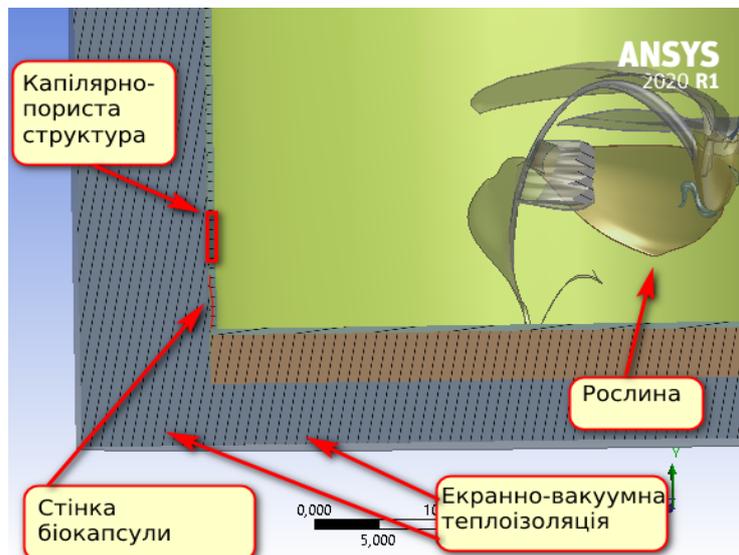


Рисунок 2 – Біокапсула для підтримки життєдіяльності рослин в умовах впливу космічного середовища та мікрогравітації

Головна особливість даної роботи – забезпечення автономного розвитку рослин в умовах впливу космічного середовища та мікрогравітації.

З цією метою НС забезпечено датчиками кисню, датчиками вуглекислого газу, датчиками температури та вологості внутрішнього середовища біокапсули, датчиками вологості кореневого субстрату рослини, датчиками рівня освітленості.

Для відтворення сприятливих умов розвитку рослини за допомогою фіто світлодіодів моделюються умови дня і ночі. Такий підхід забезпечує повторне відновлення кисню та поглинання вуглекислого газу в процесі життєдіяльності рослини.

Використання фіто світлодіодів забезпечує відтворення земного розвитку рослини. Це пов'язано з тим, що фіто світлодіоди випромінюють світло в частотному діапазоні, подібному до сонячного випромінювання. Такий підхід забезпечує сталий розвиток рослини.

В конструкції НС передбачено наявність малопотужного вентилятора. Це сприятиме перемішуванню повітряного середовища і забезпечить конвективний теплообмін всередині біокапсули з інтенсивністю $5-7 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$.

Важливою складовою даної роботи є забезпечення теплового стану НС [3]. Сприятливими умовами для розвитку рослини є температура $17-24 \text{ }^\circ\text{C}$.

З метою розрахунку зовнішнього теплового навантаження та температурних полів в програмному пакеті Siemens NX Space Systems Thermal, що базується на методі зосереджених параметрів, була розроблена тепла модель НС PolyITAN-4-Bio. Отриманні дані будуть використані для забезпечення адекватності функціонування НС при моделюванні теплового стану у термовакuumній камері, що дозволить уточнити результати комп'ютерного розрахунку.

Перелік посилань:

- 1 Enright. J.P., Sedwick R.J., Miller D.W. High-Fidelity Simulation for Spacecraft Autonomy Development. *Canadian Aeronautics and Space Journal* 1, 2002, P. 35-41.
2. Hines J. Nanosatellite Biological Missions and Technology at NASA's Ames Research Center, NASA Ames Research Center (ARC), Moffett Field, California, USA, 2015, P. 78-84.
3. Whitney Q. Lohmeyer, Dr. Kerri Cahoy Space weather radiation effects on geostationary satellite solid-state power amplifiers. *AGU Space Weather*, 2013, P. 54-59.

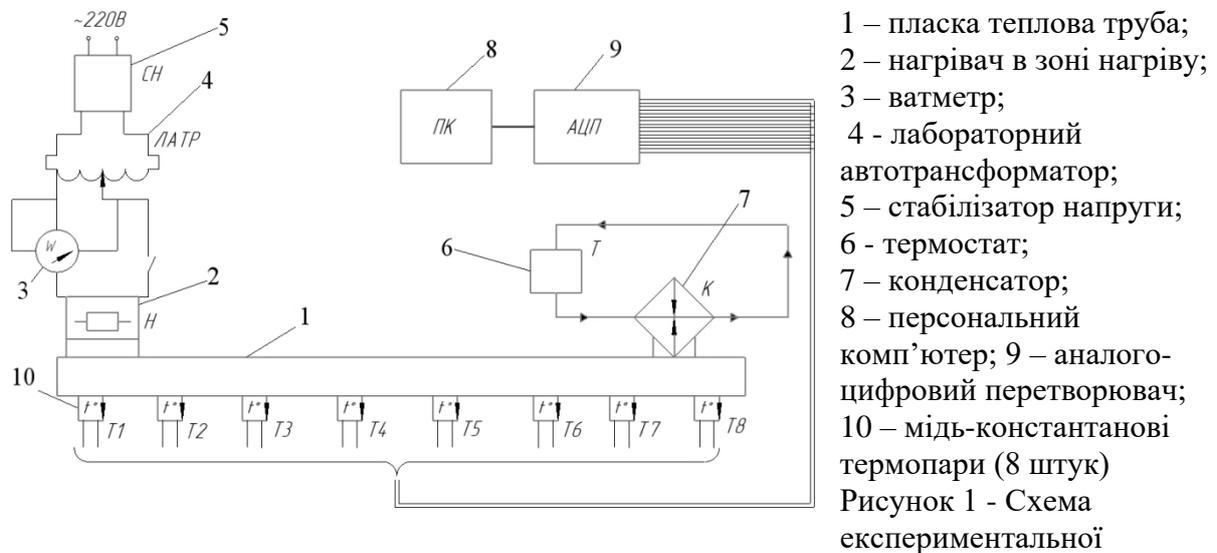
Магістрант 6 курсу, гр. ТФ-91мн Васильєва А.Д.; проф., д.т.н. Кравець В.Ю.
Доц., к.т.н. Шевель Є.В.

МАКСИМАЛЬНА ТЕПЛОПЕРЕДАВАЛЬНА ЗДАТНІСТЬ ПЛАСКИХ ТЕПЛОВИХ ТРУБ З МЕТАЛОВОЛОКНИСТОЮ КАПІЛЯРНОЮ СТРУКТУРОЮ

Науково-технічний прогрес характеризується створенням нових та більш вдосконалених електронних пристроїв різних розмірів. Це, в свою чергу, призводить до необхідності створення більш потужних систем охолодження, здатних відводити великі теплові потоки при мінімальних втратах. В якості елементів тепловідводу таких систем можуть використовуватись плоскі теплові труби. Вони здатні охолоджувати як великі поверхні, наприклад, в елементах радіоелектронної апаратури, як описано в роботі [1], так і мініатюрні пристрої – смартфони, планшети, ноутбуки [2]. Завдяки формі свого корпусу, плоскі теплові труби максимально щільно прилягають до елементів тепловиділення електронних пристроїв. Таким чином, значно зменшується термічний опір між корпусом теплової труби і джерелом теплоти. Проте плоскі теплові труби, як і круглі, мають певні обмеження своєї теплопередавальної здатності, а саме:

- гідродинамічне обмеження, що виникає внаслідок перевищення сумарних втрат тиску на переміщення та випаровування теплоносія над загальним капілярним напором;
- обмеження по кипінню, спричинене появою плівкового кипіння теплоносія при певних значеннях підведеного теплового потоку;
- звукове обмеження, що спричинене запиранням потоку пари внаслідок його наближення до швидкості звуку на виході із зони нагріву;
- обмеження, спричинене винесенням потоку рідини зустрічним потоком пари.

В даній роботі було проведено дослідження впливу різних видів обмежень на максимальний тепловий потік, що може підводитись до плоских теплових труб з металоволокнистою капілярно-пористою структурою. Схема експериментальної установки, що використовувалася в серії експериментів представлена на рис. 1.



Досліджуваним елементом була мідна плоска тепла труба, загальний вигляд якої зображений на рис. 2.



Рисунок 2 - Плaska теплова труба (фото)

Товщини стінки труби та капілярно-пористої структури становили по 0,5 мм, товщина парового простору 0,8 мм (рис. 3). Плaska теплова труба виготовлялася методом пресування з круглої теплової труби

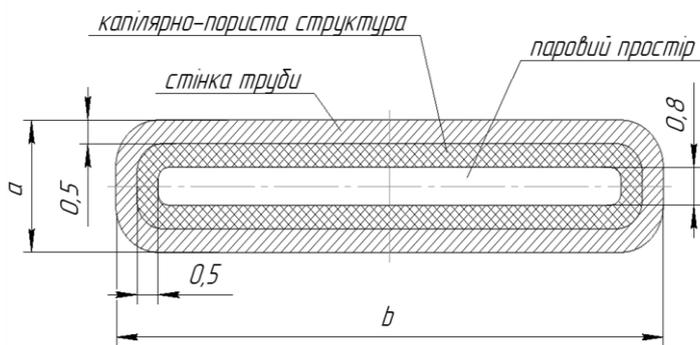


Рисунок 3 - Поперечний переріз пласкої теплової труби (розміри в мм)

діаметром 5 мм, загальною довжиною 224 мм, довжиною зони нагріву 40 мм та зони конденсації 65 мм. Довжина волокон капілярної структури становила 3 мм, діаметр волокон 50 мкм, пористість 75 %.

Підвід і відвід теплоти від пласкої теплової труби було організовано за допомогою плаского нагрівача та плаского конденсатора відповідно. Труба притискалась до них, а між поверхнею труби та поверхнями

нагрівача та конденсатора був шар теплопровідної пасти для зменшення контактного термічного опору.

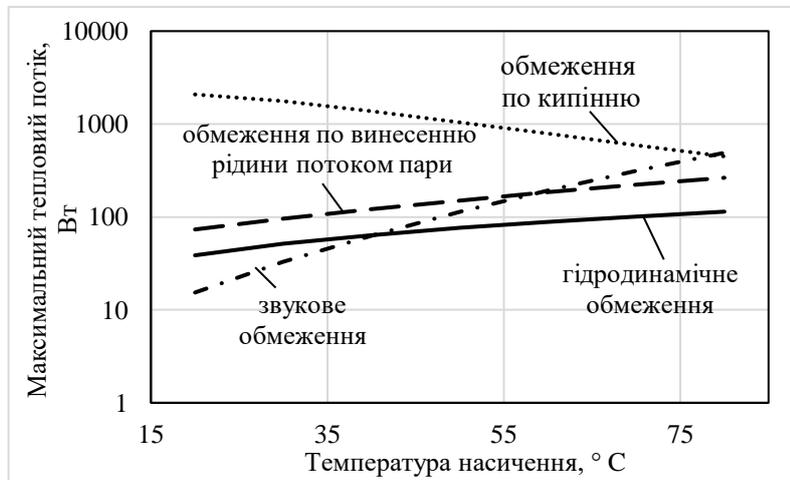


Рисунок 4 - Існуючі обмеження теплопередавальної здатності для пласкої теплової труби

Дослідження показало, що в основній частині досліджуваного діапазону температур гідродинамічне обмеження є найбільш критичним і якщо воно не досягається, у випадку, коли капілярний напір капілярно-пористої структури перевищує сумарні втрати на прохід рідкої та парової фази, тоді інші обмеження не будуть досягатись автоматично, і працездатність пласкої теплової труби буде зберігатись (рис. 4).

Перелік посилань:

1. В. А. Деревянко, Д. А. Нестеров, В. Е. Косенко, В. Д. Звонарь [и др.] Плоские тепловые трубы для отвода тепла от электронной аппаратуры в космических аппаратах. *Вестник сибирского государственного аэрокосмического университета им. Академика М. Ф. Решетнева*, 2013. №6(52). С. 111-116.
2. S. A. Mohammad, S. Yuji, M. Koichi, M. Masataka. Characterization of a high performance ultra-thin heat pipe cooling module for mobile hand held electronic devices. *Heat Mass Transfer*, 2017.

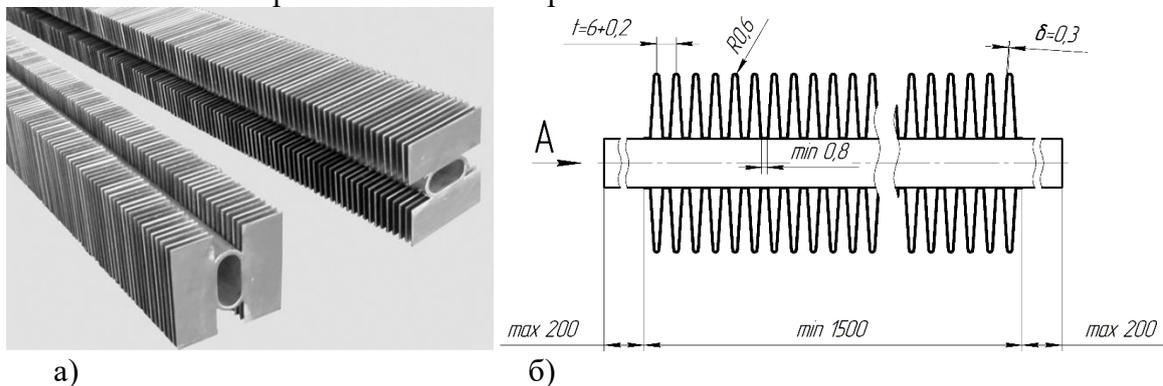
Магістрант 6 курсу, гр. ТФ-91мн Конько Д.В.
Доц., к.т.н. Баранюк О.В.

ТЕПЛОМАСООБМІН ТА АЕРОДИНАМІКА КОМПОЗИЦІЙНИХ ПЛОСКООВАЛЬНИХ ТРУБ З НЕПОВНИМ ГОФРОВАНИМ ОРЕБРЕННЯМ

Підвищення ефективності теплоенергетичного обладнання є важливим в актуальному напрямку вирішення задач енергозбереження. В першу чергу вона стосується розробки і впровадження нових видів конвективних трубчастих поверхонь теплообміну, які відрізняються високою теплоаеродинамічною ефективністю. Важливим кроком у цьому напрямі є створення, вдосконалення і впровадження інтенсифікованих поверхонь нагрівання із різних типів труб. Відомо, що значна кількість теплообмінних апаратів, що використовується в енергетиці, мають теплообмінну секцію, що виготовлена з гладких циліндричних труб. Ці труби, з точки зору поліпшення їх теплових і аеродинамічних характеристик, на сьогоднішній день себе практично вичерпали, тому стає актуальним питання їх повноцінної заміни.

Теплообмінні поверхні, які мають прийти на зміну круглим трубам повинні володіти високими теплопередавальними характеристиками, низьким аеродинамічним опором, а також технологічністю і невисокою вартістю виробництва. Такими поверхнями теплообмінних пристроїв можуть бути пакети з труб зручнообтійної форми: овальної, плоско-овальної, краплеподібної тощо. Ці труби які мають ряд істотних переваг перед трубами круглого профілю і вперш за все в 2-3 рази меншим аеродинамічним опором при практично однакових теплопередавальних характеристиках [1, 2].

В «КПІ ім. Ігоря Сікорського» розроблені і протестовані теплообмінні поверхні у вигляді плоско-овальних труб (рис. 1а), що показали свою ефективність в широкому діапазоні зміни режимних параметрів потоку, геометричних характеристик труб і їх пакетів. Запропонованого розрахункові співвідношення для визначення коефіцієнтів теплообміну при поперечному їх омивання повітряним потоком. Таким чином, можна сміливо стверджувати, що плоско-овальні труби з неповним ребренням є елементною основою для широкого класу вискоефективних теплообмінних пристроїв, що використовуються в різноманітних гілках промисловості та енергетики.



а) б)
Рисунок 1 – Плоско-овальні труби (а) та композиційні плоско-овальні труби з неповним гофрованим ребренням (б)

Абсолютно новим кроком в розвитку ідеї плоско-овальних труб з неповним ребренням став проект, що буде досліджуватись в рамках даної роботи – композиційні плоско-овальні труби з неповним гофрованим ребренням. Використання нового типу ребрення (рис. 1б) для їх використання в якості теплообмінних поверхонь потребує досліджень і отримання надійних розрахункових залежностей для визначення коефіцієнтів теплообміну. Постає задача дослідження теплообміну та аеродинамічних характеристик

плоскоовальної труби з неповним гофрованим оребренням. Для попередньої оцінки ефективності даного типу оребрення був обраний метод CFD-моделювання.

Поставлену задачу вирішували в стаціонарній постановці з дотриманням вимоги досягнення незалежності рішення від щільності розрахункової сітки. В якості граничних умов в використовувався перепад тиску через трубу з дотриманням визначеної в налагоджувальних експериментах середньовитратної швидкості потоку. Визначено, що режим течії потоку, що має місце при омиванні композиційних плоско-овальних труб з неповним гофрованим оребренням – турбулентний. В якості характерного розміру, за допомогою якого визначались середні числа Нусельта та Рейнольдса використовувався гідравлічний діаметр. Для моделювання складових тензора напружень Рейнольдса використовувалась модель турбулентності Ментера, яка дозволяє отримати достатньо точні результати як при моделюванні течій з великою кривизною ліній току і закручуванням течії та і течій без відриву примежового шару. Керуючі рівняння математичної моделі турбулентної течії, що має місце в цій задачі, приведені в відомих підручниках з чисельних методів в гідродинаміці.

Результати CFD-моделювання представлені у вигляді залежностей $Nu = f(Re)$ та $Eu = f(Re)$ (рис. 2 а,б). Для оцінки ефективності композиційних плоско-овальних труб з неповним гофрованим оребренням проводилось порівняння їх інтенсивності теплообміну і аеродинамічного опору з відомими емпіричними залежностями розрахунку гладких циліндричних труб і труб з спіральним оребренням [3]. З отриманих результатів видно, що інтенсивність тепловіддачі дослідних поверхонь теплообміну вища.

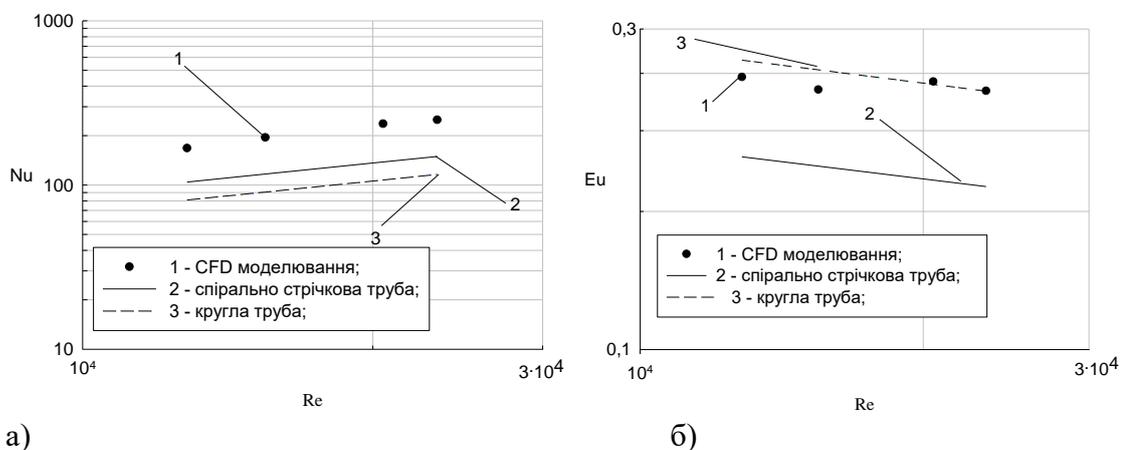


Рисунок 2 – Результати моделювання інтенсивності теплообміну (а) та аеродинамічного опору (б)

Такий результат може бути пояснено тим, що форма ребра на поверхні труби не тільки сприяє збільшенню поверхні оребрення, а і створюються умови щодо зменшення товщини примежового шару і доступу охолоджуючого повітря до нагрітої стінки труби.

Перелік посилань:

1. Терех О.М., Семеняко О.В., Туз В.О., Кондратюк В.А. Обтікання поодиноких циліндрів в поперечному потоці. *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. 2013. №2/8 (62). С. 23-26.
2. Новые эффективные развитие поверхности теплообмена для решения задач энерго- и ресурсосбережени. *Промышленная теплотехника*. 2007. Т. 29, № 5. С. 7-16.
3. Shah R.K., Sekulic D.P. *Fundamentals of Heat Exchanger Design*. Jon Wiley & Sons, 2003. 941 p.

ЕФЕКТ ТЕПЛООВОГО КЛЮЧА В ВИПАРНО-КОНДЕНСАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

Однією з основних переваг теплових труб є їх висока теплова провідність. Однак дуже часто виникає необхідність регулювати цю провідність для того, щоб змінювати кількість переданого трубою тепла, або підтримувати оптимальний рівень температури радіоелектронного обладнання. Для цього зазвичай використовуються теплові труби змінної провідності, найпоширеніші конструкції яких (рис. 1): з неоднорідною капілярною структурою (КС); без КС в зоні тепловідводу; з пасткою для рідини; зі збірником конденсату; з блокуванням поверхні нагріву рідиною [1]. виготовлення цих теплових ключів ускладнене за рахунок наявності додаткових конструкційних елементів. Тому метою даної роботи є дослідження теплового ключа без таких елементів.

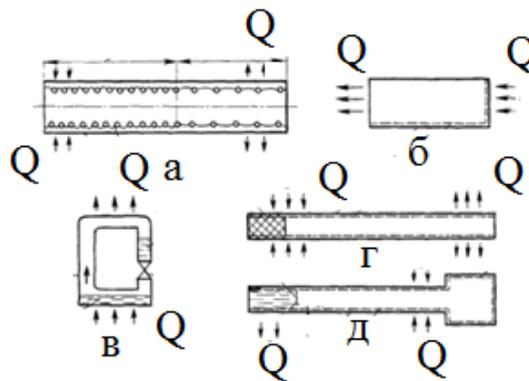


Рисунок 1 - Схеми теплових діодів: а) з неоднорідною капілярною структурою; б) без капілярної структури в зоні тепловідводу; в) з пасткою для рідини; г) зі збірником конденсату; д) з блокуванням поверхні нагріву рідиною [1]

Було проведено серію експериментів, для знаходження оптимальної конфігурації U подібної теплової труби змінної провідності, рисунок 2.

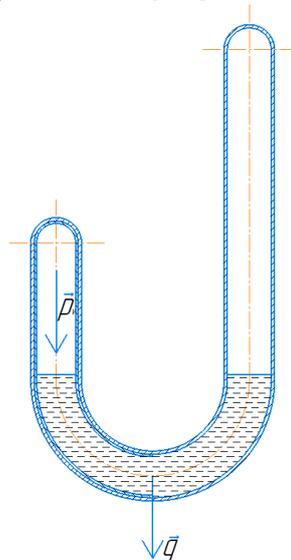


Рисунок 2 – Принципова схема теплового ключа.

Тепловий ключ повинен працювати наступним чином. При підведенні теплового потоку у зоні нагріву, рідина випаровується із капілярної структури та створює надлишковий тиск. Цей тиск повинен проштовхнути рідину яка знаходиться в зоні транспорту. Металоволокниста структура за рахунок капілярних сил підкачує надлишок рідини до зони нагріву, тим самим зменшуючи його кількість в зоні транспорту. У цьому

разі тиск пари у зоні нагріву теплової труби стає достатнім для проштовхування рідини, яка залишилася в зоні транспорту. При цьому тиск, який створений паром повинен перевищувати капілярні, в'язкісті та гравітаційні сили. Тоді рідина з зони транспорту проштовхується до зони конденсації і таким чином термічний опір теплової труби різко зменшується. Після цього температура в зоні нагріву і тиск зменшуються і рідина повертається в зону транспорту. Процес, що описаний вище, повторюється і спостерігаються так звані «пульсаційні ефекти».

Серія експериментів показала, що для теплового ключа з параметрами: пористість, P 86%, та діаметром труби 6 мм, капілярного тиску для підкачки рідини проти сил тяжіння не вистачає. Але при зміні конфігурації з U- подібної на Г-подібну, де зони нагріву і конденсації розташовані під кутом 90 градусів відносно одна одної, при цьому зона нагріву розташовувалась горизонтально, а зона конденсації – вертикально. Тоді труба працювала в якості теплового ключа, рисунок 3,4.

Спочатку маємо великий термічний опір. При досяганні певного теплового потоку тиск пари в зоні нагріву зростає і тоді умови для проштовхування рідини із зони транспорту до зони конденсації поліпшуються. Різниця температур між зоною нагріву і конденсації різко падає та термічний опір зменшується (рис. 3).

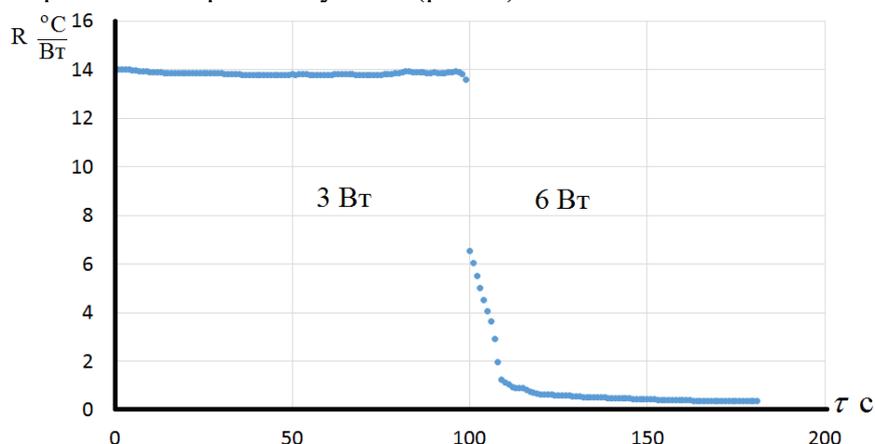


Рисунок 3 – Залежність термічного опору у часі для теплового ключа

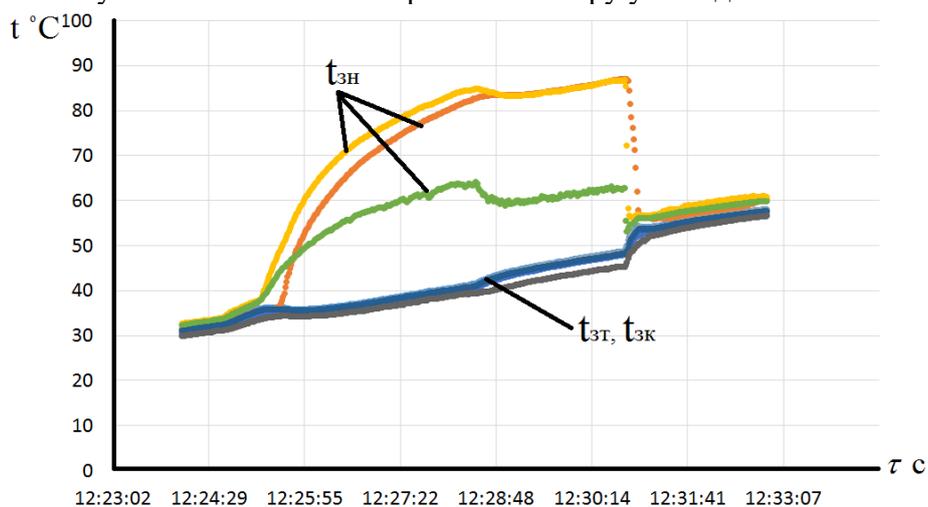


Рисунок 4 – Залежність температур у часі для теплового ключа

Таким чином було показано, що така конструкція може використовуватись в апаратах для термостабілізації об'єктів охолодження як вимикач чи вмикач відводу теплоти.

Перелік посилань:

1. М. Н. Ивановский, В. П. Сорокин, Б. А. Чулков, И. В. Ягодкин, В. Е. Технологически основы тепловых труб. М.: Атомиздат, 1980 г., 256 с.

СЕКЦІЯ №4

**Теплогідравлічні
процеси в тепло- і
парогенеруючих
установках**

ЗАСТОСУВАННЯ КОНДЕНСАЦІЙНИХ ЕКОНОМАЙЗЕРІВ НА ЕНЕРГЕТИЧНИХ НА ГАЗОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ТА ВОДОГРІЙНИХ КОТЛАХ

Мета та завдання дослідження:

Метою роботи є підвищення ефективності енергетичного обладнання, що використовує органічні палива за рахунок використання конденсаційного обладнання. Для досягнення поставленої мети вирішення наступної задачі:

- На підставі огляду літературних джерел і існуючих способів і засобів утилізації тепла в конденсаційних установках, будуть виявлені напрямки підвищення ефективності їх роботи;
- Теоретичні дослідження процесу теплообміну в конденсаційному економайзері при різних режимах роботах енергетичного обладнання;
- Будуть проведені випробування на працюючому конденсаційному енергетичному обладнанні.

Результат літературного огляду

Низько потенційна теплота, отримана в результаті утилізації димових газів зазвичай використовується для нагріву сирої води при підготовці живильної і підживлювальної води для котлів і теплових мереж. Також води для технологічних потреб промислових підприємств, мережної води систем опалення та гарячого водопостачання. Рідше – для підігріву повітря в опалювально-вентиляційних системах. [1, 3]. Для нагріву холодної підживлювальної води парових котлів і систем тепlopостачання потрібно істотно більша кількість теплоти, ніж її може бути отримано в процесі утилізації [1]. Тому більш привабливою є ідея використання в якості підживлювальної води конденсату, який утворюється з продуктів згоряння природного газу, але для цього потрібно задіяти значну кількість ресурсу, так як конденсат є корозійно активним [2]. Використання утилізаційної теплоти в системах опалення обмежується попереднім підігрівом мережної води перед подачею її в водогрійний котел, а також періодичністю роботи теплових мереж. При цьому ККД утилізаційної системи підвищується незначно (на 3 - 6%). Більш ефективним є нагрів води з температурою 5 - 15 °С в системах гарячого водопостачання, але зворотня температура досягає 20-70 °С. Для усунення добової періодичності споживання води досить ефективним є застосування баків-акумуляторів. У цьому випадку підвищення ККД системи може становити 10 - 15%. Альтернативним варіантом є підвищення ККД парового котла до 10% шляхом підігріву саме органічно тіла і вироблення більш цінного ресурсу – електричної енергії на турбіні з органічним теплоносієм.

Опис роботи установки

Авторами запропоновано схема установка для утилізації теплоти відхідних газів котла, що складається з конденсаційного теплообмінника (КТ), турбіни з органічним теплоносієм, живильним насосом, конденсатором та пароперегрівачем. Дана установка розрахована для встановлення на Київській ТЕЦ-5, блоку №1 потужністю 100 МВт. КТ розташовується за регенеративними повітря-підігрівачами (рисунок 1) та перед димососом. Він призначений для підігріву робочого тіла до температури насичення [4]. В якості робочого тіла було обрано аміак, який має високу теплоту пароутворення, нульовий потенціал глобального потепління, а також низьку вартість [5]. Цикл роботи робочого тіла зображений на рисунку 2. Параметри в ключових точках представлені в таблиці.

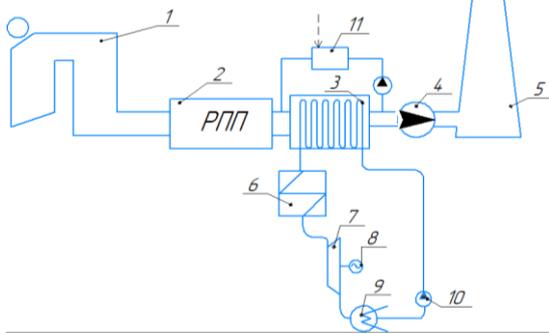
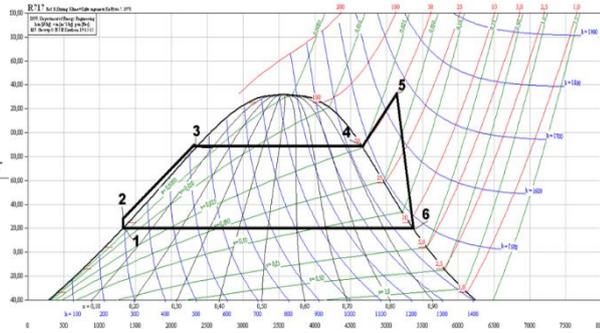


Рисунок 1 - Використання конденсаційного теплообмінника з турбіною на органічному циклі.
1- котел, 2- регенеративний повітря підігрівач, 3-КТ, 4- димосос, 5- димова труба, 6- паровий теплообмінник, 7- турбіна, 8- генератор, 9- конденсатор, 10- насос, 11- теплогенератор



Точка, №	Температура, С	Тиск, бар	Ентальпія, кДж/кг	Теплота пароутворення, кДж/кг
1	20	8,5	292	-
2	30	50	312	-
3	90	50	656	823
4	90	50	1426	-
5	130	50	1616	-
6	20	8,5	1479	1178

Рисунок 2 – Цикл роботи аміаку на TS діаграмі
1-2-підвищення тиску насосом, 2-3- нагрівання в КТ, 3-4 кипіння робочого тіла, 4-5- перегрівання робочого тіла, 5-6-розширення пари в турбіні, 6-1- конденсація робочого тіла

Дана установка дозволяє виробляти електричну енергію, в залежності від навантаження котла (паропродуктивність котла 240 - 480 т/г) від 177 кВт до 398 кВт. Теплова потужність КТ становить від 14 МВт до 32 МВт. Теплова потужність пароперегрівника становить від 2,5 МВт до 5,5 МВт, конденсатору від 15,3 МВт до 34,5 МВт. В якості матеріалу труб для КТ був обраний біметал. Через високу корозійну активність конденсату поверхня труби виконана із матеріалу сталь 20. Задля збільшення коефіцієнту теплопровідності поверхня труби оребрена, а зі сторони робочого тіла поверхня виконана із алюмінію. Основним обмеженням глибокого охолодження димових газів є конденсація водяної пари, що міститься у продуктах згорання на газоходах, димососах та димовій трубі, тому температура на виході з КТ завищена, також в розрахунках враховано підмішування гарячих димових газів.

Перелік посилань:

1. Баскаков А.П. Реальные возможности повышения энергетической эффективности газовых отопительных котельных / А.П. Баскаков, В.А. Мунц, Н.Ф. Филипповский, Е.В. Черепанова // Промышленная энергетика. – 2005. – № 9. – С. 22 – 26
2. Семенюк Л.Г. Получение конденсата при глубоком охлаждении продуктов сгорания / Л.Г. Семенюк // Промышленная энергетика. – 1987. – № 8. – С. 47 – 50.
3. Дьяков А.Ф. Комплексные системы теплоутилизации и газоочистки на паровых и водогрейных котлах / А.Ф. Дьяков, В.С. Варварский, А.Е. Свичар, И.З. Аронов, В.Б. Павловский, С.В. Ажимов // Теплоэнергетика. – 1992. – № 11. – С 50 – 55. 9
4. С.Н. Виноградов, К.В. Таранцев, О.С. Виноградов Расчет теплообменников / ПГУ, Пенза, 2001-53 с.
5. Фреоны, свойства и применение, справочное руководство под редакцией Яковкина Г. А., Изд., Государственный институт прикладной химии 1959.(Фреоны. Свойства и применение : Справочное руководство / Гос. ком. СМ СССР по химии, Гос. ин-т прикл. химии ; сост. Г. А. Яковкин. - 2-е изд., испр. и доп. - Л. : Изд. ГИПХ, 1959. - 62 с. : табл., рис. - Библиогр.: с. 60-62. - 2.00 р.)

ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВОДНЕВИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ПРОМИСЛОВІСТІ І КОМУНАЛЬНО-ПОБУТОВОМУ СЕКТОРІ

Мета роботи: вивчення процесів які протікають енергетичних установках при додаванні водню в технологічне паливо з метою оптимізації їх енерготехнологічних параметрів.

Задачі досліджень:

- встановлення особливостей кінетики горіння палив з додаванням водню;
- визначення гранично-можливого вмісту додавання водню в паливо;
- визначення енерготехнологічних та екологічних характеристик технологічних установок при спалюванні збагачених воднем палив;

Відомо, що водень – найлегший, молекулярно- найпростіший та найпоширеніший елемент у Всесвіті, а вода, яка є джерелом життя на Землі, на 11 % складається з водню. Також водень має одну з найвищих температур горіння серед горючих газів та відзначається надзвичайно-високою реакційністю (швидкістю горіння). При використанні водню, як палива, відсутні викиди вуглекислоти (CO_2), а це в свою чергу нівелює парниковий ефект на Землі.

В розвинутих країнах світу активно впроваджуються технології використання водню як моторного палива, та як палива в енергетиці і комунально-побутовому секторі. Раніше водень майже не використовувався як паливо, оскільки в чистому вигляді на Землі він майже не зустрічається, а затрати електричної енергії при електролізі води для його одержання були співрозмірні з отриманою при спалюванні водню енергією. На сьогоднішній день вже створені методи одержання «дешевого» водню за рахунок мембранних технологій, що і дало поштовх до розвитку світової водневої енергетики.

В європейських країнах передбачається використання водню як компонента, що додається до органічного палива, насамперед – природного газу, з метою забезпечення декарбонізації атмосфери та зменшення впливу на глобальні кліматичні зміни шляхом скорочення викидів CO_2 з продуктами згоряння. З огляду на це H_2 розглядається саме як «зелений водень», який одержують з використанням «екологічно чистої» енергії (сонячної, вітряної).

Наразі в світі відомо та використовуються 2 принципово різні типи технологій одержання метано-водневих сумішей:

- паливо отримують шляхом змішування природного газу з воднем, що виробляється електролізом води;
- технологія АКМ (адіабатична конверсія метану), що реалізується без сторонніх енергоносіїв; сировина при цьому – природний газ, енергоносій – продукти згоряння природного газу.

Оцінюється, що вартість виробництва 1 кВт – години енергії при спалюванні водню в місці виробництва H_2 складає 0,1 Євро, в той же час вартість 1 кВт – години електроенергії в Україні складає 1,68 грн (0,05 Євро), тобто на сьогоднішній день виробництво водню є нерентабельним, проте в майбутньому при здешевленні електроенергії ситуація може змінитися.

Для обігріву приміщень «зеленим» воднем потрібно в 5 разів більше енергії вітру та/або сонця ніж з використанням ефективного теплового насоса для потреб тепло або електрифікації. Через малу густину водню його об'ємна частина в стехіометричній суміші

з повітрям становить 29,6% (для природного газу - 9%), тому теплота згорання стехіометричної суміші водню з повітрям на 6% менше теплоти згорання суміші природного газу.

Підтримка експлуатації старих газових магістралей потребує обґрунтування і є сумнівною через водневе охрупчування зварних швів.

В якості міри горючих та вибухових (детонаційних) властивостей контрольної паливо-окислювальної суміші на сучасному етапі розвитку теорії горіння та вибуху може розглядатись фундаментальна характеристика горючих газів – швидкість ламінарного горіння, яка ще поширена під назвою «швидкість нормального розповсюдження полум'я». В роботі Ісерліна А.С. [1] запропоновано використовуючи принцип адитивності визначати нормальну швидкість поширення полум'я при горінні сумішей газів з повітрям:

$$U_n = \frac{C_1 u_1 + C_2 u_2 + C_3 u_3}{C_1 + C_2 + C_3}, \quad (1)$$

Використовуючи відомі літературні дані з щодо визначення швидкості горіння окремих газових палив Спейшер В.А. [2] та рівняння (1) отримано залежність швидкості нормального розповсюдження полум'я для метано-водневх сумішей (рис.1).

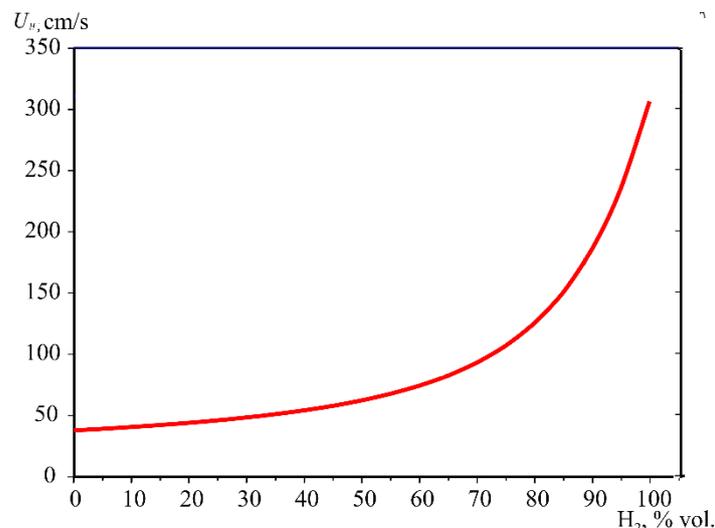


Рисунок - Залежність максимальної швидкості ламінарного горіння метано-водневої суміші в умовах горіння газу в повітрі від вмісту [H₂] в газі

Розгляд представлених даних демонструє досить повільне збільшення швидкості горіння від вмісту водню в сумішевому газі в діапазоні концентрацій [H₂] від 0% до 50% (об.) з наступним різким зростанням, що дає висновок про допустиме значення водню в суміші з природнім газом в 50 %.

Перелік посилань:

1. Иссерлин А.С. Основы сжигания газового топлива/ А.С.Иссерлин.-М.: Недра, -1980. – 271 с.
2. Спейшер В.А. Сжигание газа на электростанциях и в промышленности 2-е изд., — М.: Энергия, 1967. — 253 с.: ил.

Студент 3 курсу, гр. ТК-п81 Буток О.В.
Доц., к.т.н. Новаківський Є.В.

ОРЕБРЕННЯ ПАРОПЕРЕГРІВАЧА

Основне обладнання багатьох електростанцій морально і фізично застаріло, знизилась надійність його роботи, збільшилися витрати на ремонти. Устаткування теплових електричних станцій перестає задовольняти зростаючим екологічним вимогам, потрібно все більше коштів на захист навколишнього середовища від шкідливих викидів електростанцій. Назріває необхідність виведення з експлуатації більшої частини відпрацьованого обладнання, заміни його новим, більш економічним, модернізувати діючі електростанції. При вирішенні цих завдань необхідно враховувати наступні зміни в паливопостачанні і вартості енергообладнання: газомазутні блоки, головним чином, будуть забезпечуватися газом, оскільки поставки мазуту в енергетику значно скорочуються. Відомо, що коштів для значного введення нових потужностей, зараз в країні немає. У цих умовах дуже виправдано впровадження маловитратною модернізації обладнання на базі блоків підвищеної ефективності (БПЕ). В якості таких енергоблоків розглядається енергоблок, до складу якого входить котел із застосуванням оребрених поверхонь нагріву [1–3].

Характерною особливістю потужних енергоблоків з проміжним перегрівом є низький гідравлічний опір в області проміжного пароперегрівача. Це обмежує масову швидкість пара при великому його обсязі, і вимагає застосування труб великого діаметру, що знижує коефіцієнт тепловіддачі на внутрішній стінці. Низькі значення внутрішнього коефіцієнта тепловіддачі α_2 при інтенсивному зовнішньому обігріві поверхні пароперегрівача, особливо у вихідній його частині, викликає збільшення температури стінки труби. Зменшити температуру стінки такого пароперегрівача можна, розташувавши його в зоні помірного обігріву, але це спровокує зниження температурного напору і значного збільшення його поверхні нагрівання. Інтенсифікувати внутрішній теплообмін можна застосуванням труб з різними конструкціями оребрення: зовнішні плавникові ребра; зовнішні поперечно кільцеве ребра і внутрішні поздовжні ребрами (рис. 1).

Найбільш економічною для пароперегрівача є конструкція з внутрішнім поздовжнім оребренням (рис. 1, в). Така конструкція забезпечує підвищений відведення теплоти до пару і зменшує температуру стінки.

При високотемпературному режимі створюється термостійкий шар. Цей шар поверхні покриваються окисом магнію. Після відпалу вони отримують: збільшення коефіцієнта теплопередачі; високу опірність до корозії; тривалий термін служби; підвищену стійкість до перепаду температур; відсутність необхідності в спеціальному відході, вони можуть працювати в будь-яких умовах; можливість застосування в агресивних середовищах.

Таким чином, ребристі поверхні нагрівання застосовуються в тих випадках, коли теплообмін відбувається між двома теплоносіями з великим і малим коефіцієнтами тепловіддачі. Збільшуючи поверхню теплообміну з боку теплоносія з малим коефіцієнтом тепловіддачі шляхом її оребрення, збільшують кількість тепла, переданого від гріючого теплоносія до нагріваємого.

Встановлено, що зі зменшенням товщини ребра знижується абсолютна кількість теплоти $Q_{рс}$, однак питома теплова потужність ребра зростає (рис. 2) [1].

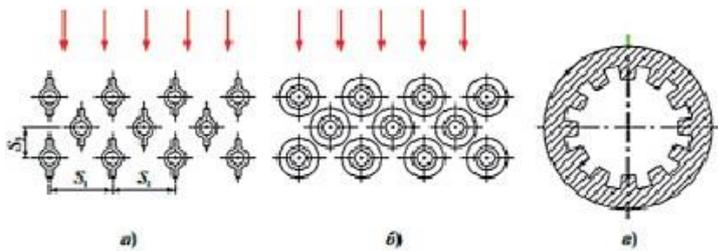


Рисунок 1 - Труби пароперегрівача з різною системою оребрення: а) плавникові; б) з поперечно кільцевих ребрами; в) з внутрішнім поздовжнім оребренням.

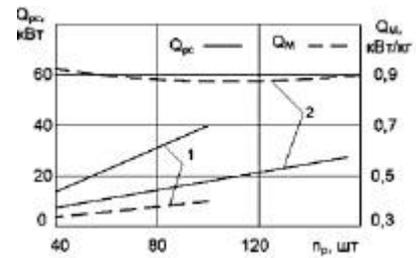


Рисунок 2 - Залежність абсолютної і питомої кількості теплоти від кількості ребер при різній товщині.

Основними достоїнствами оребрення пароперегрівача є: підвищення ККД котельної установки; збільшення більше 50% коефіцієнта теплопередачі; скорочення витрат труби до 40%; зниження на 30-40%; загальної ваги теплообмінника; збільшення в 2-3 рази ресурсу роботи поверхні нагріву.

Висновок:

1. В результаті введення оребрених поверхонь нагріву знижується площа теплообміну вихідного пароперегрівача котла.
2. Зменшується температура відхідних газів і втрати теплоти з газами, внаслідок чого збільшується ККД котлоагрегату та знижується витрата палива.

Перелік посилань

1. Медведєв В.А., Пономарева Н.В., Николаєв В.А. Модернізація дійсуючих котельних установок с применением оребренных поверхностей нагрева // Матеріали міжвузовського наукового семінара по проблемам теплоенергетики /Сарат. государ. технич. ун-т. - Саратов, 1996.-С. 38-41.Киселев Н.А. Котельные установки. М.: Высшая школа. 1979, 160 с.
2. Рыжкін В.Я. Тепловые электрические станции. М. Энергия, 1976. 448 с.
3. Тепловой расчет котлов (нормативный метод, изд. 3-е перераб. и доп.). СПб: ВТИ-ЦКТИ. 1998

Студент 3 курсу, гр. ТК-п81 Волкова К.Ю.
Ст. викл., к.т.н. Воробйов М.В.

ГАЗИФИКАЦИЯ БУРОГО УГЛЯ

В настоящее время в связи с трудностями в обеспечении Украины нефтью и газом проявляется интерес к использованию нетрадиционных источников энергии — ветра, солнца, биогаза. Однако коренным образом решить проблему энергетического обеспечения страны можно путем газификации угля.

Для газификации [1, 2] бурый уголь измельчают, а при необходимости обезвоживают. Очень важно привести к необходимой крупности бурый уголь перед газификацией - это может быть газификация кускового ($> 3\text{мм}$), мелкодисперсной-го ($1-3\text{мм}$) и тонкодисперсного ($< 0,1\text{мм}$) угля. Если место, где добывают бурый уголь находится на большом расстоянии то его брикетируют и отправляют в места где проводится газификация. Классический пример газогенератора в котором реализуется процесс газификации крупногрудкового топлива - агрегат фирмы Лурги.

Принцип работы газификатора – топливо медленно опускается по его шахте. В верхней части находится загрузочное устройство, а внизу - устройство для удаления золы. Навстречу топливу подается через колосниковую решетку (распределительную головку) дутья газа-окислителя. Процесс включает стадии горения, восстановления, полукоксования и сушки. Шаровые газогенераторы могут быть ав-тотермичными, когда зона окисления находится в самом агрегате и алотермичными, когда тепло, необходимое для реакции восстановления, привносится извне газообразным или твердым теплоносителем. Когда газогенераторы и месторождение находятся поблизости, то исходное бурый уголь измельчают до крупности 1-3 мм и сжигают.

Украина обладает достаточными запасами угля на долгосрочную перспективу, в том числе бурого. Специалисты считают, что суммарные запасы бурого угля и сланцев составляют порядка 8 млрд. тонн, достоверные запасы бурого угля - 2 млрд. тонн, из которых более 1 млрд. тонн можно добывать безопасным и дешевым открытым способом. Основные месторождения бурых углей сосредоточены в Кировоградской, Днепропетровской и Харьковской областях.

Сложившаяся практика использования бурого угля в Украине нерациональна, так как предусматривает прямое сжигание его на тепловых электростанциях, что ухудшает экологию, связано с выбросами в атмосферу пыли, диоксида углерода и серы.

В мировой практике бурые угли перерабатывают по новым эффективным технологиям с получением горючих газов, жидкого топлива, удобрений и других продуктов для различных отраслей промышленности и сельского хозяйства.

Наиболее полно сырьевой ресурс угля может быть использован при комплексной переработке. При этом в углехимической промышленности получают более 170 наименований химических продуктов. Важным звеном в комплексной переработке угля является газификация [3].

Газификация угля широко применялась в промышленности вплоть до 50-х годов прошлого столетия. Только в СССР эксплуатировалось свыше 350 газогенераторных станций, на которых было установлено около 2500 газогенераторов, работающих на разных видах твердого топлива. Затем газификация утратила свое значение вследствие бурного развития нефтяной и газовой промышленности и в настоящее время оказалась малоприменимой в связи с низкой эффективностью и неэкономичностью. Существующие старые технологии газификации не удовлетворяют современным требованиям и не являются перспективными для широкого внедрения [4].

Интерес к газификации угля периодически возрастает в связи с экономическими кризисами. Европейский Союз принял решение о строительстве 12 испытательных заводов,

на которых будут тестировать новые углеперерабатывающие технологии («Зеркало недели», №15 от 21 апреля 2007 г.).

Выбор направления комплексной переработки бурых углей в Украине предложен рядом научно-исследовательских институтов. Наиболее перспективной является технология их комплексной переработки, разработанная Донецким государственным техническим университетом с использованием процессов полукоксования, переработки смолы, производства адсорбентов и газификации полукокса.

АО «Научно-технологический институт транскрипции, трансляции и репликации» улучшена схема комплексной переработки бурых углей путем изменения маршрутной технологии движения полукоксового газа и применения перспективных процессов газификации угля.

Перспективными процессами газификации бурого угля являются технологии слоевой, поточной газификации с использованием низкотемпературной плазмы, которые запатентованы в Украине. Газификация угля с использованием плазменных технологий позволяет увеличить производительность реактора (газогенератора), регулировать температуру процесса и тем самым регулировать состав синтез-газа, который можно использовать для нужд промышленности в качестве энергетического газа для выработки электроэнергии и технологических газов, перерабатываемых как химическое сырье.

При газификации угля с использованием плазменных технологий в синтез-газе содержание диоксида углерода значительно ниже, а горючей составляющей — выше, чем в обычных процессах газификации, что благоприятно сказывается на окружающей среде и важно для выполнения требований Киотского протокола.

Высокая селективность газификации с использованием плазменных технологий определяет возможность переработки различных видов сырья, в том числе бурого угля. В Японии, например, используется газификация с применением плазменных технологий для переработки бытовых и промышленных отходов, что обеспечивает производство синтез-газа для отопления городов, создания строительных материалов, получения металлов. И при этом это практически безотходная технология.

Для крупномасштабного промышленного производства целесообразно использовать газификацию в потоке пылевидного буроугольного топлива с применением низкотемпературной плазмы. Это обеспечивает получение синтез-газа, материалов для строительной индустрии, а также железа, по составу близкого к литейному чугуна и предназначенного для чугунолитейного производства.

Заслуживает внимания опыт ЮАР. Когда мировое сообщество объявило эмбарго на поставку в эту страну нефти и нефтепродуктов, там решили проблему энергообеспечения путем газификации угля, получив энергетический газ, моторное топливо, и тем самым уберегли экономику от коллапса.

Украина, располагая значительным научным, производственным потенциалом и привлекая иностранных специалистов и инвесторов, имеет реальную возможность решить топливно-энергетическую проблему путем газификации бурого угля, что позволит вывести страну из разряда энергодефицитных.

Перечень ссылок:

1. Шиллинг, Г. -Д. Газификация угля: пер. с нем. / Г. -Д. Шиллинг, Б. Бонн, У. Краус ; пер. С. Р. Исламов. — М. : Недра, 1986. — 175 с. : ил.
2. Лавров, Н. В. -Д. Фізико-хімічні основи горіння і газифікації палива/ Н. В. Лавров.-М.:1957 — 289 с.
3. Макарова Г. І. — Хімічна технологія твердих горючих копалин/ Г. І. Макарова, Г. Д. Харлампович. — М.:1986- 242
4. Шиллинг Г.-Д., Бонн Б., Краус У. Газификация угля: Горное дело-сырье-энергия/Пер. с нем. – М.: Недра, 1986. 175 с.

Студент 4 курсу, гр. ТК-71 Головченко А.В.
Ст. викл., к.т.н. Воробйов М.В.

СУМІСНЕ СПАЛЮВАННЯ ВУГІЛЛЯ ТА БІОМАСИ В КОТЛІ

Цікавість до використання в енергетиці біомаси останні декілька років виросла. Слід також зазначити, що модернізація вітчизняних енергоблоків ТЕС та ТЕЦ під спільне спалювання вугілля та біомаси є дешевшою за спорудження нових енергоблоків. Для біомаси зазвичай характерні наступні особливості:

- широкий діапазон зміни теплової здатності;
- значний вихід летких (60-80%);
- низька зольність на робочу масу (< 0.1-0.12%)

Спалювання біомаси цікаве тим, що зараз ростуть ціни на первинні енергоносії та більш суворими екологічними стандартами. Сумісне спалювання завжди має переваги перед спалюванням тільки вугілля чи тільки біомаси [1].

1) При сумісному спалюванні вугілля та біомаси:

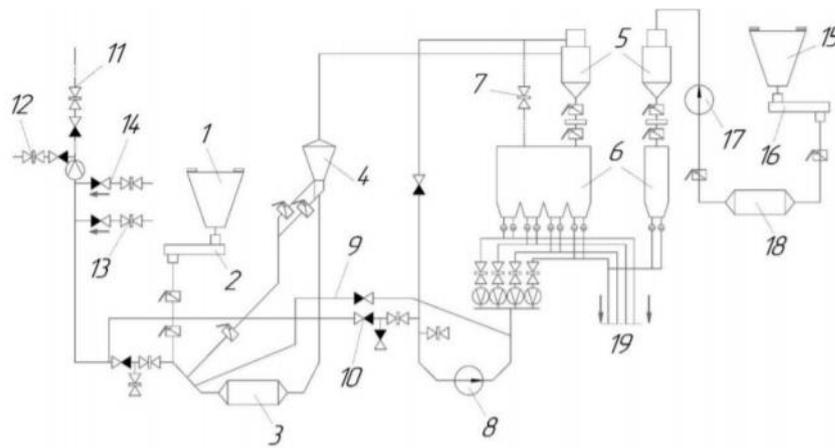
- зменшується кількість шкідливих викидів;
- зменшується необхідність у вапняку, так як лужні елементи біомаси можуть брати участь в процесі зв'язування сірки;
- при спалюванні біомаси з вугіллям, що містить сірку, значно знижується ризик високотемпературної корозії;
- при спільному спалюванні знижується ризик агломерації (злипання) шару;

2) Використання біомаси як основного палива:

- необхідний резервний запас вугілля, в разі незадовільної якості біомаси або збоїв її поставки;
- біомаса містить в собі більше хлору і луги, які можуть викликати високотемпературну корозію поверхонь при температурах металу понад 450 ° С.

Подача базового палива сумісно з біомасою, можлива безпосередньо в пальник. Для того щоб організувати подачу біомаси, необхідна організація окремого паливогосподарства на теплової станції (рис.1). Зазначена схема [2] є комбінацією традиційної схеми паливоподачі з елементами, що призначені для підготовки до спалювання і подачі в пилові бункери біомаси. До таких елементів відносяться: бункер сирого палива біомаси, стрічковий живильник біомаси, вентилятор, молотковий млин, пилопроводи до пальників.

Також можливе і сумісне спалювання (рис. 2) газу, вугілля і біомаси [3]. При додаванні долі біомаси, як відходів кукурудзи так і деревини, зростає не тільки економія у паливі, але й деякі технічні показники. Внаслідок цього ККД котла зростає від 0,05% до 0,28%, але втрати тепла з механічним недопалом та втрати тепла із-за видалення золи і шлаку у топці зменшуються, що призведе до зменшення процесів шлакування поверхонь то більшого терміну експлуатації. Використання частки палива з великим виходом летючих дозволяє знизити вірогідність використання підсвітки топки природним газом при зниженні якості основного палива. Основною перевагою спільного спалювання є використання вже існуючого котельного обладнання. Технологія також забезпечує гнучкість використання, дозволяє утилізувати значну кількість біомаси, частково замінити викопне паливо відновлювальним (зазвичай до 20% по масі) CO₂ нейтральним паливом, а також знизити викиди паливних оксидів азоту і оксидів сірки (вміст сірки і азоту в твердій біомасі в середньому в 10 разів нижче ніж у вугіллі).



1 – бункер сирого вугілля; 2 – стрічковий живильник сирого вугілля; 3 – млин; 4 – сепаратор; 5 – циклон; 6 – бункер пилу; 7 – вологовідсмок з бункера пилу; 8 – млиновий вентилятор; 9 – лінія рециркуляції; 10 – байпас пилосистеми; 11 – гаряче повітря після повітряпідігрівача; 12 – присадка холодного повітря від дуттьового вентилятора; 13 – гарячі димові гази з газоходу після водяного економайзера від димосмоку рециркуляції газів; 14 – холодні димові гази з газоходу після осьового димосмоку котла від димосмоку присадки газів; 15 – бункер сирого палива біомаси; 16 – стрічковий живильник біомаси; 17 – дуттьовий вентилятор; 18 – молотковий млин з сепаратором ; 19 – пилопроводи до пальників.

Рисунок 1 – Система пилоприготування котла:

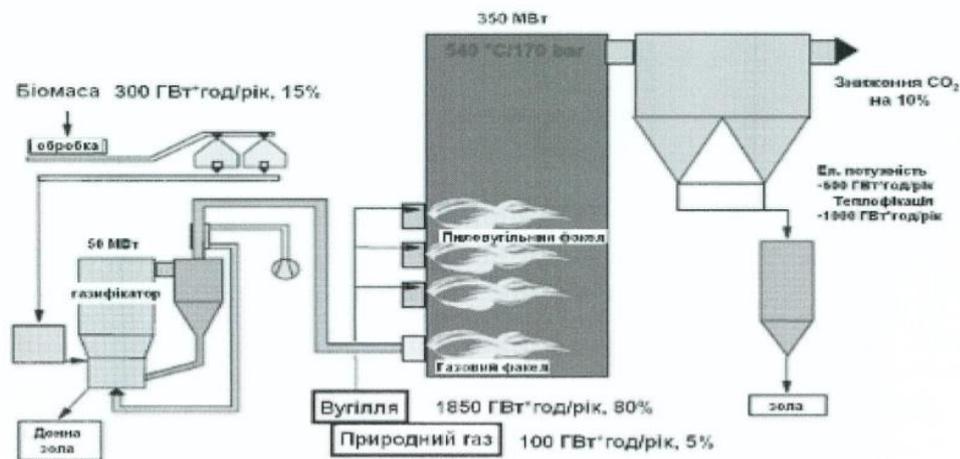


Рисунок 2 - Схема сумісного спалювання

Перелік посилань:

1. Н. І. Дунаєвська, Т.С. Щудло, Д.Л. Бондзик/ Спільне спалювання біомаси та антрациту в пилувугільних котлоагрегатах. Екологія и промисленность, №4, 2016. – С. 87 – 96.
2. О. Ю. Майстренко, Н. І.Дунаєвська, Я. І. Засядько, Д. Л. Бондзик, Т. С.Щудло, Вифатнюк В. Г. Технологія та паливник для спалювання біомаси як допоміжного палива в факельних котлоагрегатах. Наука та інновації, №4, 2012. – С. 83–88.
3. Дунаєвська Н.І., Засядько Я.І., Шупік І.С., Щудло Т.С. Огляд технологій спільного спалювання біомаси і вугілля в пилувугільних топках. Энерготехнологии и ресурсосбережение, № 3, 2007. – С. 3 – 8.

УДК 621.18-182.2

Студент 4 курсу, гр. ТК-71мп Дудник А.А.
Доц., к.т.н. Мариненко В.І.

ЗНИЖЕННЯ ВМІСТУ ОКСИДІВ АЗОТУ В ПРОДУКТАХ ЗГОРАННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДУ РЕЦИРКУЛЯЦІЇ ДИМОВИХ ГАЗІВ

З усіх викидів в атмосферу енергетичними підприємствами найбільш токсичні оксиди сірки, оксиди азоту і канцерогенні речовини. Згубність впливу оксидів азоту на навколишнє середовище і в остаточному підсумку на людину велика. Тривала дія навіть порівняно невеликих концентрацій NOx в повітрі збільшує кількість гострих і хронічних респіраторних захворювань, а також негативно діє на рослинний та тваринний світ. Фактично створення NOx відбувається в результаті ряду ланцюгових реакцій. Найбільший вплив на створення оксиду азоту чинить температура. З її зростанням від 1500 до 2200 К вихід оксиду азоту зростає приблизно в 10 разів, у той час як п'ятикратне збільшення концентрації кисню підвищує вихід NOx лише в 2 рази [1].

Механізм утворення та розкладання оксиду азоту вперше був досліджений Я.Б. Зельдовичем . У даний час прийнято вважати, що оксиди азоту при горінні у котельних установках утворюються в результаті 3 основних механізмів: «термічного» ; «швидкого»; «паливного».

В тепершній час, одним з найбільш реалізованих заходів по зниженню оксидів азоту в димових газах котельних установок є метод рециркуляції димових газів. Зазвичай димові гази з температурою 300–400°C відбираються перед повітропідігрівником та спеціальним рециркуляційним димососом подаються в топкову камеру. У результаті максимальна температура в топці знижується на 120–130 °C та падає концентрація кисню в зоні горіння, що також зменшує утворення паливних NOx. При цьому К.К.Д. котла знижується порівняно мало (0,01–0,03% на 1% рециркуляційних газів).

Поряд з явними перевагами, до яких відносяться: захист топкових екранів від перегріву; регулювання перегріву пари; можливість уніфікації котлів за паливом; можливість зниження виникнення оксидів азоту, застосування методу рециркуляції димових газів пов'язане з певними недоліками, які повинні бути враховані. Головний недолік це необхідність в спеціальному рециркуляційному вентиляторі та в газоходах. Крім того, рециркуляція викликає підвищення опору повітряного тракту та можливість порушення стабілізації полум'я.

Технічно можливо забезпечити рециркуляцію і без спеціального рециркуляційного димососу. Для цього в димоході котла поблизу димососу встановлюється спеціальний шибер, який дозволяє регульовано відбирати близько 20% димових газів та направляти їх на вхід дуттьового вентилятора. За такою схемою Інститутом газу НАНУ та іншими організаціями обладнано ряд котлів продуктивністю 10–220 т /год пари в Україні.

Розрахунок середньої концентрації викидів оксидів азоту без рециркуляції ведеться за формулою Сігала І.Я. [1] :

$$C_{NOx} = Ad_e^{0.8} q_m^{0.5} \alpha_m^3 = 0.17 \cdot 6.017^{0.8} \cdot 175^{0.5} \cdot 1.2^3 = 16.320 \text{ г/м}^3 ,$$

а з рециркуляцією за формулою:

$$C_{NOx} = Ad_e^{0.8} q_m^{0.5} \alpha_m (1 - K_r r) = 0.17 \cdot 6.017^{0.8} \cdot 175^{0.5} \cdot 1.2 (1 - 0 \cdot 0.1) = 11.334 \text{ г/м}^3 .$$

Автори провели розрахунки середньої концентрації викидів оксидів азоту при наявності рециркуляції димових газів в топку котла К-50-40/14 з ступенем рециркуляції $r=0.1$ та коефіцієнтом ефективності рециркуляції K_r , що змінюється від 0 до 0.5. Результати розрахунку за формулою І.Я. Сігала з рециркуляцією димових газів зведені таблицю 1.

Таблиця 1 - Середня концентрація викидів оксидів азоту за рециркуляцією.

Коефіцієнт ефективності рециркуляції, Kr	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
Концентрація оксидів азоту, CNOx, г/м ³	11.334	11.220	11.107	10.994	10.880	10.767

Результати розрахунку показали, що зі збільшенням степеня рециркуляції та коефіцієнту ефективності рециркуляції концентрація оксидів азоту зменшується.

Перелік посилань:

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

УДК 620.9

Студент 4 курсу, гр. ТК-71 Новосад Ю.І.
Ст. викл., к.т.н. Воробйов М.В.

ВИКОРИСТАННЯ БІОГАЗУ В КОТЛАХ ДЛЯ ЗАМІЩЕННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ

Біогаз утворюється при мікробіологічному розкладанні бродінням біомаси чи біовідходів (розкладання біомаси відбувається під впливом трьох видів бактерій), твердих і рідких органічних відходів: на звалищах, каналізації, вигрібних ямах тощо. Добувають з відходів тваринництва, харчової промисловості, стічних вод та твердих побутових відходів (відсортованих, без неорганічних домішок, та домішок неприродного походження). Процеси утворення біогазу перебігають у так званих метантенках (рис. 1).



Рисунок 1 - Біогаова установка

Тобто застосувати можна будь-які місцеві природні ресурси. Основним складником газоподібного палива при переробці біомаси (метану у якій сягає 50-85%) є біогаз. Енергія, що отримується при спалюванні біогазу, може досягати 60 – 90 % від тієї, якою володіє вихідний матеріал. Серед усіх поновлюваних енергій біогаз має особливий статус, оскільки він знаходить різноманітне застосування у сферах енергетики, а в умовах України його виробництво може бути найдешевшим [1, 2]. Біометан – очищений біогаз – є відновлюваною альтернативою природному газу. Його численні програми включають теплопостачання та електропостачання для наших будівель та промисловості, а також виробництво відновлюваного палива для транспортного сектору, особливо важких транспортних засобів та суден. Останні дослідження показують, що біометан є ефективним способом зменшення викидів парникових газів від транспорту.

Склад газу нестабільний і залежить від багатьох факторів: курячий послід, коров'ячий та свинячий гній мають в своєму складі бактерій здатних підтримувати метанове бродіння, але залишковий матеріал не сприяє особливо високому вмісту метану. Більший вміст метану може дати введення в розкладувану суміш відходів боєнь, особливо якщо вони містять жир. Послід та гній може бути лише джерелом бактерій, основним матеріалом можуть бути відходи деревообробної промисловості чи опале листя, але вони бідні на зв'язаний азот необхідний для розвитку бактерій (може бути внесений із сечею).

Для масштабного виробництва біологічного газу, наприклад, для опалення холдингу або села, необхідно налагодити співпрацю з фермерами, які будуть постачати вам гній або курячий послід, і залишки рослин для переробки їх в подальшому. Оціночний потенціал отримання біогазу [2] наведено на рис. 2.

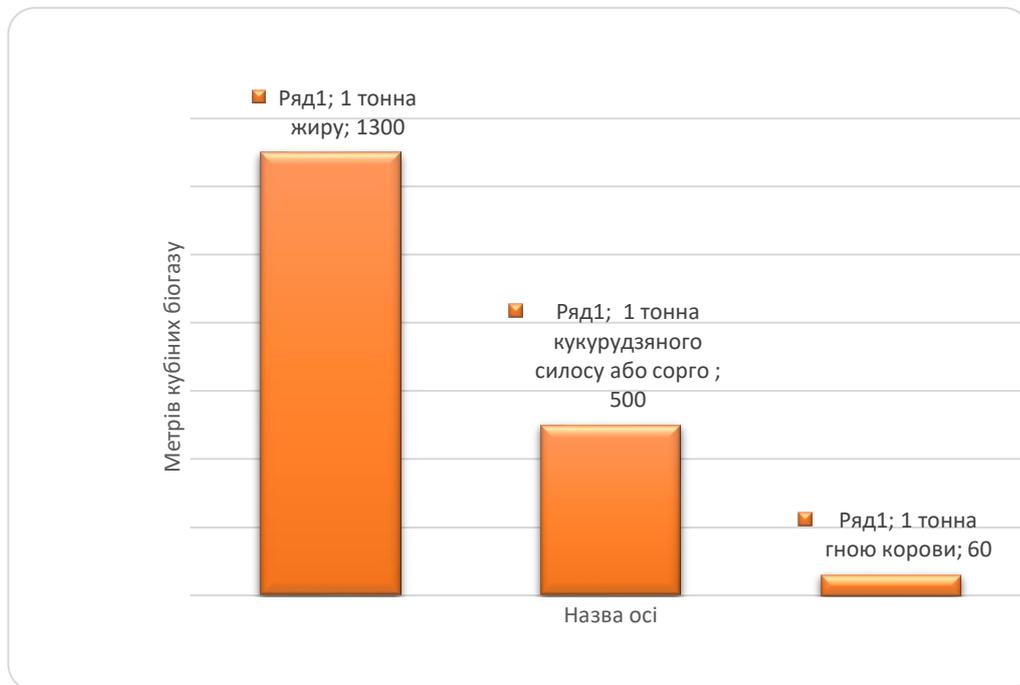


Рисунок 2 - Оціночний потенціал отримання біогазу в Україні.

Важливо врахувати, що виправдане плече доставки в середньому - до 20 км для рідкого сировини, до 50 км - для сухих відходів. Крім того, біогазові установки вимагають дуже багато сировини. І збирати його припадає до фермерам і агропідприємствам. Тут ще треба розуміти, що на будь-якому сільськогосподарському підприємстві існують відходи, які необхідно утилізувати, і біогазова установка може дозволити заощадити на утилізації / теплі / електроенергії і навіть, на органічних добривах, адже перероблений гній в перегній значно покращує якість ґрунту, а отже, і кількість врожаю.

Виробництво біогазу дозволяє скоротити кількість викидів метану в атмосферу. Метан вносить серйозні корективи до стану атмосфери Землі. Формується так звана «лінза» зі всіляких газів і особливо з'єднань вуглецю, яка перешкоджає виходу тепла в космічний простір. Таким чином, тепло концентрується в самій атмосфері, і на планеті стає все спекотніше і спекотніше. В цьому процесі метан має в 21 раз сильніший негативний вплив, ніж двоокис вуглецю. Таким чином виробництво біогазу і подальше його використання для виробництва тепла і електроенергії є найефективнішим засобом боротьби з глобальним потеплінням. Біомаса, яка залишається після переробки відходів може використовуватись в сільському господарстві як добриво. Причому такі добрива значно краще і ефективніше впливають на ґрунт, на розвиток рослин та на ґрунтові води, на відміну від штучних добрив.

Перелік посилань:

1. Фесюк В. О. Оцінка перспектив добування біогазу з осадків стічних вод Луцьких міських комунальних очисних споруд / В. О. Фесюк // Природа Західного Полісся та прилеглих територій: зб. наук. пр. / Волин. нац. ун-т ім. Лесі Українки; [відп. ред. Ф. В. Зузук та ін.]. – 2010. – № 7. – С.84-90.
2. Коцарь Е.М., Диренко А.А. Технологи и оборудование для переработки и утилизации осадков промышленных и коммунальных сточных вод // Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України, спеціальний випуск. – 2005. – С. 115-118.

Студент 4 курсу, гр. ТК-71мп Смалюга Д.О.
Доц., к.т.н. Рогачов В.А.

НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНА КОРОЗІЯ ПОВІТРОПІДІГРІВАЧА КОТЛА ГМ-50

Низькотемпературна корозія виникає при конденсації на поверхні нагріву водяної пари і утворенні рідкої плівки, що є електролітом. Конденсація водяної пари виникає при температурі поверхні нагріву нижче за температуру точки роси, яка визначається парціальним тиском водяної пари в продуктах згорання. Такий тиск підвищується із збільшенням вологості палива і вмісту в ньому водню. Наприклад, температура точки роси в продуктах згорання вугілля АШ складає (27-28) °С, бурого вугілля (45-55) °С, мазуту (44 – 45) °С і природного газу (54 -55) °С. Наявність в продуктах згорання SO₂ і SO₃ підвищує температуру точки роси до (100 -110) °С (рис. 1). Для особливо сірчистих палив температура точки роси може підвищуватись до 150 °С. За наявності водяної пари і сірчистих з'єднань в продуктах згорання утворюється пароподібна система H₂O-H₂ SO₄. Температура конденсації водяної пари визначається за парціальним тиском пари в продуктах згорання:

$$t_k = f(R_{H_2O} \cdot p), \quad (1)$$

де $R_{H_2O} = V_{H_2O}/V_r$ – частка водяної пари в продуктах згорання; p – тиск продуктів згорання, МПа.

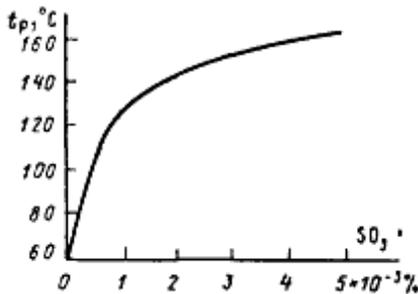


Рисунок 1 - Залежність температури точки роси від вмісту SO₃ в продуктах згорання [1]

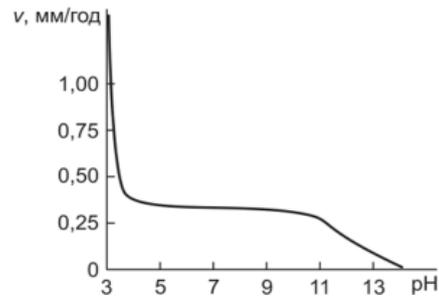


Рисунок 2 - Швидкість корозії від рН навколишнього середовища [2]

Найбільш активно низькотемпературна корозія проявляється у повітропідігрівниках та економайзерах парових котлів і останніх конвективних пучках водогрійних котлів. Там мають місце найнижчі температури грійного і нагріваного теплоносіїв. Низькотемпературна корозія поверхні нагріву відбувається за умови

$$t_{ст} < t_p + (5-20) \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (2)$$

Температура стінки труби визначається з балансу теплоти внутрішньої і зовнішньої її поверхні,

$$t_{ст} = t_{тм} + t_r - t_{тн1} + \alpha_{тн} / \alpha_r = t_r - k (t_r - t_{тн}), \quad (3)$$

де t_r , $t_{тн}$ – температура газів на виході і теплоносія на вході в елемент котла, α_r , $\alpha_{тн}$, k – коефіцієнти тепловіддачі з боку газів і теплоносія і коефіцієнт теплопередачі.

З виразу виходить, що температуру стінки можна підвищити за рахунок збільшення температури теплоносія на вході і зменшення $\alpha_{\text{тн}}$. Зменшення $\alpha_{\text{тн}}$ є неефективним методом, оскільки вимагає збільшення площі поверхні нагріву і не виправдовується в експлуатації.

В ході даної роботи розглянуто основні методи зниження низькотемпературної корозії повітропідігрівача на прикладі котла ГМ-50, що працює на мазуті та детально описано найефективніші з них також вивчено та обрано схему підігріву повітря.

Корозія призводить щорічно до мільярдних збитків, і вирішення цієї проблеми є важливим завданням. Основний збиток, що заподіюється корозією котельних поверхонь, полягає не лише у втраті металу, як такого, а у величезній вартості обладнання, що руйнуються в результаті корозією. Ось чому щорічні втрати від неї в промислово розвинених країнах настільки великі.

Перелік посилань:

1. Сидельковський Л.Н., Юренев В.Н. Котельные установки промышленных предприятий. – М.:Энергоатомиздат, 1988. - 528 с.
2. Резников М.И, Липов Ю.М. Паровые котлы тепловых электростанций - М.: Энергоиздат 1981. - 240 с.

Студент 4 курсу, гр. ТК-71 Шалінховська Ю.В.
Доц., к.т.н. Рогачов В.А.

ЗАМІЩЕННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ В КОТЛІ БКЗ-75-39 НА БІОМАСУ

В нинішніх умовах питання енергетичної незалежності є актуальним як для Київської області, так і для України цілком. Все більша увага приділяється збільшенню використання альтернативних місцевих видів палива. Використання лушпиння і загалом біопалива є важливим чинником подолання енергетичної залежності, заміщення природного газу в паливному балансі країни та зміни структури споживання енергоресурсів ближче до моделі сталої енергетики.

У 2017 році світові посіви соняшнику досягли нових максимумів. Зокрема в Україні було засіяно 5,4 млн га. Завдяки збільшенню посівних площ під соняшником очікується, що у 2018 році в Україні та інших країнах світове виробництво у 2018/19 виросте до рекордних 50,42 млн т, із них 30% приходить на Україну. Прогноз виробництва збільшено для України на 7,5% до 14,5 млн. т, чому сприяє не тільки зростаючий попит, але і відсутність обмежень на експорт продуктів переробки соняшнику на зовнішньому ринку. В Україні нараховується більше 300 олієекстраційних комбінатів, олієжиркомбінатів та масловиробництв. При цьому вихід лушпиння складає 11- 20% від маси соняшникового насіння. Вивіз і штрафи за складування лушпиння вимагають значних витрат. У той же час лушпиння може бути використано у якості котельного палива для виробництва пари, гарячої води та теплоти для власних потреб подібних підприємств. За наявності такої кількості відходів використання на котельних традиційних дорогих та дефіцитних видів палива – природного газу та мазуту – не є доцільним [1].

Повна або часткова заміна цих палив на лушпиння дозволить не тільки утилізувати його на підприємствах, а й отримати значний економічний ефект. На сьогодні більше половини річного обсягу утвореного лушпиння спалюється в котлах з метою виробництва теплової енергії (технологічної пари, гарячої води), близько 22% використовується для виробництва гранул і брикетів, досить велика частка (до 80 тис. т/рік) вивозиться на смітники, певна кількість продається сільськогосподарським підприємствам і населенню для господарських потреб. Відповідно до Інструкції Державного комітету статистики України (№1280/11560 від 27.10.05), підприємства, зобов'язані звістки облік утвореної лушпиння. При цьому лушпиння, що використовується на паливні потреби, вважається вторинним ресурсом, а інше – відходами. Лушпиння відділяється від насіння в процесі підготовки до отримання олії. Середній розмір лушпиння соняшника варіюється в межах: довжина – 4,8 мм, ширина – 1,5-3 мм. Містить значну кількість пентозанів – 23,6-28,0%, клітчатки – 52,0-66,0%, лігніну – 24,8-29,6%, целюлози – 31,0-42,4%. Завдяки високому виходу летючих, що доходить до 80%, незначному баласту та гарній парусності лушпиння як паливо може бути віднесеним до категорії легкозаймистих палив. Середній склад сухої маси лушпиння представлений у таблиці 1.

Таблиця 1 – Середній склад сухої маси лушпиння

Показник	С	Н	О	N	A
Значення	47,4	5,8	41,4	1,4	4,0

Лушпиння, як паливо, за своїм складом горючої маси та золи є дуже близьким до деревини. Порівняльні характеристики лушпиння із іншими видами твердого палива приведені в таблиці 2.

Таблиця 2– Порівняльні характеристики лушпиння соняшника з іншими видами твердого палива

Параметри	Дерев'яна тирса	Лушпиння соняшника	Паливні гранули із лушпиння соняшника	Вугілля кам'яне
Середня насипна густина, кг/м ³	220...250	85...145	550...600	1000
Нижча теплотворна здатність, МДж/кг	17,1	16 ...19	16 ...19	19,8...21
Волога, %	6...8	4...7	8...10	-
Зольність, %	0.5...1.0	0.35...3.0	1.0...4.0	10...20

Однак, на відміну від деревини в складі золи лузги втримується підвищена кількість оксидів лужних металів, оксидів кальцію (Ca), кремнію (Si₂) та ін. У топковому процесі під впливом високих температур і газового середовища складові золи взаємодіють один із одним, утворюючи суміш компонентів, температура кристалізації якої є нижчою, аніж температура кристалізації окремих її компонентів (евтектика). Особливо легкоплавкі евтектики утворюються на основі Si₂ й Na₂O. Температура плавлення цих евтектиків залежить від співвідношення компонентів і може становити 800 °С і нижче. Наявність у пилевині й шлаках настільки легкоплавких евтектиків може викликати посилене шлакування як радіаційних, так і конвективних поверхонь нагрівання котла, що накладає серйозні обмеження на організацію й параметри топкового процесу [2].

В підсумку можна сказати, що Україна має досить непогані перспективи для виробництва та споживання біологічних видів палива. Біопаливо, особливо в сьогоднішніх складних економічних умовах, має дуже велике значення у забезпеченні стійкого розвитку вітчизняного енергетичного сектора.

Перелік посилань:

1. И.Я. Сигал. Защита воздушного бассейна при сжигании топлива / И.Я. Сигал – Л.: Недра, 1988. – 81 с.
2. UNDP Україна. Практичний посібник з використання біомаси в якості палива у муніципальному секторі України, 2017. – 55 с.

Магістрант 5 курсу, гр. ТК-91мп Колібаба М.В.
Доц., к.т.н. Новаківський Є.В.

ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ВИДІВ ПАЛИВА ПРИ РОБОТІ ПАРОВОГО КОТЛА

В наш час, в час коли працюють заводи, електроенергію добувають шляхом спалювання викопного палива, такого як вугілля чи газ, використовують автомобілі, що працюють за рахунок спалювання дизельного чи бензинового палива, екологічне питання стоїть доволі гостро [1 – 3]. Перехід на альтернативні джерела добутку електроенергії, таких як, наприклад, вітряки чи гідроелектростанцію, частково покращують ситуацію, оскільки шкідливі викиди таких станцій рівні нулю. Проте, при використанні таких станцій виникають інші проблеми. У випадку вітряних електростанцій, шум від вітряків заважає людям, які проживають неподалік станції, порушується природній потік вітру, що в свою чергу може мати кліматичний вплив на Землю, також птахи врізаючись в лопаті – гинуть. Наприклад, іспанське орнітологічне суспільство призводить жахливі цифри: щороку 18 тис. місцевих вітряків «страчують» 6-18 млн птахів і кажанів, від 300 до 1000 жертв на кожен агрегат щороку [3]. При використанні гідроелектростанцій, змінюється швидкість потоку річок, змінюється рівень води, що в свою чергу також несе негативні наслідки на місцеву флору та фауну. Використання сонячних електростанцій також не є виходом з ситуації, оскільки для забезпечення потрібної потужності вони займають багато площі, порівняно з ТЕЦ, також їх робота дуже залежна від кліматичних умов та часу доби, оскільки за відсутності сонячного світла, наприклад вночі – вони не працюють, також їх потужність залежить від погоди, якщо похмуро, то вони видають низьку потужність [4]. Виробництво електричної енергії в Україні за 2020р. становить 148,8 млрд кВт-год. АЕС згенерували 76,2 млрд кВт-год (51,2% від загальної кількості виробленої електроенергії), ТЕС та ТЕЦ сумарно виробили 52,34 млрд кВт-год (35,2%). В свою чергу, СЕС та ВЕС – 10,84 млрд кВт-год (7,3%), ГЕС та ГАЕС - 7,58 млрд. кВт-год (5,1%) [5].

Сміття – це продукт життєдіяльності людини. Де живуть люди, там будуть і побутові відходи. Питання забруднення планети сміттям не менш актуальне від питання шкідливих викидів від електростанцій чи автомобілів.

Розвинені країни, наприклад Швеція, використовують побутове сміття як паливо. Таким чином вони вирішують дві проблеми одразу. По-перше, утилізують побутові відходи, по-друге, заміщають звичне викопне паливо на теплоелектростанціях. Постає питання складу сміття, а саме його горючого складу.

Таблиця 1 – Середній морфологічний склад ТПВ деяких міст України

Місто	Вид відходів							
	Органі- ка	Папір	Поліме- ри	Скло	Деревина	Мета- ли	Текс- тиль	Інші
Вінниця	32%	24%	6%	6%	1,5%	4%	3%	23,5%
Хмельник	25%	20%	21%	6,5%	–	5%	–	22,5%
Могилів- Подільсь- кий	40%	22%	20%	5%	–	3%	–	10%

Після сортування, сміття можна використовувати як паливо. Найпростішим способом спалювання палива такого типу є подача його в топку на колесниковій решітці. Проте, цей спосіб не може бути використаний з газомазутними котлами, оскільки в котлах такого типу подача палива відбувається через пальники.

Ще одним варіантом є перехід на біомасу. Біомаса – це органічна матерія, що утворюється живими організмами в певних просторових та часових межах, та є мірою біологічної продуктивності. Це маса матерії, що міститься в живих організмах або рослинах. Основа біомаси – органічні сполуки вуглецю, які в процесі з'єднання з киснем при спалюванні виділяють тепло. Походження біомаси може бути досить різноманітним, починаючи з відходів та залишків сільського господарства, харчової промисловості, домашнього господарства і закінчуючи відходами комунального господарства.

Таблиця 2 - Енергетичний потенціал біомаси в Україні

Вид біомаси	Теоретичний потенціал, млн. т	Економічний потенціал, млн. т у.п.
Солома зернових культур	30,6	4,54
Відходи виробництва соняшника	20,9	1,72
Деревна біомаса	4,6	1,97
Біодизель (з ріпаку)	-	0,47
Біоетанол (з кукурудзи і цукрового буряка)	-	0,99
Біогаз з відходів та побічної продукції АПК	1,6 млрд. м ³ метану (CH ₄)	0,97
Біогаз з полігонів ТПВ	0,6 млрд. м ³ CH ₄	0,26
Біогаз зі стічних вод	1,0 млрд. м ³ CH ₄	1,0 млрд. м ³ CH ₄
Кукурудза (біогаз)	3,3 млрд. м ³ CH ₄	3,68

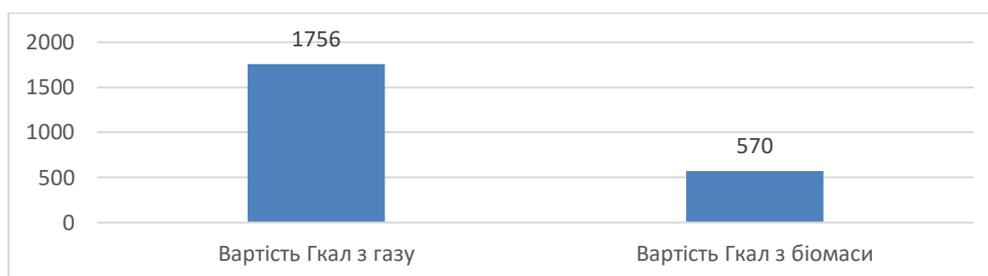


Рисунок 1 – Вихідна вартість Гкал з палива, тис. грн. [5]

Отже, перехід на альтернативний вид палива, такий як біопаливо є достатньо економічно вигідним. Оскільки попри економію викопного палива, якого з кожним роком стає все менше й менше, ми можемо ще й отримувати прибуток за рахунок утилізації біологічного сміття, але будуть значні витрати на очищення димових газів.

Перелік посилань:

1. Заміщення природного газу альтернативними паливами / І. М. Карп, Є. Є. Нікітін, К. Є. П'яних, К. К. П'яних ; НАН України, Ін-т газу. – Київ : Наук. думка, 2019. – 230 с. – (Проект “Наукова книга”)
2. <http://avdvca.gov.ua/avdiivka/enerhozberezhennia/1184-biomasa-v-ukraini.html>
3. <http://www.rbcu.ru/news/22815/>
4. «Підготовка та впровадження проектів заміщення природного газу біомасою при виробництві теплової енергії в Україні». Практичний посібник/За ред. Г. Гелетука. – К.: «Поліграф плюс», 2015.
5. http://ukrmap.org.ua/Pages/Ukraine_elektroenergetika.html
<https://expro.com.ua/novini/virobnictvo-elektroenerg-v-ukran-protyagom-2020r-znizilos-na-33-do-1488-mlrd-kvt-god>

Магістрант 6 курсу, гр. ТК-91мп Логвинюк М.О.
Доц., к.т.н. Новаківський Є.В.

CFD - МОДЕЛЬ СТУПЕНЕВОГО СПАЛЮВАННЯ ПАЛИВА

Екологічних показники, зокрема концентрації NOx, є невід'ємною частиною заходів при реконструкції існуючих або розробки нових котлоагрегатів на енергетичних об'єктах [1], тому в сучасних умовах потрібно мати можливість контролювати та впливати на процеси утворення оксидів азоту. На сьогодні згідно директиви ЄС максимальна концентрація NOx для котлів, що працюють на газо-мазутному паливі складає 250 мг/м³ при коефіцієнті надлишку повітря на виході з котла 1,4 [2].

На практиці більшість котельного обладнання, що експлуатується на сьогоднішній день ці показники перевищує. Серед методів зниження оксидів азоту є основні методи:

- 1) Застосування малотоксичних пальників.
- 2) Рециркуляція димових газів.
- 3) Дво-, триступеневе спалювання палива.
- 4) Хімічне відновлення NOx до N₂.

На прикладі котлоагрегату Е-58-18-280 було запропоновано замінити стандартні пальники, що розташовані в два яруси (для газомазутного палива) або одноярусне для твердого, на пристрої меншої потужності але зі збільшенням їх кількість та розташувати по кутах топки в чотири яруси. Таке рішення дозволяє розтягнути зону активного горіння по висоті топки, що в свою чергу призведе до рівномірного розподілення теплового навантаження на екранні труби по висоті топки, зокрема в зоні активного горіння. На рисунку представлено розбиття топки на зони горіння [1,3]. На рисунку 1 наведено розбиття топки на зони горіння.

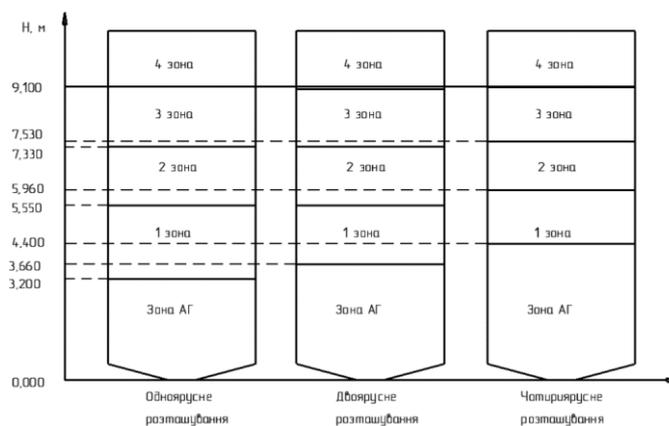


Рисунок 1 – Розбиття топки на зони горіння

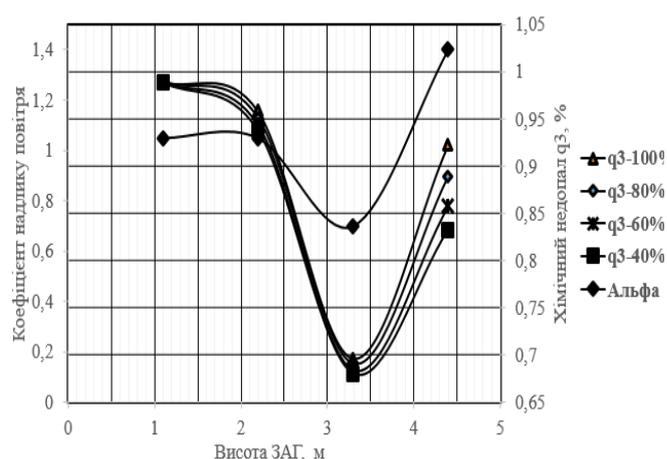
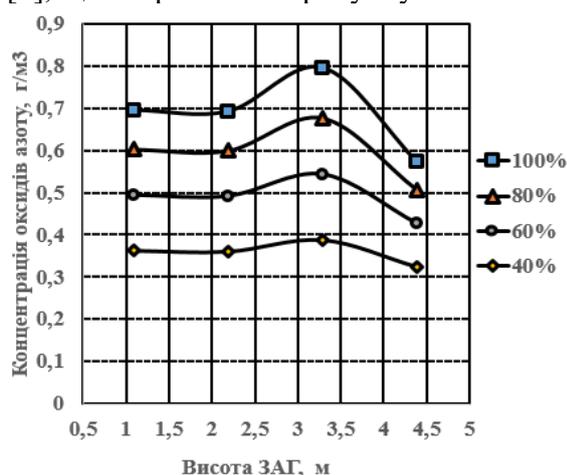
Відповідно до зміни локальних теплових навантажень по висоті топки змінюється і температура димових газів по висоті, відповідно до цього можна запропонувати рішення з використанням нетрадиційних методів спалювання в нашій державі, такі як схема «Reburning» або ступеневе спалювання, що застосовується закордоном [4].

Відповідно до [2] було проведено розрахунок зміни концентрації оксидів азоту по висоті топки котла при різних коефіцієнтах надлишку повітря в кожній зоні при рівномірній подачі палива по ярусам пальників. За допомогою математичної моделі [5] було встановлено оптимальний розподіл повітря по ярусам пальників при якому буде мінімальне сумарне утворення оксидів азоту. На рисунку 2 наведено утворення оксидів азоту по ярусам пальників в зоні активного горіння (ЗАГ) при оптимальному розподілу повітря [5]. В таблиці 1 наведено основні дані розрахунку.

Таблиця 1 – Основні дані розрахунку

Характеристика котла				
Вр, %	100	80	60	40
NO _x , мг/м ³	284	249	217	190
q ₃ , %	0,92	0,83	0,74	0,64
Коефіцієнт надлишку повітря по ярусам				
α	1,05	1,05	0,7	1,4

При визначенні хімічного недопалу при різних розподілах коефіцієнта надлишку повітря по ярусам пальників при різних навантаженнях котла (по висоті зони активного горіння) потрібно враховувати зміну відношення швидкостей первинного та вторинного повітря для кожного яруса пальників при різній потужності. Із досвіду експлуатації подібних котлів при регулюванні котлів та зменшенні потужності пальників в першу чергу зменшують витрату вторинного повітря, при постійній витраті первинного повітря. Відповідно до даного розподілу було побудовано зміну хімічного недопалу по висоті ЗАГ [5], що зображено на рисунку 3.

Рисунок 2 – Концентрація NO_x по висоті Рисунок 3 – Хімічний недопал по висоті

Висновки: котел до реконструкції відповідає екологічним нормам що до викидів NO_x при навантаженні до 40%, після реконструкції потужність можна збільшити до 80% лише за рахунок реконструкції топочної камери та зміни повітропроводів подачі повітря до пальників. Похибка розрахунку та експериментальних даних склала близько 10%. Втрати з хімічним недопалом зросли з 0,15% (до реконструкції) до 0,92% (після реконструкції), що компенсується зменшенням втрат з поверхні котла при зростанні потужності котла.

Перелік посилань:

1. Логвинюк М.О., Новаківський Є.В. Зменшення викидів NO_x, шляхом ступеневого спалювання палива. *Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики: 2019 рік* : матеріали XVII Міжн. наук.-прак. конф., 23-26 квіт. 2019р. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. С. 118.
2. Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 on industrial emissions (integrated pollution prevention and control) (Recast) // Official Journal L 334, 17.12.2010, p.17-119.
3. Логвинюк М. О. Підвищення надійності роботи котла, шляхом розподілення теплового навантаження по висоті топки / М. О. Логвинюк, Є. В. Новаківський. // *Енергетика: економіка, технології, екологія*. – 2019. – №4. – С. 42–47.
4. Перспективи впровадження чистих вугільних технологій в енергетику України / [І. Вольчин, Н. Дунаєвська, Л. Гапонович та ін.]. – Київ: ГНОЗІС, 2013. – 308 с. – (ГНОЗІС).
5. Методические указания по расчету выбросов оксидов азота с дымовыми газами котлом тепловых электростанций. // ОАО "ВТИ". – 2005. – С. 42.

Аспірант Кулинич В.С.
Доц., к.т.н. Рогачов В.А.

ТЕПЛОНАПРУЖЕНИЙ СТАН ТРУБ ПЛОСКООВАЛЬНОЇ ФОРМИ

Пошук раціональних способів інтенсифікації процесів передачі тепла є одним з головних напрямків удосконалення теплообмінних апаратів. Особливої актуальності вирішення цієї проблеми набуває в умовах підвищення ККД промислових котлів, зокрема, заміною поверхонь нагріву на більш ефективні. Одним із таких рішень є збільшення площі поверхонь нагріву за рахунок оребрення та поліпшення її обтічності. Але встановлення пучків труб з оребренням замість типових економайзерних поверхонь з гладких труб, призводить до збільшення її металоемності, а також, значної витрати металу на виготовлення і встановлення у газохід котла.

На сьогодні добре себе зарекомендували труби плоскоовальної форми без ребер (рис. 1а) і плоскоовальні труби з неповним поперечним оребренням (рис. 1б), через свою зручнообтічну форму. Їх можна побачити в якості теплообмінних поверхонь в утилізаторах теплоти відхідних димових газів паливовикористовуючого обладнання, апаратах повітряного охолодження, «сухих» градирнях [1].

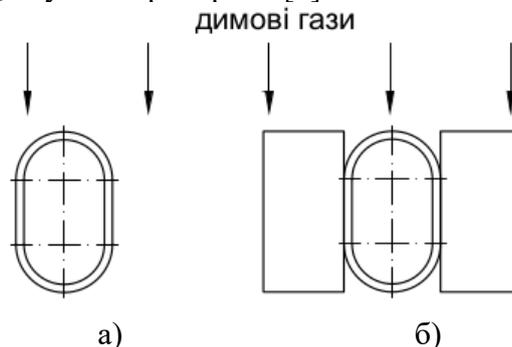


Рисунок 1 – Труби зручнообтічної форми: а) плоскоовальні гладкі; б) плоскоовальні з неповним поперечним оребренням

Плоскоовальні труби завдячують такої уваги своїй зурінчообтічній формі. Дослідження [2] показали, що дані труби мають відмінну теплоаеродинамічну ефективність у порівнянні із трубами круглої форми. В умовах обмежених типорозмірів застосування таких труб в якості економайзерних поверхонь нагріву котла є чудовою альтернативою на шляху підвищення ККД агрегату.

Не менш важливим для будь-якої поверхні нагріву є оцінка її безаварійної довготривалої роботи, тобто, розрахунок елементів на міцність. Однак, не тільки в Україні, а й у світі питання теплонапруженого стану труб плоскоовальної форми не досліджено.

Це питання гостро стоїть якщо брати до уваги, що економайзерні поверхні нагріву парових і водогрійних котлів, які виконані із металів, знаходяться під дією високих температур. В залежності від компоновки котла температура середовища, що обтікає ззовні, в межах економайзерної поверхні рівна 400-600 °С або ж 150-300 °С якщо першим по ходу димових газів в конвективній шахті йде економайзер або повітропідігрівник відповідно. Також труби знаходять під дією механічних напружень, вплив внутрішнього тиску рідини, що тече по трубах. Тиск, що діє з внутрішньої сторони труби може бути рівним парі атмосфер і доходити до декількох десятків і сотень. Все залежить від потужності котла. В результаті тяжких умов роботи в деталях виникають внутрішні напруження. Внутрішні напруження обумовлені нерівномірним розподілом пластичних деформацій.

Внутрішні напруження умовно розділяють на залишкові і температурні. Залишкове напруження проявляється на стадії виготовлення чи монтажу. Температурні напруження виникають в товщі металу при нерівномірному обігріву деталей.

Міцність сталі характеризується часом супротиву розриву і межею текучості. Межа текучості характеризується таким напруженням, при якому починається пластична деформація. Тому сталі, що використовуються в котлобудуванні, повинні мати високу пластичність, тобто мати здатність сприймати без руйнування залишкову деформацію. В кінцевому результаті обирається матеріал труби, що задовольнятиме вище вказані умови і для кінцевих геометричних розмірів визначається товщина стінки труби. Тому перед авторами стоїть завдання у розробці методики розрахунку на міцність труб плоскоовальної форми.

Дана задача полягає у визначенні характеру напружень. Знаходження граничних значень міцності, текучості, пружності, тривалої міцності і витривалості для труб плоскоовальної форми в заданих умовах.

В промислових масштабах плоскоовальні труби виготовляються на станку із листового металу. Отримана заготовка має повздовжній шов. У місці шва виникають додаткові напруження, що діють на деталь: повздовжні (1) і поперечні (2), рисунок 2. Сам шов являє собою концентратор напружень (рисунок 3), де зосереджені максимуми.

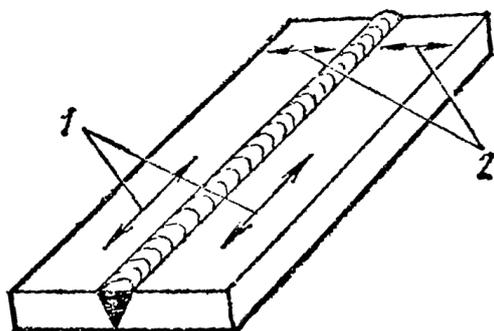


Рисунок 2 – Напруження в стиковому з'єднанні

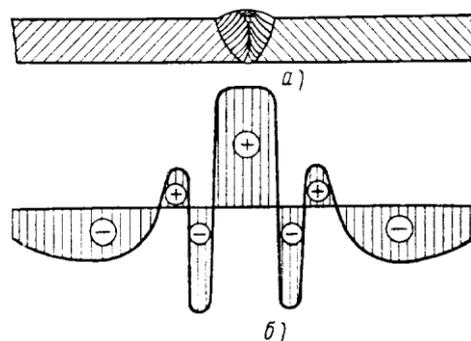


Рисунок 3 – Схема розподілу залишкових напружень в зварному шві: а – зварне з'єднання; б – епюра напружень

Для вирішення цієї проблеми було обрано модельний простір на базі «Ansys». Розробка методики чисельного моделювання теплонапруженого стану суцільних труб плоскоовальної форми, що працюють в різних теплогідрравлічних умовах. Подальша задача зведена до мінімізації відхилення моделі від реальної, тому не менш важливим є врахування напружень, що виникають в області зварного з'єднання.

Перелік посилань:

1. Analysis and generalization of the experimental data on heat transfer in the staggered bundles of flat-oval pipes V.Kondratyuk, A.Terekh, V.Rogachev, A.Baranyuk, A.Rudenko International Journal of Energy for a Clean Environment 2017, V.18, N3, P.189-202; DOI - <https://dx.doi.org/10.1615/InterJEnerCleanEnv.2017021912>.

2. Письменный Е.Н., Рогачев В.А., Баранюк А.В., Семеняко А.В., Вознюк М.М. CFD-моделирование процессов теплообмена труб удобообтекаемой формы с неполным поперечным оребрением. Международный научно-исследовательский журнал. №1(20), 2014, часть1, с. 30-36.

ЕЛЕКТРОФІЛЬТРИ

Електростатичний фільтр або електрофільтр — технологічний апарат для вловлювання та видалення пилу, завислого у газовому середовищі.

Електрофільтри призначені для уловлювання пилу з розмірами часток до 0,1 мкм з повітря і газів різного хімічного складу, вологості і температури.

Найбільш перспективним типом золоуловлювачі для великих ТЕС є електрофільтри, які можуть забезпечити високу ступінь очищення газів при аеродинамічному супротиві не більше 150 Па практично без зниження температури і без зволоження димових газів [1, 2]. В електрофільтрах запилений газ рухається в каналах, які створені усадковими електродами. Сутність процесу електричної очистки газів полягає в наступному. Запилений газ проходить через систему, що складається із заземлених осаджувальних електродів які розміщені на деякій відстані (так званому міжелектронним проміжком) коронуючих електродів, до яких підводиться постійний електричний струм високої напруги з негативним знаком. При дуже високій напрузі, яка проходить міжелектродному проміжку, у поверхні коронуючого електроду відбувається інтенсивна ударна іонізація газів, супроводжується виникненням коронного розряду. Газові іони різної полярності, що утворюються в зоні сил електричного поля рухаються до різноіменних електродів, внаслідок чого в проміжку буде з'являтися ток корони. Частинки золи через адсорбції на їх поверхні іонів набувають в міжелектродному проміжку електричний заряд і під впливом рухаються до електродів, осідаючи на них. Основна кількість частинок осідає на розвиненій поверхні осаджувальних електродів, менша їх частина випадає на коронуючі електроди. Процес електрогазоочістки можна розділити на наступні стадії: зарядка зважених в газі частинок, рух заряджених частинок до електродів, цих частинок з електронів.

Коронний розряд виникає при досягненні певної напруженості електричного поля, званої критичної або початкової, яка, наприклад, для повітря при атмосферному тиску і температурі 20° С становить близько 15 кВ/см. До коронуючих електродів підводиться негативний заряд, так як рухливість негативних іонів вище позитивних.

Крім того, при негативній короні вдається підтримати більш високу напругу без іскрового пробою між електродами. Робоча частина електрофільтру, в якій існує електричне поле називається активною зоною. Електрофільтри бувають однополюсними і багатопольними.

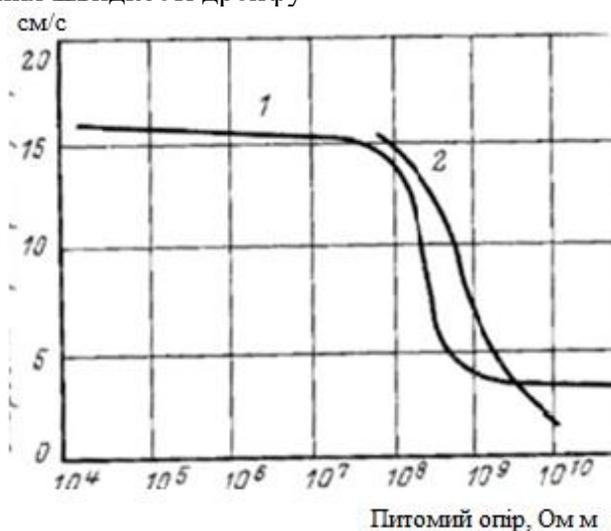
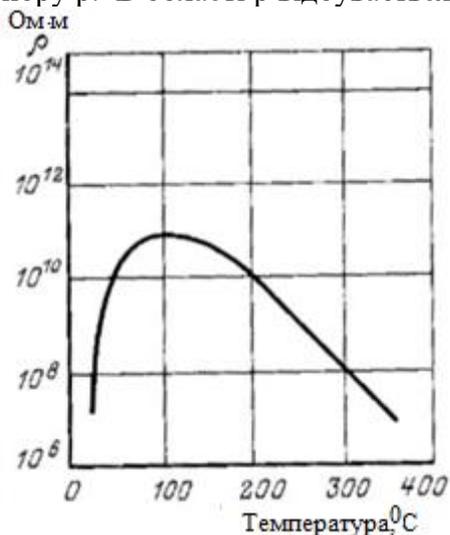
Електричні поля мають самостійне живлення і систему струшування. У першому полі осідає найбільша кількість золи, в останньому-мінімальне.

Важливою умовою, що визначає ефективність роботи електрофільтру, є агрегат електричного живлення.

Кожний агрегат обслуговує одне поле (або половину поля), складається з трьох вузлів: підвищувальних-випрямного блоку розподільним пристроєм, блоку магнітних підсилювачів, дроселів і куль та управління. Для підтримки напруги в будь-який момент роботи електрофільтру на межі пробивної, коли забезпечується найкраща іонізація газів, застосована автоматична схема регулювання.

Основними факторами, що визначають швидкість дрейфа є електричні властивості пилогазового потоку і в першу чергу електричний опір золи. На рис.1-а, показана залежність питомої опору летючої золь Р, Ом-м, при роботі електрофільтру від температури. Максимум електричного опору золи відповідає температурі 100 – 130° С. Найбільша р має зола вугілля з малим вмістом горючих в віднесенні, і вологи в паливі. До вугілля, зола яких має найбільш високий електричний опір, відносяться екібастузьке і

Кузнецьке кам'яне вугілля. На рис. 1-б показано зміна швидкості дрейфу від питомого опору ρ . В області ρ відбувається різке падіння швидкості дрейфу



а) залежність питомого електричного опору летючої золи при роботі електрофільтру від температури
 б) залежність швидкості осадження від питомого електричного опору пилу (1-цементна пил, 2-зола виносу котлів).

Рисунок 1 - Вплив питомого опору летючої золи на роботу електрофільтру

Аналіз роботи електрофільтрів на ТЕС показав, що основна причина менш ефективного очищення полягає високу питомому електричному опору (УЕС) в шарі золи, що утворюється на електрофільтру. Внаслідок високого УЕС провідність шару пилу зменшується, що призводить до збільшення потенціалу поверхні шару, збільшення падіння напруги в слої при одночасному його зменшенні в газовому проміжку.

При збільшенні різниці потенціалів між поверхнею шару та заземленим електродом до значення, достатнього для пробію газів, на деяких ділянках поверхні слоя виникають відносно стабільні місцеві розряди. Це явище, що викликає утворення і викид в міжелектронний простір іонів зі знаком, зворотним знаком іонів, виникаючих в основному процесі, прийнято називати короною. Позитивні іони, що утворилися в зоні корони, під дією електричного поля рухаються до коронуютьому електроду, зустрічають на своєму шляху частинки золи, заряджені негативно, і нейтралізують в результаті цього припиняється рух золових частинок та нейтралізує цей заряд. В результаті знижується ступінь очищення газів в електрофільтрів.

Висновки: Для ефективної роботи електрофільтров слід враховувати питомий опір золи, температуру димових газів (золи) та напруженість електричного поля.

Перелік посилань

1. Охорона навколишнього середовища на ТЕС і АЕС: Жабо В.В. Підручник для технікумів. – М.: Енергоатомвидав. 1992. – 240 с.: іл
2. Теплові електричні станції: Підручник для вузів / Під ред. В.Я.Гиршфельда. – 3-тє видання., перероб. і доп. – М.: Енергоатомвидав, 1987. – 328 с.: (Рижкин В.Я.)

Магістрант 5 курсу, гр. ТК-91мп Півторацький В.В.
Доц., к.т.н. Мариненко В.І.

РЕКОНСТРУКЦІЯ ПАЛЬНИКІВ КОТЛА ТП-15

Одна з головних проблем вугільних енергоблоків – погіршена якість твердого палива, яка стає причиною збільшення витрати газу та мазуту для підсвічування палива. В першу чергу це стосується низько реакційного вугілля АШ.

На повноту згоряння вугілля впливають два основних фактора: температура процесу та час перебування палива в зоні високих температур, при збільшенні яких зменшуються втрати палива з механічним недопалом. Для АШ втрата з механічним недопалом є основною. Висока зольність, малий вихід летючих речовин – 2 – 7 % (табл.1) у порівнянні з іншими видами вугілля визначають низьку реакційну здатність і погіршені кінетичні показники процесу горіння вугілля АШ [1].

Таблиця 1 – Характеристики твердого палива

Вид вугілля	Вихід летючих $V_r, \%$	Вміст вуглецю $C_r, \%$	Теплотворна здатність Q_n^c , МДж/кг
Буре вугілля	40 – 50	65 – 68	6.28 – 16.75
Кам'яне вугілля	20 – 40	78 – 83	16.75 – 28.05
Пісне вугілля	10 – 20	84 – 90	25.12 – 27.21
Антрацит	2 – 7	89 – 96	25.12 – 27.21

Під час спалювання АШ виникає цілий ряд завдань, які потрібно виконувати:

1. Безперебійна робота системи рідкого шлаковидалення;
2. Стійке горіння в топці котла;
3. Дотримання задовільної повноти згоряння палива.

Спалювання вугілля АШ неможливо без підсвічування факела високо реакційним паливом (газ, мазут). При використанні природнього газу його подають в окремий газовий пальник. Під час роботи пальника, що встановлений у котел ТП-15, газоповітряна суміш і аеросуміш подаються до топки двома супутніми потоками. Такій схемі подачі палива на підсвічування властиві недоліки, від яких неможливо позбутися без реконструювання пальника:

1. Додаткове паливо перемішується тільки з вторинним повітрям;
2. Значна перевитрата додаткового палива;
3. Зростання відносної витрати додаткового палива зі зниженням теплового навантаження котла.

Для усунення недоліків пропонується реконструкція пальника котла ТП-15 з встановленням газового пальника та стабілізатора полум'я в каналі аеросуміші.

Встановлення такого пальника дозволить:

1. Подавати додатковий газ безпосередньо у пило-повітряну суміш;
2. Оптимально організувати розміщення зон запалювання пило-повітряної суміші, що значно зменшить витрату додаткового палива;
3. Встановлення стабілізатора полум'я, що дозволить підтримувати оптимальну витрату додаткового палива на всіх експлуатаційних навантаженнях котла;
4. Підвищити стійкість процесу горіння в топковій камері за рахунок створення інтенсивної рециркуляції топкових газів до зон запалення у факелі.

Проект модернізації пальника котла ТП-15 передбачає подачу газу підсвічування в канал пило-повітряної суміші. Це покращить умови перемішування суміші пилу з газом, що дозволить зменшити витрату газу та досягти більш глибокого вигорання вугільного пилу. Інститутом газу на Дарницькій ТЕЦ №4 були проведені практичні дослідження:

1. Котел працює на штатних вугільних та газових пальниках, традиційна схема підсвітки факелу – газ подається в канал вторинного повітря.

2. Включено додаткові газові пальники, встановлені в результаті модернізації, що подають газ підсвітки в канал пило-повітряної суміші. Витрата газу незмінна. Спостерігається зниження недопалу вугілля, підвищення загального ККД котла.

3. Виключено штатні газові пальники. Газ підсвітки подається в повному обсязі в канал пило-повітряної суміші. Спостерігається значне зменшення витрати газу, при стабільному горінні в топці котла і незначне зниження ККД порівняно з другим дослідом.

Результати дослідів, що проведені Інститутом газу на котлах ТП-15 наведені у таблиці 2.

Таблиця 2 – Результати експериментальних досліджень

Параметр	№ дослідів		
	1	2	3
Витрата газу на підсвітку м ³ /год	4100	4100	2150
Зниження витрати газу м ³ /год	0	0	1950
Втрати тепла з димовими газами що відходять q ₂ , %	5,76	5,75	5,57
Втрати тепла з механічним недопалом q ₄ , %	9,59	4,76	7,37
Загальний ККД котла брутто, %	83,95	88,82	86,38
Збільшення ККД котла	0	4,87	2,43

Після проведення дослідів Інститутом газу були покращені показники роботи котла: підвищено ККД, знижено кількість газу для підсвітки, покращено показники викидів димових газів.

Автори тез проведуть техніко-економічні розрахунки, використання модернізованого газового пальника для котла ТП-15 і визначать строк його окупності після встановлення на котлу.

Перелік посилань:

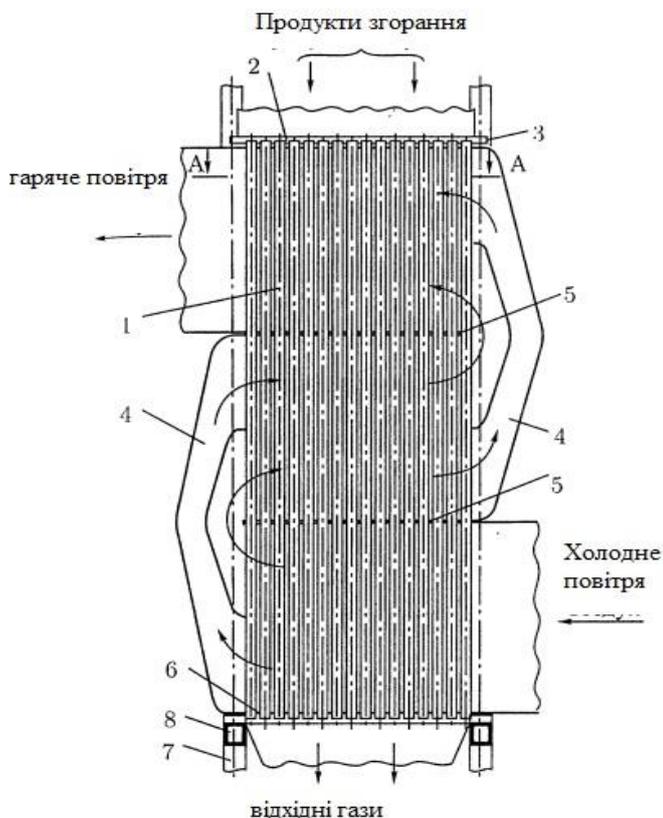
1. Липов Ю.М., Третьяков М.В. Котельные установки и парогенераторы – Москва-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2003. – 592 с.

ПОВІТРОПІДГРІВНИК З ТРУБ ПЛОСКООВАЛЬНОЇ ФОРМИ ДЛЯ КОТЛА ГМ-50-14

В різних галузях промисловості, на ТЕС широко застосовуються теплообмінні апарати в яких конвективні поверхні складаються з пакетів круглих труб [1].

Труби круглого поперечного перерізу, з точки зору покращення своїх теплоаеродинамічних показників, на сьогодні, практично вичерпали свої можливості. Відсутність достатньо надійних та точних методів розрахунку теплоаеродинамічних характеристик поверхонь у вигляді пакетів з труб зручнообтічної форми, стримує їх подальше впровадження у промисловість.

Повітропідігрівач (рис.1) працює в умовах, що відрізняється від роботи економайзера і інших елементів водо-парового тракту. Найменший температурний напір між гріючими продуктами згорання і тих що нагріваються повітрям і самий низький коефіцієнт теплопередачі. Тому його поверхня нагріву перевищує сумарну поверхню нагріву всіх елементів водо-парового тракту і для котла потужного блоку досягає десятків і сотень тисяч квадратних метрів.



- 1 - сталеві труби; 2,6 - верхня та нижня трубні дошки; 3 - компенсатор теплових розширень; 4 - повітроперепускна коробка; 5 - проміжна трубна дошка; 7,8 - опорні колони та горизонтальні балки.

Рисунок 1 - Конструкція трубчастого повітропідігрівача котла середньої потужності [1].

Повітропідігрівач – обов’язковий елемент сучасних парових котлів . Роль повітропідігрівача зростає з підвищенням потужності агрегату . Це пов’язано з тим, що температура продуктів згорання за економайзером значна (350-400) °С. Утилізація цієї теплоти в повітропідігрівачі знижує температуру відхідних газів до (120-160) °С . Підігрів повітря збільшує ККД котла.

Зазвичай, всередині труб повітропідігрівника проходять продукти спалювання (повздожнє омивання),тепло яких передається повітрю,що рухається між трубами(поперечне омивання). Для виникнення перехресного потоку повітря трубну систему по висоті поділяють на декілька ходів проміжними перегородками–дошками ; в місцях повороту встановлені повітряні перепускні короби.

Повітропідігрівач з боків має зовнішні сталеві міцні стінки, нижня трубна дошка спирається на металічну раму , пов’язану з каркасом котла [2].

Труби круглого поперечного перерізу, з точки зору покращення своїх теплоаеродинамічних показників, на сьогодні, практично вичерпали свої можливості. Проте, у світі відомі труби зручнообтічного профілю: овальні, краплеподібні, плоскоовальні та інші, які порівняно з трубами круглого профілю, мають суттєво менший аеродинамічний опір при їх однакових теплопередавальних характеристиках. Відсутність достатньо надійних та точних методів розрахунку теплоаеродинамічних характеристик поверхонь у вигляді пакетів з труб зручнообтічної форми, стримує їх подальше впровадження у промисловість.

З плоскоовальних труб виготовляються радіатори різних теплообмінних систем. Труба технологічна в обробці: легко піддається деформації і зварювання, тому вона є незамінною сировиною з легкого, але, тим не менш, міцного матеріалу виготовляється робочі інструменти, побутова техніка та обладнання.

У світі відомі труби зручнообтічного профілю: овальні, краплеподібні, плоскоовальні та інші, які порівняно з трубами круглого профілю, мають суттєво менший аеродинамічний опір при їх однакових теплопередавальних характеристиках.

За результатами експериментальних досліджень вперше отримані інженерні методики теплового й аеродинамічного розрахунків поверхонь з складнопрофільованих плоскоовальних труб, які дозволяють розробляти нові типи рекуперативних трубчастих теплообмінників на новій елементній базі в широкому діапазоні варіювання геометричних параметрів труб і їх масивів з відносним подовженням профілю труби від 2 до 5, відносним поперечним і поздовжнім кроками між трубами у пучках, відповідно від 2 до 3,5 і від 2 до 5,5 , в діапазоні зміни швидкостей потоку від 2 м/с до 20 м/с.

Результати теплоаеродинамічних розрахунків показали, що у повітропідігрівача, виконаного з плоскоовальних труб, масогабаритні характеристики на (20-30%) менше ніж у повітропідігрівачів, виконаних з труб традиційної круглої форми при однаковій тепловій потужності апаратів.

Перелік посилань:

1. Липов Ю.М., Третьяков М.В. Котельные установки и парогенераторы – Москва-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2003. - 592 с.
2. Резников М.И., Липов Ю.М. Паровые котлы тепловых электростанций. - М: Энергоиздат, 1981. - 240 с.

СЕКЦІЯ №5

Сучасні технології в тепловій енергетиці

Аспірант 1 курсу, гр. ТС-01ф Кобилянська О.О.
Доц., к.т.н. Сірий О.А.

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ОСНОВНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ КОТЕЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ НА ЕМІСІЮ ОКСИДІВ АЗОТУ

У ХХІ століття людство значно почало відчувати на собі наслідки глобальних змін клімату. Україна серед європейських держав має найвищий інтегральний показник негативних техногенних навантажень на навколишнє природне середовище практично на всій своїй території. Відомо, що одним з основних джерел забруднення оточуючого повітря все ще залишається енергетика. Тому розуміння закономірностей утворення шкідливих речовин і можливість прогнозування їх емісії є одними з основних питань забезпечення норм охорони навколишнього середовища [1].

Відомо, що до основних шкідливих елементів, що виділяються при спалюванні природного газу відносяться оксиди азоту та вуглецю. Оксиди азоту є компонентами атмосфери. Але парникова активність закису азоту в 298 разів вище, ніж у вуглекислого газу. Гранично допустима концентрація діоксиду азоту ПДК_{NOx} в приземному шарі повітря становить 0,085 мг/м³, в той час як для NO ПДК_{NO}=0,6 мг/м³ [2].

Зниження інтенсивності емісії NO_x досягається двома шляхами. Перший з яких пов'язаний з безпосереднім вдосконаленням процесу горіння (так звані технологічні методи), а другий – шляхом очищення відхідних газів. Питання встановлення ефективності різноманітних методів пригнічення концентрацій NO_x паливоспалюючими установками є першочерговими, особливо при прогнозуванні ефективності проведення модернізації діючого устаткування.

Результати раніше проведених досліджень вказують на те, що на виникнення оксидів азоту (NO_x) значний вплив здійснюють коефіцієнт надлишку повітря в топці (α_T), продуктивність (D_0) та навантаження ($N=(D/D_0)*100\%$) котла [3]. На виникнення оксидів вуглецю впливає погана організація спалювання палива, тобто наявні недопали.

На рис. 1 наведено залежність концентрації оксидів азоту від основних технологічних параметрів на котельному обладнанні модернізованому СНТ. З точки зору прогнозування емісійних характеристик, практичне значення мають нормовані показники оксидів азоту NO_x^{норм}, які визначаються за відсутності всіх експлуатаційних впливів, при $\alpha=1,0$. Значення критичного надлишку повітря $\alpha_{кр1}>1,0$ (далі просто $\alpha_{кр}$) є визначальним параметром під час промислового налагодження котельного обладнання [4].

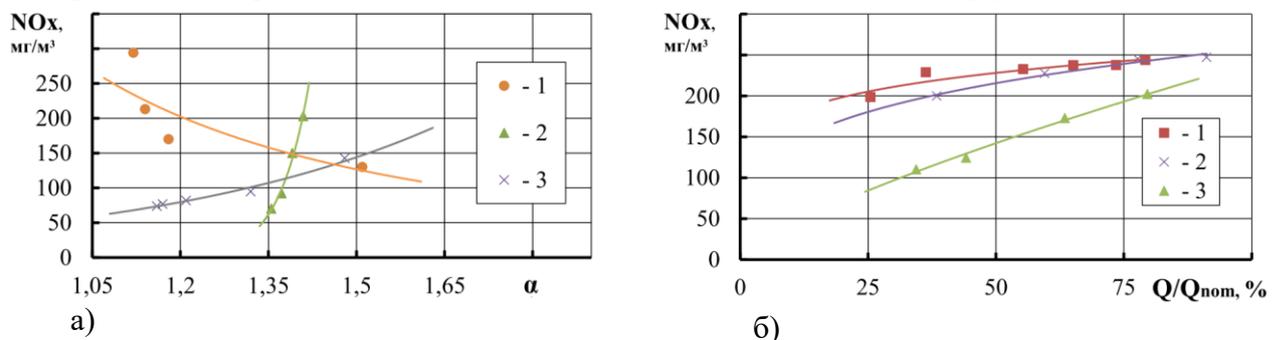


Рисунок 1 – Залежність концентрації оксидів азоту від основних технологічних параметрів на котельному обладнанні з СНТ від коефіцієнту надлишку повітря (а):
1 – ПТВМ 30, 2 – ДКВР-10, 3 – КВГМ-20;
від навантаження котла (б): 1 – КВГМ-20, 2 – ТВГ-8, 3 – КВГ-7,56

З використанням даних роботи [5] та результатів промислового впровадження ПП СНТ представлено емісійні параметри модернізованого обладнання у табл. 1.

З рис. 1 видно, що існує кореляція емісійних характеристик від режимних параметрів обладнання та його теплового навантаження. З таблиці 1 видно, що також існує взаємозв'язок між нормалізованою та максимальними концентраціями оксидів азоту. Таким чином, на режимах, що відповідають $NO_x^{норм}$ фактично відсутній хімічний недопал за рахунок максимальних температур, що з іншого боку підвищує емісію оксидів азоту. З представлених даних також видно, що має місце суттєве збільшення концентрацій азоту як максимальних (NO_x^{max}) так і нормалізованих ($NO_x^{норм}$) зі збільшенням теплопродуктивності котлів (D_0).

Таблиця 1 – Емісійні показники котельного обладнання малої та середньої продуктивності [5]

Тип котла	Теплова потужність, МВт	$\alpha_{кр}$	NO_x^{max}			$NO_x^{норм}$		$NO_x^{норм}/NO_x^{max}$
			виміри	дослід прив. до $\alpha=1$	розрахунок	дослід	розрахунок	
НИИСТУ-5	0,5	1,45	130	69,89	73,50	66	61	0,95
ДКВР-10	9,2	1,17	280	200,00	186,21	161	142	0,81
КВГМ-20	23,2	1,14	295	268,18	234,19	194	171	0,72
ПТВМ-50	58,2	1,17	350	304,35	296,74	209	219	0,69

Вплив продуктивності D_0 на емісію оксидів азоту можна пояснити дією масштабного ефекту, вплив габаритів котла на рівень емісії оксидів азоту підтверджується даними узагальнень у роботі [4].

Прогнозування емісійних показників котлів невеликої потужності ($D_0 < 10$ Гкал) на природному газі виконано за даними наведеними в [3]. З використанням цих залежностей отримані розрахункові значення у табл. 1.

Результати порівняння дослідних та розрахункових значень характерних концентрацій оксидів азоту (рис. 1 та табл. 1). підтверджують достатній рівень їх співпадіння. Відхилення, що мають місце в отриманих даних можна пояснити не тільки похибками вимірювання, але й рядом неврахованих факторів, таких як: фактичний термін експлуатації об'єкту, особливості конструкції топкової камери. Таким чином, на практиці для визначення максимального значення концентрацій NO_x необхідно врахувати вплив основних впливових факторів, у залежності (1) вони враховуються комплексним емпіричним параметром K_d :

$$NO_x^{max} = K_d \cdot K_D, \quad (1)$$

де K_d – параметр дискретних впливів, $K_D = a \cdot D_0^n$ – параметр продуктивності.

Перелік посилань:

1. Clean technology center, *Nitrogen Oxides (NOx), Why and How They Are Controlled*, EPA-456/F-99-006R, November 1999. INTERNET / World Wide Web Home Page, <http://www.epa.gov/ttn/catc>.
2. Димитров О.Д. Теорія горіння органічного палива / Димитров О.Д., Климчук О.А. – Одеса: Наука і техніка, 2006 р.
3. Любчик Г.Н. Экологический аудит газогорелочных устройств на основе применения метода базовых характеристик эмиссии NO_x и CO / Г.Н. Любчик, Р.М. Говдяк, Г.А. Микулин, Б.И. Шелковский, А.А. Зарицкий // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2007. – №4. – с. 64–70.
4. Любчик Г.М. та ін.. Вплив коефіцієнту надлишку повітря, продуктивності та навантаження на показники емісії оксидів азоту, Енергетика: економіка, технології, екологія, №1, 2002 р.
5. Абдулін М.З. Вітчизняні енергоефективні технології – запорука енергетичної безпеки держави / М.З. Абдулін, О.А. Сірий // Колективна монографія. – КПІ, 2013. – с. 224–233.

Студент 2 курсу, гр. ТС-п91 Будя Ю.С.; мол. вчений Шелешей Т.В.
Асист. Беднарська І.С.

АНАЛИЗ ВЫБРОСОВ ТВЕРДЫХ ЛЕТУЧИХ ЧАСТИЦ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ СГОРАНИЯ

Одной из наиболее важных отраслей в любой стране является энергетика. Это зависит от основных аспектов человеческой жизни – работы всех предприятий (социальных, банковских, государственных, частных учреждений и т.д.), инфраструктуры (освещение, электротранспорт и т.д.) и бытовых нужд.

Тепловые электростанции (ТЭС) производят энергию за счет сжигания ископаемого топлива – угля, мазута, природного газа. Основным топливом на отечественных тепловых электростанциях является уголь различных типов. Известно, что при сжигании твердого топлива в атмосферу попадает наибольшее количество вредных веществ по сравнению с использованием других видов топлива. Объем этих выбросов, включая значительную долю летучих твердых веществ (золы), зависит от типа оборудования, мощности оборудования, типа сжигаемого топлива и так далее.

Стоит учитывать различные технологические процессы горения. В соответствии с фазовым состоянием удаления шлака из топки имеются котлы с твердым и жидким удалением. В котлах с твердым удалением, шлак удаляется из топки в твердом состоянии, а в котлах с жидким удалением шлака – в расплавленном состоянии. При удалении жидкого шлака температура в котельной должна поддерживаться на уровне, превышающем температуру плавления шлака и обеспечивающем их удаление из топки в жидком состоянии. Преимущество удаления жидкого шлака заключается в том, что при этом методе золы ухватывается гораздо больше, чем при удалении твердого шлака, когда значительная часть золы переносится уходящими газами.

В циклонных топках первичный воздух вместе с топливом перемешивается и подается в последнюю горелку, а вторичный – следовательно, через щели. Высокая скорость обеспечивает оседание крупных частиц на стенах и сохранение их в потоке циклона до полного помола.

Двухкамерные топки более сложны по форме и дороже однокамерных, стены которой образуются экранными трубами простой конфигурации. Двухкамерная топочная камера более благоприятна для котлов, работающих на пониженных нагрузках и сжигания влажного угля.

В топках с фиксированным слоем топлива, свободно лежащее на решетках, сдувается снизу воздухом. Скорость потока воздуха в слое такова, что его плавучесть меньше веса частиц топлива. Топки с фиксированным слоем оборудованы в основном в коммунальных и промышленных котельных.

В топках с кипящим слоем нет сильных требований к качеству топлива: там довольно успешно сжигается уголь и углеродистые отходы с содержанием золы до 70% и относительно низким содержанием золы с содержанием влаги до 60%. За рубежом топки с кипящим слоем широко распространены на горячей воде и паровых котлах мощностью до 100 т/ч.

Топки с циркулирующим кипящим слоем не имеют более строгих требований к качеству топлива, чем с жидким слоем, а эффективность сгорания топлива намного выше.

Основной задачей этого исследования является определение количественных характеристик вредных выбросов в атмосферу твердых летучих частиц в зависимости от различных технологий сгорания.

В ходе исследования, в соответствии с [1], были рассчитаны параметры выбросов твердых частиц. Вышеупомянутые технологии горения, которые чаще всего используются

в Украине, были учтены при расчете (таблица 1).

Таблица 1 – Доля летучих зол в различных технологиях сжигания топлива [1]

<i>Технология сжигания</i>	<i>Авин</i>
<i>С твердым (сухим) удалением шлака</i>	<i>0,95</i>
<i>Открытая топка с удалением жидкого шлака</i>	<i>0,80</i>
<i>Полуоткрытая топка с удалением жидкого шлака</i>	<i>0,70</i>
<i>Двухкамерный слой:</i>	<i>0,55</i>
<i>с вертикальным подогревом</i>	<i>0,30</i>
<i>горизонтальный циклон</i>	<i>0,15</i>
<i>С циркулирующим кипящим слоем</i>	<i>0,50</i>
<i>С пузырьковым кипящим слоем</i>	<i>0,20</i>
<i>С фиксированным слоем</i>	<i>0,15</i>

Результаты расчетов показаны в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты расчетов

Параметр	С твердым (сухим) удалением шлака	Открытая топка с удалением жидкого шлака	Полуоткрытая топка с удалением жидкого шлака	Двухкамерный шар:	с вертикальным подогревом	горизонтальный циклон	С циркулирующим кипящим слоем	С пузырьковым кипящим слоем	С фиксированным слоем
Авин	0,95	0,8	0,7	0,55	0,3	0,15	0,5	0,2	0,15
КТВ	180,2	151,8	132,8	104,3	56,9	28,5	94,9	37,9	28,5

Как видно из таблицы 2, наибольшее количество выбросов в окружающую среду твердых частиц наблюдается при сжигании с удалением твердого шлака, а самое низкое – при использовании котла с фиксированным слоем и двухкамерным горизонтальным циклоном. Мы также наблюдаем небольшой индекс K_{mv} при использовании двухкамерной печи с вертикальным предварительным подогревом и печи с жидким пузырьковым слоем.

Выводы. Были рассмотрены различные технологии горения, наиболее часто используемые в Украине. Рассчитаны выбросы твердых частиц. Установлено, что наибольшее количество выбросов твердых частиц в окружающую среду наблюдается при сжигании топлива с удалением твердого шлака, а наименьшее – при использовании печи с фиксированным слоем и двухкамерным горизонтальным циклоном. Малое значение K_{mv} наблюдается при использовании двухкамерной печи с вертикальным предварительным подогревом.

Перечень ссылок:

1. ГҚД 34.02.305-2002. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу с электростанций. Метод определения. – Киев, 2002.

Магістрант 2 курсу, гр. ТС-91мн Кривенцов О.О.
Доц., к.т.н. Сірий О.А.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗРИВУ ПОЛУМ'Я ПРИ СПАЛЮВАННІ СУМІШІ МЕТАНУ ТА ВОДНЮ

Газотурбінні двигуни (ГТД) експлуатуються на режимах у зоні збідненої пальної суміші, таким чином знижується термічне навантаження у найбільш високотемпературних елементах устаткування, а також мінімізується токсичність викидів. Додавання водню до суміші значно розширює межі стійкого горіння метанового палива. Як видно з рис. 1, кожен додатковий 10 об'ємних відсотків водню зміщують межу бідного зриву факелу на 10–15%. Слід зазначити, що збільшення швидкості потоку пальної суміші дещо звужує зону сталого горіння (рис. 1) [1].

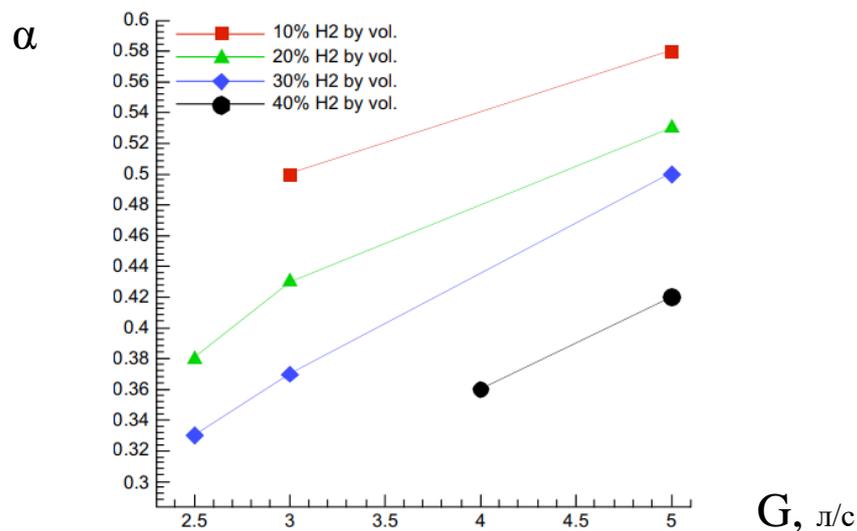


Рисунок 1 – Межі «бідного» зриву полум'я метано-водневої суміші в залежності від концентрації водню і її витрати на паливник

У режимі займання факелу зрив відбувається, коли локальна швидкість полум'я менше, ніж швидкість зустрічної рідини у будь-якій точці факелу. Таким чином, механізм стабілізації факелу для подібного режиму ґрунтується на характері розповсюдження фронту полум'я. Турбулентна швидкість полум'я часто виражається через ламінарну швидкість помножену на функцію, яка залежить як від інтенсивності турбулентності так і від геометрії паливника. Для всіх умов, за яких випробувалася лабораторна камера згорання, геометрія є фіксованою, тому вони можуть бути враховані при кореляції поведінки зриву полум'я. Припускаючи, що інтенсивності турбулентності подібні, як наближення першого порядку, параметр навантаження можна виразити через швидкість ламінарного полум'я паливної суміші. Для двопаливної суміші швидкість розповсюдження полум'я виражається як сума швидкостей полум'я для кожного з компонентів, зважену за молярними частками:

$$S_L = \frac{C_F}{C_F + C_H} S_{L,CH_4\phi} + \frac{C_H}{C_F + C_H} S_{L,H_2,S},$$

де C – концентрація компоненту, S_L – швидкість розповсюдження полум'я компоненту.

Вираз являє собою напівемпіричне наближення першого порядку та узгоджується з експериментальними даними. Результати за рівнянням наведені в таблиці.

Таблиця 1 – Ламінарна швидкість полум'я (в м/с) CH_4/H_2 суміші при тиску 1 ат. В залежності від коефіцієнта надлишку повітря та об'ємної концентрації водню [1]

α $C_{H_2}, \%$	0,7	0,8	0,9	1,0
0	0,2	0,27	0,33	0,4
10	0,38	0,44	0,5	0,56
20	0,56	0,62	0,66	0,72
30	0,74	0,79	0,83	0,88
40	0,92	0,96	1,0	1,04
50	1,1	1,14	1,17	1,2

Варто відмітити, що теоретична оцінка продуктів спалювання показує значний вплив застосування домішки водню до метановмісних палив. Так, теоретичні розрахунки процесу горіння природного газу з вмістом метану 96%, де в якості окисника обрано повітря показують, що у продуктах реакції зменшується кількість діоксиду вуглецю CO_2 майже на 40% при співрозмірному вмісті водню у початковій суміші. Загальне зниження об'єму продуктів спалювання становить у середньому 30%. Теоретична температура горіння збільшується не суттєво (див. рис. 2).

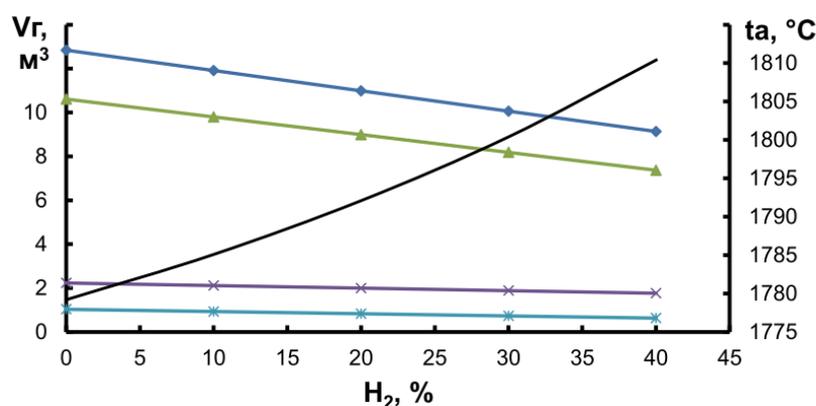


Рисунок 2 – Об'єм продуктів спалювання та теоретична температура горіння суміші природного газу з воднем

- 1 – об'єм вологих продуктів згоряння, 2 – об'єм сухих продуктів згоряння,
3 – об'єм водяної пари, 4 – діоксид вуглецю, 5 – теоретична температура горіння

З іншої сторони варто зазначити, що збільшення вмісту водню зменшує нижчу теплоту згоряння. Визначено, що при вмісті 40,01% водню, Q_n^p становить 26,38 МДж/кг, що менше на 27% у порівнянні з природним газом, який складається в основному з метану. Крім того, домішки водню активують емісію оксидів азоту [2].

У світлі сучасних тенденцій до переходу на безвуглецеву енергетику, питання заміщення традиційних викопних палив альтернативними джерелами енергії будуть визначальними у найближчих перспективах розвитку країни і світу. Часткова заміна природного газу вже сьогодні розглядається одним з основних кроків реалізації енергетики майбутнього.

Перелік посилань:

1. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.01.087>; 499-500
2. Zhang Q, Noble DR, Meyers A, Xu K, Lieuwen T. Characterization of fuel composition effects in $H_2/CO/CH_4$ mixtures upon lean blowout. ASME Paper No: GT2005-68907. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, 2007, – 129: 688–94.

Аспірант Мороз О.С.; магістрант 2 курсу, гр. ТС-91мн Волинець А.М.
Доц., к.т.н. Грановська О.О.

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ДИСКОВОГО СТАБІЛІЗАТОРНОГО ПАЛЬНИКОВОГО ПРИСТРОЮ

Теплоенергетична галузь України в значній мірі залежить від імпорту паливо-енергетичних ресурсів, зокрема, газоподібного палива – природного газу. Одним з напрямків зменшення витрати палива є підвищення ефективності його використання. На цьому шляху в світовій практиці знаходять широке використання газотурбінні установки. Підвищення ефективності газотурбінної установки можливе при збільшенні температури газів перед газовою турбінною. Так, при температурі газів в межах 1410–1430 °С коефіцієнт корисної дії газотурбінного циклу доходить до 40%, що майже дорівнює ККД паротурбінного циклу [1]. Підвищення температури газів відбувається шляхом зменшення коефіцієнту надлишку повітря в камері згоряння до $\alpha \leq 2,0$, що можливо реалізувати при організації горіння гомогенної паливо-повітряної суміші. В той же час на режимах пуску, зупинки і роботи з частковим навантаженням необхідно забезпечити надійну і ефективну роботу при $\alpha > 10,0$. Такі режими можливо реалізувати при використанні дифузійного методу спалювання палива. Зазвичай, реалізація роботи камери згоряння в широкому діапазоні режимів виконується шляхом комбінації схем з кінетичним і дифузійним горінням палива, що потребує, як правило, окремих ліній підводу палива і використання додаткових елементів, що істотно ускладнює систему регулювання блоку.

Одним з підходів, які забезпечують можливість ефективної і надійної роботи камери згоряння ГТУ в широкому діапазоні режимів, є використання мікродифузійного принципу спалювання газу за погано обтікаємими тілами – стабілізаторами при подачі газу в зону рециркуляції за стабілізатором [1]. При роботі камери за такою схемою газороздачі відбувається взаємодія між газовими струменями, що виходять із стабілізатора, і зворотнім током зони рециркуляції.

Метою роботи було визначення характеру взаємодії газових струменів і зворотніх токів зони рециркуляції і можливості підвищення сталості горіння при збільшенні витрати палива. Випробування виконувались на дослідному стенді з використанням дискового стабілізатора діаметром 50 мм, що встановлювався в робочій ділянці діаметром 410 мм. Варіанти стабілізатора показані на рис. 1. За варіантом рис. 1, а паливо подавалось в зону рециркуляції через отвори діаметром 3,0–5,0 мм. За варіантом рис. 1, б на шляху газозого струменя на відстані 15 мм встановлювався обмежуючий диск діаметром 15,0 мм.

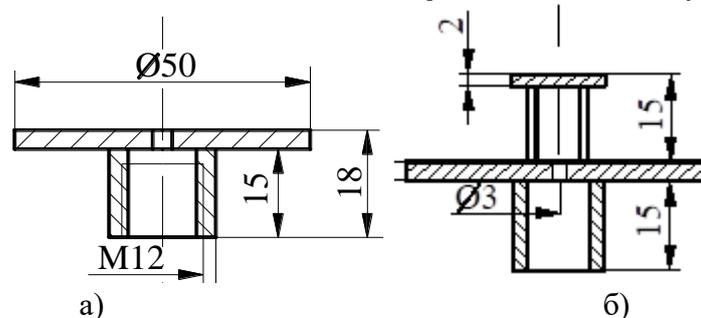


Рисунок 1 – Варіанти схеми подачі газу за дисковим стабілізатором:

а) – струменева подача газу в зону рециркуляції; б) – варіант з обмежуючим диском

Внаслідок того, що сталість горіння за стабілізатором в значній мірі залежить від розмірів та властивостей зони рециркуляції, було проведено дослідження характеристик зони рециркуляції, зокрема, її розміру в ізотермічних умовах та при горінні газу.

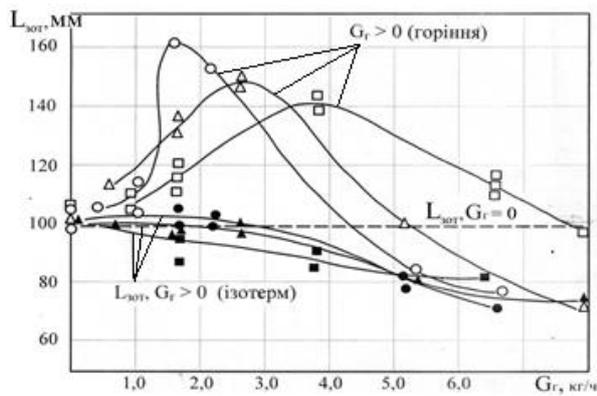


Рисунок 2 – Вплив витрати газу на довжину зони зворотних токів за дисковим стабілізатором діаметром 50 мм при ізотермічних продувках та вогневих випробувань ($d_r=5,0$ мм) ●, ○ – $W_n = 17$ м/с; Δ, ▲ – 23 м/с; ■, □ – 33 м/с

У випадку подачі газу в аеродинамічний слід за стабілізатором в ізотермічних умовах і при горінні довжина зони зворотних токів спочатку поступово збільшується із-за зменшення розрідження в зоні рециркуляції.

Потім, після досягнення певного значення витрати газу (G_r) довжина зони зворотних токів поступово зменшується, досягаючи значень, які менше довжин зони зворотних токів при ізотермічних продувках при відсутності подачі палива ($G_r=0$) (рис. 2). Аналіз концентрацій метану в зоні рециркуляції показує, що під час взаємодії паливного струменя з зоною рециркуляції має місце два суттєво різних випадки: при відносно невеликому значенні кількості руху палива (при зменшених витратах газу), що подається в зону, воно розсіюється в межах цієї зони зворотних токів. При збільшенні витрати палива в цьому разі підвищується тиск в зоні, зростають її розміри, що призводить до збагачення суміші. Після того, як підвищена далекобійність паливного струменя досягає значення $L_{стр} > L_{зот}$, газовий струмінь “пробиває” зону рециркуляції.

У варіанті (рис. 1, б), для обмеження далекобійності газового струменя при діаметрі отвору $d_r=3,0$ мм на відстані 15 мм від соплового отвору встановлено дисковий козирок діаметром 15 мм. Наявність обмежувачого козирка призводить до збільшення розмірів зони рециркуляції, горіння відбувається, в основному, по всій ширині сліду за стабілізатором, що призводить значного зменшення довжини факелу (рис. 3).

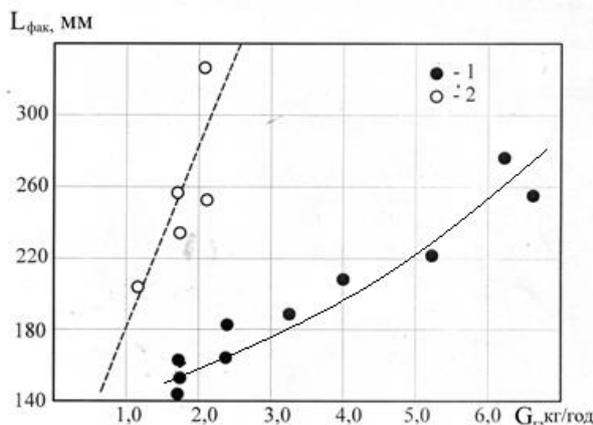


Рисунок 3 – Залежність довжини факелу за дисковим стабілізатором від витрати газу при наявності (1) і відсутності відбивного козирка (2) ($d_r = 3,0$ мм; $W_n = 17,0$ м/с)

При установці дискового козирка збільшується рівномірність перемішування палива в об’ємі зони рециркуляції у порівнянні з струменевою повздовжньою подачею газу. З виконаної роботи можливо зробити такі висновки, що в більшості випадків з дискретною подачею палива в зону зворотних токів “багатий” зрив факелу є за своєю природою бідним. Підвищення сталості горіння на багатій межі можливо реалізувати за рахунок засобів, які обмежують далекобійність паливного струменя, а саме: збільшення діаметру (площини) паливних отворів; обмеження далекобійності струменя механічним (встановлення козирка, подача газу перпендикулярними струменями), аеродинамічним (закрутка газового струменя) або іншими засобами. Збільшення діаметра газоподаючих отворів d_r і постановка козирка одночасно призводить до покращення характеристик сталості факелу на багатій межі і до погіршення сталості факелу на бідній межі.

Перелік посилань:

1. Когенерационно-утилизационные технологии на базе газотурбинных установок: монография / Любчик Г.Н., Чабанович Л.Б., Говдяк Р.М. и др.; под общ. Ред. Г.Н. Любчика и Л.Б. Чабановича. – К.: Варта. – 188 с.

Магістрант 2 курсу, гр. ТС-91мн Носаль О.Ю.
Проф., д.т.н. Бовсуновський А.П.

ВПЛИВ ТРІЩИН НА ВЛАСНІ ЧАСТОТИ КОЛИВАНЬ СТУПІНЧАСТИХ ВАЛІВ ПАРОВИХ ТУРБІН

Одним із способів запобігання аварій на турбінах є використання вібраційного діагностики ушкоджень, заснованої на зміні власних частот і форм коливань [1], а також на нелінійних ефектах [2]. Ефективність вібродіагностики пошкодження залежить від ряду факторів, серед яких піддатливість валу, температурна залежність модуля пружності і ін. Додатковим фактором, який ускладнює вібродіагностику тріщин в валах турбіни, є змінна по довжині жорсткість.

Тому метою дослідження була порівняльна оцінки ефективності вібраційного діагностики тріщин різного типу при різних видах коливань ступінчастих валів турбін. В якості вібраційного методу діагностики пошкодження розглядалося зміна власних частот коливань валопроводу турбіни.

Моделювання піддатливості перерізу з тріщиною засноване на використанні теореми Кастільяно з урахуванням співвідношення між швидкістю вивільнення енергії деформації і коефіцієнтом інтенсивності напружень [3]. Така модель тріщини не призводить до зміни маси об'єкта діагностики, набагато більш точно прогнозує зміну власних частот і форм коливань, особливо в разі пошкодження типу тріщин втоми.

Для крайової тріщини з прямим фронтом при згині валу вираз для зміни податливості перерізу з тріщиною має вигляд:

$$\delta_o(\gamma, L_c) = \frac{4096 \cdot \gamma^2(1 - \nu^2)\sqrt{a(D - a)}}{\pi \cdot E \cdot D^4} \times \\ \times (0,616 - 1,961\gamma + 4,914\gamma^2 - 6,031\gamma^3 + 5,396\gamma^4) \cdot |\overline{M}_i(L_c)|,$$

де a – глибина тріщини; D – діаметр валу; $\gamma = a/D$; E і ν – модуль пружності і коефіцієнт Пуассона матеріалу, відповідно; L_c – місцеположення тріщини; $\overline{M}_i(L_c)$ – нормоване значення згинального моменту для i -ї форми коливань неушкодженого валу для перерізу з тріщиною (нормування функції розуміється як відношення значень функції до її максимальної величини).

У разі розтягу валу (тобто при поздовжніх коливаннях) з крайовою поперечною напівеліптичною тріщиною нормального відриву зміна піддатливості перетину з тріщиною визначається рівнянням:

$$\delta_o(\gamma, L_c) = \frac{64 \cdot c \cdot \gamma^2(1 - \nu^2)}{\pi \cdot E \cdot D^2} \times (0,3176 + 0,308954\gamma + 0,253869\gamma^2 + \\ + 2,605345\gamma^3 + 1,66555\gamma^4 + 0,954593\gamma^5 + 7,727008\gamma^6) \cdot |\overline{P}_i(L_c)|,$$

де $\overline{P}_i(L_c)$ – нормоване значення поздовжньої сили для i -ї форми коливань валу в перерізі з тріщиною.

У разі крутильних коливань валу з крайовою поперечною напівеліптичною тріщиною зміна піддатливості визначається наступним рівнянням:

$$\delta_o(a, L_c) = \frac{512 \cdot \gamma^2 \cdot c}{\pi \cdot E \cdot D^4} (1 - \nu^2) [(e_1 + (1 + \nu)e_2)] \cdot |\overline{M}_{ikp}(L_c)|.$$

Коефіцієнти e_1 і e_2 наведено в табл.

При крученні валу з крайової поздовжньою тріщиною довжиною q рівняння для визначення зміни піддатливості має вигляд:

$$\delta_o(\lambda, L_c) = \frac{53,33 \cdot q \cdot \lambda}{E \cdot D^4} (1 - \nu^2)(1 + \nu) \times$$

$\times (0,015 + 0,158\lambda + 0,415\lambda^2 - 0,313\lambda^3 + 1,637\lambda^4 - 1,04\lambda^5 + 0,334\lambda^6) \cdot |\overline{M}_{ikp}(L_c)|,$
де $\lambda = 2a/(D-d)$; d – внутрішній діаметр валу.

Таблиця 1 – Коефіцієнти апроксимаційних функцій

a/D	k_1	k_2	p_0	p_1	p_2	e_1	e_2
0.1	0,8426	0,5911	0,6532	-0,383	0	0,5556	0,2254
0.2	0,8536	0,7143	0,5948	-0,2525	0,1125	0,6498	0,2649
0.4	0,8563	0,8821	0,5349	-0,0371	0,2714	0,7777	0,3757
0.6	0,7586	1,3143	0,4875	-0,2421	1,0732	1,0358	0,6533

Оцінка ефективності вібродіагностики пошкодження виконана на прикладі валопроводу парової турбіни К-200-130.

Теорія розрахунку власних частот і форм коливань ступінчастого валу є більш складною, ніж в разі однорідного валу. Однак в припущенні малості спотворення форм коливань через розкриття тріщини відносна зміна власних частот коливань, обумовлене тріщиною, можна визначати за формулами:

$$\frac{f_c}{f} = \frac{2}{1 + \sqrt{1 + \frac{\delta_0}{\delta}}}, \quad \frac{f_o}{f} = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{\delta_0}{\delta}}},$$

где f і δ – власна частота і піддатливість неушкодженого валу, відповідно; f_c і f_o – власна частота валу з тріщиною, що закривається, і відкритою тріщиною, відповідно

Порівняльний аналіз чутливості зміни власних частот до наявності тріщини, розташованої в середній частині ротора, при різних видах коливань показав, що поперечна тріщина найзначніше проявляє себе при згинальних коливаннях, значно слабкіше – при поздовжніх, і практично не проявляє себе при крутильних коливаннях. Поздовжня тріщина може бути виявлена тільки за допомогою крутильних коливань. Вплив поздовжньої тріщини на власну частоту крутильних коливань ротора є більш інтенсивним, ніж поперечної.

Розрахунки, виконані стосовно роторів і валопроводу парової турбіни К-200-130 показав, що ефективність вібродіагностики тріщини обернено залежить від піддатливості конструкції, прямо – від рівня навантаження перерізу з тріщиною і діаметра пошкодженої ступені, а також від роздільної здатності системи вимірювання. Особливістю вібродіагностики ступінчастих валів є те, що в деяких випадках легше виявити тріщини в помірно навантаженій ступені ротора, яка має відносно невеликий діаметр, ніж в значно навантаженій ступені з великим діаметром.

Ефективність вібродіагностики пошкодження валів тим вище, чим вони жорсткіше. Вібродіагностика валопроводу при поздовжніх і крутильних коливаннях демонструє відносно низьку чутливість до наявності тріщини. Зміна власних частот крутильних коливань дозволяє виявляти поперечну тріщину поблизу опор, а також подовжню тріщину, до яких згинальні коливання нечутливі.

Перелік посилань:

1. Bovsunovskii A.P., Chernousenko O.Yu., Shtefan E.V., Bashta D.A. Fatigue damage and failure of steam turbine rotors by torsional vibrations. *Strength of Materials*. 2010. – №1. – P. 108–113.
2. Bovsunovsky A., Surace C. Non-linearities in the vibrations of elastic structures with a closing crack: A state of the art review. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2015. – №62–63. – P. 129–148.
3. Chondros T.G., Dimarogonas A.D. Dynamic sensitivity of structures to cracks. *Journal of Vibration, Acoustics, Stress, and Reliability in Design*. 1989. – №V.111. – P. 251–256.

УДК 621.43.018.4

Магістрант 2 курсу, гр. ТС-01мп Ситник В.О.
Доц., к.т.н. Нікуленкова Т.В.

СПОСОБИ ПІДВИЩЕННЯ КОЕФІЦІЄНТУ КОРИСНОЇ ДІЇ НА ТЕПЛОВІЙ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Енергетична незалежність є важливою складовою незалежності держави. Теплові електричні станції займають важливу нішу в генерації електричної енергії в енергосистемі України. Але серед всіх електричних станцій, теплові мають один з найнижчих ККД 36–41%. Це попри те що в порівнянні з іншими електричними станціями, теплові використовують як джерело енергії велику кількість природних ресурсів. Тому підвищення ККД є важливим як і для покращення економічних показників станції так і для зменшення впливу на навколишнє середовище.

Актуальність проблеми. Найбільшу питому вагу в собівартості одного кВт·год на теплових електричних станціях становлять витрати на паливо, близько 50–80%. Вартість якого збільшилась в останні пару років значно збільшилась в наслідок окупації донецької та луганської області, де знаходилась більша частина ресурсів для теплових станцій та падіння валюти відносно американського долару. У зв'язку з цим постає питання ефективнішого використання тих ресурсів, які ми наразі маємо. Підвищуючи ККД, ми зменшимо кількість палива, що необхідна для отримання тієї ж кількості теплової та електричної енергії.

Україна сьогодні є найбільш енергоємною країною в Європі. Низька ефективність використання паливно-енергетичних ресурсів у технологічних процесах, переважно енергоємних галузей та електроенергетики у структурі економіки, подальше зростання споживання енергетичних ресурсів зумовлює збереження високого рівня енергоємності ВВП в Україні. [1]

У розвинених країнах розроблено і реалізуються дорожні карти розвитку «Екологічно чистої теплової енергетики високої ефективності».

Таблиця №1 – Технології «Екологічно чистої теплової енергетики високої ефективності» [1]

Назва технології	Максимальне значення ККД, %
Газотурбінні установки (ГТУ) і парогазові установки (ПГУ) потужністю до 1000 МВт	60
Вугільні енергоблоки на супер надкритичні параметри (СНКП) пари одиничною потужністю 330–660–800 МВт	44–47
Використання перспективних технологій на ультра надкритичних параметрах пари (35 МПа, 700/720 °С)	51–53
Вугільні ТЕЦ нового покоління одиничною потужністю 100–200 – 300 МВт з використанням різних технологій спалювання вугілля	48
Виробництво електроенергії та тепла з використанням ПГУ з внутрішньо цикловою газифікацією твердого палива одиничною потужністю 200–400 МВт	60–70

Потенціал подальшого підвищення енергоефективності ТЕС є ще досить великим. Великомасштабні технології залишаються основою національної електроенергетики з високим рівнем економічності, надійності і прийнятними екологічними показниками.

Масштабні завдання технічного переозброєння вугільних ТЕС України за належної організації робіт можна успішно вирішувати силами вітчизняних підприємств на всіх етапах реалізації проектів. В Україні сьогодні є можливості виконання силами вітчизняних фахівців повного циклу робіт від інжинірингу до уведення в експлуатацію модернізованого устаткування, у тому числі й за новими технологіями. ВАТ «Котлотурбопром» активно виконує роботи з реконструкції основного устаткування енергоблоків 200 і 300 МВт на замовлення енергокомпаній ДТЕК, «Донбасенерго» і «Центренерго». Розроблення автоматизованих систем, у тому числі для ТЕС, виконують підприємства «ХарТЕП» і «Ипра-Софт» [2].

Основними пріоритетами реформ в енергетиці має бути: підвищення енергоефективності й зменшення обсягів споживання газу; диверсифікація поставок енергоносіїв і одночасне нарощування власного видобутку енергетичних ресурсів; модернізація та реконструкція енергетичного устаткування; скорочення впливу шкідливих викидів на навколишнє середовище; приведення правил функціонування енергоринку у відповідність із європейськими правилами та законами тощо.

Перелік посилань:

1. Зарубіжний досвід з підвищення енергетичної ефективності та впровадження нових технологій виробництва електричної енергії / ВП НТЦЕ ДП «НЕК «Укренерго». - Київ, 2014. – 73с.
2. Малярєнко В.А., Шубєнко А.Л., Сєнєцкый А.В., Темнохуд И.А. (Казарова И.А.). Тєндєнции модернизации объектов малой энергєтики на базе когенєрации // Ползуновский вєстник, 2013. – №43. – С.131-137. ISSN2072-8921

Магістрант 2 курсу, гр. ТС-91мн Христан О.М.
Доц., к.т.н. Пешко В.А.

РОЗРОБКА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧОЇ СТРАТЕГІЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПИЛОВУГІЛЬНИХ ЕНЕРГОБЛОКІВ ТЕС

Відсутність пікових потужностей є основною проблемою енергетичних систем таких країн як Аргентина, Південна Африка та країн, які відносяться до Європи й колишніх країн СНД. Відповідно, актуальність досліджуваної теми передбачає необхідність залучення основних та напівбазових енергоблоків ТЕС до регулювання потужності в електромережі.

Наявність базових потужностей на рівні 50–55%, напівпікових – близько 30–35%, а пікових – не менше 15% є необхідними нормами для забезпечення стабільної роботи енергосистеми в структурному балансі енергогенеруючих потужностей.

Енергетичний сектор багатьох країн характеризується швидким збільшенням частки виробництва електроенергії з відновлюваних джерел, як з економічних причин, так і з екологічних проблем.

Проте, варто відмітити, що режими роботи таких енергопотужностей є досить нерівномірними протягом доби. Наприклад, згідно до добового графіку споживання електроенергії в ОЕС України від 07.04.2020, потужність відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) на період часу з 10:00 до 16:00 становила близько 2,5–3,3 ГВт, а на вечірньо-нічний період зменшилась до 220 МВт. Таке коливання потужності в загальному балансі призвело до примусового обмеження потужності обладнання на ТЕС, або до їхньої зупинки.

З огляду на вищевикладене, енергетичні системи багатьох європейських країн характеризуються переміщенням напівбазових енергоблоків ТЕС у напівпікову та пікову частину графіку електричних навантажень.

Варто відмітити дані представлені авторами наукової роботи. Відмічено, що зростаюча частка електричної потужності, що припадає на відновлювані джерела енергії, диктує нерегулярність роботи теплоенергетичних установок для компенсації нестабільності енерговиробітку відновлюваними джерелами. Як наслідок, через термомеханічну втому, повзучість та корозію відбувається скорочення терміну роботи вузлів енергоблоків.

В якості бази для розробки системи оцінки та прогнозування (СОП) було використано підхід оснований на: «математичній моделі – інтелектуальна експертна система – система автоматизованої оцінки та прогнозування.

З опрацювань спостерігається, що СОП розглядає технологічний процес у вигляді багатокомпонентної системи взаємопов'язаних об'єктів досліджень: елементи енергетичного обладнання, теплоносій, механічні навантаження та ін.

За період з 2004 по 2019 роки, проведено значну роботу з накопичення та статистичної обробки даних по напрацюванню конкретних енергоблоків ТЕС України.

Розрахунки сумарної прогнозованої та наявної пошкоджуваності (статичної, циклічної), а також залишкового ресурсу проведені для сценаріїв експлуатації обладнання в базових режимах роботи та потенційно найбільш важкому маневреному (щоденний пуск–зупинка).

Слід зазначити, що найбільшу долю в пошкоджуваності роторів так корпусів парових турбін вносять пуски з гарячого (ГС) та холодного станів (ХС). Найменшу долю в пошкоджуваність роторів додають пуски з неостиглого стану НС–1 при температурі металу на початку пуску 250 °С.

Проаналізувавши експериментальні дані було з'ясовано, що навіть за знижених коефіцієнтів запасу міцності, пошкоджуваність енергоблоків знаходиться в межах 0,67–0,85. Це свідчить про дуже обмежену можливість енергоблоків потужністю 200 МВт до

регулювання навантаження у мережі. При експлуатації цих блоків у маневрових режимах, а особливо у режимі щоденного пуску–зупинки, їх залишковий ресурс значно зменшиться. Подальша експлуатація в таких умовах потребує оптимізації кількості пусків з різних теплових станів.

Використовуючи систему оцінки та прогнозування раціональних режимів експлуатації високотемпературних елементів, були виконані дослідження для деякого типового устаткування ТЕС. Для дослідження обрано устаткування енергоблока потужністю 200 МВт, що вичерпав свій проектний ресурс 220 тис. год. При цьому число пусків устаткування відповідає парковому значенню – 800, з яких 50 % – пуски з гарячого стану металу, 20 % – з нестиглого, 30 % – з холодного.

Для ротора середнього тиску турбіни К-200-130 найбільш раціональним режимом експлуатації, що здатний забезпечити найвищу довговічність і ресурсозбереження є напівбазовий режим. Раціональні значення експлуатаційних параметрів складають: число годин роботи на рік – 3000–4400 год, число пусків-зупинок протягом року – 48–64, з дольовим розподілом за різними типами: з ХС – 28–52%, НС – 0–20%, ГС – 28–48%. При цьому, чітко прослідковується оптимальний розподіл режимних параметрів: 3660 годин роботи на рік при 57 пусках, з яких 40 % – з холодного стану, 60 % – з гарячого [1].

Певне обладнання має декілька діапазонів раціональних режимів роботи. Це характерно для устаткування яке однаково сильно пошкоджується як за механізмом вичерпання довготривалої міцності, так і від накопичення малоциклової втоми. Так, наприклад барабан котла ТП-109 має дві раціональні області режимних параметрів (рис. 1).

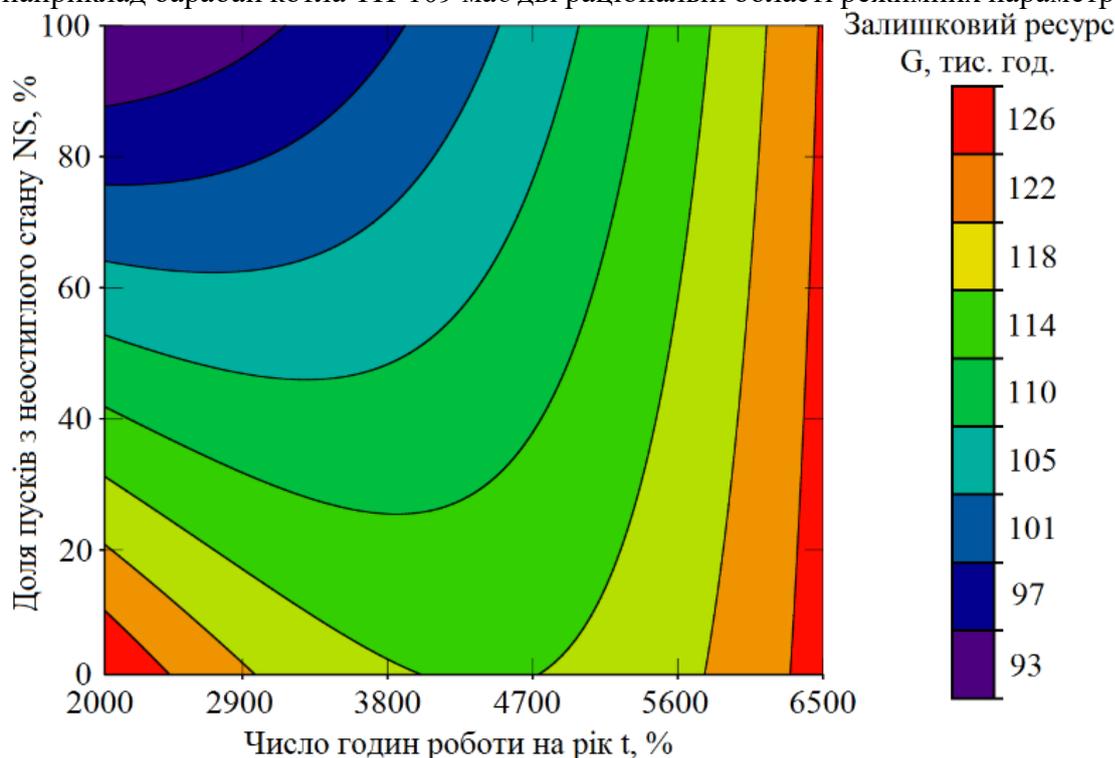


Рисунок 1 – Діаграма залишкового ресурсу в залежності від експлуатаційних параметрів для барабана котла ТП-109, що вичерпав свій парковий ресурс

Перелік посилань:

1. Chernousenko, O., Rindyuk, D., Peshko, V., Chernov, O., & Goryazhenko, V. (2020). Development of a system for estimating and forecasting the rational resource-saving operating modes of TPP. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(8 (105), 14–23. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.204505>.

УДК 621

Магистрант 2 курсу, гр. ТС-301мп Ярошенко В.Ф.
Ст. викл. Меренгер П.П.

ВЛИЯНИЕ ЗОЛЬНОСТИ УГЛЕЙ НА ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ ОБОРУДОВАНИЯ

В энергетике последние 50 лет шли поиски эффективных технологий сжигания рядовых углей шахтной добычи и технологии оценивались по удельным расходам топлива, потерям тепла механическим недожогом (q_4) и с уходящими газами (q_2).

Работу электростанций и их основной экономической показатель – удельный расход топлива характеризует таблица 1 и таблица 2.

Таблица 1 – Влияние зольности углей на теплотехнические показатели работы оборудования электростанций

Зольность угля, %	КПД котлоагрегатов, %	Нормы расхода		Продолжительность использования мощности, ч
		электроэнергии на собственные нужды, %	условного топлива на 1 кВт·ч, г	
20	92,7	3,93	326	6950
30	92,4	4,03	328	6750
40	91,0	4,30	331	6550
50	87,8	4,61	349	6350

Таблица 2 – Влияние зольности угольного топлива на итоговые экономические показатели работы электростанций различной мощности

Показатель	Значение показателя при сжигании углей на электростанциях мощностью, тыс.кВт·ч			
	1200		600	
	при зольности, %			
	35	20	35	20
Прибыль, У.е./1000 кВт·ч	143	145	132	133
Срок окупаемости капиталовложений, г	4,3	4,0	5,4	4,9
Уровень рентабельности, %	23,0	25,0	18,0	20,0

В 1950-х годах в Европе на выработку одного кВт·ч требовалось 700 г угля [2], в то время как сегодня требуется уже 300 г, это пример дополняющий таблицу, где видно, что ТЭС имеют реальную возможность снизить потребление топлива на 20 г/кВт·ч, если будут ликвидированы негативные факторы в ТЭКе и проблемы топливного баланса будут решаться не объемом добытой горной массы, а калориями. Выработка 1 МВт·ч на угольной ТЭС может стоить на 20 долларов ниже показателя выработки на нефти (мазуте), где этот показатель достигает уже значений 37,7 дол./МВт·ч.

Не решив вопросы раскрытия и очистки угольного вещества, углей (АШ, Т) мы отправили в отвалы до 70 млн.т углерода. Задачи повышения эффективного размола угля ставили вопросы внедрения разомкнутых пылесистем, стойкости брони, шаров и высоких параметров сушильно-вентиляционного агента. Несмотря на положительные результаты

НИР и ПКР процесс внедрения более совершенных технологий топливоподготовки растянулся на многие годы. Работами ряда учёных была дана оценка эволюционного развития размольных устройств и показано распределение прочностей измельчаемого материала и стоимостей измельчения по стадиям. Высокая степень совершенства и оптимизации мельниц с мелющими телами существенно ограничивают возможность снижения их удельного износа. Необходим переход к новому методу измельчения на стадиях тонкого и сверхтонкого измельчения, например, самоизмельчения, позволяющему снизить удельный износ на порядок [1].

Системы пылеприготовления ТЭС создавались как компактные объекты в ячейке главного корпуса между котельным и турбинным отделением. Энергетики имеют, исходя из требований к обогащению угля, подготовительный комплекс где осуществляются операции сушки, размола, классификации и после того как уголь готов к дальнейшим операциям по обогащению его отправляют в топку, не завершив процесс очистки.

Доля горячего воздуха на сушку угля от общего расхода воздуха составляет (при $W^P \sim 15\%$) в пределах 0,17–0,29 в объеме сушки до 200 т у.т./ч и ЦОФ трудно конкурировать с ТЭС по капвложениям в сушку. В этой связи многие годы угольная пыль не рассматривалась как объект обогащения. Именно замораживание работ по раскрытию угольного вещества, освобождения его от сопутствующих минеральных включений вынуждало конструкторов разрабатывать топку с длительным циклом пребывания частиц топлива в зоне выгорания или их рециркуляции (топки с циркулирующим кипящим слоем). Но какие бы не предлагались конструкции извлечения теплового потенциала из ископаемого топлива все равно переработка минеральных компонентов при температурах 830–1700 °С является ресурсорасточительной частью известных технологических процессов сжигания угля.

Экологические проблемы ограничения вредных выбросов SO_2 и их слабое связывание в топочном процессе вынудило мировое сообщество искать решения ограничения вредных выбросов до сжигания угля. [2]

В последние 40 лет были проведены исследования в Англии, Нидерландах, Германии, США, России, Чехии, Украине по возможностям очистки угольной пыли от вредных компонентов (FeS_2 , FeS) до сжигания топлива. Исследовались химические и физические методы извлечения сернистых соединений. Если ставится задача извлечения одного компонента, в случае очистки угля от пирита, то содержание пирита растет в мелких фракциях. Магнитная восприимчивость пирита (парамагнетик) положительна, а углерода – отрицательна, он диамагнетик. Для извлечения магнитных компонентов со слабой магнитной восприимчивостью требуется создание сильных магнитных полей. В электромагнитных устройствах можно создать поле более 0,1 Тесла реализуя режимы сверхпроводимости при криогенном охлаждении обмоток [3].

Перелік посилань:

1. Отчет о НИР 1. Разработать технологии обогащения и облагораживания низкосортных твердых топлив с помощью магнитных сепараторов в системах топливоподготовки ТЭС / гос.рег. №01870005003.– М.: 1988.– с. 106.
2. Юрковский А.З., Ремешников И.Д. Терромагнитный метод концентрации и десульфурации угля. М.: "Кокс и химия".– №12.– 1958.
3. Кесова Л.А., Литовкин В.В., Меренгер П.П., Булыгин А.А. Топливоподготовка как основа улучшения экологических и экономических показателей пылеугольных ТЭС // "Энергетика: экономика, технологии, экология", К: НТУУ "КПИ", №1, 2003 г. с. 41–45

Аспірант Беднарська І.С.
Доц., к.т.н. Риндюк Д.В.

ОСОБЛИВОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ В FLOWVISION

Значна кількість енергетичного обладнання теплових та атомних електричних станцій вже досягла кінця паркового ресурсу. В теперішніх умовах, коли немає коштів на нове обладнання, варто оцінювати стан старого обладнання та робити рекомендації щодо можливого подовження його ресурсу. Найбільша частка електростанцій в Україні – частка атомних електростанцій (приблизно 50%). Одним із важливих елементів, які потребують уваги, є система паророзподілення, до якої відносяться регулюючі, стопорні клапани та головні паропроводи. Складність їхньої роботи полягає в тому, що атомні електростанції мають набагато нижні параметри гострої пари, ніж теплові електростанції. На АЕС представлена волога насичена пара, яка має степінь сухості $x=0,995$, а, отже, в потоці пари представлені часточки вологи, що ускладнюють розрахунки теплового стану обладнання. Задля точності отриманих результатів при подовженні ресурсу енергетичного обладнання варто використовувати програмний комплекс обчислювальної аеро- і гідродинаміки FlowVision, що призначений для проведення математичного моделювання різних фізичних процесів і об'єктів [1].

Будь-яке моделювання передбачає наявність моделі. В даному випадку необхідна геометрична область клапана та паропроводів, де відбувається рух пароводяного середовища. Вона створюється в пакетах тривимірного твердотілого моделювання сторонніх виробників (в нашому випадку в SolidWorks). Іншими словами, власного редактора геометрії в середовищі FlowVision немає. З численних підтримуваних форматів даних найкращий формат Virtual Reality Modeling Language (VRML), який дозволяє зберегти інформацію про колір окремих поверхонь. В цьому випадку FlowVision дозволяє задавати різні граничні умови на поверхнях, що мають різний колір. У багатьох завданнях такий спосіб задання граничних умов виявляється найбільш швидким і зручним.

Щодо завдання геометрії, то необхідно створювати не модель твердих тіл, як це зазвичай робиться в конструкторській практиці і завданнях міцності, а геометричну модель тривимірного простору між ними, яке буде заповнене пароводяною сумішшю.

Для теплових задач FlowVision дозволяє задавати і тверді тіла, якщо необхідно досліджувати пов'язаний теплообмін «рідина – тверде тіло». FlowVision добре укомплектований з точки зору математичного оснащення: модель ламінарної рідини, k-моделі турбулентного руху нестисливої, слабкостисливої, повністю стисливої рідини, моделі руху в зазорах, в пористих середовищах, моделі горіння палива; модель теплопровідності в твердих тілах і т.д.

Перемикання моделей з однієї на іншу здійснюється дуже просто – в дереві препроцесора відповідної підобласті викликається вікно властивостей. Велика кількість моделей доповнюється великою різноманітністю способів задання граничних умов. Програма має істинно Windows-інтерфейс, а не є конверсією з інших обчислювальних платформ. Вибір розрахункової моделі, завдання властивостей, граничних і початкових умов здійснюється в дереві препроцесора. Аналогічно, постпроцесор також має своє дерево видів, об'єктів, видів, шарів.

Результати моделювання представлені на рис. 1–3.

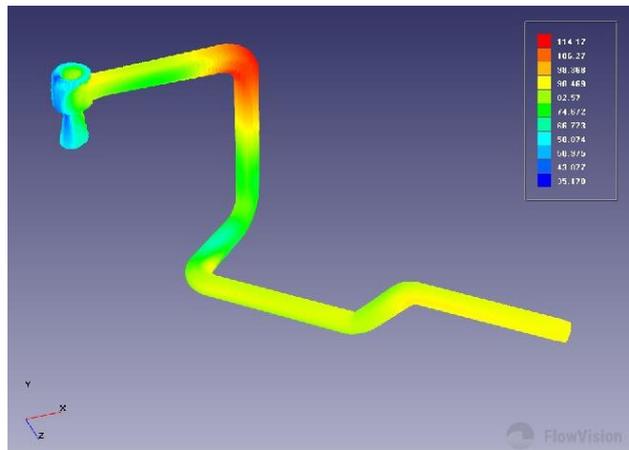


Рисунок 1 – Розподіл швидкостей в системі паророзподілення атомної електростанції з турбіною К-1000/60-3000

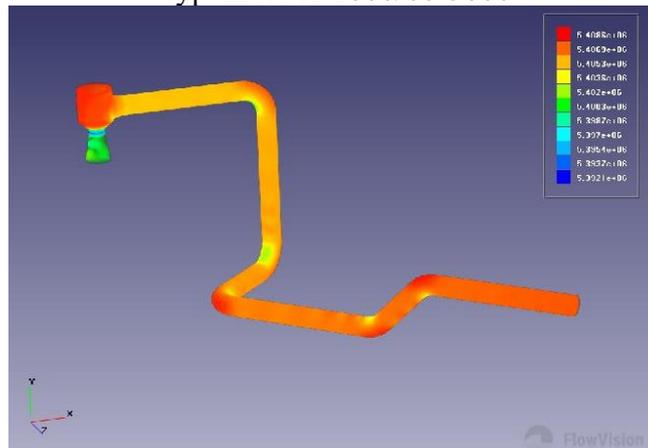


Рисунок 2 – Розподіл тиску в системі паророзподілення атомної електростанції з турбіною К-1000/60-3000

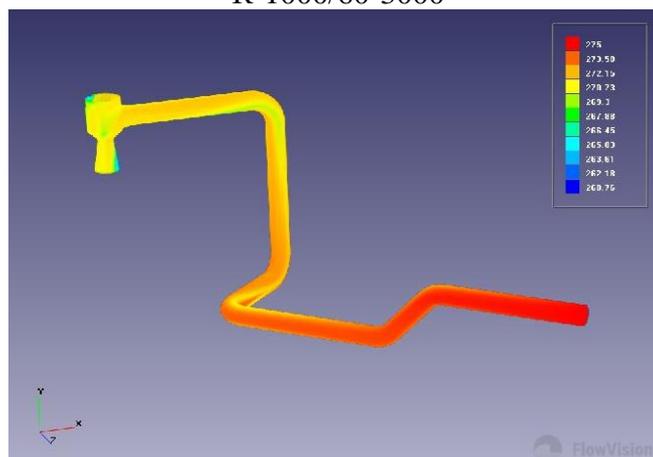


Рисунок 3 – Розподіл температур в системі паророзподілення атомної електростанції з турбіною К-1000/60-3000

В процесі моделювання встановлено, що в бібліотеці FlowVision немає такого середовища як «пара» з властивостями вологої насиченої пари, яка подається системою паророзподілення до турбіни. Проте можна потрібне середовище завдати вручну, змішавши представлені фази води, які є наявні в FlowVision. [2]

Перелік посилань:

1. Жаркова В.В., Щеляев А.Е., Дядькин А.А., Павлов А.О., Симакова Т.В. Расчет гидродинамических воздействий на возвращаемый аппарат при посадке на воду // Компьютерные исследования и моделирование, 2017. – т. 9. – № 1. – с. 37–46.
2. FlowVision. Руководство пользователя. — М.: ООО «ТЕСИС», 2016. FlowVision. User's guide. — Moscow: Ltd. "TESIS", 2016 (in Russian).

Студент 3 курсу, гр. ТС-81 Беднарська Я.С.; мол. вчений Беднарська І.С.
Ст. викл. Шелешей Т.В.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СКЛАДУ ТВЕРДОГО ПАЛИВА НА ЕМІСІЇ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН В АТМОСФЕРУ

Прагнення диверсифікувати шляхи електричної енергії також характерні виробництву та виведенню виробництва енергії на принципово новий рівень розвитку для України [1, 2]. Однак структура виробництва електричної енергії залишається практично незмінною. Її максимальна частина пов'язана з атомними електростанціями (близько 55%). Частка теплових електростанцій також висока (35%). Структура виробництва електроенергії в Україні свідчить про спрямованість на традиційне виробництво тепловими електростанціями (ТЕС). Це виробництво залежить від стабільних поставок вугілля. Розвиток теплоенергетики вимагає правильної оцінки можливостей її розвитку, відновлення та його подальші перспективи в умовах зміни економічного, промислового та природного потенціалів.

Теплові енергетичні установки працюють на вугіллі, газі, або мазуті. Але в основному використовують тверде паливо, тому що газ – недешеве задоволення. Станом на сьогодні газ частіше використовують лише для запалювання котла, а не як енергетичне паливо. Близько 45% енергоблоків українських ТЕС (за встановленою потужністю) працюють на вугіллі антрацитової групи, близько 35% – на вугіллі газової групи, та близько 20% (в Києві та Харкові) – на природному газі [3]. Також є станції з можливістю роботи на бурому вугіллі. Основну частину запасів такого вугілля добувають на Олександрійському буровугільному комплексі.

При згоранні енергетичного палива в атмосферу потрапляє величезна кількість забруднюючих речовин, таких як сірчистий ангідрид та оксиди азоту, важкі метали і тверді частки [4]. Також в повітря потрапляє велика кількість вуглекислого газу, який, як всім відомо, впливає на тепловий баланс планети і створює парниковий ефект. Не можна забувати й про шкідливі речовини, які потрапляють в землю і паплюжать природній ландшафт.

Основним завданням даного дослідження є визначення кількісних характеристик шкідливих викидів в атмосферу в залежності від складу твердого палива. В ході дослідження відповідно до [5] розраховані показники емісії оксидів вуглецю та азоту, сірчистого ангідриду та твердих частинок. Результати розрахунків зведені до таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати розрахунків

Басейн	Марка	Показник емісії викидів			
		тверді частинки	CO ₂	SO ₂	NO _x
Донецький	АШ	5472,01	91315,59	3751,23	116,05
Донецький	Г	3934,99	97700,7	1402,73	116,05
Донецький	Д	3473,64	102827,7	1187,06	116,05
Александрійський	Б	14501,16	111153,9	7149,06	116,05
Тростянецький		13259,1	101332,7	6752,22	116,05
Коломийський		11943,86	96396,56	4789,92	116,05
Мукачевський		28064,28	112778	1210,19	116,05
Львівсько-Волинський		7682,81	95163,97	916,99	116,05

З огляду на результати розрахунків встановлено, що склад палива на викиди оксидів азоту не впливає. Основним чинником впливу на показник емісії сірчистого ангідриду є відсотковий вміст сірки в елементарному складі палива: найбільше шкідливих викидів утворюється при спалюванні Олександрійського бурого вугілля та вугілля із Тростянецького басейну. На викиди твердих частинок в навколишнє середовище впливає вміст золи в паливі: найменший показник емісії твердих частинок при спалюванні Донецького довгополуменевого та антрацитового штибу Донецького басейну.

Також було встановлено, що найбільшу частку серед розрахованих вище речовин, становлять викиди вуглекислого газу. З огляду на це, було прийнято рішення провести аналіз впливу складу палива на викиди CO₂. Основними чинниками впливу на викиди даного газу є вміст вуглецю і золи в паливі. Тому доцільним є встановити вплив вищевказаних компонентів на кількість викиду вуглекислого газу в атмосферу залежно від виду палива.

При проведенні розрахункового дослідження встановлено, що кількість золи в паливі зовсім не впливає на значення показника емісії вуглекислого газу. Проте, на значення k(CO₂) суттєво впливає кількість вуглецю в елементарному складі палива.

Отже, основними результатами даного дослідження є:

1. Склад палива на викиди оксидів азоту не впливає.
2. Найбільше шкідливих викидів утворюється при спалюванні Олександрійського бурого вугілля та вугілля із Тростянецького басейну.
3. Найменший показник емісії твердих частинок при спалюванні Донецького довгополуменевого та антрацитового штибу Донецького басейну.
4. Кількість золи в паливі зовсім не впливає на значення показника емісії вуглекислого газу. Проте, на значення k(CO₂) суттєво впливає кількість вуглецю в елементарному складі палива.
5. Найменше значення показника емісії діоксиду вуглецю при використанні антрацитового штибу Донецького басейну (табл. 1).
6. Найвищі значення k(CO₂) спостерігаються при використанні Олександрійського бурого вугілля та вугілля із Мукачевського басейну.

Перелік посилань:

1. Постанова Кабінету Міністрів України від 19 вересня 2001 р. № 1205 „Про затвердження Програми «Українське вугілля» [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://zakon.nau.ua/doc/?uid=1050.1137.12&nobreak=1>.
2. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р. № 1071-р „Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2035 року” [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://mpe.kmu.gov.ua/fuel/control/uk/doccatalog/list?currDir=50358>.
3. Д.В. Риндюк, Т.В. Шелешей, І.С. Беднарська, Д.О. Дубас. Порівняння ефективності первинних заходів скорочення викидів NO_x при спалюванні різних палив. Modern Scientific Researches. Yolnat PE, Minsk, Belarus, 2020. – Issue №11. – Part 2. – С. 37–42.
4. Розрахунок теоретичного складу продуктів згоряння і температури горіння органічних палив: Методичні вказівки до виконання розрахункових робіт з курсів «Горіння палива та обладнання для його спалювання» / Уклад.: О.А. Сірий, Л.С. Бутовський, О.О. Грановська. Київ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2017. – 39 с.
5. ГКД 34.02.305-2002. Викиди забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичних установок. Методика визначення. Київ, 2002.

Студент 3 курсу, гр. ТС-п81 Литвиненко О.В.; мол. вчений Шелешей Т.В.
Асист., Беднарська І.С.

КІЛЬКІСНІ ПОКАЗНИКИ ВИКИДІВ СУСПЕНДОВАНИХ ТВЕРДИХ ЧАСТИНОК ПРИ РІЗНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ СПАЛЮВАННЯ

Однією з найважливіших галузей в будь-якій країні є енергетика. Це залежить від основних аспектів людського життя – роботи всіх підприємств (соціальних, банківських, державних, приватних установ тощо), інфраструктури (освітлення, електротранспорт тощо) та побутових потреб.

Теплові електростанції (ТЕС) виробляють енергію, спалюючи викопне паливо – вугілля, мазут, природний газ. Основним паливом на вітчизняних теплових електростанціях є вугілля різних видів. Як відомо, при спалюванні твердих палив виробляється найбільша кількість шкідливих речовин в атмосферу в порівнянні з використанням інших видів палива. Кількість цих викидів, включаючи велику частку суспендованих твердих речовин (золи), залежить від типу обладнання, потужності установки, виду спаленого палива тощо [1].

Варто розглянути різні технологічні процеси горіння. За фазовим станом видалення шлаку з топки розрізняють котли з твердим і рідким шлаковідводом. У котлах з твердим шлаковідводом шлак видаляється з топки в твердому стані, а в котлах з рідким шлаковідводом – у розплавленому стані. При видаленні рідкого шлаку температуру в камері котла необхідно підтримувати на рівні, що перевищує температуру плавлення шлаку і забезпечує їх виведення з топки в рідкому стані. Перевага рідкого видалення шлаку полягає в тому, що при цьому способі зола захоплюється набагато більше, ніж при твердому видаленні шлаку, коли значна частина золи переноситься димовими газами.

У циклонних топках первинне повітря разом з паливом скручується і подається в пальник, а вторинне - по дотичній через щілини. Висока швидкість забезпечує видалення великих частинок зі стін і утримання їх у потоці циклону до повного згорання.

Двокамерна топка більш складна за формою і дорожча за однокамерну топку, стінки якої утворені сітчастими трубами простої конфігурації. Двокамерна топка більш сприятлива для котлів, що працюють в режимі роботи при знижених навантаженнях і спалюванні вологого вугілля.

У топках із нерухомим шаром, паливо, що вільно лежить на решітках, продувається знизу повітрям. Швидкість газового потоку в шарі така, що його плавучість менше ваги частинок палива. Топки з нерухомим шаром використовуються переважно в комунальних та промислових котельнях.

Киплячий шар невибагливий до якості палива: він досить успішно спалює вугілля та вуглецеві відходи із вмістом золи до 70% та відносно низьким вмістом золи із вмістом вологи до 60%. За кордоном топки з киплячим шаром широко поширюються на водогрійних та парових котлах продуктивністю до 100 т/год.

Циркуляційні топки з киплячим шаром не мають більш суворих вимог до якості палива, ніж киплячий шар, і ефективність згорання палива набагато вища.

У камерних топках паливо і повітря подаються в топку прямими або закрученими потоками через пальники, спалахують за рахунок променистого теплообміну з сердечником пальника і гарячими стінками, викидаються високотемпературними продуктами згорання до кореня факела і згоряють у факелі вздовж потоку. Газоподібне, рідке та тверде паливо, подрібнене до пилоподібного стану, придатне для спалювання, але через різну питому швидкість горіння (реакційну здатність) останнє вимагає більш тривалого часу горіння. Основним завданням цього дослідження є визначення кількісних характеристик шкідливих

викидів в атмосферу твердих зважених частинок залежно від різних технологій згорання [2, 3].

В ході дослідження були розраховані параметри викидів твердих частинок. Зазначені технології згорання, які найчастіше застосовуються в Україні, були враховані для розрахунку (рис. 1).

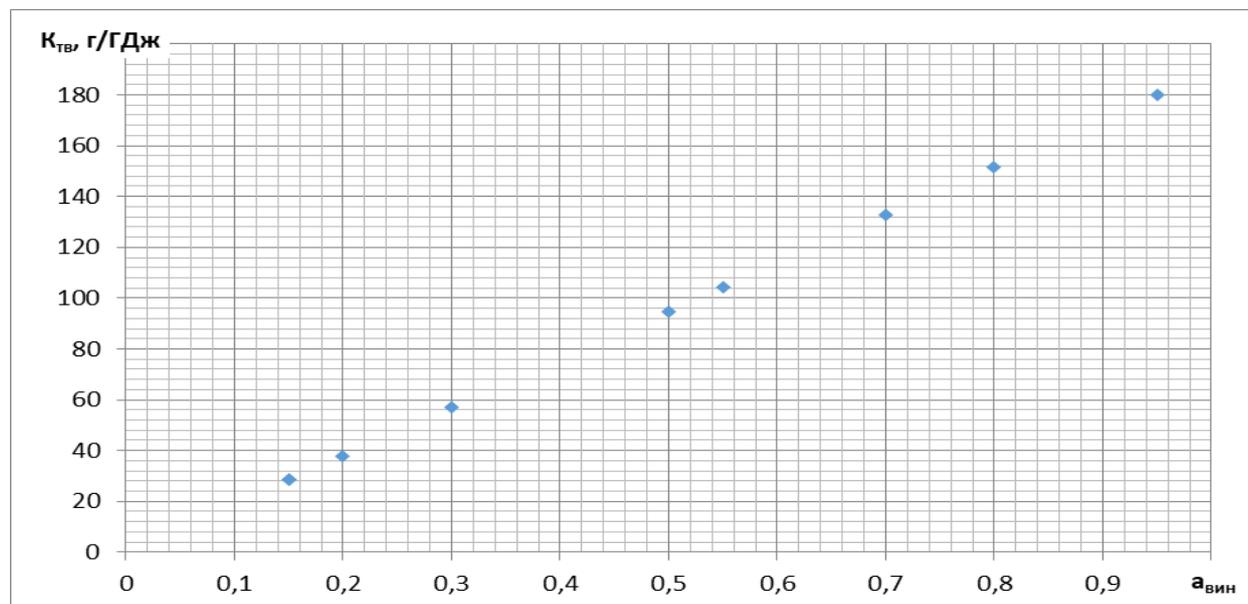


Рисунок 1 – Залежність показника емісії $k_{\text{ТВ}}$ суспендованих твердих частинок від показника $a_{\text{вин}}$ при використанні різних технологій спалювання

Як показано на рисунку 1, найбільша кількість викидів у навколишнє середовище твердих частинок спостерігається при спалюванні палива з твердим видаленням шлаку, а найменша – при використанні топки з нерухомим шаром та двокамерної горизонтальної циклонної топки. Ми також спостерігаємо невеликий показник $k_{\text{ТВ}}$ при використанні двокамерної топки з вертикальною попередньою топкою та топкою з киплячим шаром.

Основні результати дослідження:

1. Розглянуто різні технології згорання, які найчастіше застосовуються в Україні.
2. Розраховано викиди твердих суспендованих частинок.
3. Встановлено, що найбільша кількість викидів твердих частинок у навколишнє середовище спостерігається при спалюванні факелів із твердим видаленням шлаку, а найменша – при використанні топки з нерухомим шаром та двокамерної горизонтальної циклонної топки.
4. Невелике число $k_{\text{ТВ}}$ спостерігається при використанні двокамерної топки з вертикальним розігрівом і топки з киплячим шаром [4].

Перелік посилань:

1. ГКД 34.02.305-2002. Викиди забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичних установок. Методика визначення. – Київ, 2002.
2. Sheleshei T.V. Comparative analysis of the level of emission of nitrogen oxides during the combustion of anthracite shield at different power plants [Text] / T.V. Sheleshei, I.S. Bednarska, L. Mayer, V.S. Yurchuk // Young scientist, 2020. – №5.
3. Bodnarenko V.I. [etc.]. Energy: history, present and future. Kiev, 2005. Т. 3. 304 p. 6.
4. D.V. Rindyuk, TV Sheleshey, IS Bednarska, Ya.S. Bednarska. Assessment of the impact of the fuel oil brand on sulfur dioxide emissions at energy facilities. Scientific notes of Tavriya National University named after VI Vernadsky. Series: Technical Sciences, 2020. – Volume 31 (70) № 2. pp. 231–236.

Студент 3 курсу, гр. ТС-81 Олійник В.О.; мол. вчений Беднарська І.С.
Ст. викл. Шелешей Т.В.

АНАЛІЗ ВПЛИВУ СКЛАДУ ТВЕРДОГО ПАЛИВА НА КІЛЬКІСНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИКИДІВ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ

Щороку у світі стає все більше людей, котрі переймаються екологічним станом планети. Вони працюють над тим, щоб в усіх сферах промисловості люди стали звертати більше уваги на екологічні показники при виробництві, щоб знизити шкоду, що наноситься планеті. Особливо гостро це стосується сфери енергетики. Ця галузь одна з найбільших по екологічному впливу у світі. Проте, сучасний світ неможливо уявити без електроенергії. Електрика переслідує людину повсюдно: в побуті, у навчанні, під час роботи та навіть на відпочинку. Для отримання цього важливого елемента сучасного життя використовують різні джерела, такі як: теплові електростанції, атомні електростанції, гідроелектростанції та відновлювальні джерела енергії. На теплові електростанції приходиться великий відсоток одержуваної електроенергії. Паливом для теплових електростанцій служить: вугілля різних марок, природний газ та мазут. При спалюванні органічних палив також можливий викид діоксинів [1, 2].

Перші повідомлення про те, що можливий викид діоксинів із сектору виробництва тепла та електроенергії, стосуються початку 1980-х років. Детальні дослідження довели, що викиди діоксинів можуть відбуватися при спалюванні кам'яного вугілля, бурого вугілля та пічного масла, а також коксового газу. Викид діоксинів відбувається при спалюванні деревини; деревина, яка є чистою і розуміється як біомаса; або, зокрема, деревні відходи.

Поліхлоровані дибензо-р-діоксини (ПХДД) та поліхлоровані дибензофурані (ПХДФ), які коротко називають діоксинами та фуранами, широко вважаються одними з найнебезпечніших отрут у навколишньому середовищі. Однак літературні дані вказують, що хоча діоксини не виявляють ні гострої токсичності, ні канцерогенності щодо людських організмів, як це широко застосовувалося в 1970-х роках, діоксини не є нейтральними для всіх живих організмів, включаючи людей. Вони віднесені до групи так званих "ендокринних руйнівників" – речовин, що порушують секрецію гормонів внутрішньої секреції, – і через це їх викиди повинні бути зменшені.

На тлі відомих результатів більш ніж 20-річного розслідування повідомляється, що діоксини (ПХДД) та фурани (ПХДФ) утворюються як небажаний побічний продукт практично у всіх процесах горіння (включаючи процеси, що відбуваються під час комунального, промислового, лікарського або спалення шламу стічних вод, а також під час спалювання мінерального палива, тобто кам'яного вугілля, кам'яного вугілля та спалення біомаси) певні виробничі промислові процеси (наприклад, виробництво пестицидів, паперу та целюлози), а також металургійна промисловість та кольорова металургія. У 1970–80-х роках основним джерелом викидів PCDD/F у більшості країн світу були спалювальні споруди для побутових відходів. В даний час в результаті посилення норм викидів, розробки нових технологій згорання та застосування ефективних систем очищення димових газів ситуація змінилася, і сучасні спалювальні установки виділяють димові гази, що містять діоксини та фурани, у концентрації, подібній до того, що зазвичай трапляється в забрудненому повітрі міст. Ще одним важливим джерелом викидів PCDD/F є невеликі спалювальні споруди для медичних (лікарняних) відходів. Це спричинило викиди приблизно 200–400 г еквівалентів токсичності (TEQ) на рік (~10% від загальної кількості) в Європі в 2001 році, але після впровадження Директиви про спалювання відходів у країнах Європейського Союзу (ЄС) викиди діоксину від цієї рослини швидко впали. Значним джерелом сьогодні в Польщі та багатьох європейських країнах є енергетичний та металургійний сектори, що охоплює металургійну промисловість, кольорову металургію та

вторинну переробку брухту. Однак дуже важливим елементом є неконтрольоване спалювання побутових відходів у побутових печах та спалювання твердого палива низької якості (включаючи кам'яне та буре вугілля) у невеликих, застарілих та надмірно експлуатованих місцевих котельнях, в яких умови спалення та горіння дуже негативні з точки зору термодинаміки та хімії горіння та спалювання. На даний момент це основні джерела викидів діоксину в повітря в більшості європейських країн, включаючи Польщу.

Сьогодні, зважаючи на багату предметну літературу, можна визнати, що основними джерелами викидів діоксину в навколишнє середовище є насамперед теплові процеси, включаючи процеси горіння та інші (наприклад, металургійні) процеси.

Кількість викидів важких металів залежить від вмісту цих металів в енергетичному паливі. Кожне паливо відрізняється лише вмістом ртуті та свинцю. Тому доцільно звернути увагу на ці два елементи. В ході дослідження, згідно з [3], розраховувалися показники викидів важких металів. Для розрахунку бралися до уваги типи твердого палива, що найчастіше використовуються в Україні на теплових електростанціях. На рисунку 1 показано залежність емісій ртуті і свинцю від їхнього вмісту в паливі[4].

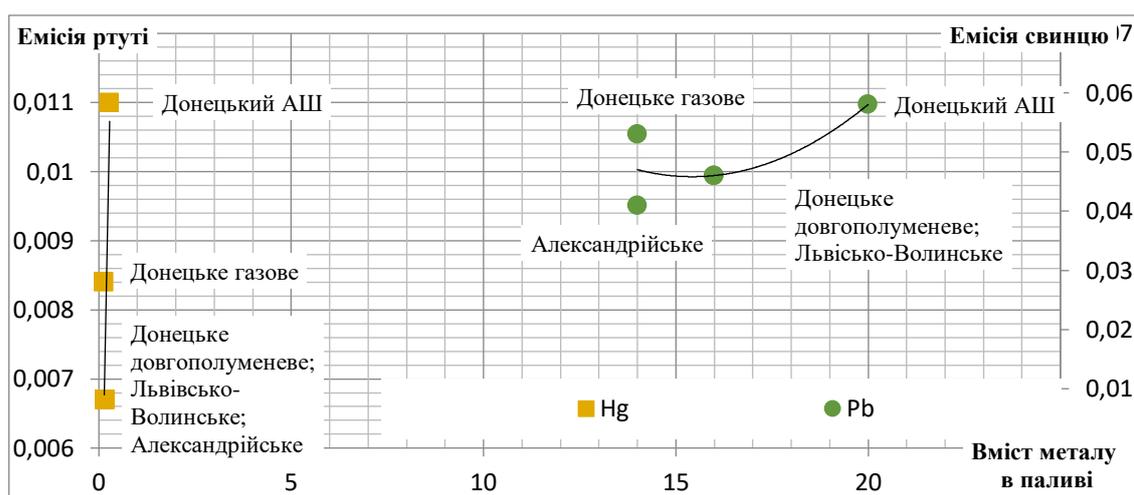


Рисунок 1 – Залежність емісій ртуті і свинцю від їхнього вмісту в паливі

Як видно з рисунка, найбільше викидів ртуті і свинцю спостерігається при спалюванні антрациту, а найменше при спалюванні олександрійського бурого.

Перелік посилань:

1. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 №1071-р «Про затвердження Енергетичної стратегії України на період до 2035 року» [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://mpe.kmu.gov.ua/fuel/control/uk/doccatalog/list?CurrDir=50358>.

2. Т.В. Шелешей, І.С. Беднарська, П.П. Меренгер, І.Л. Усов, В.О. Олійник. INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF SOLID FUEL COMPOSITION ON QUANTITATIVE CHARACTERISTICS OF HEAVY METAL EMISSIONS. Modern Technology and Innovative Technologies". Karlsruhe, Germany, 2020. Issue No14 Part 1 – С. 16–18.

3. ГКД 34.02.305-2002. Викиди забруднюючих речовин в атмосферу від електростанцій. Метод визначення. Київ, 2002.

4. Розрахунок теоретичного складу продуктів згоряння та температури горіння органічного палива: Методичні вказівки для розрахунку курсів «Спалювання палива та обладнання для його згоряння». Укладач: О.А. Грей, Л.С. Бутовський, О.О. Грановська. Київ. "КПІ ім. Ігоря Сікорського", 2017. – 39 с.

Студент 3 курсу, гр. ТС-81 Олійник В.О.
Доц., к.т.н. Сірий О.А.

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ КРАЇНАМИ ЄВРОПИ ДО 2050 РОКУ

В контексті переходу ЄС до низьковуглецевої економіки газова промисловість зазнає значної трансформації протягом наступних десятиліть. На період до 2030 року прогнозується, що використання природного газу залишатиметься стабільним або дещо зменшиться [1]. Перехід на використання енергетичних потужностей, які використовують природний газ може розглядатись коротко та середньостроковою перспективою для країн, які знаходяться у фазі поступового припинення використання вугілля. Використання газу покращує «маневреність» енергосистеми, що є необхідним при переході на відновлювані джерела енергії, такі як вітрова та сонячна. За основним сценарієм передбачається, що попит на природний газ буде знижуватись. Крім того очікується, що водень та синтетичний метан з часом замінять природний газ. Слід зазначити, що біогаз та біометан є в даний час найбільш комерційно вигідною альтернативою природного газу і не потребують значної модифікації інфраструктури при їх впровадженні. Однак виробництво зазначених альтернативних газів завжди буде обмежуватись наявністю сировини та особливостями розвитку регіональної інфраструктури. Очевидно, що доставка великих об'ємів і розвиток повноцінної інфраструктури неможливі без так званого «синього» водню, який виробляється з природного газу і має на увазі обов'язкове використання технології захоплення та зберігання вуглецю (CCS). Синій водень допоможе у нарощуванні виробництва водню в початковій фазі, однак його виробництво у кінцевому результаті не є нейтральним безвуглецевим процесом, навіть при використанні відпрацьованої технології екологічної до навколишнього середовища. «Зелений» водень виробляється з відновлюваних джерел і тому потребує значних об'ємів доступної відновлюваної електроенергії та подальший розвиток і зниження витрат на електролізерну технологію. Попит на газоподібне паливо з низьким та нульовим рівнем вуглецю буде залежати від їх кінцевого використання в енергетиці, побуті, промисловому та транспортному секторах і буде визначатися витратами, зручністю і доступністю. Впровадження водневої інфраструктури матиме наслідки для існуючих газових мереж та їхніх операторів, більшості з них прийдеться оновлювати інфраструктуру.

У листопаді 2018 року Європейська Комісія оприлюднила свою Довгострокову стратегію, яка представляє набір сценаріїв для впровадження процесу декарбонізації країн ЄС у період до 2050 року [2]. Так, за результатами аналітичних досліджень провідних європейських енергетичних спільнот: Commission, IEA, TYNDP, Trinomics, BP, Shell, Equinor, Eurogas та ін. представлено декілька різних сценаріїв споживання природного газу на період до 2050 року. Розроблені стратегії, різняться за інтенсивністю застосування електроенергії, водню, а також відсотком впровадження енергоефективних заходів. Видно, що абсолютна більшість прогностичних оцінок передбачає зниження споживання природного газу у найближчі 30 років, але ця тенденція набуде такого характеру тільки після 2030 року, а от на найближче десятиліття спад споживання не перевищуватиме 15–20%, а за деякими оцінками навіть збільшиться (див. рис. 1).

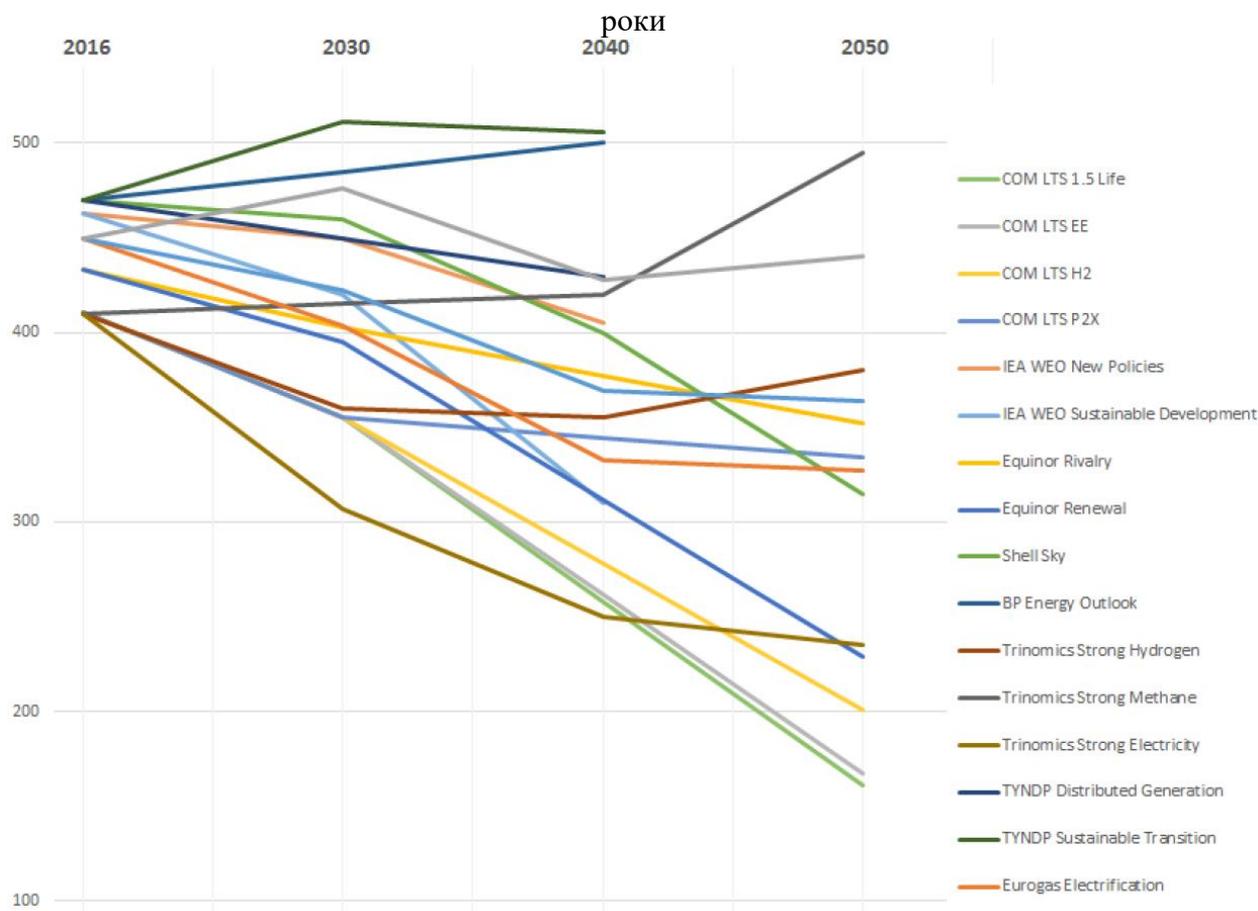


Рисунок 1 – Прогноз споживання природного газу країнами Євросоюзу на період до 2050 млрд. м³

Оскільки попит на природний газ до 2030 року вважається стабільним, тому вибір альтернативи саме у найближчі кілька років буде визначати майбутнє природного газу до 2050 року і далі. Очевидно, що гази з низьким та нульовим рівнем вуглецю відіграватимуть ключову роль у період після 2030 року, тому роботи щодо пошуку альтернативи найбільш екологічному викопному паливу активізуються, оскільки залишається не так багато часу щоб стати готовими до умов ринку [3].

Перелік посилань:

1. <https://www.ceps.eu/ceps-publications/the-future-of-gas-in-europe/>
2. <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/gas>
3. Eurostat (2018) 'Statistical pocketbook 2018', <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/99fc30eb-c06d-11e8-9893-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF/source-77059768>.

Студент 3 курсу, гр. ТС-81 Пятачук В.С.; мол. вчений Шелешей Т.В.
Асист. Беднарська І.С.

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ГАЗОМАЗУТНЫХ БЛОКОВ С ЦЕЛЬЮ УМЕНЬШЕНИЯ ВЫБРОСОВ ОКСИДОВ ВАНАДИЯ

Потребление энергии связано со всей деятельностью человека, которую в свою очередь он получает от энергосистемы. В энергосистему Украины входят ТЭС, АЭС, ГАЭС, ГЭС, СЭС, ВЭС и др. Доля тепловых электростанций достаточно высока, и составляет 35%. Электроэнергия на тепловых электростанциях производится за счет сжигания ископаемого топлива (уголь, природный газ, мазут). В Украине чаще встречаются пылеугольные станции, где основным топливом является уголь, а также представлен мазут, который используется как резервный топливо. Поскольку мазут используется во всех тепловых электростанциях, стоит обратить на это внимание и изучить его влияние на среду [1]. Соединения ванадия – основные компоненты мазута, золы, поэтому количество выбросов ванадия принимается за контрольный параметр вредного воздействия мазута на окружающую среду. В настоящее время топливные электростанции, сжигающие мазут не оснащены современным пылеулавливающим оборудованием [2].

По влиянию на человека и окружающую среду пятиокись ванадия относится к первому классу опасности, остатки золы тепловых электростанций, горящий мазут - ко второму классу опасности. Попадая в окружающую среду, химическое вещество ванадия соединения могут оставаться в нем длительное время, накапливаться, вступать в химические взаимодействия между собой и компонентами биосферы, влияют на фауну, флору и людей. При разработке технологии утилизации золошлаковых остатков ТЭС и экономическая оценка их дальнейшего использования в качестве ванадийсодержащего сырья для производства. Во многих отраслях важно определить соотношение ванадия в разных видах отходов и количество каждого вида вторичного сырья [3].

На ТЭС используется мазут различных марок, состав которые приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Состав мазута [4]

Элементный состав топлива	Марка мазута				
	с высоким содержанием серы			с низким содержанием серы	
	40	100	200	40	100
Sdaf, %	2,50	2,70	3,00	0,40	0,40
Cdaf, %	85,50	85,70	85,90	87,50	87,50
Hdaf, %	11,20	10,60	10,20	11,50	11,10
(O+N)daf, %	0,80	1,00	0,90	0,60	1,00
Q daf, МДж/кг	40,40	40,03	39,77	41,24	40,82
Ad, %	0,15	0,15	0,30	0,15	0,15
Топливная зола (V ₂ O ₅), мг/кг	600	600	1200	600	600
W r, %	2,00	2,00	1,00	2,00	2,00

Валовые выбросы загрязняющих веществ и парниковых газов определяют отраслевой контрольный документ [4] путем непрерывных измерений загрязняющих веществ концентрации в дымовых газах электростанций и методы расчета на основе данных по расходу топлива и составу и характеристикам энерго- и газоочистки растения. Согласно вышеуказанному документу, на индекс эмиссии ванадия влияют: содержание золы мазута (V₂O₅) в мазуте и эффективность золоуловителя.

К основным золоуловителям относятся: электрофильтр, мокрый скруббер и батарейный циклон. Электростатический фильтр или электрофильтр – технологическое устройство для улавливания и удаления пыли, взвешенной в газовой среде. Суть процесса электростатической очистки газов основан на ионизации газа, т.е. расщепление его молекул на положительно и отрицательно заряженные ионы. В ходе исследования, согласно [4], значения эмиссии ванадия состав рассчитывается при сжигании высокосернистого мазута марок 100 и 200 с учетом, что эти два типа жидкого топлива различаются по содержанию мазута, а все другие сорта имеют такое же содержание, как и мазут высокосернистый марки 100. Также для расчета учитывались использованные вышеуказанные золоуловители, которые имеют следующие характеристики: представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Значения эмпирического коэффициента f_v для расчета эффективности улавливания ванадия [4]

Установка золоуловителя	Эмпирический коэффициент
Электростатический фильтр	0,6
Мокрый скруббер	0,5
Батарейный циклон	0,4

Результаты расчетов приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Величина выбросов ванадия в зависимости от марки мазута и золы

Марка мазута	С высоким содержанием серы 100	С высоким содержанием серы 200
Установка золоуловителя		
Электростатический фильтр	15,099664	30,3967589
Мокрый скруббер	27,87630277	56,1170933
Батарейный циклон	34,84537847	70,1463666

Выводы. Таким образом, основными результатами данного исследования являются: количественный показатель выбросов ванадия в окружающую среду при сжигании топлива масла зависят от содержания золы мазута (V_2O_5) в мазуте и эффективности золоуловителя. Наименьшее значение индекса выбросов при сжигании мазута с высоким содержанием серы марка 100 с помощью электрофильтра. Самые высокие показатели выбросов ванадия получены при сжигании высокосернистого мазута марки 200 и установка на ТЭЦ такого золоуловителя, как батарейный циклон.

Перелік посилань:

1. Войцех А.П. Техноэкология. / Войцыцкий А.П., Дубровский В.П., Боголюбов В.М. Киев. Сельскохозяйственное образование, 2009. – 533 с.
2. D.V. Rindyuk, TV Sheleshey, IS Bednarska, Ya.S. Bednarska. Assessment of the impact of the fuel oil brand on sulfur dioxide emissions at energy facilities. Scientific notes of Tavriya National University named after VI Vernadsky. Series: Technical Sciences, 2020. Volume 31 (70) № 2. pp. 231-236.
3. The limitation of emissions of certain into the air from large combustion plants / DURECTIVE 2001/80 / EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 23 October 2001 // Official Journal of the European Communities, L 309/4, 2001.
4. ГҚД 34.02.305-2002. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу от электростанции. Метод определения. – Киев, 2002.

Студент 3 курсу, гр. ТС-81 Рудик М.А.; мол. вчений Шелешей Т.В.
Асист. Беднарська І.С.

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ТОПЛИВА НА ПОКАЗАТЕЛЬ ЭМИССИИ CO₂

При сжигании ископаемого топлива в атмосферу попадает большое количество вредных веществ, в том числе самое большое количество углекислого газа. Двуокись углерода (CO₂) относится к трехатомным газам, обычно называемым парниковыми газами. Парниковые газы характеризуются способностью поглощать инфракрасное излучение. Именно из-за многократного поглощения инфракрасного излучения возникает парниковый эффект, т.е. углекислый газ напрямую связан с глобальным потеплением, этот газ вносит основной вклад в сохранение тепла на поверхности Земли [1].

Последствия глобального потепления мы можем наблюдать сегодня: в Украине зима 2019–2020 года прошла со средней температурой +2 градуса по Цельсию, что является превышением климатических норм на 6 градусов. Кроме того, по данным Службы по изменению климата Copernicus, в период с декабря 2019 года по февраль 2020 года мировые температуры были на 3,4 градуса выше, чем средняя температура в 1981–2010 годах. Глобальное потепление давно перестало быть мифом, поскольку средняя температура на поверхности Земли повышается каждый год, что неизбежно скажется на наземных экосистемах, включая такие экосистемы, как тундра, мангровые заросли и коралловые рифы.

В течение миллионов лет на Земле существовал естественный баланс углекислого газа в атмосфере, сегодня этот баланс значительно нарушен, в первую очередь из-за деятельности человека.

Сжигание ископаемого топлива будет основой мировой энергетики как минимум на ближайшие 30 лет. За это время рост содержания CO₂ не остановится, а увеличится в несколько раз.

Большая часть энергетического сектора основана на сжигании ископаемого топлива, в том числе угля, природного газа и мазута. В настоящее время в Украине 18 тепловых электростанций и множество промышленных объектов, которые используют мазут в качестве основного и резервного топлива. Поскольку существуют разные виды мазута, стоит изучить, какой из них менее опасен для окружающей среды [2, 3].

В ходе исследования в соответствии с [4] были рассчитаны значения выбросов оксидов углерода и азота, диоксида серы и твердых частиц. При расчете учитывались виды твердого топлива, наиболее часто используемые в Украине на тепловых электростанциях (таблица 1).

Таблица 1 – Состав мазута [2]

	Марка мазута				
	с высоким содержанием серы			с низким содержанием серы	
	40	100	200	40	100
S^{daf} , %	2,50	2,70	3,00	0,40	0,40
C^{daf} , %	85,50	85,70	85,90	87,50	87,50
H^{daf} , %	11,20	10,60	10,20	11,50	11,10
$(O + N)^{daf}$, %	0,80	1,00	0,90	0,60	1,00
Q^{daf} , МДж/кг	40,40	40,03	39,77	41,24	40,82

Результаты расчетов приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты расчетов

	Марка мазута				
	с высоким содержанием серы			с низким содержанием серы	
	40	100	200	40	100
k(CO ₂)	76998,0042	77892,3908	78534,2928	77192,1102	77987,3409

При использовании высокосернистого мазута можно отметить значительное влияние на количественные показатели выбросов CO₂ содержания углерода в элементарном составе топлива. Однако следует отметить, что k (CO₂) не изменяется при использовании различных низкосернистых мазутов на тепловых электростанциях и промышленных объектах. Поэтому желательно установить еще один фактор, влияющий на показатели выбросов углекислого газа. В ходе расчетного исследования этот фактор определил меньшую теплоту сгорания [5, 6].

Самые высокие показатели выбросов углекислого газа наблюдаются при сжигании мазута марки 200 с высоким содержанием серы, а самые низкие - при использовании мазута марки 40 с высоким содержанием серы.

Выводы. При использовании мазута с высоким содержанием серы можно отметить существенное влияние содержания углерода в элементарном составе топлива на количественные показатели выбросов углекислого газа. При использовании различных мазутов с низким содержанием серы k (CO₂) не меняется. Для всех видов мазута характерна обратно пропорциональная зависимость индекса выбросов CO₂ от нижней теплоты сгорания. По мере увеличения нижней теплоты сгорания выбросы углекислого газа уменьшаются.

Самые высокие показатели выбросов углекислого газа наблюдаются при сжигании мазута марки 200 с высоким содержанием серы, а самые низкие – при использовании мазута марки 40 с высоким содержанием серы [7, 8].

Перечень ссылок:

1. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of September 19, 2001. – № 1205 “On approval of the Ukrainian Coal Program” [Electronic resource]. Access mode: <http://zakon.nau.ua/doc/?uid=1050.1137.12&nobreak=1>.
2. Yanko P.I., Misak J.S. Operating modes of power boilers. Lviv: Scientific and Production Enterprise "Ukrainian Technologies", 2004. – 270 p.
3. Sheleshei T.V. Comparative analysis of the level of emission of nitrogen oxides during the combustion of anthracite shield at different power plants [Text] / T.V. Sheleshei, I.S. Bednarska, L. Mayer, V.S Yurchuk // Young scientist, 2020. – №5.
4. ГКД 34.02.305-2002. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу с электростанций. Метод определения. Киев, 2002.
5. Bodnarenko V.I. [etc.]. Energy: history, present and future. Kiev, 2005. Т. 3. 304 p. 6.
6. Maistrenko A.Y., Dudnik A.N., Topal A.I. Comparative analysis of technical and economic performance of thermal power plants using clean coal technologies. Energy and electrification., 2007. – № 6. – S. 1–3.
7. D.V. Rindyuk, TV Sheleshey, IS Bednarska, Ya.S. Bednarska. Assessment of the impact of the fuel oil brand on sulfur dioxide emissions at energy facilities. Scientific notes of Tavriya National University named after VI Vernadsky. Series: Technical Sciences, 2020. Volume 31 (70) № 2. – pp. 231-236.
8. The limitation of emissions of certain into the air from large combustion plants / DURECTIVE 2001/80 / EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 23 October 2001 // Official Journal of the European Communities, L 309/4, 2001.

Студент 4 курсу, гр. ТС-71 Гончаренко М.О.
Ст. викл. Меренгер П.П.

МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ВИТРАТИ ВУГІЛЬНОГО ПИЛУ НА ПАЛЬНИКИ КОТЛІВ

Ефективність спалювання вугільного пилу в котлах ТЕС (теплових електричних станцій) істотно залежить від нерівномірності розподілу його по пальниках, що призводить до пульсацій тиску, неможливості підтримки співвідношення «паливо-повітря». Збурювання в системі пилоподачі викликають коливання надлишку повітря в пальниках, підвищення утворення оксидів сірки і азоту, інтенсифікують процеси шлакування та абразивно-корозійного зношування екранних поверхонь нагрівання, погіршують рідке шлаковидалення, тому дослідження методів вимірювання вугільного пилу є задачею першочергової важливості [1].

Проведені досліджень кафедрою ТЕУ Т і АЕС, що обґрунтували методи контролю витрат вугільного пилу на пальники діючого двокорпусного котла ТПП-210А енергоблоку 300 МВт при традиційному пневмотранспорті ($\mu=0,5$ кг/кг, $D_y=500$ мм) і висококонцентрованої пилоподачі ($\mu=(70-200)$ кг/кг, $D_y=80$ мм). Дослідження показали, що при традиційному пневмотранспорті в діапазоні навантажень енергоблоку $N_e=(240-300)$ МВт нерівномірність розподілу палива по пальниках досягає 60%, а контроль витрати палива з метою усунення нерівномірності можливо здійснювати гідродинамічним і тепловим методами. Методи дають достатню точність, надійність, з простим приладовим оснащенням, незначними капіталовкладеннями і можливістю використання в умовах промислової експлуатації котлів ТЕС.

Гідродинамічний метод дозволяє визначати витрату вугільного пилу за аеродинамічним опором ділянок пилопроводів і зводиться до розрахунку витрати пилоподібного палива за формулою [1]:

$$B_{nl} = \mu \cdot Q_n, \quad (1)$$

де Q_n – витрата первинного повітря на пальник, кг/с; μ – масова концентрація вугільного пилу в потоці повітря, кг/кг.

Встановлено, що при наявності вугільного пилу в пилопроводі витрати первинного повітря і вугільного пилу змінюються в протифазі та про витрату палива можна судити по витраті первинного повітря який транспортує пил, що підтверджується залежністю витрати первинного повітря від концентрації пилу (рис. 1).

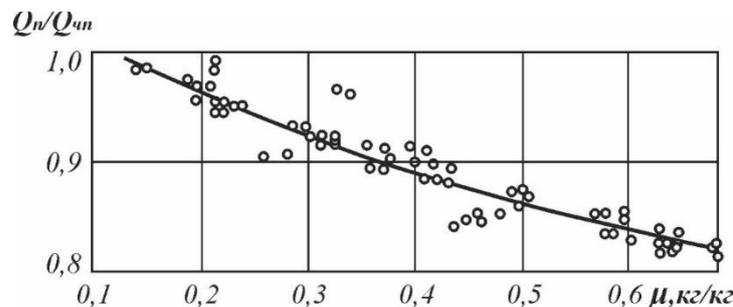


Рисунок 1 – Залежність зміни відносної витрати первинного повітря від концентрації пилу (експериментальні дані), де $Q_{чп}$ – витрата первинного повітря на пальник без палива (чисте повітря)

Тепловий метод дозволяє визначати витрату вугільного пилу в пилопроводі по ступеню охолодження первинного повітря, що транспортує пил в пальник [1]. Витрата палива B_{nl} (кг/год) на пальник розраховувалася за залежністю, яка отримана з рівняння теплового балансу пилопроводу:

$$B_{nl} = \frac{3600 \cdot Q_n^m \cdot c_n \cdot (t_{z.n} - t_{cm}) - Q_{em}}{c_{nl} \cdot (t_{cm} - t_{nl})}, \quad (4)$$

де, крім раніше зазначених величин, c_n, c_{nl} – теплоємність повітря і пилу, відповідно, кДж/кг; Q_{em} – втрати тепла в навколишнє середовище, кДж/год; $t_{z.n}, t_{cm}, t_{nl}$ – температури гарячого первинного повітря, пиловугільної аеросуміші, вугільного пилу, відповідно, °С.

Для виміру температури пиловугільної аеросуміші важливо правильно вибрати місце установки термоперетворювача (ТП) на пилопроводі.

Втрати тепла в навколишнє середовище визначалися за перепадом температур на початку і кінці пилопроводу при відключеному пиложивильнику:

$$Q_{em} = 3600 \cdot Q_s^m \cdot c_n \cdot (t_{z.n}^I - t_{z.n}^{II}), \quad (5)$$

де $t_{z.n}^I, t_{z.n}^{II}$ – температура первинного повітря на початку і кінці пилопроводу, відповідно, °С.

Дослідження показали, що представницький і малоінерційний сигнал по температурі аеросуміші можна одержати при встановленні ТП у тонкостінній гільзі у вигині трубопроводу – по бісектрисі, з боку внутрішньої поверхні повороту, де вугільні частки під впливом відцентрових сил віджимаються в напрямку зовнішнього радіуса гнуття. У внутрішнього радіуса з'являється чиста зона, що розширюється з ростом кута повороту коліна, де частки пилу відсутні і ТП зношуванню не піддається. Крім того, дослідження цього методу на котлі ТПП-210А показали, що при традиційному пневмотранспорті вимір температури аеросуміші варто робити не у пальника, як рекомендується в [1], оскільки значення температури при цьому зростає за рахунок випромінювання з топки десь на ~8 °С. Тому для одержання надійного сигналу по витраті палива на пальники котла при традиційному пневмотранспорті пилу від лопатевих пиложивильників були оцінені характеристики системи пилоподачі за непрямыми показниками: перепаду тиску на витратомірному соплі; опорам пилового змішувача і пилопроводу; температурам аеросуміші за змішувачем і перед пальником.

Висновки

1. Гідродинамічний метод контролю витрати вугільного пилу в пилопроводах відрізняється технологічною простотою і може бути реалізований на котлах будь-якої потужності.
2. Тепловий метод контролю витрати пилоподібного палива на пальники котла має достатньо високу точність (похибка $\pm 5\%$).
3. Температурний сигнал аеросміші в пилопроводах може бути використаний в АСР стабілізації подачі палива на пальники котлів з різними технологіями пилоподачі також при роботі на змінних навантаженнях.

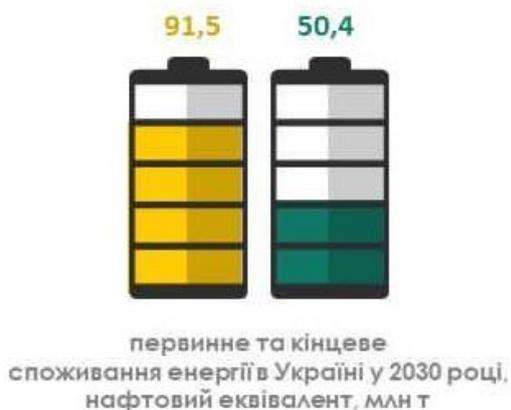
Перелік посилань:

1. Кесова Л.О., Побіровський Ю.М., Меренгер П.П. Дослідження та вибір методів контролю витрати вугільного пилу на пальники діючих котлів ТЕС при різних технологіях пилоподачі в умовах змінних навантажень // Енергетика: економіка, технології, екологія. – Київ. – 2018. – № 4. – С. 60-64

ЗМЕНШЕННЯ ВИКИДІВ ВУГЛЕКМИСЛОГО ГАЗУ ВІД ПРОМИСЛОВОСТІ

Згідно з Національним планом дій з енергоефективності, промисловий сектор отримав тенденцію до скорочення споживання енергії. Останніми роками в Україні відбувається суттєвий спад обсягів використання енергії промисловими підприємствами через зменшення кількості виробленої продукції, але це не сприяє зниженню енергоемності, оскільки продовжують використовуватися застарілі технології, а в експлуатації залишається несучасне обладнання. У майбутньому ця ситуація може призвести до того, що підвищення завантаження виробничих потужностей спричинить суттєве зростання обсягів споживання енергії та збільшення викидів парникових газів, 80% яких складає саме промисловість [1].

Національні цілі з енергоефективності до 2030 року



Україна, підписавши Паризьку угоду, до 2030 року зобов'язалася скоротити викиди парникових газів на 40% від рівня 1990 року. Станом на 2015 рік це завдання вже було не тільки досягнуто, а й перевиконано. Однак, цьому сприяло зменшення об'ємів використання промислових потужностей, енергоемність промислових підприємств залишилася незмінною, тому зі зростанням обсягів виробництва зростатимуть і обсяги викидів.

Почнемо з того, що в Україні, як і в інших країнах, існує податок на об'єми викиду вуглецю, але, проаналізувавши спрямування цих коштів, виходить, що вони витрачаються не

на усунення причин, а поки що лише на боротьбу з їх наслідками. Необхідно стимулювати підприємства інвестувати в існуючі та розробляти і впроваджувати нові екологічні заходи.

Зменшення викиду CO₂ в атмосферу можна досягти за рахунок зменшення кількості спалюваного вуглецевого палива, тобто треба звернути увагу на підвищення економічності та зниження втрат використання теплової енергії. Можливі заходи – поліпшення теплоізоляції будівель, установка лічильників тепла і термостатів в квартирах, модернізація управління системами опалення, вентиляції і кондиціонування будівель. Потенціал скорочення викидів на самих підприємствах можна розкрити за рахунок підвищення якості ремонтних робіт, скорочення витоків газів, зменшення споживання енергії на власні потреби на електростанціях і зниження втрат в тепломережах.

Інший шлях – збільшення корисного використання вуглекислого газу. Цікавою є ідея уловлювання вуглекислого газу на промислових об'єктах та збереження його у підземних пластах-сховищах. Сучасні технології дозволять уловити 90–99% CO₂. Зберігання газу доцільно робити в колишніх нафтових колекторах – там вже побудовані різноманітні якісні геологічні моделі які допоможуть запобігти витоку. На жаль, така схема не економить паливо і не сприяє вирішенню інших завдань, окрім проблеми зміни клімату.

Модифікацією наведеної вище системи є така ж система, накопичений газ в якій використовується для посиленого видобутку нафти. CO₂, що закачується в пласт, служить агентом, який знижує в'язкість нафти і підвищує її рухливість. В результаті приплив нафти до свердловини збільшується, що дозволяє додатково отримати з пласта до 15% запасів нафти. Звісно, такі проекти є дуже складними з технічної точки зору, вимагають високої

вивченості родовища, а також значних грошових ресурсів, велика частина яких потрібно на буріння нових свердловин [2].

Також висувають ідеї, пов'язані із закачуванням рідкого або газоподібного CO₂ в глибокі шари океану. Насправді, в океані може бути розчинена величезна кількість CO₂, яке практично не буде виходити в атмосферу. Як варіант, CO₂ по трубопроводах може бути закачаний в глибоководні западини і утворювати свого роду озера. Поки що дана ідея знаходиться в стадії початкової розробки і аналізу впливу на океанські екосистеми. Але вже зараз можна сказати, що варіант використання океану для розчинення величезної кількості CO₂ не дозволить в майбутньому розвивати такі технології як хвильова і градієнт-температурна енергетика океанів, так як використання даних технологій вже зараз сприяє виділенню великої кількості вуглекислоти, зниження тиску, нагріванню глибинних вод і охолодженню вод поверхневих шарів. За розрахунками NASA з хвильової енергії океану щорічно можна отримувати більш 91000 ТВт-год. Перепад же температур між водами на глибині в сотні метрів і водами на поверхні океану – величезне джерело енергії, який оцінюється в 20-40 тис.ТВт, з них на даний момент можна використовувати тільки 4 ТВт [3].

Більш екзотичним та неочікуваним є варіант перетворення вуглекислого газу на вугілля при кімнатній температурі, використовуючи рідкі метали у якості каталізатора. Раніше вважалося, що CO₂ можливо перетворити тільки при екстремально високих температурах. Рідкометалевий електрокаталізатор містить наночастинки церію (Ce), який сприяє електрохімічному відновленню CO₂ до шаруватих твердих вуглецевих частинок. Наразі, такий процес можливий лише у лабораторії, впровадження такої технології у масове виробництво залежить від її рентабельності, яка досі знаходиться під питанням.

Не варто також забувати про «легені» нашої планети. Порівняно дуже проста, але дієва схема поглинання вуглецю у лісах та інших природних екосистемах.

Щоб перероблювати та корисно використовувати більшу частку вуглекислого газу, враховуючи можливе подальше збільшення обсягів виробництва, треба шукати нові більш масштабні застосування даного газу. Через неймовірна стабільність молекули CO₂, розробка електрокаталізаторів відновлення є складною задачею. Більшість нових пропозицій, на жаль дійсні лише на папері або у лабораторних умовах, існуючі варіанти – технічно складні та витратні [4].

Станом на сьогодні наявна глобальна проблема – глобальне потепління, яка стосується абсолютно кожного. Також маємо антропогенний фактор – викиди вуглекислого газу, який повільно але впевнено погіршує цю проблему. За допомогою наших зусиль, раціонального розподілу ресурсів та широкої низки варіантів можна досягти зменшення кількості цього парникового газу.

Перелік посилань:

1. П. Є. Баланов, І. В. Смотраєва, О. Б. Іванченко, Р. Є. Хабібуллін (2015). ЗНИЖЕННЯ ВИБРОСІВ ВУГЛЕКИСЛОГО ГАЗУ В АТМОСФЕРУ БІОТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПІДПРИЄМСТВАМИ. Вісник Казанського технологічного університету.

2. А.М. Гафуров, Б.М. Осипов, Р.З. Гатіна, Н.М.Гафуров (2017). МОЖЛИВІ ШЛЯХИ ЗНИЖЕННЯ ЕМІСІЙ ДІОКСИДОВОГО ГАЗУ. Праці вищих навчальних закладів. Енергетичні проблеми.

3. Артем Малов (2017). За димовою завісою. Як переробка вуглекислого газу змінить світ. Учасник Forbes.

4. А. Шевченко, О. Бахтіна (2019). Знайдено новий спосіб переробки CO₂ для зменшення парникового ефекту. Отримано з <https://neftegaz.ru>

Студент 4 курсу, гр. ТС-71 Довгань І.В.; мол. вчений Шелешей Т.В.
Асист. Беднарська І.С.

ЗАЛЕЖНІСТЬ ПОКАЗНИКА ЕМІСІЇ ВУГЛЕКИСЛОГО ГАЗУ ВІД СКЛАДУ ПАЛИВА

При спалюванні викопного палива в атмосферу потрапляє велика кількість шкідливих речовин, в тому числі найбільша кількість вуглекислого газу. Двоокис вуглецю (CO_2) відноситься до парникових газів. Парникові гази характеризуються здатністю поглинати інфрачервоне випромінювання. Саме через багаторазове поглинання інфрачервоного випромінювання виникає парниковий ефект, тобто вуглекислий газ безпосередньо пов'язаний з глобальним потеплінням, цей газ вносить основний вклад в збереження тепла на поверхні Землі.

Наслідки глобального потепління ми можемо спостерігати сьогодні: в Україні зима 2019–2020 року пройшла з середньою температурою $+2$ градуси за Цельсієм, що є перевищенням кліматичних норм на 6 градусів. Крім того, за даними Служби з питань зміни клімату Copernicus, в період з грудня 2019 року по лютий 2020 року світові температури були на 3,4 градуса вище, ніж середня температура в 1981–2010 роках. Глобальне потепління давно перестало бути міфом, оскільки середня температура на поверхні Землі підвищується щороку, що неминуче позначиться на наземних екосистемах, включаючи такі екосистеми, як тундра, мангрові зарості і коралові рифи.

Протягом мільйонів років на Землі існував природний баланс вуглекислого газу в атмосфері, сьогодні цей баланс значно порушений, в першу чергу через діяльність людини. Спалювання викопного палива буде основою світової енергетики як мінімум на найближчі 30 років [1]. За цей час зростання вмісту CO_2 не зупиниться, а збільшиться в кілька разів. Велика частина енергетичного сектора заснована на спалюванні викопного палива, в тому числі вугілля, природного газу і мазуту. В даний час в Україні 18 теплових електростанцій і безліч промислових об'єктів, які використовують мазут як основне і резервне паливо. Оскільки існують різні види мазуту, варто вивчити, який з них менш небезпечний для навколишнього середовища.

В ході дослідження відповідно до [2] були розраховані значення викидів оксидів вуглецю та азоту, діоксиду сірки та твердих частинок. При розрахунку враховувалися види твердого палива, найбільш часто використовувані в Україні на теплових електростанціях. Результати розрахунків зображені на рисунку 2 та 1.

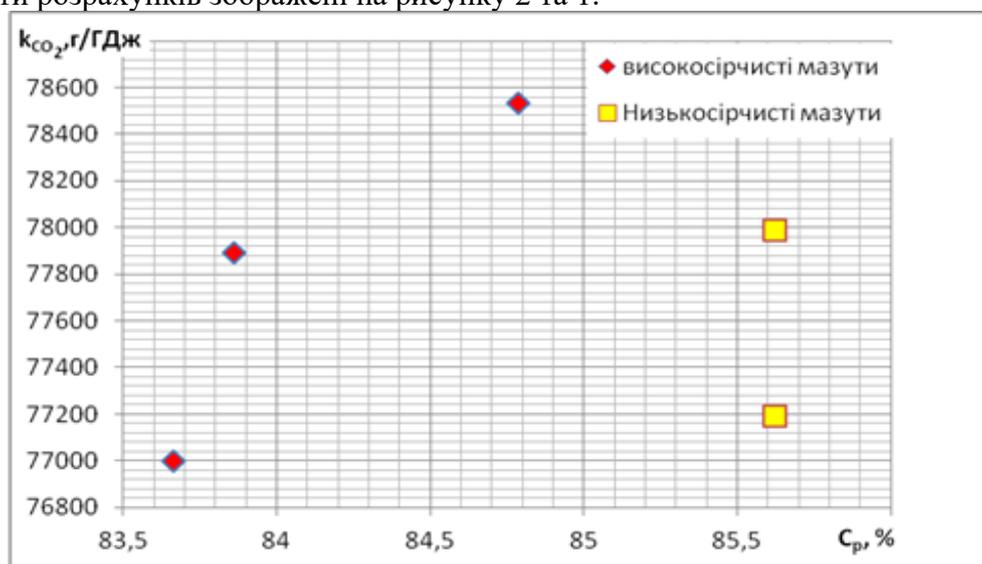


Рисунок 1 – Залежність показника емісії вуглекислого газу від вмісту вуглецю в паливі.

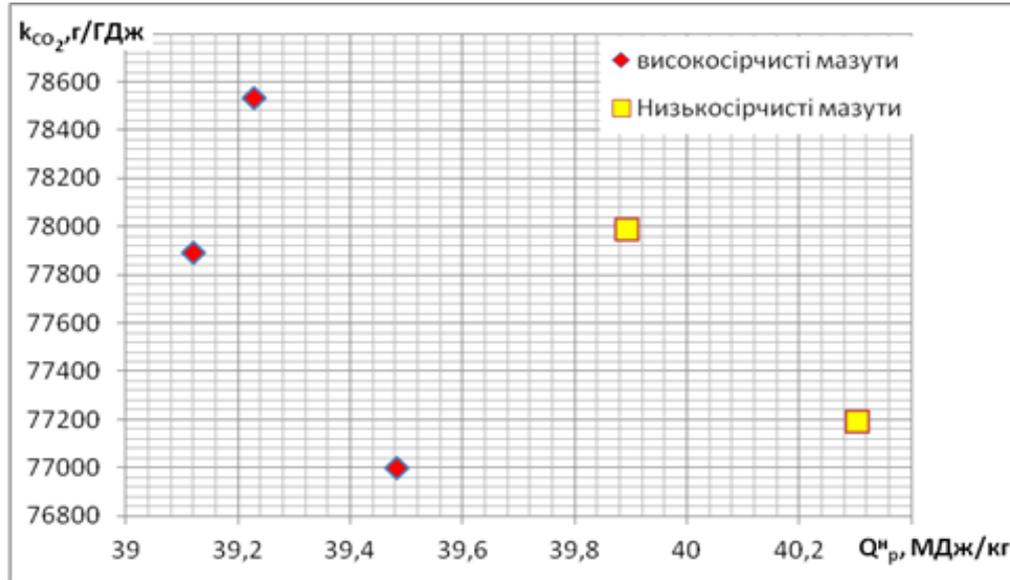


Рисунок 2 – Залежність показника емісії вуглекислого газу від нижчої теплоти згорання палива

При використанні високосірчаного мазуту можна відзначити значний вплив на кількісні показники викидів CO_2 від вмісту вуглецю в елементарному складі палива. Однак слід зазначити, що $k(CO_2)$ не змінюється при використанні різних низькосірчистих мазутів на теплових електростанціях і промислових об'єктах. Тому бажано встановити ще один фактор, що впливає на показники викидів вуглекислого газу. В ході розрахункового дослідження цей фактор визначив меншу теплоту згорання [3, 4].

Найвищі показники викидів вуглекислого газу спостерігаються при спалюванні мазуту марки 200 з високим вмістом сірки, а найнижчі - при використанні мазуту марки 40 з високим вмістом сірки.

Висновки. При використанні мазуту з високим вмістом сірки можна відзначити істотний вплив вмісту вуглецю в елементарному складі палива на кількісні показники викидів вуглекислого газу. При використанні різних мазутів з низьким вмістом сірки $k(CO_2)$ не змінюється. Для всіх видів мазуту характерна обернено пропорційна залежність індексу викидів CO_2 від нижньої теплоти згорання. У міру збільшення нижньої теплоти згорання викиди вуглекислого газу зменшуються [5, 6].

Перелік посилань:

1. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of September 19, 2001. – № 1205 “On approval of the Ukrainian Coal Program” [Electronic resource]. Access mode: <http://zakon.nau.ua/doc/?uid=1050.1137.12&nobreak=1>.
2. ГКД 34.02.305-2002. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу с электростанций. Метод определения. Киев, 2002.
3. Sheleshei T.V. Comparative analysis of the level of emission of nitrogen oxides during the combustion of anthracite shield at different power plants [Text] / T.V. Sheleshei, I.S. Bednarska, L. Mayer, V.S. Yurchuk // Young scientist, 2020. – №5.
4. Yanko P.I., Misak J.S. Operating modes of power boilers. Lviv: Scientific and Production Enterprise "Ukrainian Technologies", 2004. – 270 p.
5. Bodnarenko V.I. [etc.]. Energy: history, present and future. Kiev, 2005. – Т. 3. – 304 p.
6. D.V. Rindyuk, TV Sheleshey, IS Bednarska, Ya.S. Bednarska. Assessment of the impact of the fuel oil brand on sulfur dioxide emissions at energy facilities. Scientific notes of Tavriya National University named after VI Vernadsky. Series: Technical Sciences, 2020. Volume 31 (70) № 2. pp. 231–236.

Студент 4 курсу, гр. ТС-71 Дорошенко В.В.; мол. вчений Беднарська І.С.
Ст. викл. Шелешей Т.В.

ОСОБЛИВОСТІ СПАЛЮВАННЯ АНТРАЦИТОВОГО ШТИБУ НА РІЗНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВКАХ

За останні 20 років людство серйозно занепокоїлось екологічним станом нашої планети. Протягом десятиліть ми виснажуємо нашу планету викидами шкідливих речовин, спустошуємо запаси Землі. Споживання енергії пов'язане з усіма видами діяльності людини: з опаленням будинків, приготуванням їжі, рухом транспортних засобів, промисловістю. Спалювання викопного твердого та рідкого палива супроводжується виділенням сірчистого, вуглекислого і чадного газів, а також оксидів нітрогену, пилу, сажі та інших забруднювальних речовин [1].

Основними причинами негативного впливу ТЕС є застаріла технологія виробництва та обладнання, використання низькосортного палива, несприятлива структура промислового виробництва з високою концентрацією екологічно небезпечних технологій виробництва та відсутність належних природоохоронних систем (очисних споруд, оборотних систем водозабезпечення тощо) та низький рівень експлуатації існуючих природоохоронних об'єктів.

Розглянемо детальніше вище наведені установки. Киплячий шар – це дво- або трифазна система, яка створюється приведенням до завислого стану частинок твердої фази шляхом динамічного впливу на них висхідним потоком рідини або газу (повітря) [1]. Топка з нерухомим шаром – це тип спалювання палива, що бере початок від освоєння вогню стародавніми людьми у вигляді багаття. Паливо може завантажуватися вручну, через дверцята, або механічно, з бункера. У топках з нерухомим шаром паливо, що вільно лежить на решітках, продувається знизу повітрям [2]. З рідким шлаковидаленням топки бувають різних видів. Значно сприятливіші умови роботи напіввідкритої однокамерної топки з рідким шлаковидаленням. Тут зона плавлення і зона охолодження в значній мірі розділені. В камері горіння екранні труби ошиповані і покриті вогнетривкою обмазкою. В верхній частині топки розташовані відкриті екранні поверхні, які забезпечують охолодження газу і виносу. В двокамерній топці з рідким шлаковидаленням камера горіння палива з рідким шлаком і камера охолодження розділені шлакосепараторними решітками, які виконані з розведених ошипованих екранних труб, що мають вогнетривку обмазку. Основна кількість розплавленого шлаку вловлюється в камері горіння. Додатково вловлений шлак стікає на дно топки, звідки через лютку поступає у водяну ванну для грануляції. В двокамерній топці вловлюється до 70 % всієї золи [3].

Для визначення найефективнішого технологічного способу спалювання антрацитового штибу, серед розглянутих вище, необхідно розрахувати рівень емісії оксидів сірки. Розрахунки проводилися відповідно до [4]. Отримані розрахунки представлено на рисунку 1

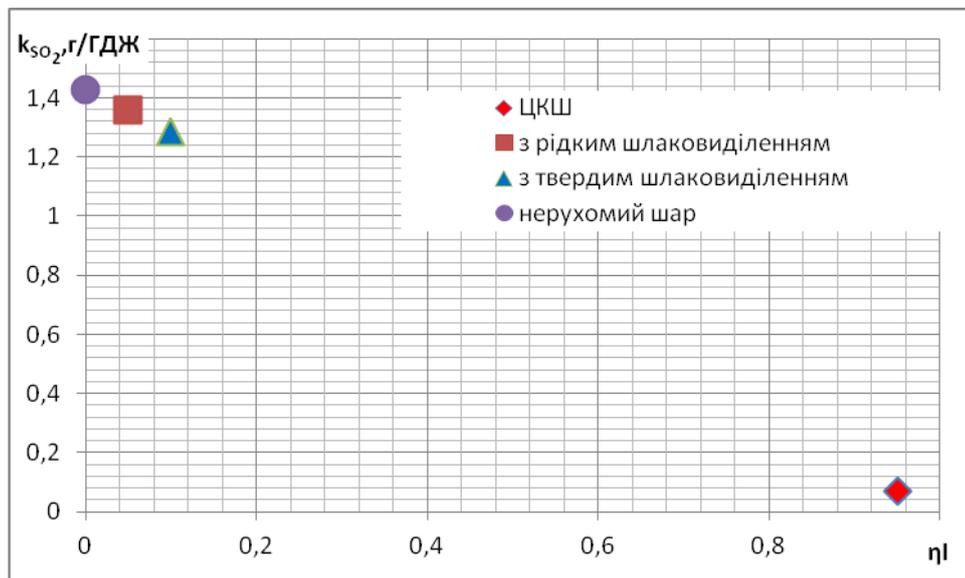


Рисунок 1 – Залежність емісії оксидів сірки при спалюванні АШ в енергетичних установках з різними технологіями спалювання

На рисунку 1 показано залежність емісії оксидів сірки при спалюванні вугілля в циркулюючому киплячому шарі, з рідким і твердим шлаковиділенням при факельному спалюванні і в нерухомому шарі [5]. З графіка видно, що найоптимальнішою уставкою з точки зору екологічності є циркулюючий киплячий шар, найгіршою – установка з нерухомим шаром.

Розглянуто наступні установки для спалювання антрацитового штибу з метою зниження рівня емісії оксидів сірки: котлоагрегати з циркулюючим киплячим та нерухомим шаром, а також котельні установки з рідким шлаковиділенням та з твердим шлаковиділенням. Проведено порівняльний аналіз рівня емісії оксидів сірки при спалюванні антрацитового штибу з використанням різних технологічних способів.

Перелік посилань:

1. Шелешей Т. В. Порівняльний аналіз рівня емісії оксидів азоту при спалюванні антрацитового штибу на різних енергетичних установках [Текст] / Т. В. Шелешей, І. С. Беднарська, Л. Майер, В. С. Юрчук // Молодий вчений, 2020. — №5.
2. Янко П.І., Мисак Й.С. Режимы эксплуатации энергетических котлов. Львів : НВФ «Українські технології», 2004. – 270 с
3. Боднаренко В.И. [и др.]. Энергетика: история, настоящее и будущее. Киев, 2005. – Т. 3. – 304 с. 6.
4. Майстренко А.Ю., Дудник А.Н., Топал А.И. Сравнительный анализ технико-экономических показателей работы ТЭС, использующих чистые угольные технологии. Энергетика и электрификация, 2007. – № 6. – С. 1–3.
5. ГКД 34.02.305-2002. Викиди забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичних установок. Методика визначення. Київ, 2002.

Студент 4 курсу, гр. ТС-71 Качківський Д.О.; мол. вчений Беднарська І.С.
Ст. викл. Шелешей Т.В.

ЗАЛЕЖНІСТЬ КІЛЬКОСТІ ВИКИДІВ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН В НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ ВІД СКЛАДУ ТВЕРДОГО ПАЛИВА

У світі панує переверот підходів до функціонування енергетичного сектору кожної країни. Змінюються ставлення противників та прихильників відновлювальних та альтернативних джерел енергії. Та вже ж теплові електричні станції та промислові підприємства на викопному паливі залишаються. Більшість енергоблоків ТЕС в Україні призначені для спалювання кам'яного вугілля з підсвічуванням мазутом або природним газом. Прагнення диверсифікувати шляхи електричної енергії також характерні виробництву та виведенню виробництва енергії на принципово новий рівень розвитку для України [1]. Однак структура виробництва електричної енергії залишається практично незмінною.

Структура виробництва електроенергії в Україні свідчить про спрямованість на традиційне виробництво тепловими електростанціями (ТЕС). Це виробництво залежить від стабільних поставок вугілля. Розвиток теплоенергетики вимагає правильної оцінки можливостей її розвитку, відновлення та його подальші перспективи в умовах зміни економічного, промислового та природного потенціалів.

Під час згоряння енергетичного палива в атмосферу потрапляє значна кількість твердих частинок, що містять недопалений вуглець та оксиди важких металів, також викидаються чадний газ та токсичні органічні сполуки, сірчистий ангідрид, оксиди азоту. Також в повітря потрапляє велика кількість вуглекислого газу, який, як всім відомо, впливає на тепловий баланс планети та створює парниковий ефект. Сірчистий ангідрид – це задушливий безбарвний газ. При значній концентрації діоксиду сірки в повітрі людина відчуває подразнення слизових оболонок. Це саме той газ, який зумовлює кислотні дощі й тумани. За наявності кисню SO_2 перетворюється в SO_3 і утворює сірчану кислоту при взаємодії з водою. Кінцевий продукт цієї реакції – аерозоль сірчаної кислоти в атмосфері. Коли він випадає разом з дощем, то окисляє ґрунт і негативно впливає на навколишнє середовище та людей. Вчені вважають, що ці опади є однією з найважливіших причин деградації лісів. Шкідливий вплив оксидів азоту на навколишнє середовище і, зрештою, на людину великий.

Тривалий вплив навіть порівняно невеликих концентрацій NO_x у повітрі збільшує кількість гострих та хронічних респіраторних захворювань, а також негативно впливає на флору та фауну. NO_x та його сполуки прискорюють формування парникового ефекту та руйнують озоновий шар. Для людини цей газ шкідливий при швидше зазвичай запальних процесів слизової оболонки, знижує м'язову працездатність. Тому зменшення їх вмісту в газових викидах енергоблоків, є однією з важливих проблем технологів. Під час згоряння рідкого та твердого палива відбуваються викиди у вигляді твердих частинок, які, потрапляючи в атмосферу, утворюють так звані аерозолі. Тверді частинки розсіюють сонячне світло так, що значна його частина не досягає поверхні Землі. В результаті тепловий баланс зміститься в бік зниження температури. Природа вугілля і неможливість абсолютно повного їх спалювання визначають неминучість цих викидів та необхідність використання спеціальної апаратури для уловлювання твердих частинок. Визначити прямий тепловий вплив вищевказаних шкідливих речовин можна завдяки розрахунку залежності від об'ємів спаленого ресурсу [2].

Основним завданням даного дослідження є визначення кількісних характеристик шкідливих викидів в атмосферу в залежності від складу твердого палива. Для розрахунку

брали до уваги види твердого палива, що найчастіше використовуються в Україні на теплових електричних станціях.

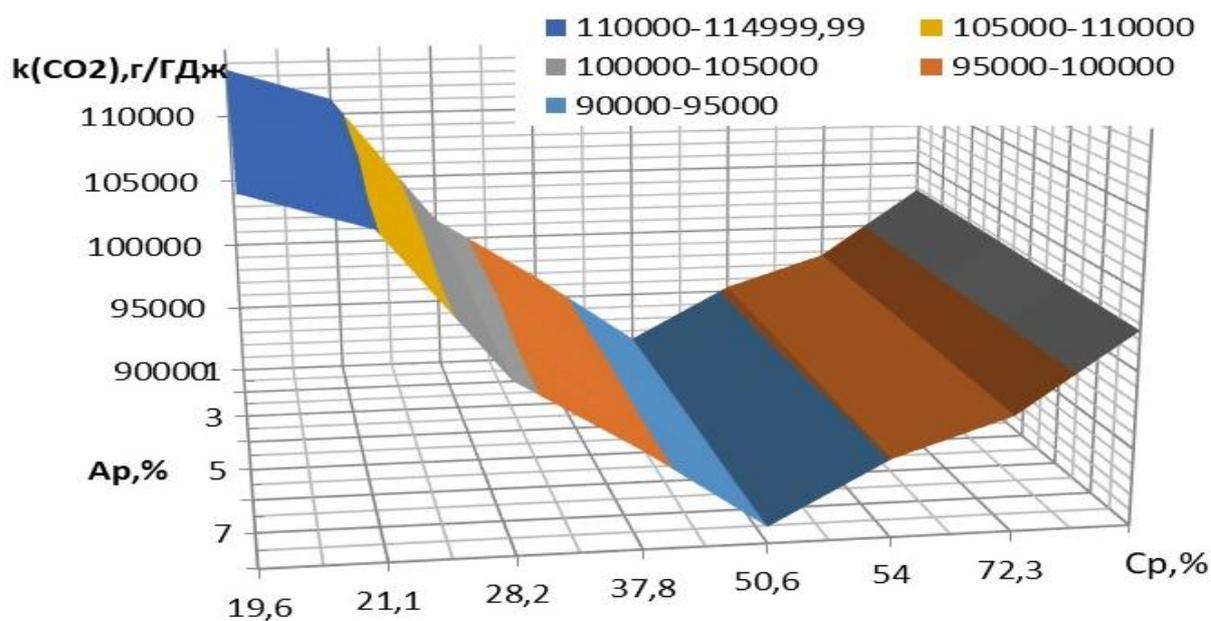


Рисунок 1 – Вплив вуглецю та золи у паливі на кількісні показники викидів вуглекислого газу в атмосферу

Отже, основними результатами цього дослідження є: склад палива не впливає на викиди оксидів азоту. Найбільш шкідливих викидів утворюється при спалюванні Александрійського бурого вугілля та вугілля з басейну Тростянця. Найменший викид твердих частинок при згорянні Донецького довгополуменевого та антрацитового типу. Кількість золи у паливі не впливає на величину викидів вуглекислого газу. Однак на величину $k(\text{CO}_2)$ суттєво впливає кількість вуглецю в елементарному складі палива. На рисунку 1 показано вплив вуглецю та золи у паливі на кількісні показники викидів вуглекислого газу в атмосферу. Найнижче значення викидів вуглекислого газу при використанні донецького басейну антрацитового типу. Найвищі значення $k(\text{CO}_2)$ спостерігаються при використанні Александрійського бурого вугілля та вугілля з Мукачівського басейну [3, 4].

Перелік посилань:

1. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 № 1071-р «Про затвердження Енергетичної стратегії України на період до 2035 року» [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://mpe.kmu.gov.ua/fuel/control/uk/doccatalog/list?CurrDir=50358>.

2. Д.В. Риндюк, Т.В. Шелешей, І.С. Беднарська, Д.О. Дубас. Порівняння ефективності первинних заходів скорочення викидів NO_x при спалюванні різних палив. *Modern Scientific Researches. Yolnat PE, Minsk, Belarus, 2020. – Issue № 11. Part 2. – С. 37–42.*

3. Розрахунок теоретичного складу продуктів згоряння та температури горіння органічного палива: Методичні вказівки для розрахунку курсів «Спалювання палива та обладнання для його згоряння». Укладач: О.А. Грей, Л.С. Бутовський, О.О. Грановська. Київ. "КПІ ім. Ігоря Сікорського", 2017. – 39 с.

4. ГКД 34.02.305-2002. Викиди забруднюючих речовин в атмосферу від електростанцій. Метод визначення. Київ, 2002.

Студент 4 курсу, гр. ТС-71 Мальований Є.О.; мол. вчений Шелешей Т.В.
Асист. Беднарська І.С.

АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ ГАЗОМАЗУТНИХ БЛОКІВ З МЕТОЮ ЗМЕНШЕННЯ ВИКИДІВ ОКСИДІВ ВАНАДІЮ

Споживання енергії пов'язано з усією діяльністю людини, яку в свою чергу вона отримує від енергосистеми. В енергосистему України входять ТЕС, АЕС, ГАЕС, ГЕС, СЕС, ВЕС і ін. Частка теплових електростанцій досить висока, і становить не менше 35%.

Електроенергія на теплових електростанціях виробляється за рахунок спалювання вихопного палива (вугілля, природний газ, мазут). В Україні частіше зустрічаються пилувугільні станції, де основним паливом є вугілля, а також представлений мазут, який використовується як резервне паливо. Оскільки мазут використовується у всіх теплових електростанціях, варто звернути на це увагу і вивчити його вплив на середовище [1, 2].

З'єднання ванадію – основні компоненти мазуту, золи, тому кількість викидів ванадію приймається за контрольний параметр шкідливого впливу мазуту на навколишнє середовище. В даний час паливні електростанції, що спалюють мазут не оснащені сучасним пилоловлювальним обладнанням.

За впливом на людину і навколишнє середовище оксид ванадію (V) належить до першого класу небезпеки, залишки золи теплових електростанцій, топковий мазут – до другого класу небезпеки. Потрапляючи в навколишнє середовище, хімічна речовина ванадію з'єднання можуть залишатися в ньому тривалий час, накопичуватися, вступати в хімічні взаємодії між собою і компонентами біосфери, впливають на фауну, флору і людей. При розробці технології утилізації золошлакових залишків ТЕС і економічна оцінка їх подальшого використання в якості ванадій-вмісної сировини для виробництва. У багатьох галузях важливо визначити співвідношення ванадію в різних видах відходів і кількість кожного виду вторинної сировини [3].

Валові викиди забруднюючих речовин і парникових газів визначають галузевим контрольним документом шляхом безперервних вимірювань забруднюючих речовин, концентрації в димових газах електростанцій і методи розрахунку на основі даних по витраті палива і складу. Відповідно до вищевказаного документу, на індекс емісії ванадію впливають: вміст золи мазуту (V_2O_5) в мазуті і ефективність зололовлювача [1].

До основних золоуловлювачів відносяться: електрофільтр, мокрий скруббер і батарейний циклон. Електростатичний фільтр або електрофільтр – технологічний пристрій для уловлювання та видалення пилу, зваженої в газовому середовищі. Суть процесу електростатичного очищення газів заснований на іонізації газу, тобто розщеплення його молекул на позитивно і негативно заряджені іони [4].

В ході дослідження, згідно з контрольним документом, значення емісії ванадію розраховується при спалюванні високосірчаного мазуту марок 100 і 200 з урахуванням, що ці два типи рідкого палива відрізняються за змістом мазуту, а всі інші сорти мають такий же зміст, як і мазут високосірчистий марки 100. Також для розрахунку враховували використання вищевказаних золоуловлювачів, які мають кожен свої характеристики [5, 6].

За результатами розрахунків будується графічна залежність, що представлена на рисунку 1.

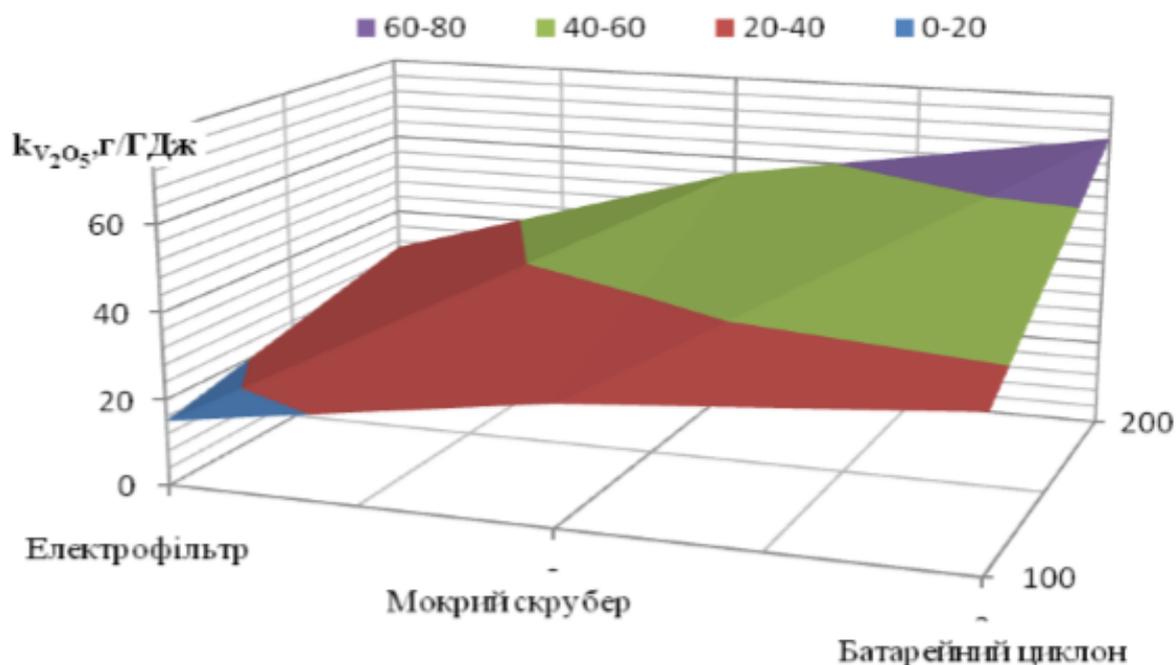


Рисунок 1 – Графік залежності викидів ванадію від марки мазуту та золовловлювача

Висновки. Таким чином, основними результатами даного дослідження є:

1. Кількісний показник викидів ванадію в навколишнє середовище при спалюванні мазуту впливає вміст золи мазуту (V_2O_5) у паливі та ефективність золовловлювача.
2. Найменше значення показника емісії викидів при спалюванні мазуту з високим вмістом сірки марки 100 при використанні електрофільтру.
3. Найвищі показники викидів ванадію отримані при спалюванні високосірчаного мазуту марки 200 і установки на ТЕЦ такого золовловлювача, як батарейний циклон [6, 7].

Перелік посилань:

1. ГКД 34.02.305-2002. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу с электростанций. Метод определения. Киев, 2002.
2. Sheleshei T.V. Comparative analysis of the level of emission of nitrogen oxides during the combustion of anthracite shield at different power plants [Text] / T.V. Sheleshei, I.S. Bednarska, L. Mayer, V.S. Yurchuk // Young scientist, 2020. – №5.
3. Yanko P.I., Misak J.S. Operating modes of power boilers. Lviv: Scientific and Production Enterprise "Ukrainian Technologies", 2004. – 270 p.
4. Bodnarenko V.I. [etc.]. Energy: history, present and future. Kiev, 2005. – Т. 3. – 304 p. 6.
5. Войцех А.П. Техноэкология. / Войццкий А.П., Дубровский В.П., Боголюбов В.М. Киев. Сельскохозяйственное образование, 2009. – 533 с.
6. D.V. Rindyuk, TV Sheleshey, IS Bednarska, Ya.S. Bednarska. Assessment of the impact of the fuel oil brand on sulfur dioxide emissions at energy facilities. Scientific notes of Tavriya National University named after VI Vernadsky. Series: Technical Sciences, 2020. – Volume 31 (70) № 2. – pp. 231–236.
7. The limitation of emissions of certain into the air from large combustion plants / DURECTIVE 2001/80 / EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 23 October 2001 // Official Journal of the European Communities, L 309/4, 2001.

Аспірант Старченко О.С.; магістрант 2 курсу, гр. ТС-91мн Ліщук С.Р.
Доц., к.т.н. Бутовський Л.С.

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ДИФУЗІЙНОГО СТАБІЛІЗАТОРНОГО ПРИБОРУ З КУТОВОЮ РОЗДАЧЕЮ ГАЗУ

В тепловій енергетиці України в значній кількості використовуються паротурбінні установки, які давно відпрацювали свій парковий ресурс і не відповідають сучасним вимогам щодо економічності, надійності і захисту оточуючого середовища від викидів токсичних продуктів згоряння, зокрема, оксидів азоту.

Крім того, в країні відсутні потужності, що призначені для покриття пікових і напівпікових навантажень, тому для виконання таких функцій використовуються потужні паротурбінні блоки, які не пристосовані для роботи у змінних режимах роботи.

В світовій практиці для вирішення задачі підвищення ефективності і маневровості енергетичних систем значна увага приділяється використанню газотурбінних установок у вигляді надбудови до паросилового циклу за різними схемами, в тому числі із використанням вихідних газів газотурбінної установки в котлі-парогенераторі. Як показують розрахунки, коефіцієнт корисної дії в комбінованому циклі збільшується на 5–7%. За одною з таких схем використовується система з допалюванням додаткового палива в котлі-утилізаторі [1]. Пальникові пристрої в таких установках повинні забезпечити надійну і ефективну роботу при зміні режимних параметрів – швидкості повітря і температури газів в широкому діапазоні.

Вирішення вказаної проблеми може бути реалізовано шляхом використання пальників з мікрофакельним (мікродифузійним) спалюванням газу в системі стабілізаторів, які оббігаються повітряним потоком [2, 3]. Паливо (газ) в таких стабілізаторах подається в зону рециркуляції системою дискретних струменів. Пальникові пристрої із спалюванням газу в системі мікро-об'ємів в зоні інтенсивного тепло і масообміну дозволяють організувати сталий і ефективний процес горіння палива в широкому діапазоні режимів. Як показує досвід використання таких пальникових пристроїв, їх характеристики в значній мірі залежать від системи подачі палива.

Однією з задач роботи було визначення впливу на характеристики процесу горіння схеми газороздачі в зону рециркуляції за стабілізатором.

На дослідному стенді кафедри ТЕУТ і АЕС були проведені випробування стабілізатора 1 (рис. 1) шириною $V_{ст}=30$ мм в камері з коефіцієнтом затінення $k_f=V_{ст}/V_k=0,16$, де V_k – ширина камери. Паливо (природний газ) подавалось в слід за стабілізатором з колектора 2 через систему отворів 3 діаметром $d_r=4,0$ мм під кутом φ до повздовжньої осі потоку повітря. В роботі кут подачі газу змінювався в діапазоні $\varphi=0^0\div 90^0$.

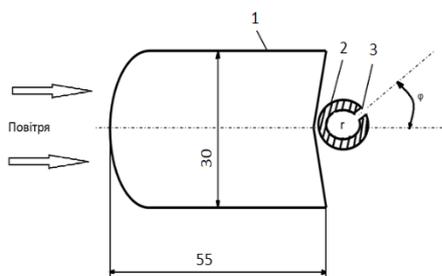


Рисунок 1 – Схема стабілізатора з подачею палива в зону рециркуляції під різними кутами φ ; 1 – стабілізатор; 2 – газований колектор; 3 – отвір подачі газу

Як показали дослідження [2], при подачі газу в зону рециркуляції струменями, які виходять з колектора паралельно потоку повітря, що обтікає стабілізатор ($\varphi=0^0$), в зоні зворотних токів завдяки високому рівню турбулентності відбувається інтенсивне перемішування палива з повітрям. Газ швидко розсіюється по всьому об'єму зони, утворюючи суміш, яка горить в режимі, що наближається до режиму горіння попередньо перемішаних горючих сумішей. В той же час, в цій зоні склад горючої суміші є далеким від гомогенного стану, тому такі пальникові пристрої знаходяться в проміжній групі, яка має риси кінетичних і гомогенних пальникових пристроїв, а характеристики робочого процесу визначаються кінетичними і дифузійними

параметрами, наприклад, сталі горіння факелу на режимі бідного зриву спостерігається при коефіцієнтах надлишку повітря α , які значно перевищують значення, що характерні для гомогенної суміші ($\alpha^{\max} \gg 2,0$). При підвищенні швидкості газових струменів в умовах $\varphi=0^0$ відбувається пробивання цими струменями зворотного потоку зони рециркуляції і винесення частки палива за межі зони рециркуляції, що призводить до відриву факелу від стабілізатора і потім до так званого «багатого» зриву при $\alpha^{\min} > 1,0$. Як показали результати даної роботи, при збільшенні кута подачі газу $\varphi > 0^0$ частина палива попадає в зовнішню границю сліду за стабілізатором, поле концентрацій продуктів горіння стає більш однорідним і сталість факелу на режимі багатого зриву підвищується. В той же час винесення частки палива у зовнішню границю сліду приводить до збільшення витрати палива на режимах бідного зриву факелу.

Вимірювання поля температур газів в сліді за стабілізатором (рис. 2) показало, що при збільшенні кута $\varphi > 0^0$ максимальне значення температури факелу поступово зміщується від осі сліду ($\varphi=0^0$) до зовнішньої границі сліду за стабілізатором.

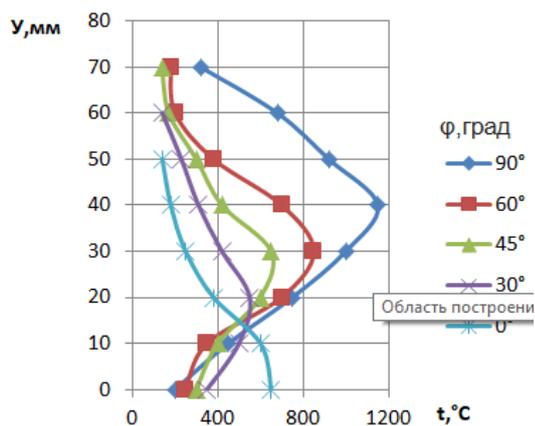


Рисунок 2 – Поля температур газів в сліді за стабілізатором ($x=70$ мм), при зміні кута подачі газу $\varphi=0^0 \div 90^0$ ($W_{\text{п}}=14,0$ м/с; $W_{\text{г}}=30,0$ м/с)

З рис. 2 також видно, що при збільшенні кута подачі газу $\varphi > 0^0$ максимальне значення температури газів збільшується. Наприклад, при $\varphi=0^0$ $t_{\text{г}}^{\max}=650$ °C, а при $\varphi=90^0$ $t_{\text{г}}^{\max}=1200$ °C. Такий характер зміни температури спостерігається по всій довжині факелу.

Завдяки більш інтенсивному перемішуванню палива і повітря в зоні рециркуляції і наближенні процесу горіння до гомогенного при збільшенні кута φ довжина факелу поступово зменшується (рис. 3),

для даного режиму приблизно в 1,5 рази.

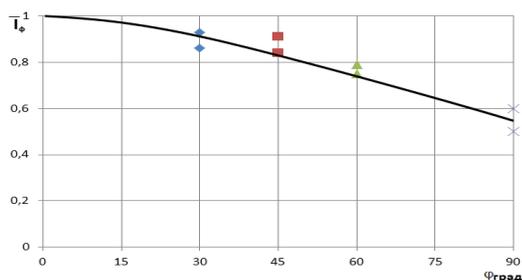


Рисунок 3 – Залежність відносної довжини факелу ($l_{\varphi>0}/l_{\varphi=0}$) за стабілізатором від кута подачі газового палива

Дослідження впливу кута φ нахилу подачі газу до направлення осі повітряного потоку показало, що при збільшенні $\varphi > 0^0$ відбувається інтенсифікація процесу масообміну в зоні рециркуляції і ближньому сліді за стабілізатором. Це призводить до гомогенізації суміші в зоні масообміну і

наближення характеристик горіння факелу до гомогенного процесу. При цьому, відповідно, збільшуються витрати газу на режимах бідного і багатого зривів, відбувається скорочення довжини факелу і збільшення рівня температур газів вже на початкових ділянках факелу. Зміна кута подачі газу в зону рециркуляції дозволяє регулювати процес горіння факелу в залежності від вимог, що висуваються до пальникового пристрою.

Перелік посилань

1. Когенерационно-утилизационные технологии на базе газотурбинных установок: монография / Любчик Г.Н., Чабанович Л.Б., Говдяк Р.М. и др.; Под общ. ред. Г.Н. Любчика и Л.Б. Чабановича. – К.: Варта, 2008. – 188 с.
2. Цанев С.В. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций / С.В.Цанев, В.Д.Буров, А.Н.Ремезов // Под ред. С.В.Цанева.– М.: Изд-во МЭИ, 2002.– 581 с.
3. Бутовский Л.С. Исследование закономерностей выгорания топлива за уголковыми и плоскими стабилизаторами пламени / Л.С. Бутовский, Е.А. Грановская, Г.Н. Любчик, В.А. Христинич // Теория и практика сжигания газа. Вып. 6. – Л.: Недра, 1975. – С. 324 – 331.

Студент 4 курсу, гр. ТС-71 Усов І.Л.; аспірант 3 курсу, гр. ТС-81ф Беднарська І.С.
Ст.викл. Шелешей Т.В.

ВПЛИВ СКЛАДУ ТВЕРДОГО ПАЛИВА НА КІЛЬКІСНІ ПОКАЗНИКИ ВАЛОВИХ ВИКИДІВ СУСПЕНДОВАНИХ ТВЕРДИХ ЧАСТИНОК

З кожним роком у світі становиться все більше людей, котрі переймаються екологічним станом планети. Вони працюють над тим, щоб в усіх сферах промисловості люди стали звертати більше уваги на екологічність при виробництві. Це робиться для того, щоб знизити шкоду, що наноситься планеті. Особливо гостро це стосується сфери енергетики [1]. Ця сфера одна з найбільших по екологічному впливу у світі. Сучасний світ неможливо уявити без електроенергії. Електрика переслідує людину повсюдно: в побуті, у навчанні, під час роботи та навіть на відпочинку.

Для отримання цього важливого елемента сучасного життя використовують різні джерела, такі як: теплові електростанції, атомні електростанції, гідроелектростанції та зелені джерела енергії. На теплові електростанції приходить великий відсоток одержуваної електроенергії. Паливом для теплових електростанцій служить: вугілля різних марок, природний газ і в рідкісних випадках деревина або торф. Більшість теплових станцій працює саме на вугіллі. В металургійній і хімічній промисловості вугілля також використовується як сировина.

В Україні використовують такі види вугілля: антрацитовий штиб (АШ) – вугілля найбільш високої якості, від інших видів відрізняється наявністю високого вмісту зв'язного вуглецю, низьким вмістом вологи, сірки, летючих та високою питомою теплотою згорання.

Використання вугілля в якості палива веде негативні наслідки для екології. Усі типи вугілля містять рід важких металів, які при спалюванні вилітають в атмосферу у вигляді летючих речовин. Кожен день в нашу атмосферу потрапляє багато важких металів і шкідливих елементів. Викид важких металів та їх сполук пов'язано з наявністю в мінеральній частини палива сполук важких металів. Масовий вміст важкого металу в паливі визначається під час проведення елементного аналізу палива, що спалюється в енергетичній установці. До важких металів, сполуки яких найбільш шкідливі для навколишнього середовища, відносяться: арсен (As), кадмій (Cd), хром (Cr), мідь (Cu), ртуть (Hg), нікель (Ni), свинець (Pb), селен (Se), цинк (Zn).

Перераховані вище метали та їх з'єднання дуже небезпечні для людини і природи. Ці елементи мають здатність накопичуватися в живих організмах. Вони можуть потрапляти в організм повітряно-крапельним шляхом, через шкіру або через шлунково-кишковий тракт. Отруєння важкими металами може визивати порушення роботи внутрішніх органів, уповільнювати зростання дітей, погіршувати репродуктивну функцію, визивати онкологічні захворювання у людини, аж до летального результату. Отруєння металами несе шкоду не тільки людині, а так само і тваринам, рослинам та всієї органіці.

Багато важких металів утворюють стійкі органічні сполуки, котрі добре розчиняються у воді. Саме тому вони без труда можуть мігрувати за допомогою води через річки та стічні води. Річки та стічні води в свою чергу стікаються в моря та океани. Збільшення концентрації важких металів в океані і морях є величезною проблемою яка веде за собою вимирання мешканців океану і розпаду екосистеми в цілому. Для океану найбільш небезпечними є ртуть, свинець і кадмій. Потраплення важких металів відбувається не тільки через згорання палива, але і через викид сміття і промислових відходів у моря і океани. [2]

Якщо ситуацію з забрудненням не брати під жорсткий контроль, з кожним роком вона буде тільки посилюватися. Почнуть вимирати цілі види тварин та рослин все більше людей будуть захворювати та народжуватися з патологіями та мутаціями. Тому

надзвичайно важливим є визначення емісій важких металів при спалюванні твердого палива.

Основним завданням даного дослідження є визначення кількісних характеристик шкідливих викидів в атмосферу в залежності від складу твердого палива.

В ході дослідження відповідно до [3, 4] розраховані показники емісії оксидів вуглецю та азоту, сірчистого ангідриду та твердих частинок. Для розрахунку брали до уваги види твердого палива, що найчастіше використовуються в Україні на теплових електричних станціях (табл.1).

Таблиця 1 – Результати розрахунків

Важкий метал	Донецький АШ	Донецьке Газове	Донецьке Довгополуменеве	Львівсько-Волинське	Александрійське Буре
As	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063
Cr	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028
Cu	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035
Hg	0,011	0,0084	0,0067	0,0067	0,0067
Ni	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043
Pb	0,058	0,053	0,046	0,046	0,041
Zn	0,139	0,139	0,139	0,139	0,139

Як видно з таблиці 2, найвищий рівень викидів ртуті протягом року спостерігається при спалюванні антрациту, а найнижчі показники при спалюванні донецького газового вугілля.

Також невеликі показники при спалюванні наступних видів вугілля: Донецьке довгополуменеве, Львів-Волинське, Олександрійське буре. А показник викидів свинцю найнижчий при спалюванні Олександрійського бурого та донецького газового, найвищий - при спалюванні антрациту. Також невеликі показники спостерігаються під час спалювання Донецького довгополуменевого та львівсько-волинського вугілля

Перелік посилань:

1. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 № 1071-р «Про затвердження Енергетичної стратегії України на період до 2035 року» [Електронний ресурс]. Режим доступу: [http://mpe.kmu.gov.ua/fuel/control/uk/doccatalog/list? CurrDir = 50358](http://mpe.kmu.gov.ua/fuel/control/uk/doccatalog/list?CurrDir=50358).

2. Т.В. Шелешей, І.С. Беднарська, П.П. Меренгер, І.Л. Усов, В.О. Олійник. INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF SOLID FUEL COMPOSITION ON QUANTITATIVE CHARACTERISTICS OF HEAVY METAL EMISSIONS. Modern Technology and Innovative Technologies". Karlsruhe, Germany, 2020. – Issue №14 Part 1. – С. 16–18.

3. Розрахунок теоретичного складу продуктів згоряння та температури горіння органічного палива: Методичні вказівки для розрахунку курсів «Спалювання палива та обладнання для його згоряння». Укладач: О.А. Грей, Л. С. Бутовський, О.О. Грановська. Київ. "КПІ ім. Ігоря Сікорського", 2017, 39 с.

4. ГКД 34.02.305-2002. Викиди забруднюючих речовин в атмосферу від електростанцій. Метод визначення. Київ, 2002.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИСОКОМАНЕВРОВИХ ПОТУЖНОСТЕЙ УКРАЇНИ ГАЗОТУРБІННИМИ ТЕХНОЛОГІЯМИ

Проблеми забезпечення енергетичної безпеки України накопичувалися протягом тривалого часу. На сьогоднішній день існує ряд серйозних технічних проблем, які знижують надійність роботи всієї енергетичної системи України. До них, в першу чергу, слід віднести проблему дефіциту маневрених потужностей для покриття добових «пікових» навантажень. Зараз її можна назвати пріоритетною проблемою. Саме вона є джерелом виникнення кризи в енергетиці України. Її загострення пов'язане з різким зростанням потужностей сонячних електростанцій (СЕС) і вітряних електростанцій (ВЕС) з негарантованим об'ємом генерації електроенергії, що вводяться в експлуатацію в останні роки. Другою серйозною проблемою є зношення базових генеруючих потужностей в теплової енергетиці і їх невідповідність сучасному рівню за технічними характеристиками. Ситуація, що склалася в енергетиці України, обумовлена структурою генеруючих потужностей, яка була створена в колишньому СРСР і була вбудована в єдину енергетичну систему країни. Відповідно до європейських норм для виключення «нічного провалу» енергетична система країни повинна мати не менш ніж 20% маневрених потужностей. Структура енергетики України надзвичайно неефективна внаслідок значного переважаючого базовими потужностями атомних електростанцій (АЕС) і напівпіковими теплових електростанцій (ТЕС) при нестачі маневрених потужностей. На сьогодні основними маневреними потужностями в енергосистемі країни є гідроелектростанції (ГЕС) і гідроакумуючі електростанції (ГАЕС) із залученням до регулювання генерації частини блоків ТЕС. ГАЕС дозволяють частково компенсувати нічний провал споживання, працюючи в насосному режимі. Погіршує ситуацію збільшення частки негарантованих потужностей ВЕС та СЕС, які повинні бути забезпечені високоманевровими джерелами генерації. При подальшому нарощуванні частки негарантованих потужностей СЕС і ВЕС неминуче повинні збільшуватися і маневрені потужності, що дозволяють в оперативному режимі забезпечувати баланс між споживанням і виробництвом електроенергії.

У цих умовах одним із головних завдань енергетики України є введення нових маневрених потужностей з широким регулюючим діапазоном і можливістю швидкого пуску.

Світовий досвід показує, що на сьогоднішній день газотурбінні установки (ГТУ) і газопоршневі установки (ГПУ) повністю відповідають наступним вимогам: висока маневреність, короткий час пуску і виходу на режим номінальної потужності; високі технічні та екологічні показники; невеликі капітальні витрати на будівництво; поставка обладнання високої заводської готовності з коротким терміном монтажу та підключення на об'єкті [1]. Вони широко застосовуються в якості маневрених потужностей для балансування добових коливань навантаження. Газопоршневі електростанції (ГПЕС) знайшли широке поширення завдяки досить високому електричному ККД, який в сучасних установках становить до 45%, і високим маневреним якостям. Вони можуть бути обладнані системами утилізації тепла відхідних газів. При цьому співвідношення теплової потужності до електричної становить 0,75–1,0 (на 1 кВт електричної потужності доводиться до 1 кВт теплової в когенераційних установках). Вартість електростанції на базі ГПУ залежить від моделі двигуна, комплектності, обсягів будівельних робіт. Електростанції на базі сучасних газових турбін відрізняються високою маневреністю – час пуску і виходу на номінальний режим становить для ГТУ середньої потужності не більше 10 хв, а потужної – 15–20 хв. Електричний ККД сучасних ГТУ досягає 35–40%. До того ж ці установки мають низький

рівень шкідливих викидів, що відповідає вимогам Директиви 2010/75/ЄС [2]; відрізняються відносно невисоким рівнем питомих капітальних витрат на 1 кВт встановленої електричної потужності; мають невелику масу і габарити, що дозволяє їх легко транспортувати; електростанція займає порівняно невелику площу; відрізняються простотою обслуговування і меншими вимогами до інфраструктури; доставляються на майданчик електростанції з високим рівнем заводської готовності і тому швидко монтуються і підключаються. Залежно від потреб ГТУ додатково оснащуються паровими або водогрійними котлами-утилізаторами, що дає можливість мати пар різного тиску для виробничих потреб або гарячу воду. При комбінованому використанні двох видів енергії коефіцієнт використання палива газотурбінної теплової електростанції збільшується до 90%. Слід зазначити, що Україна має достатній науковий і технічний потенціал для самостійного вирішення завдань енергетики. Сьогодні є можливість здійснити весь цикл робіт зі створення «пікових» електростанцій на базі вітчизняного обладнання. В Україні успішно працюють підприємства, на яких здійснюється весь цикл створення ГТУ, починаючи від проекту і закінчуючи енергетичними установками. Як приклад, можна навести широко відомого у світі розробника і виробника газотурбінних установок ДП НВКГ «Зоря» – «Машпроект» [3]. В якості палива для роботи ГТУ може використовуватися природний газ, дизельне паливо і біопаливо. Крім цього вони можуть забезпечувати роботу на двох видах палива з автоматичним переходом з одного виду палива на інший на будь-якому режимі роботи. Міжремонтний ресурс сучасних ГТУ становить не менше 33000 годин, а повний ресурс – 200 000 годин.

Широкий ряд газотурбінних установок одиничною потужністю 16, 25, 46, 100 МВт і вище дозволяє створювати маневрені електростанції необхідної потужності для системи розподіленої енергетики і, перш за все, для покриття «пікових» навантажень. Необхідність невідкладних дій продиктована постійним зростанням потужностей ВЕС та СЕС; відсутністю достатнього резерву маневрених потужностей; невиконанням національного плану скорочення викидів парникових газів в атмосферу. Аналіз наведених факторів виділяє основні вимоги до енергетичних установок для використання при вдосконаленні енергосистеми України: висока маневреність, високі технічні та екологічні показники, невеликі капітальні витрати.

Орієнтація на вітчизняного виробника повинна бути одним з визначальних чинників при будівництві високоманеврових систем. У цьому випадку надання сервісних послуг і їх оперативність з боку вітчизняного постачальника обладнання сприятимуть оперативному вирішенню будь-яких питань, що виникають в процесі експлуатації з мінімальними накладними витратами. На базі ГТУ можуть бути створені когенераційні і парогазові установки. Модернізація енергетичної системи України повинна виконуватися з урахуванням існуючої структури енергетики та економіки, наявності фінансових ресурсів, стратегічних напрямків розвитку. Енергетика повинна бути гнучкою і незалежною, що забезпечує внутрішні потреби в генерації і компенсацію зовнішніх факторів. Існуючий потенціал енергомашинобудування в Україні здатний задовольнити внутрішню потребу в створенні маневрених і, разом з тим, екологічних потужностей на базі газотурбінних технологій для компенсації «пікових» навантажень.

Перелік посилань:

1. Цанев С.В. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций / С.В. Цанев, В.Д. Буров, А.Н. Ремезов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2009. – 584 с.
2. Директива європейського парламенту і ради 2010/75/ЄС від 24 листопада 2010 року. Секретаріат Кабінету Міністрів України.
3. Головащенко А.Ф., Газотурбинные двигатели и установки ГП НПКГ «Зоря–Машпроект» для электростанций. Состояние и перспективы применения / А.Ф. Головащенко, В.П. Трошин, А.Н. Станюк. – Николаев, 2002. – С. 31–36.

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАПРОВАДЖЕННЯ ВОДНЕВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ

У водневій енергетиці йдеться про використання переважно "зеленого водню", який виробляють без використання вуглеводнів і, відповідно, без виділення в атмосферу вуглекислого газу CO₂, який спричиняє парниковий ефект. "Зелений водень" отримують зі звичайної води методом електролізу, використовуючи електроенергію з відновлюваних джерел. Розмірковують про часткову заміну вугілля на водень під час виробництва сталі та переведення на водневе паливе міських автобусів, вантажівок та потягів.

Парогазова електростанція (далі – ПГЕС) здатна працювати на природному газі та на суміші природного газу з воднем, який виробляється на промисловому майданчику цієї електростанції в періоди профіциту електроенергії в мережі (виробництво електроенергії переважає її споживання), як внаслідок виробництва на СЕС та ВЕС, так і у нічні години доби при виробництві на АЕС та ТЕС [1].

Актуальність теми. Високоманеврова ПГЕС забезпечує можливість регулювання потужності в широкому діапазоні: від 100% до 20% номінальної потужності, а також до 110% тимчасово у короткотерміновому періоді. Запровадження такого виду устаткування дозволить забезпечити безперервне постачання електроенергії та теплової енергії населенню навіть в разі аварійних ситуацій чи дефіциту енергії в часи пікових навантажень. Отже, ця тема є актуальною з точки зору як теоретичного, так і практичного застосування.

Потенціал природного водню не був розпізнаний раніше "через існуючу упереджену ідею, що водень у вільному стані в природі зустрічається рідко, а описи небагатьох відомих відкриттів є анекдотичними і не дуже великими. Тому, якщо ніхто не очікує знайти водень в природі, ніхто не буде досліджувати проби на нього. Це упередження впливає на аналіз та відбір проб газу, а також на те, як створені системи аналізу газів". Через це, водень в основному вивчався фрагментарно, що призвело до неповного розуміння його важливої ролі в природних процесах.

ПГЕС складається з електрогенеруючої частини – парогазових установок (ПГУ) та газогенеруючої частини – електролізерних установок водню. Вторинний продукт електролізу – кисень споживається ПГУ: додається до повітря, що надходить до газової турбіни для спалювання суміші природного газу та водню. Сучасні технології генерації водню дозволяють продукувати водень з параметрами тиску близькими до тиску природного газу в магістральних газогонах, що дозволяє не застосовувати додаткові компресорні установки підвищення тиску водню до рівня, необхідного для використання його в ПГУ.

Для розширення діапазону регулювання у складі ПГЕС доцільно передбачати застосування щонайменше двох ПГУ. У періоди роботи з мінімальним навантаженням одна ПГУ перебуває в режимі гарячого резерву. У складі кожної ПГУ є газова турбіна, котел-утилізатор та парова турбіна. Котли-утилізатори об'єднані паровим трубопроводом для забезпечення гарячого резервування шляхом обігріву товстостінних елементів (зокрема, паропроводів котлоагрегату та корпусів парової турбіни), допустимі рівні температурних напружень в яких лімітують швидкість зміни електричної потужності при пусках, зупинках та маневрових процесах ПГУ.

Електролізер є споживачем – регулятором, тому важливий такий його показник, як час пуску з досягненням номінальної потужності та час вимкнення із зменшенням виробництва, а також маневровість – діапазон регулювання. Зростання потужності електролізерної установки може відбуватись поступово, починаючи з 5% об'ємної частки водню в паливній суміші.

Термін служби ПГЕС складає 30–40 років, що забезпечить її роботу протягом трансформаційного переходу низьковуглецевого розвитку вітчизняної енергетики на використання 100% ВДЕ з горизонтом прогнозування до 2050–2070 років. Строк будівництва такої ПГЕС від 2 років до 3 років.

Висновки. Перевагою водневої енергетики для України могла б стати можливість значного зменшення енергетичної залежності країни за рахунок перетворення існуючих власних енергетичних ресурсів (вугілля, торфу, сланців, біомаси, сірководню Чорного моря, промислових відходів та ін.) у водень з його подальшим використанням для задоволення енергетичних потреб країни. Перспективним для України є спосіб одержання водню шляхом газифікації вугілля, запасів якого в Україні достатньо. Продукт газифікації (водень) може використовуватися в паливних елементах для виробництва електричної і теплової енергії на електростанціях як для децентралізованого, так і централізованого енергопостачання. Широкі можливості для перетворення вугілля безпосередньо в надрах у горючий газ, який містить водень, має підземна газифікація вугілля. В Україні існує також можливість одержання водню як побічного продукту при хімічних, коксохімічних та нафтопереробних виробництвах, використання для одержання водню скидних газів чи різних органічних сполук. Одне із таких виробництв існує на території Казенного підприємства «Екоантілід» (м. Дніпродзержинськ Дніпропетровської обл.), потужності якого дозволяють виробляти водень, важку та легку воду. Екологічний ефект від використання побічних продуктів досягається тим, що одержана з них енергія заміщує енергію, яка повинна вироблятися із викопного палива, у тому числі імпортованого [2].

Перелік посилань:

1. National Academy of Engineering, «The Hydrogen Economy: Opportunities, Costs, Barriers, and R&D Needs», 2004
2. Crabtree, George W.; Mildred S. Dresselhaus, and Michelle V. Buchanan "The Hydrogen Economy". *Physics Today*. с. 39. (December 2015).

Магістрант 5 курсу, гр. ТС-01мп Фершал А.М.
Доц., к.т.н. Нікуленкова Т.В.

ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТУРБОДЕТАНДЕРНИХ УСТАНОВОК

Турбодетандерний агрегат – турбінна лопаткова машина безперервної дії для охолодження газу шляхом його розширення з вчиненням зовнішньої роботи. ККД агрегату залежить від зміни режиму роботи, від параметрів робочого середовища (тиску, температури, витрати газу) та ін. При оптимальних режимах роботи досяжні високі значення ККД (до 0,8 і вище). ККД знижується при наявності рідкої фази в потоці вхідного газу, а також при конденсації газу в турбодетандерному агрегаті [1, 2].

Безперервне зростання витрат промислових підприємств на енергопостачання своїх виробництв, а також постійна залежність від сторонніх виробників електроенергії призводить до необхідності підвищення власних генеруючих потужностей, що виробляють дешевшу електроенергію. Треба вживати заходи щодо підвищення ефективності роботи власних енергосистем, розробку та впровадження енергозберігаючих технологій. Ці заходи призведуть до зниження енергоспоживності і, в остаточному рахунку, до зниження собівартості продукції. Рационально використовувати енергію надлишкового перепаду тиску природного газу. Це можна зробити завдяки турбодетандерній технології.

Представимо оцінку економічної ефективності турбодетандерної установки потужністю 1500 кВт – ЕТДУ-1500 (8000 год/рік, 12 млн.кВт-г/рік). Інвестиційні вкладення в проект складаються з:

- інвестиційних вкладень в основне обладнання (турбодетандер, турбогенератор, автоматична система управління технологічними процесами, теплообмінник, електротехнічне обладнання);
- інвестиційні вкладення в будівлі і споруди (будівельно-монтажні роботи);
- інші інвестиційні вкладення (управління, проектні роботи, авторський нагляд, координація проекту).

Виходячи з техніко-економічних параметрів проекту, собівартість електроенергії, що виробляється агрегатом ЕТДА-1500, ділиться на постійні та змінні витрати. До постійних витрат відносяться амортизаційні відрахування (амортизація здійснюється на протязі всього терміну служби установки) та податок на додаткову вартість і на прибуток.

Перемінні витрати – це витрати на:

- електроенергію;
- теплоносій (пар, що використовується для підігріву газу на вході в турбодетандер);
- машинне масло;
- ремонт;
- зарплату обслуговуючому персоналу та податки з фонду оплати праці.

У розрахунку економічної ефективності проекту визначалися наступні показники (Табл. 1):

- чистий приведений дохід (різниця між величинами приведеної та справжньої вартості: сумою чистого грошового потоку за період експлуатації агрегату та сумою інвестиційних вкладень на його створення);
- індекс прибутковості (відношення величини суми дисконтованих елементів

чистого грошового потоку до величини суми дисконтових інвестиційних затрат);

- період окупності (період часу, який потрібен для того, щоб сума чистих грошових надходжень в результаті роботи установки стала рівною початковій вартості капіталовкладень);

- внутрішня норма прибутку (ставка дисконтування, при якій сумарне значення дисконтових доходів за експлуатаційний період установки рівне сумарному значенню дисконтових інвестиційних вкладень. Значення цього показника визначається шляхом вирішення методом послідовних ітерацій). В розрахунках використовується дисконтна ставка, що з економічної точки зору представляє собою норму дохідності на вкладений капітал. Прийнято на основі рекомендаційних економічних служб топливо-економічних компаній [3].

Таблиця 1 – Основні показники оцінки ефективності проекту

Показники оцінки ефективності	Значення
Чистий приведений дохід, дол. США	1 634 839,46
Індекс (коефіцієнт доходу)	3,30
Період окупності дисконтований, рік	3,69
Внутрішня ставка доходу, %	33,18

Виходячи з розрахунків, позитивна величина чистого приведенного доходу свідчить про те, що проект економічно вигідний і принесе підприємству прибуток в розмірі приблизно 1 600 000 дол.США. Чистий грошовий потік на 230% перевищить обсяг інвестиційних вкладень. Розраховане значення періоду окупності свідчить про те, що часовий інтервал, необхідний для відшкодування вкладень в проект інвестицій становить 3,69 року з дня введення в експлуатацію. Визначивши основні техніко-економічні характеристики проекту, далі необхідно розглянути чутливість проекту до можливих змін технологічних та економічних умов. При визначенні чутливості проекту були розглянуті залежності чистого приведенного доходу, індексу дохідності, періоду окупності дисконтованих вкладень, вартості вироблюваної електроенергії, вартості теплоносія та об'ємів виробництва електроенергії в діапазоні можливих відхилень від їх величин в базовому режимі.

В результаті досліджень було встановлено, що реалізація проекту забезпечує високу ефективність зміни техніко-економічних параметрів та умов функціонування, що і призводить до підвищення ефективності роботи енергетичної системи підприємства.

Перелік посилань:

1. Малханов В.П. Турбодетантные агрегаты в системах подготовки и распределения природного газа / В.П. Малханов. – Москва: Нефть и газ, 2004. –226 с.

2. «Детандер» / Українська радянська енциклопедія: у 12 т. / гол. ред. М. П. Бажан ; редкол.: О. К. Антонов та ін. — 2-ге вид. — К. : Головна редакція УРЕ, 1974. – 1985.

3. Бланк І.А. Управління інвестиціями підприємства / І.А.Бланк. – Київ: Ніка-Центр, Ельга, 2003. – 480 с.

Аспірант 1 курсу, гр. ТС-01ф Марисюк Б.О.
Проф., д.т.н. Черноусенко О.Ю.

НДС ДІЛЯНКИ ВАЛОПРОВОДУ ТА К-200-130 МІЖ РОТОРОМ НИЗЬКОГО ТИСКУ ТА РОТОРОМ ЕЛЕКТРОГЕНЕРАТОРА ПРИ КОРОТКОМУ ЗАМИКАННІ

Парковий ресурс паротурбінних установок потужністю 200–800 МВт, що встановлені на українських теплових електричних станціях становить 200–220 тис. год [1]. Значна їх частина вичерпала свій ресурс, або впритул наближається до його вичерпання. Протягом останніх років не було замінено жодного турбоагрегату, а враховуючи складну економічну ситуацію в країні, замінити застаріле обладнання в найближчій перспективі новим не є можливим.

Тому актуальною проблемою залишається подовження ресурсу експлуатації елементів парових турбін. Розробка нових методів розрахунку залишкового ресурсу та покращення вже існуючих дозволить безпечно та ефективно експлуатувати застаріле обладнання на задовільному рівні. При цьому не доведеться витратити космічні суми на покупку нового обладнання.

Найбільшу увагу потрібно приділяти високотемпературним елементам парових турбін. Оскільки вони працюють в складних технологічних умовах, таких як висока температура та тиск. Малоциклова втома, повзучість металу, а також зміни фізико-механічних властивостей та структури сталі призводить до накопичення пошкоджень. В кінці-кінців це стає причиною появи залишкових деформацій (прогинів) та зародження і розростання тріщин до критичних розмірів.

На даний час, для регулювання денних піків та нічних провалів електричного навантаження активно використовуються турбоагрегати К-200-130. Дані турбоустановки проектувалися для експлуатації в базовій або напівбазовій частині графіка електричного навантаження [2]. Це призводить до активного процесу накопичення пошкодження та зародження тріщин. Робота турбоагрегату в непередбачених для нього режимах призводить до суттєвого скорочення залишкового ресурсу.

При розрахунках залишкового ресурсу, в основному, приділяють увагу малоциклової та багатоперіодичної втоми. Тоді як пошкодження внаслідок крутильних коливань майже не враховуються.

Найбільш поширеними причинами крутильних коливань є включення генератора в енергомережу з грубою синхронізацією та короткі замикання. Найбільш небезпечними є трифазні короткі замикання. Внаслідок їх появи на ротор електрогенератора починає діяти електродинамічний крутий момент. При цьому максимальний крутий момент, що з'являється на валопроводі турбоагрегату може перевищувати номінальний в 10–12 разів.

Метою даної роботи є дослідження напружено-деформованого стану (НДС) валопроводу турбоагрегату К-200-130 на ділянці між циліндром низького тиску та електрогенератором при короткому замиканні.

Розрахунок НДС прийнято виконувати в програмному комплексі ANSYS на основі тривимірної моделі валопроводу з тороїдальними кільцями замість робочих лопаток. Побудова геометричної моделі виконувалася на основі креслень заводу-виготовлювача даного турбоагрегату.

Валопровід турбоагрегату виконаний з роторної сталі 25Х1М1ФА. Тому для моделі були задані необхідні фізико-механічні властивості, а саме: густина $\gamma = 78500 \text{ Н/м}^3$, модуль пружності $E = 2,1 \cdot 10^{11} \text{ Па}$, коефіцієнт Пуассона $\nu = 0,3$.

При дослідженнях напружено-деформованого стану, що виникає внаслідок короткого замикання задають короткотерміновий реактивний крутий момент (РКМ). Зазвичай його форма обирається бігармонічною, або П-подібною. В даному дослідженні,

для моделювання крутильних коливань, що виникають при короткому замиканні прийнято П-подібну форму сплеску РКМ з трикратним перевищенням номінального значення. Після припинення дії сплеску на валопровід починають діяти затухаючі вільні коливання.

Значення максимальних умовних пружних напружень в найбільш небезпечному перерізі між роторами низького тиску та ротором електрогенератора показані на рис. 1. Максимальне значення еквівалентних напружень по Мізесу спостерігається при першому ж коливанні, та свого піку досягає через 0,016 с після появи короткого замикання. При цьому значення напружень перевищує межу міцності сталі з якої виготовлений валопровід (25X1M1ФА).

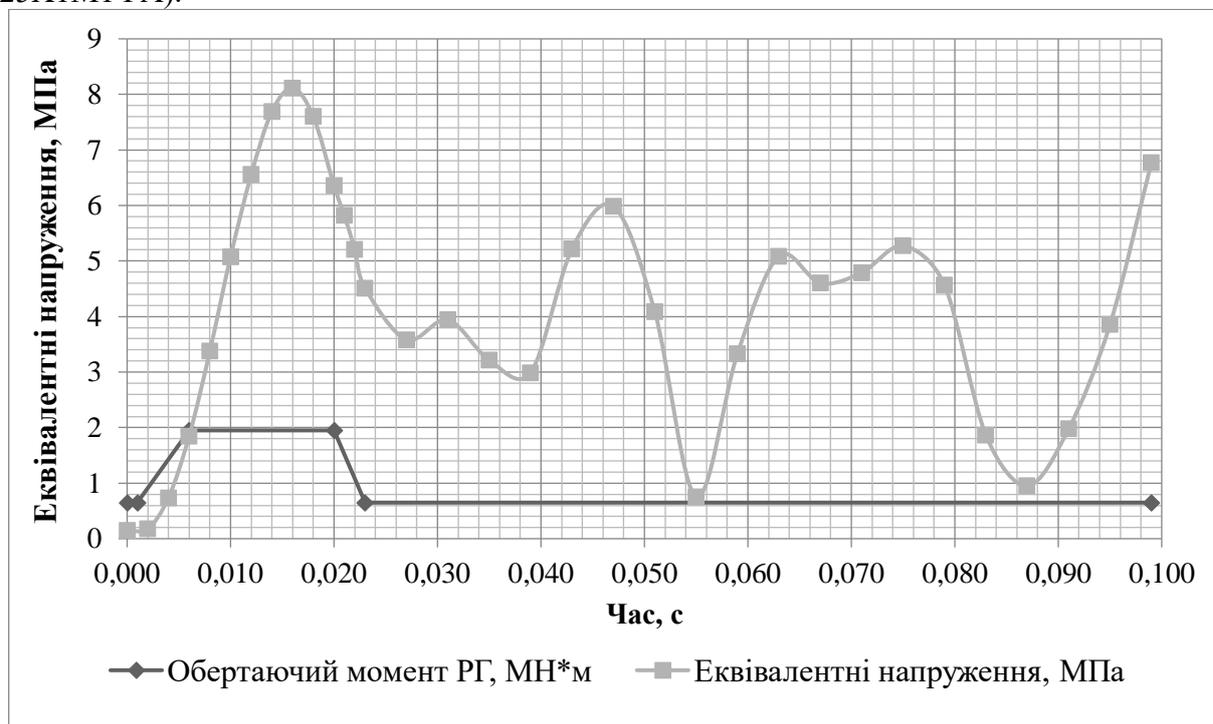


Рисунок 1 – Еквівалентне напруження валопроводу турбоагрегату К-200-130 між РНТ та РГ

Дане дослідження показало, що реактивний обертаючий момент, спричинений коротким замиканням, здатен призвести до появи значних крутильних коливань валопроводу турбоустановки з сильною асиметрією циклу. Навіть при трьохкратному перевищенні номінального крутного моменту, амплітуди максимальних напружень на певних ділянках перевищують межу міцності роторної сталі.

Навіть відносно незначний сплеск реактивного обертаючого моменту може стати причиною появи та розвитку втомного пошкодження металу, що в кінцевому результаті може призвести до крихкого руйнування всього валопроводу та як наслідок зруйнувати весь турбоагрегат.

Перелік посилань:

1. СОУ-Н МПЕ 40.1.17.401:2004. Контроль металу і продовження терміну експлуатації основних елементів котлів, турбін і трубопроводів теплових електростанцій. Типова інструкція [На заміну ГКД 34.17.401-95; чинний від 2005-04-21]. Вид. офіц. Київ : ОЕП "ГРІФРЕ", 2004. – 76 с.

2. Черноусенко О. Ю. Вплив роботи енергоблоків ТЕС в маневреному режимі на вичерпання ресурсу енергетичного обладнання / О.Ю. Черноусенко, В.А. Пешко // Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ" : зб. наук. пр. Темат. вип.: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування – Харків: НТУ "ХПІ", 2016. – № 10 (1182). – С. 6–16.

ПІДВИЩЕННЯ ЕКОНОМІЧНОСТІ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ РОБОТИ ТЕПЛОФІКАЦІЙНИХ ТУРБІН ЗА РАХУНОК МОДЕРНІЗАЦІЇ ПРОМІЖНИХ УЩІЛЬНЕНЬ.

Сучасна електроенергетична галузь забезпечує електроенергією усі сфери споживання (промисловість, комунальне господарство населених пунктів, сільське господарство, електрифікований транспорт, тощо). Теплові електричні станції відіграють важливу роль у генерації електричної енергії в Об'єднаній енергетичній системі України.

Актуальною задачею є застосування передових технологій при проведенні модернізації та реконструкції паротурбінних установок (ПТУ) для підвищення їх показників. Одним з важливих напрямків робіт з підвищення надійності і економічності паротурбінного обладнання є удосконалення кінцевих і проміжних ущільнень.

Відомою проблемою лабіринтних ущільнень є флуктуаційний характер течії ущільнюючої пари при низьких витратах свіжої пари. Дана обставина призводить до сильного зменшення відносного внутрішнього ККД турбіни на змінних режимах роботи. В умовах нестачі маневрених потужностей в енергетичному балансі України та збільшення долі залучення базових енергоблоків до роботи у змінних режимах, ця задача набуває ще більш вагомого сенсу [1].

Одним з напрямків робіт в області покращення тепломеханічних і експлуатаційних показників діючого паротурбінного обладнання є модернізація проточних частин з застосуванням нових конструкцій ущільнень. Сотові ущільнення - це вдосконалений тип ущільнень з впровадженням сотової поверхні. Внаслідок здатності конструкції сотового ущільнення інтенсивно відводити тепло, не відбувається місцевого розігріву ротора при взаємному торканні. Це дозволяє зменшити значення радіальних зазорів в ущільненнях без зниження надійності роботи турбоагрегату [2].

Однак на змінних режимах роботи, за зменшеної витрати пари, можливе погіршення економічних характеристик сотових ущільнень, як це характерно і для лабіринтових. Пропонується проведення математичного дослідження характеру течії пари в ущільненнях сотового типу для типового діапазону зміни витрат свіжої пари турбоустановки Т-250/300-240. Це дозволить провести подальші дослідження з метою надання рекомендації щодо вибору геометричних характеристик сотоблоків, для забезпечення їх найбільш високого внутрішнього ККД в широкому діапазоні витрати пари.

За допомогою програми SolidWorks Flow Simulation проведено аналіз лабіринтного та сотового ущільнень, який показує розподіл тиску (рис. 1) та швидкостей (рис. 2). Розрахунки було проведено на номінальному режимі роботи. Експерименти проводилися на чотирьох моделях:

1. Лабіринтні ущільнення, в яких відстань від гребеня до ротора становить 0,5 мм.
 2. Лабіринтні ущільнення, в яких відстань від гребеня до ротора становить 1,2 мм.
- Вибір відстані обумовлений роботою турбіни на змінних режимах, в наслідок чого, ущільнення будуть зачіпляти ротор. Максимальне розширення в радіальному напрямі 0,2%.
3. Сотові ущільнення, в яких відстань від сотових вставок до ротора становить 0,15 мм.
 4. Сотові ущільнення, в яких відстань від сотових вставок до ротора становить 0,22 мм.
- Через врізання сотових вставок об ротор відбувається деформація сот. Максимально допустима деформація 0,7 мм.

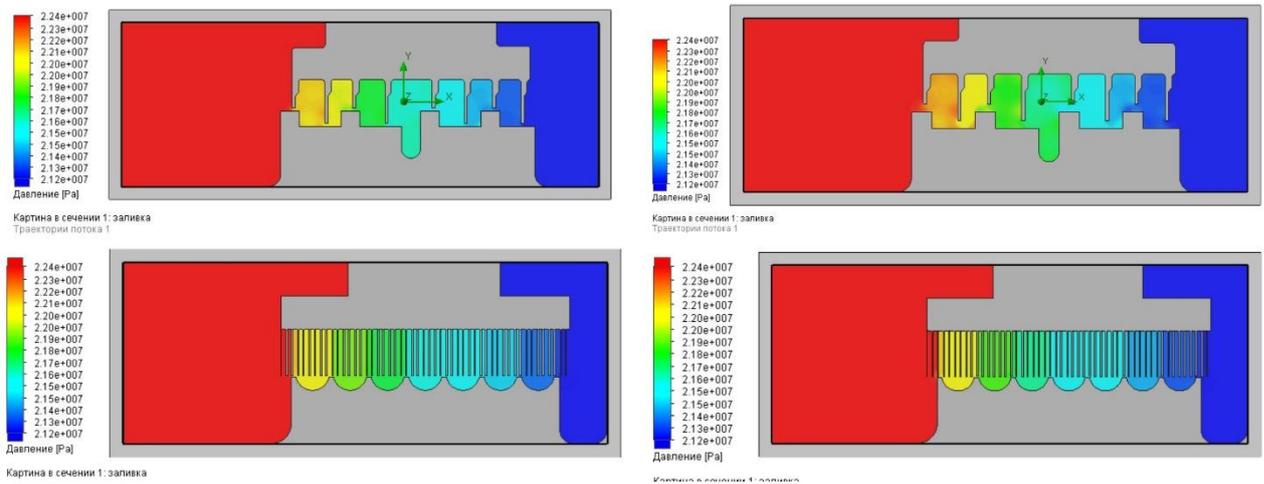


Рисунок 1 – Розподіл тиску для лабіринтних та сотових ущільнень

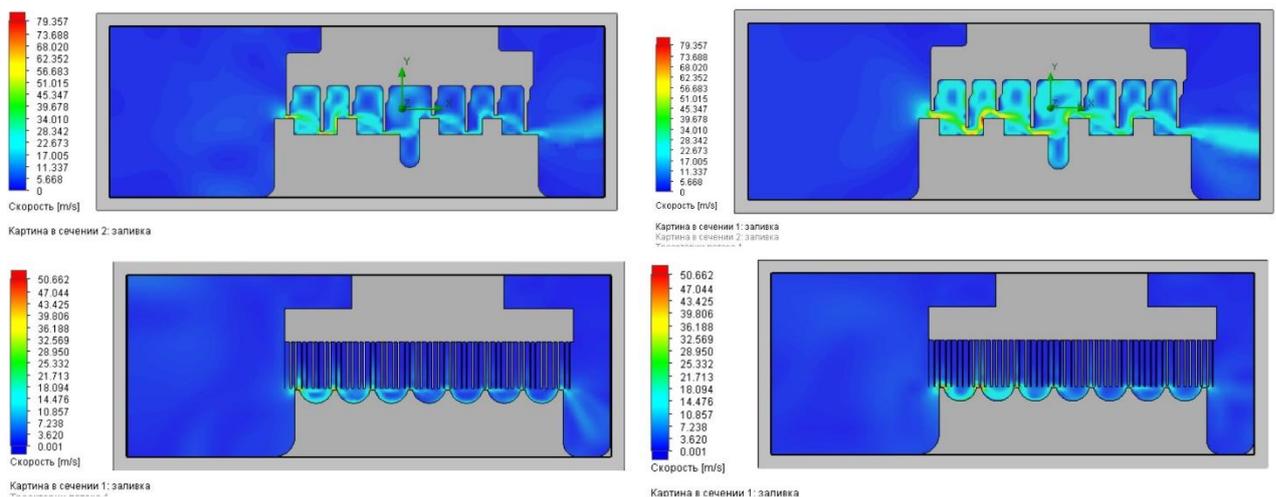


Рисунок 2 – Розподіл швидкостей для лабіринтних та сотових ущільнень

З даних рисунків можна зробити висновки:

1. Тиск пари зменшується з проходженням камер ущільнень. Проте в експерименті з лабіринтними ущільненнями 1,2 мм тиск досягає мінімальних значень в останніх камерах.
2. Швидкість руху частинок висока при входженні в камеру, але безпосередньо в камері зменшується. Це відбувається за рахунок завихрення та ударів між собою і об стінки камери ущільнення.
3. При порівнянні результатів розподілу швидкостей ущільнень із зачіпленням вставок об ротор в сотових ущільненнях температура в напружених точках досягає мінімальних значень.

Зіставлення результатів математичного моделювання гідродинаміки лабіринтових та сотових ущільнень з відповідним фізичним експериментом за допомогою комплексу прикладних програм показало адекватність використаного підходу і обґрунтувало можливість застосування його при розв'язанні конкретних інженерних задач.

Перелік посилань:

1. Г.А. Бондаренко. Исследование течения в лабиринтном уплотнении / Г.А. Бондаренко., В.Н. Бага // Вісник НТУ «ХП». – 2015. – №15(1124). – С. 23–31.
2. Черноусенко О. Ю. Вплив роботи у маневрених режимах енергоблоків ТЕС на техніко-економічні характеристики [Текст] / О.Ю. Черноусенко, Л.С. Бутовський, О.О. Грановська, В.А. Пешко, О.С. Мороз // Проблеми загальної енергетики. – Київ, Ін-т загальної енергетики НАНУ, 2016. – № 2 (45).

МЕТОДИ РІШЕННЯ ПРОБЛЕМ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНИХ ПЕЧЕЙ.

Основна частина печі - це нагрівальний модуль, в якому встановлено пальниковий пристрій (ПП) вихрового типу одного з провідних виробників пальників для вогнетехнічних об'єктів. Виробнича потужність даного пальника від 35 до 200 кВт (дані надані фабрикою).

Нагрівальний модуль печі служить для підігріву повітря, що йде на технологічний процес (схема з проміжним теплоносієм). В діапазоні, в якому проводилися вимірювання ПП працював в імпульсному режимі. Системою управління була запрограмована витрата газу в 12,3 м³/год і виставлена температура, відповідна технологічним вимогам на даному режимі. Підтримка температурного режиму здійснювалася в автоматичному режимі за рахунок частоти включень і повних відключень ПП. Фіксація і реєстрація температурного режиму здійснюється автоматикою печі.

У нагрівальний модуль подається повітря, частково відібране рециркуляційним вентилятором з потоку відпрацьованого повітря після технологічного процесу в кількості 8000 м³/год. Крім того, на вхід нагрівального модуля також подається атмосферне повітря для розведення рециркуляційного повітря і зниження його вологості в кількості до 750 м³/год. Частина відпрацьованого повітря, що залишилася, разом з димовими газами подається в вихлопну трубу. Повітря, що йде на технологічний процес, підігрівається в нагрівальному модулі, огинаючи топку і димогарні труби, через які проходить продукти згоряння, які генеруються в топці.

Для оцінки ефективності роботи печі і складання її теплового балансу було виміряно ряд узгоджених параметрів:

- Витрата газу на конкретному режимі;
- Температура повітря на виході з печі;
- Температура холодного повітря на вході в піч;
- Температура повітря на вході рециркуляційного вентилятора;
- Температура повітря на вході модуля нагріву;
- Аналіз відпрацьованих газів: лямбда, СО, СН₄, NO_x і температура відхідних газів

до скидання в цю ж трубу відпрацьованого повітря з печі.

Проблемним моментом в роботі даної печі може бути використання пальникового пристрою вихрового типу, що працює в імпульсному режимі. В результаті роботи в імпульсному режимі, ПП працює в режимі оптимального навантаження тільки 40% тимчасового інтервалу.

Весь інший час ПП працює або на часткових навантаженнях, які не є для неї економічними, або не працює зовсім.

Це може мати такі наслідки:

• З огляду на вузький діапазон стійкої роботи ПП, при його відключенні і включенні можуть мати місце режими, коли газ подається в ПП в умовах відсутності факела. В даному випадку можливий викид чистого метану в атмосферу.

• З огляду на неможливість підтримки необхідного співвідношення газ-повітря на змінних режимах, включення і виключення ПП (перехід на режим і вихід з режиму) можуть супроводжуватися великими викидами СО і незгорілого метану.

• Часті, з великою амплітудою, температурні коливання в топкової камері можуть привести до передчасного зносу матеріалу камери в нагрівальному модулі.

- Проблеми з пульсацією температури можуть мати місце також в робочому об'ємі печі. Це може привести до порушень технологічного процесу і погіршення якості готової продукції.
- Безперервні вклучення і виключення автоматики, як правило, призводять до передчасного зносу елементів клапанів, перемикаючих пристроїв та інших елементів дорогої автоматики ПП. Це обов'язково призведе до частих замін елементів автоматики і перманентному дорогому сервісному обслуговуванню.

ВИСНОВКИ

Після ознайомлення з робочим процесом печі з виробництва кексів і обробки попередніх результатів вимірювань можна зробити висновки:

1. Імпульсний режим роботи ПП негативно впливає на економічність і екологічну безпеку ПП і всієї печі в цілому. Це призводить до втрат газу понад 20%.

2. З огляду на імпульсний режим роботи, 16% часу ПП працює на режимах, коли викиди окису вуглецю перевищують допустимий рівень 100 мг/м³. Причому в цьому проміжку середній рівень викидів в кілька разів перевищує гранично допустимий.

Все вищевикладене свідчить про необхідність створення нових технологій спалювання, які зможуть задовольнити всім сучасним вимогам роботи вогнетехнічних об'єктів (ВО). На кафедрі Теплоенергетичних установок теплових та атомних електростанцій (ТЕУ Т і АЕС) під керівництвом д.т.н. Абдуліна Михайла Загретдиновича створена високоефективна технологія спалювання. Застосування струменево-нишової технології (СНТ) спалювання на основі стійкої керованої аеродинамічної структури течії пального, окиснювача, продуктів згоряння і автономності процесів сумішоутворення паливної суміші забезпечує високий рівень економічності, екологічної безпеки і надійності; значно розширює межі ефективної роботи вогнетехнічного об'єкта (ВО) по потужності і умов експлуатації і може застосовуватися на будь-яких ВО на різних видах палива і може бути основою маловитратної модернізації ВО з терміном окупності до 1 року [1].

Перелік посилань:

1. Абдулин М.З., Дворцин Г.Р., Жученко А.М., Кулешов Ю.А., Милко Е.И., Тихонова О.А. Струйно-нишевая технология сжигания топлива – основа надежной работы огнетехнического оборудования // Третья Международная научно-практическая конференция «Энергоэффективность крупного промышленного региона». Сборник научных трудов. – Донецк, 2008. – С. 18–24.

Аспірант 2 курсу, гр. ТС-91ф Пакош Д.З.
Доц., к.т.н. Сірий О.А.

ОСОБЛИВОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПИЛЕННЯ ЗРІДЖЕНОГО ГАЗУ ПРИ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ МИТТЄВОГО ВСКИПАННЯ СТРУМЕНЮ

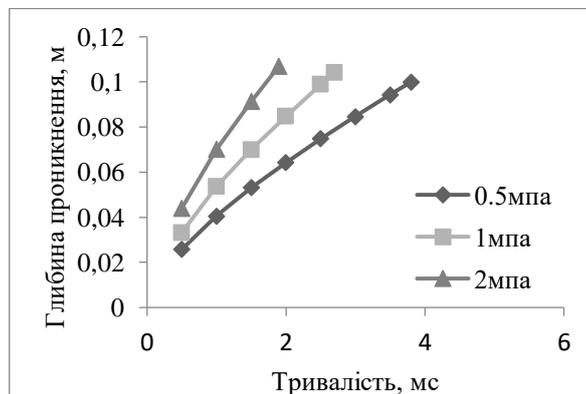
Відомо, що автомобільний транспорт є одним з основних забруднювачів довкілля. Одним з варіантів зниження шкідливого екологічного навантаження на навколишнє середовище розглядається застосування у якості автомобільного палива зрідженого вуглеводневого газу (ЗВГ). Крім того, зріджені гази також придатні до застосування для двигунів з прямим впорскування бензину (ПВБ). Змішування ЗВГ з H_2 не тільки зменшує викиди CO , CO_2 та гідрокарбонату, а ще й дозволяє перевищити ефективність бензинового палива в питомій витраті палива при гальмуванні та термічній ефективності гальмування [1]. До переваг застосування ЗВГ у двигунах ПВБ слід віднести те, що його можна адаптувати без значних конструктивних змін двигуна.

Метою даної роботи є розробка і тестування спрощеної чисельної моделі теплогідродинамічного процесу розпилу зріджених газів та визначення вхідних параметрів.

Об'єктом дослідження являється гідрогазодинамічний процес випаровування зрідженої пропано-бутанової суміші при її впорскуванні в систему подачі повітря перед камерою згоряння у двигуні внутрішнього згоряння. Предметом дослідження являється суміш пропану і бутану в зрідженому стані.

В дослідженні розглядається нестационарна задача моделювання високошвидкісного струменю суміші пропану і бутану у зрідженому стані з форсунки LPG 2A, що представляє собою поліпропіленову трубку із внутрішнім діаметром 1 мм та довжиною 150 мм, яка встановлюється безпосередньо у канал розпилювання.

На основі проведення чисельних експериментів отримані часові залежності глибини проникнення (рис. 1), площі розпилення, кута конуса розпилення, результуючої температури впорскуваної повітряно-газової суміші у циліндр ДВЗ при різному тиску впорскуваної суміші (0.5 МПа, 1 МПа, 2 МПа) та різному часі впорскування.



Рисуюнок 1 – Глибина проникнення суміші пропану-бутану в залежності від тиску

Як видно на рис. 1, проведено розрахунки залежності глибини проникнення пропану-бутану при тиску впорскування 0,5 МПа, 1 МПа, 2 МПа в проміжку часу до 4 мс. Впорскування здійснювалося у середовище із атмосферним тиском. Кількість впорскуваної суміші залишається постійною, тому зростання тиску впорскування відображається на тривалості подачі зрідженого газу. Із зростанням тиску впорскування зростає глибина проникнення.

На рис. 2 проявляється вплив повітряного потоку на форму факелу розпилу впорскуваної суміші зрідженого газу за рахунок створення ділянок завихрень за

інжектором, що зміщує впорскувану рідину у сторону основи монтажу інжектора.

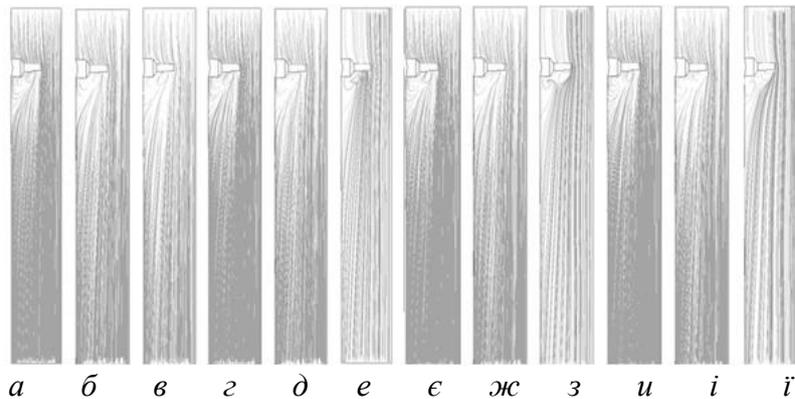


Рисунок 2 – Лінії токів повітря та суміші пропану-бутану при різному тиску:
a – 0,5 МПа за час **0.001 с**; *б* – 1 МПа за час **0.001 с**; *в* – 2 МПа за час **0.001 с**;
г – 0,5 МПа за час **0.002 с**; *д* – 1 МПа за час **0.002 с**; *е* – 2 МПа за час **0.002 с**;
є – 0,5 МПа за час **0.003 с**; *ж* – 1 МПа за час **0.003 с**; *з* – 2 МПа за час **0.003 с**;
и – 0,5 МПа за час **0.004 с**; *і* – 1 МПа за час **0.004 с**; *ї* – 2 МПа за час **0.004 с**

Аналізуючи графіки температурних полів по перерізу каналу на рис. 3, слід відзначити заохоложені ділянки нижче 280 К. Випаровування зрідженого газу у зв'язку з різкою зміною його тиску з 2 МПа до атмосферного тиску спричинює заохолодження повітряно-газового потоку, що сприятливо впливає на ефективність роботи циклу ДВЗ [2].

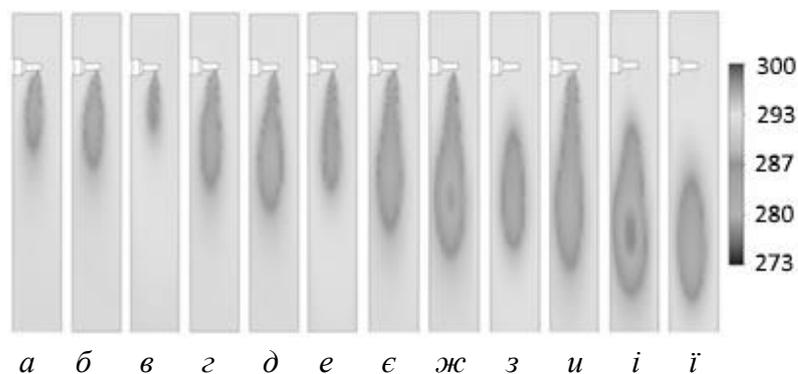


Рисунок 3 – Температурні поля повітря та суміші пропан-бутану при різному тиску впорскування, К:

a – 0,5 МПа за час 0.001 с; *б* – 1 МПа за час 0.001 с; *в* – 2 МПа за час 0.001 с;
г – 0,5 МПа за час 0.002 с; *д* – 1 МПа за час 0.002 с; *е* – 2 МПа за час 0.002 с;
є – 0,5 МПа за час 0.003 с; *ж* – 1 МПа за час 0.003с; *з* – 2 МПа за час 0.003 с;
и – 0,5 МПа за час 0.004 с; *і* – 1 МПа за час 0.004 с; *ї* – 2 МПа за час 0.004 с

За результатами верифікації результатів моделювання з експериментальними даними можна стверджувати, що розроблена чисельна модель дозволяє моделювати теплогідродинамічні процеси впорскування зріджених газів у канал подачі паливо-повітряної суміші у циліндри ДВЗ і цілком придатна до застосування при розробці системи живлення ДВЗ зрідженим газом [2].

Перелік посилань:

1. Калініченко А., Хавриш В., Атаманюк І. The Acceptable Alternative Vehicle Fuel Price. *Energies* 2019, 12(20), 3889.
2. Сірий О., Соломаха А., Пакош Д. Дослідження процесу розпилення зрідженої суміші пропан-бутану для двигунів внутрішнього згорання. *Екологія і транспорт* 2020. – №4, с. 61.

СЕКЦІЯ № 6

**Проблеми
теоретичної і
промислової
теплотехніки**

Аспірант Боянівський В.П.
Проф., д.т.н. Ріферт В.Г.

КОНДЕНСАЦІЯ ВОДЯНОЇ ПАРИ ВСЕРЕДИНИ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ ТРУБ. ОГЛЯД РОБІТ

Горизонтальні конденсаційні трубчасті теплообмінники широко використовуються в різних промислових областях, включаючи охолодження / кондиціонування повітря, хімічні процеси, опріснення морської води і атомні електростанції [1].

Розрахунки загального коефіцієнта тепловіддачі, необхідного для проектування площі теплопередачі конденсатора, добре описані в літературі, але лише для обмежених умов експлуатації. Модель конденсації Нуссельта [2], яку часто рекомендують для розрахунку коефіцієнта тепловіддачі на стороні конденсації, виведена для умов, які не можуть задовольняти реальним умовам експлуатації теплообмінного обладнання. У багатьох промислових системах використовуються вертикальні трубчасті конденсатори, і промислова практика показує, що часто набагато вищі коефіцієнти конденсації тепловіддачі отримуються, коли пара конденсується всередині трубок, а не зовні.

В роботі [3] автори теоретично досліджували процес ламінарної плівкової конденсації у вертикальній трубці при висхідному потокові пари. Seban і Hodgson вказали, що класичне рішення Нуссельта не застосовується у випадку плівкової конденсації в трубці, оскільки швидкість пари зменшується в процесі конденсації. В [3] задача вирішена числовим методом і отримано розподіл безрозмірної товщини плівки і числа Рейнольдса плівки від висоти труби.

Автори [4] показали, що товщина плівки збільшується через напругу тертя. Це впливає на зменшення інтенсивності теплопередачі у порівнянні з рішенням Нуссельта. Також автори вказують, що включення у модель тільки напруги тертя на межі поділу фаз не усуває виявлену ними розбіжність теоретичних і експериментальних результатів.

В роботах німецьких вчених [5-7] на розробленій установці із пристроєм формування плівки конденсату в верхній частині труби досліджувалася залежність інтенсивності тепловіддачі від чисел Рейнольдса Re_f і Прандтля Pr_f плівки, а також напруги тертя на межі поділу фаз τ_f . В роботі [7] досліджувалися форма і частота хвиль на поверхні плівки, а також залежність цієї частоти від числа Рейнольдса плівки і тертя на межі поділу фаз.

Автори [8] виконали експерименти при протитоковій конденсації в U-подібній трубці і встановили, що дані експериментів в цілому узгоджуються з теорією Нуссельта.

Шен та інші [9] експериментально встановили для закритого термосифону, що при малих значеннях числа Рейнольдса плівки експериментальні дані були нижчі у порівнянні з рішенням Нуссельта.

Варто відмітити, що у [8-9] не розглядалася залежність числа Нуссельта від числа Рейнольдса пари в явному вигляді.

У роботі [10] експериментальні дані теплопередачі отримані для конденсації пари у вертикальному низхідному потоці всередині трубки. В якості випробувального конденсатора використовували трубку з нержавіючої сталі з водяним охолодженням із внутрішнім діаметром 5/8 дюйма та довжиною 8 футів. Високий коефіцієнт тепловіддачі конденсації мав місце на вході пари у трубу, зменшуючись по довжині до кінця конденсаційної секції. Автори представили також осьовий розподіл температури для стінки конденсаторної трубки, тестової рідини та охолоджуючої рідини.

Автори [11] вказують на те, що до цих пір не існує загальноприйнятих кореляцій або моделей для тепловіддачі при конденсації пари в трубах, а також, той факт що справедливість цих кореляцій і моделей потребує перевірки кожен раз, як тільки публікуються нові експериментальні дані.

На сьогоднішній день дослідники намагаються збільшити коефіцієнт теплопередачі конденсації за рахунок збільшення швидкості пари, тобто збільшення числа Рейнольдса та збільшення тиску пари. Обидва ці ефекти намагаються зменшити товщину плівки конденсату вздовж напрямку потоку. Таким чином опір теплопередачі зменшується і покращується тепловіддача.

Для повного розуміння особливостей процесу конденсації потрібне проведення додаткових експериментальних досліджень.

Перелік посилань:

1. G S. Kakac, H. Liu, Heat exchangers selection rating and thermal design, in: Condensers and Evaporators, CRC Press, New York, 1998.
2. W. Nusselt, Die Oberflächenkondensation des Wasserdampfes, Z. Vex Dt. Ing (60) (1916).
3. Seban R.A., Hodgson J.A. Laminar film condensation in a tube with upward vapor flow // Int. J. Heat Mass Transfer 25 (1982) 1291–1300.
4. Chen S.J., Reed J.G., Tien C.L. Reflux condensation in a two-phase closed thermosyphon // Int. J. Heat Mass Transfer 27 (1984) 1587–1594.
5. Thumm S., Philipp Ch., Gross U. Film condensation of water in a vertical tube with countercurrent vapour flow // Int. J. Heat Mass Transfer 44 (2001) 4245–4256.
6. Gross U., Philipp Ch. Conjugated shear stress and Prandtl number effects on reflux condensation heat transfer inside a vertical tube, Int. J. Heat Mass Transfer 49 (2006) 144–153.
7. Gross U., Storch Th., Philipp Ch., Doeg A. Wave frequency of falling liquid films and effect on reflux condensation in vertical tubes // Int. J. Multiphase Flow 35 (2009) 398–409.
8. Lee K.-W., No H.C., Chu I.-C., Moon Y.M., Chun M.-H. Local heat transfer during reflux condensation mode in a U-tube with and without noncondensable gases // Int. J. Heat Mass Transfer 49 (2006) 1813–1819.
9. Chen S.J., Reed J.G., Tien C.L. Reflux condensation in a two-phase closed thermosyphon // Int. J. Heat Mass Transfer 27 (1984) 1587–1594.
10. J.H. Goodykoontz, R.G. Dorsch, Local heat-transfer coefficients for condensation of steam in vertical downflow within a 5/8 inch diameter tube, National Aeronautics and Space Administration, Lewis Research Center(NASA), Technical Note (NASA TN D-3326), United States, Washington, D.C
11. Lips S., Meyer J.P. Two-phase flow in inclined tubes with specific reference to condensation: A review // Int. J. Multiphase Flow 37 (2011) 845–859.

Аспірант Лю Ян
Доц., к.т.н. Серета В.В.

КОНДЕНСАЦІЯ У ТРУБАХ ІЗ ВНУТРІШНІМ СПІРАЛЬНИМ ОРЕБРЕННЯМ. АНАЛІЗ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ВТРАТ ТИСКУ

Горизонтальні трубки із внутрішнім спіральним оребрнням (рис. 1) широко використовуються в теплообмінниках систем кондиціонування та повітряних теплових насосах завдяки високій тепловіддачі та незначним перепадам тиску. У проектній практиці велике значення мають точні розрахунки теплопередачі та перепадів тиску. Падіння тиску в конденсаторі впливає не тільки на потужність, яку споживає насос, але і на тепловіддачу через залежність локальної по довжині труби температури конденсації від тиску холодоагенту. Особливо це актуально у випадку використання трубок із внутрішнім спіральним оребрнням, в яких різниця між температурою конденсації пари і температурою на внутрішній поверхні трубки набагато менша у порівнянні із гладкою поверхнею.

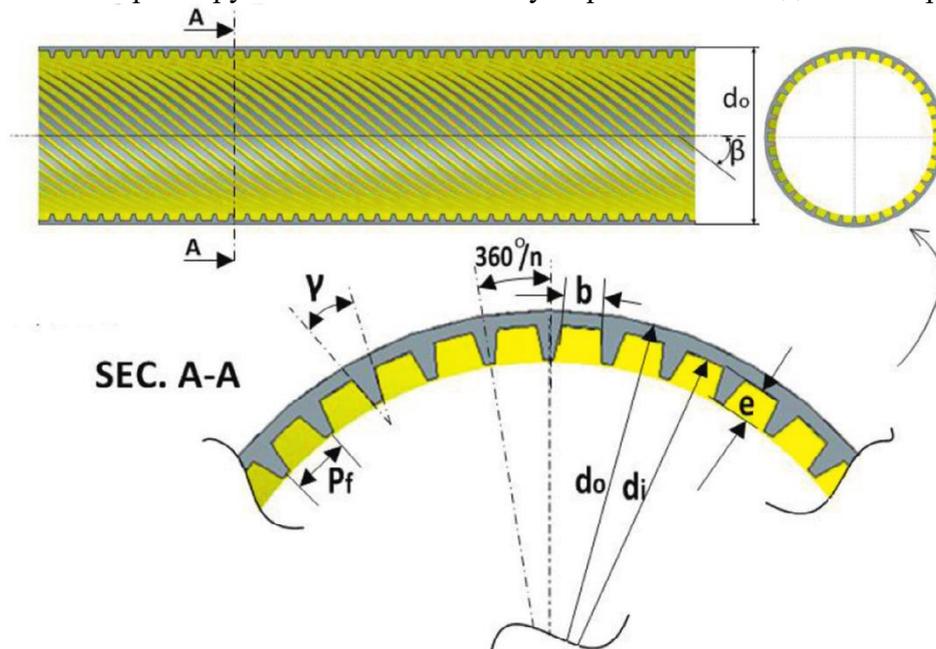


Рисунок 1 - Загальний вигляд трубки із внутрішнім спіральним оребрнням

У наукових працях Hirose et al. [1], Bashar et al. [2], Diani et al. [3], Sun et al. [4], Koyama [5], Goto et al. [6], Cavallini et al. [7], Kedzierski and Goncalves [8], Choi et al. [9] та Newell and Shah [10] запропоновані різні методи та формули для розрахунку перепадів тиску на тертя від час конденсації у спіральні-оребрених трубках. Аналіз цих робіт показує, що на сьогодні немає чіткої визначеності у загальних рекомендаціях щодо використання запропонованих різними авторами розрахункових залежностей. Особливо це актуально для нових холодоагентів із низьким потенціалом глобального потепління.

В даній роботі проведено всебічне порівняння вищезгаданих методів із наявними експериментальними даними різних авторів, які представлені у відкритому доступі. Розрахункові значення порівнюються з експериментальними даними по конденсації дев'яти холодоагентів (R32, R134a, R407c, R410a, R152a, R513a, R1234yf, R1234ze(E), R1234ze(Z)) із масовою швидкістю від 50 до 1000 кг/(м²с). Експериментальні зразки трубок мають наступні геометричні розміри: внутрішній діаметр $d_i = 2,18 - 8,94$ мм; висоту ребра $e = 0,1 - 0,255$ мм; крок ребра $p_f = 0,188 - 0,661$ мм, кут нахилу ребра $\gamma = 14 - 43^\circ$, кут нахилу спіралі $\beta = 7 - 20^\circ$.

Результати показують, що середньоквадратичні відхилення порівняльного розрахунку для всіх трубок та холодоагентів разом узятих, зменшуються у наступній послідовності: Bashar et al. [2], Kedzierski and Goncalves [8], Sun et al. [4], Koyama [5], Diani et al. [3], Newell and Shah [10], Cavallini et al. [7], Goto et al. [6], Choi et al. [9], Hirose et al. [1]. Таким чином, метод розрахунку втрат тиску на тертя запропонований Hirose et al. [1] забезпечує найкраще узагальнення дослідних даних.

Слід зазначити, що геометричні параметри спірального оребрення та властивості холодоагентів, які розглядалися у цьому порівнянні все ще обмежені і потрібно більше експериментальних даних для подальшої перевірки загальної застосовності кореляцій.

Перелік посилань:

1. Hirose et al. Development of the general correlation for condensation heat transfer and pressure drop inside horizontal 4 mm small-diameter smooth and microfin tubes. *International journal of refrigeration* 34 (2018) 238-248.
2. Bashar et al. Development of a correlation for pressure drop of two-phase flow inside horizontal small diameter smooth and microfin tubes. *International journal of refrigeration* 119 (2020) 80-91.
3. Diani et al. R1234ze(E) flow boiling inside a 3.4 mm ID microfin tube. *International journal of refrigeration* 47 (2014) 105-119.
4. Sun et al. A new general correlation for frictional pressure drop during condensation inside horizontal micro-fin tubes. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 112 (2017) 587-596.
5. Koyama. An experimental study on condensation of CO₂ in a horizontal micro-fin tube. *International Refrigeration and Air Conditioning Conference* (2008). Paper 906.
6. Goto et al. Condensation and evaporation heat transfer of R410A inside internally grooved horizontal tubes. *International Journal of Refrigeration*, Volume 24, Issue 7, July 2001, Pages 628-638
7. Cavallini et al. Pressure drop during condensation and vaporisation of refrigerants inside enhanced tubes. *Heat and Technology* 15(1) (1997) 3-10.
8. Kedzierski and Goncalves. Horizontal convective condensation of alternative refrigerants within a micro-fin tube. *Journal of Enhanced Heat Transfer* 6 (2-4) (1999).
9. Choi et al. Generalized pressure drop correlation for evaporation and condensation in smooth and microfin tubes. *Proc. of IIF-IIR Commission B1, Paderborn, Germany, B4, 2001*. p. 9-16.
10. Newell and Shah. An Assessment of Refrigerant Heat Transfer, Pressure Drop, and Void Fraction Effects In Microfin Tubes. *HVAC&R Research* 7 (2) (2001): 125-153.

Аспірант Майстренко О.О.
Проф., д.т.н. Безродний М.К.

ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕПЛОАСОСНО-АДСОРБЦІЙНОЇ СИСТЕМИ КОНСЕРВУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ З УРАХУВАННЯМ РЕАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ В АДСОРБЦІЙНОМУ РОТОРІ

В сучасних умовах енергетичне обладнання працює в маневровому режимі і має тривалі періоди простою. Саме в цей час необхідно зберігати обладнання від дії стоячої корозії, як найбільш небезпечного її прояву. При відсутності заходів зі збереження обладнання термін його експлуатації знижується та зростають фінансові витрати на ремонтні роботи і амортизаційні відрахування [1].

Волога повітря є основним каталізатором процесу корозії, при цьому чим вище відносна вологість повітря, тим швидше руйнування металевих частин обладнання [2]. Але за низької відносної вологості повітря (нижче 40 %) процеси корозії майже зупиняються і не руйнують метал, тому для якісного збереження енергетичного обладнання необхідно підтримувати відносну вологість повітря, яке контактує з металом, на рівні нижче 40 % [3].

Основні методи осушення повітря представлені в роботі [4]. Були проаналізовані переваги та недоліки всіх методів осушення повітря та обрано найбільш ефективний, для вирішення проблеми консервування енергетичного обладнання, адсорбційний метод осушення повітря. Однак через наявний недолік системи, а саме високе споживання електричної енергії, було запропоновано вдосконалити систему за допомогою комбінування адсорбційного осушувача з теплоасосною установкою. Термодинамічний аналіз енергоефективності роботи такої системи був виконаний в роботі [5, 6] за умови теоретичних (ізоентальпійних) процесів осушення робочого повітря та зволоження регенераційного повітря в адсорбційному роторі. Реальні процеси осушення та зволоження повітря в реальних конструкціях адсорбційних роторів суттєво відрізняються від ідеальних процесів при $h=const$ і можуть бути визначені для стандартних роторів за існуючою методикою. В зв'язку з цим виникає питання впливу цих реальних процесів на кінцеву енергетичну ефективність роботи теплоасосно-адсорбційної системи осушення повітря для умов консервування енергетичного обладнання.

На рисунку 1 представлена теплоасосно-адсорбційна схема консервування енергетичного обладнання. В цій схемі для забезпечення глибокого осушення повітря, як консервуючого агента, використовується селікагелевий адсорбційний ротор, а для підігріву і високоефективного регенерування теплоти регенераційного повітря застосовано тепловий насос, з частковою рециркуляцією регенераційного повітря, що суттєво зменшує споживання енергії в порівнянні з електричним нагрівом.

На рисунку 2 наведено загальний графік порівняння максимальних коефіцієнтів ефективності роботи для стандартної адсорбційної системи та удосконаленої теплоасосно-адсорбційної системи за двох товщин ротора- 100 мм та 200 мм. З даного графіка видно, що на ефективність роботи систем суттєво впливають: товщина ротора і параметри свіжого повітря. Видно, що чим більша товщина ротора, тим ефективніше працюють системи як з теплоасосною установкою, так і без неї. Цікавою особливістю роботи систем є той факт, що збільшення температури зовнішнього повітря приводить до підвищення енергоефективності стандартної системи і до зменшення ефективності теплоасосно-адсорбційної системи. Це пояснюється тим, що у стандартної адсорбційної системи при підвищенні початкової температури необхідно витратити менше електричної енергії у калорифері системи, а у випадку теплоасосно-адсорбційної системи супутнє збільшення вологовмісту свіжого повітря приводить до збільшення навантаження на випарник ТН і до відповідного збільшення енергетичних затрат.

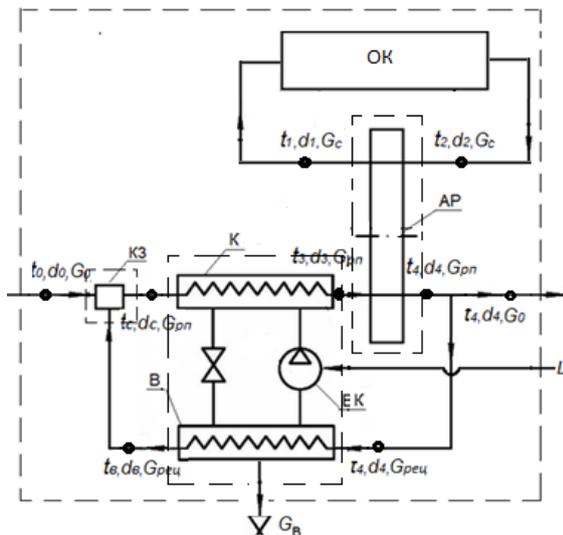


Рисунок 1 - Принципова теплонасосно-адсорбційна схема осушування повітря в системі консервування металевого обладнання: К – конденсатор ТН; В – випарник ТН; ЕК – компресор; АР – адсорбційний ротор; КЗ – камера змішування; ОК – об’єкт консервування.

З вищенаведених результатів розрахунків видно, що теплонасосно-адсорбційна схема консервування обладнання навіть з урахуванням реальних процесів осушення і зволоження повітря в адсорбційному роторі є більш ефективною ніж стандартна система з електронагрівачем та дозволяє суттєво економити енергоресурси. Особливостями роботи даної системи є те, що її ефективність зростає при зниженні температури свіжого повітря. Дана обставина обумовлена тим, що при зниженні температури свіжого повітря суттєво зменшується вологовміст повітря, що вимагає не такого глибокого переохолодження рециркуляційного повітря у випарнику, в результаті чого покращуються умови роботи теплового насоса і, як наслідок, підвищується енергетична ефективність роботи теплового насоса.

Перелік посилань:

1. Майстренко О. О. Консервування енергетичного обладнання методом продувки сухим повітрям / Майстренко О. О., Безродний М. К., Шаповал Б. А. // *Енергетика та електрифікація*-2018.- №4 -С. 3–5.
2. Чинні галузеві нормативні документи з експлуатації та ремонту Електростанцій та мереж [Електронний ресурс].– Режим доступу до ресурсу: https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/01/GID-34.01.101-2009_2018_01_01_web.pdf.
3. Старцев В. И. Методические указания по консервации теплосилового оборудования / Старцев В. И., Кострыкина Е. Ю., Модестова Т. Д. // Москва: СПО ОРГРЭС-1997.
4. Хмельнюк М. Г. Современные технологии осушения воздуха / Хмельнюк М. Г., Ваджинский Д. И., Жихарева Н. В. // *Холодильна техніка та технологія*-2014. - №3- С.15-21.
5. Безродний М.К., Майстренко О.О. Термодинамічний аналіз теплонасосно-адсорбційної схеми консервування енергетичного обладнання // *Енергетика: економіка, технології, екологія*. - 2019, № 2,с.49 – 58.
6. <http://calculator.cotes.com>

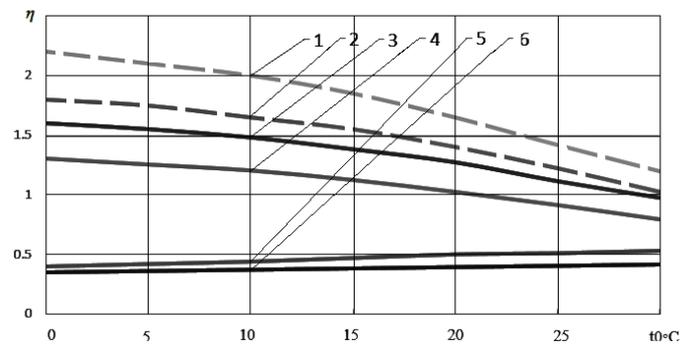


Рисунок 2 - Порівняння енергоефективності роботи теплонасосно-адсорбційної та стандартної адсорбційної системи консервування обладнання в залежності від температури свіжого повітря: 1, 2 – для теоретичної установки при температурі регенераційного повітря 60 °С і 65 °С; 3, 4 – для реальної установки при оптимальній температурі регенераційного повітря і товщині ротора 200 і 100 мм; 5, 6 – для стандартної системи без ТН при товщині ротора 200 мм і 100 мм відповідно.

Аспірант Місюра Т.О.
Проф., д.т.н. Безродний М.К.

ТЕРМОДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ ВИСОКОЕФЕКТИВНОЇ ТЕПЛОНАСОСНОЇ СИСТЕМИ ВЕНТИЛЯЦІЇ ТА КОНДИЦІОНУВАННЯ З УТИЛІЗАЦІЄЮ ХОЛОДУ

За підсумками Рамкової конвенції ООН 2015 року в Парижі Європейський Союз встановив мету до 2050 р. скоротити викиди CO₂ на 80 % [1]. Для досягнення цілей було запропоновано використання відновлюваних джерел енергії та електроенергії замість викопного палива для цілей теплопостачання та генерації холоду. На сьогодні застосування теплових насосів (ТН) продовжує зростати, оскільки дана технологія пропонує можливість забезпечення вентиляції та кондиціювання в будівлях, зменшуючи споживання первинної енергії по відношенню до традиційних систем [2]. Повітряні ТН є особливо ефективними в системах кондиціювання та вентиляції житлових та виробничих приміщень. Проте питання їх правильної інтеграції та підвищення продуктивності досі мають велике значення для економії енергії.

У даній роботі пропонується схема з високою ефективністю в усьому діапазоні температури та відносної вологості навколишнього середовища за рахунок високого коефіцієнта рециркуляції вентиляційного повітря. Ефективність зростає за рахунок більшої частки повітря з приміщення, яка в суміші зі свіжим повітрям надходить до випарника ТН. Тобто в умовах більшої рециркуляції холоду, який генерується системою.

Метою роботи є аналіз енергоефективності підтримання теплового та вологісного режиму у виробничому приміщенні в теплий період року за рахунок теплонасосної установки (ТНУ) вентиляції та кондиціювання повітря з максимально допустимим коефіцієнтом рециркуляції в залежності від параметрів зовнішнього повітря, а також геометричних і теплофізичних характеристик будівлі, кратності повітрообміну об'єкта кондиціювання та внутрішніх тепловиділень (величина K). Результатом дослідження є оцінка енергетичної ефективності (холодильні коефіцієнти ТН і ТНУ) та параметрів повітря у вузлових точках даної системи.

На рис. 1 зображена принципова схема вентиляції та кондиціювання з рециркуляцією відпрацьованого повітря та зі змінною часткою свіжого зовнішнього повітря. Принцип роботи схеми: два потоки свіжого зовнішнього повітря з температурою t_0 , вологовмістом d_0 і масовими витратами G_p та G_0 поступають до першої та другої камер змішування відповідно (КЗ₁ і КЗ₂), де змішуються з двома потоками відпрацьованого повітря з приміщення за температури t_2 , вологовмісту d_2 і з масовими витратами G_0 та G_p відповідно. Таким чином, на виході з КЗ отримуються суміші повітря з однаковими масовими витратами, які рівні необхідній витраті повітря для задоволення потреб вентиляції $G_{заг}$. Суміш повітря після КЗ₁ за температури t_{c1} і вологовмісту d_{c1} надходить до конденсатора ТН, де нагрівається і на виході має температуру t_k за постійного вологовмісту. Суміш повітря після КЗ₂ за температури t_{c2} і вологовмісту d_{c2} надходить до випарника ТН, де охолоджується з частковою конденсацією водяної пари до температури t_v та заданого технологічними умовами вологовмісту d_1 . Обидва потоки спрямовуються до рекуператора, у якому відбувається нагрівання потоку повітря після випарника до заданої температури t_1 за рахунок теплоти повітря, нагрітого в конденсаторі ТН. Процес теплообміну проходить за постійних вологовмістів обох повітряних потоків. Нагріта суміш повітря (t_1 , d_1 , $G_{заг}$) після рекуператора спрямовується до виробничого приміщення для цілей вентиляції та кондиціювання (для компенсації надходжень теплоти через огороження та внутрішніх тепло- і вологовиділень).

Розрахунковий аналіз параметрів ТНУ вентиляції та кондиціонування повітря виконано для типового виробничого приміщення з вологовиділенням. Як прототип був обраний виробничий цех кондитерської фабрики «Рошен» в Київській області [3]. Для забезпечення комфортних умов роботи в приміщенні цеху були встановлені наступні параметри внутрішнього повітря [4]: температура в приміщенні $t_2 = 18 \text{ }^\circ\text{C}$; відносна вологість повітря в приміщенні $\varphi_2 = 50 \text{ \%}$. На рис. 2 побудовано графічні залежності холодильних коефіцієнтів ТН та ТНУ вентиляції та кондиціонування від температури t_0 та відносної вологості φ_0 навколишнього середовища. Випадок, коли $K_p = 0$, описує відсутність рециркуляції повітря та вказує на різке погіршення температурного режиму роботи ТНУ.

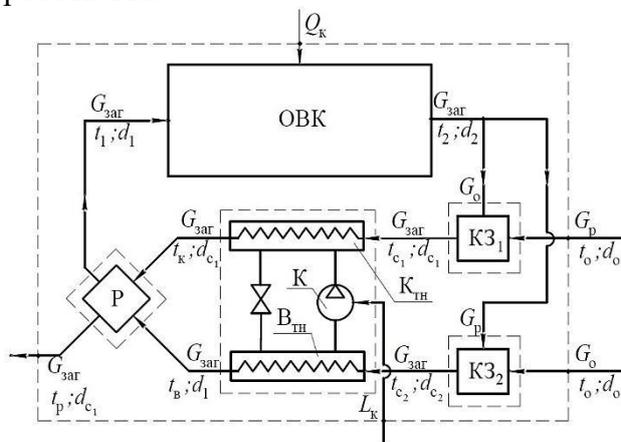


Рисунок 1 - Принципова ТНУ вентиляції та кондиціонування повітря в приміщенні: $K_{ТН}$ – конденсатор ТН; $B_{ТН}$ – випарник ТН; K – компресор; $KЗ_1$ – перша камера змішування; $KЗ_2$ – друга камера змішування; P – рекуператор; $ОВК$ – об’єкт вентиляції та кондиціонування повітря.

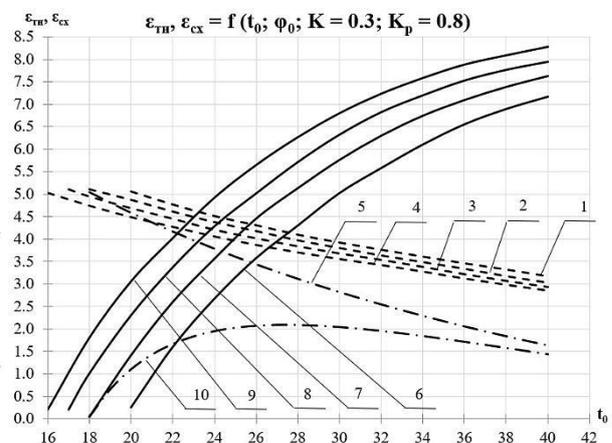


Рисунок 2 - Залежності холодильних коефіцієнтів ТН та схеми в цілому від температури та відносної вологості навколишнього середовища, величини K і коефіцієнта рециркуляції $K_p = 0,8$: $K = 0,3$: 1-4 ($\epsilon_{ТН}$), 6-9 ($\epsilon_{СХ}$) – $\varphi_0 = 40 \text{ \%}$; 50 \% ; 60 \% ; 70 \% ; 5 ($\epsilon_{ТН}$), 10 ($\epsilon_{СХ}$) – $K_p = 0$.

Аналіз даної ТНУ вентиляції та кондиціонування показав вагомість рециркуляції холоду для забезпечення високої ефективності роботи схеми в широкому діапазоні температур і відносних вологостей навколишнього середовища. Збільшення теплових притоків зумовлює до ще більш ефективної рециркуляції холоду, так як для кондиціонування потребується більш низька температура припливного повітря. Дана теоретична модель ТНУ може бути придатною для застосування як в країнах з помірним сухим континентальним кліматом, так і з вологим тропічним кліматом в усьому діапазоні температур навколишнього середовища, коли об’єктом вентиляції виступає виробниче приміщення з невисокою кратністю повітрообміну (цех, склад, машинне відділення).

Перелік посилань:

1. Aguilar, F. Techno-economic analysis of an air conditioning heat pump powered by photovoltaic panels and the grid / F. Aguilar, D. Crespí-Llorens, P.V. Quiles // Solar Energy. – 2019. Vol. 180 – pp. 648–663.
2. Mazzeo, D. Solar and wind assisted heat pump to meet the building air conditioning and electric energy demand in the presence of an electric vehicle charging station and battery storage / D. Mazzeo // Journal of Cleaner Production. – 2019. Vol. 213 – pp. 1228–1250.
3. Безродний, М. К. Термодинамічний аналіз теплонасосної системи вентиляції для підтримання комфортних умов в виробничих приміщеннях з вологовиділенням / М. К. Безродний, Н. О. Притула, М. О. Цветкова // Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ". – 2018. – № 13. – С. 77–82. DOI: 10.20998/2078774X.2018.13.14.
4. Опалення, вентиляція та кондиціонування // Державні будівельні норми України ДБН В.2.5-67:2013. – К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. – 149 с.

Аспірант Морозов В.С.; аспірант Чжан В.Ц.
Проф., д.т.н. Варламов Г.Б.

АКТУАЛЬНІСТЬ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗРОБКИ ТЕХНОЛОГІЙ ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ У СИСТЕМАХ ЕНЕРГОВИРОБНИЦТВА

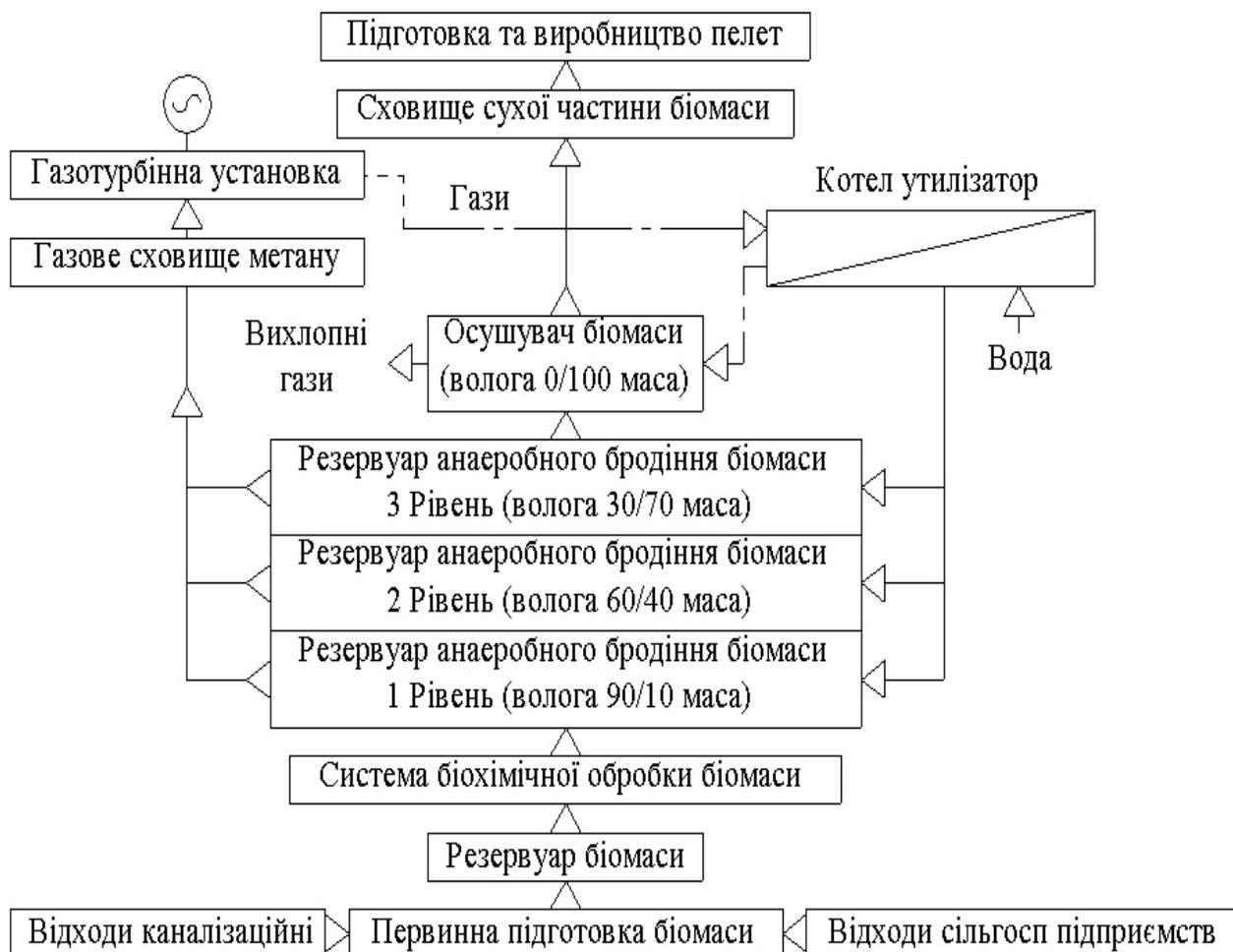
Актуальною для різних країн у сучасному світі є проблема утилізації відходів життєдіяльності суспільства у великих містах (побутові, каналізаційні, промислові та технологічні відходи), підприємств тваринництва і виробництва м'ясо-молочної продукції, сільсько-господарських виробничих підприємств, медичних, лікувальних та фармацевтичних закладів тощо, діяльність яких супроводжується необхідністю повсякденно направляти для її вирішення значні витрати енергетичних та фінансових ресурсів. У деяких аварійних випадках такі підприємства можуть скористатися технологіями та обладнанням інсинерації відходів [1], але їх застосування потребує енерговитрат і не дозволяє ефективно вирішити цю проблему у комплексі.

Доцільним та інноваційним шляхом вирішення даної соціально-екологічної проблеми є шлях застосування комплексних біологічних, хімічних та фізичних методів для обробки відходів з метою отримання біомасових енергетичних джерел з можливістю їх застосування у процесах енерговиробництва [2-5]. Такий підхід дає перспективну можливість здійснити обробку значних об'ємів відходів різного походження з отриманням теплової і електричної енергії на потужних переробних підприємствах та відкрити шлях до безвідходних технологій, процесів і підприємств, що повинно стати метою і головним завданням екологічної політики держави.

Один із можливих варіантів технології переробки різних за походженням відходів може базуватися на утилізації шкідливих біомас тваринного та людського походження [2-5]. Така технологія повинна передбачати розробку комплексних підходів із застосуванням біохімічних процесів, результатом протікання яких при певних умовах повинно з'явитися енергетичне джерело як паливо біологічного походження газоподібного та твердого вигляду. Схему варіанту біохімічної технології переробки відходів, що пропонується у загальній схемі енерговиробництва, наведено на рисунку. Отримані пелети можуть застосовуватися у індивідуальних системах тепловиробництва, а ГТУ здатна виробляти електрику.

Наступні дослідження будуть направлені на визначення основних хіміко-біологічних характеристик біохімічної обробки біомаси, розрахунок основних процесів її анаеробного бродіння, хімічного складу газоподібного метанового палива та оптимізації аеродинамічних та теплових процесів його спалювання у ГТУ з визначенням її ККД, питомої витрати метанового палива та температури димових газів, що прямують у котел-утилізатор для нагріву води, що направляється у резервуари анаеробного бродіння.

Реалізація даної схеми утилізації побутових, каналізаційних, промислових та технологічних біомасових відходів дозволить вирішити одночасно у комплексі проблему збереження в екологічно сприятливому стані навколишнє природне середовище, отримати під час переробки енергетичні джерела, здатних генерувати електричну та теплову енергії для забезпечення протікання біохімічних та теплових процесів в самій установці, та виготовляти пелетне паливо для його застосування у процесах тепловиробництва децентралізованих систем теплозабезпечення малих та середніх населених пунктів, приватних садиб та котеджів.



Перелік посилань:

1. Варламов Г.Б., Романова К.О., Дашенко О.П. Біопаливний інсинератор когенераційного типу. Патент України на корисну модель № 108843, 25.07.2016 р., бюл. № 14, 3 стор.
2. <http://www.fluid-biogas.com>
3. <https://iknet.com.ua/ru/construction-biogas-power-plants/>
4. Z. Zongqiang, C. Guanwen, Z. Yinian, Z. Honghu, W. Rongrong and W. Caichun, "The Effects of Different Anaerobic Fermentation Temperature on Biogas Fermentation of Swine Manure," 2011 International Conference on Computer Distributed Control and Intelligent Environmental Monitoring, Changsha, China, 2011, pp. 1410-1413, doi: 10.1109/CDCIEM.2011.117.
5. M. Loeser and M. A. Redfern, "Overview of biomass conversion and generation technologies," 2008 43rd International Universities Power Engineering Conference, Padua, Italy, 2008, pp. 1-4, doi: 10.1109/UPEC.2008.4651566.

Аспірант Ободовський І.І.
Проф., д.т.н. Варламов Г.Б.

ВИБІР КОНСТРУКЦІЇ ПІРОЛІЗНОГО ГАЗОГЕНЕРАТОРА ДЛЯ ЖИВЛЕННЯ ГТУ ПІРОЛІЗНИМ ГАЗОМ

Для енерговиробництва в наш час переважно застосовуються викопні невідновлювальні органічні енергетичні джерела. Відомо, що при їх використанні сучасними темпами кількості їх залишків вистачить на період від 50 до 150 років, що є незначним терміном для винайдення, розробки та впровадження у широкому масштабі виробництва теплової і електричної енергії на енергетичних об'єктах.

Одним із способів вирішення важливої задачі сталого розвитку енерговиробництва є проведення модернізації паливних систем існуючих енергогенеруючих установок на альтернативні види палива. Наприклад, реалістичним виглядає шлях здійснення модифікації газотурбінної енергетичної установки (ГТУ) з переведенням умов її експлуатації з природного газу на альтернативне паливо - піролізний газ, який можливо отримати у процесі газифікації відновлювальних джерел таких, як біомаса та різноманітні органічні відходи.

У роботі розглядається можливість проведення такої модифікації за рахунок встановлення поряд з ГТУ газогенератора, який здатен з відповідними параметрами генерувати піролізний газ з біомаси.

Відомі різні конструкції піролізних газогенераторів [1], які функціонують за різними технологічними та тепловими схемами.

За прототип узято напівмеханізований газогенератор [2], в якому за рахунок застосування колосникових решіток, що обертаються (див.рис.1), здійснюється рівномірне і безперервне видалення шлаків без порушення процесу газоутворення. Зважаючи на це питома продуктивність і загальна теплова потужність такого типу газогенератора з механізованим видаленням шлаків практично в 1,5-2,5 рази більша, ніж у газогенераторів з ручним обслуговуванням (за інших рівних умов).

Даний тип газогенератора дає можливість реалізувати процеси і технології отримання синтетичного газоподібного енергетичного джерела [3] та найбільш відповідає вимогам щодо забезпечення отримання горючих газів CO та H₂ із застосуванням створеного «киплячого шару» високої якості з експлуатацією при атмосферному тиску.

Таким чином, даний напівмеханізований газогенератор [2] дозволяє його ефективно використовувати у комплексній схемі енерговиробництва [4] і може бути використаний для промислового використання після запланованих модернізацій з вдосконалення конструкції, а саме: забезпечення автоматизованої подачі і контролю витрати як твердої, так і рідкої сировини для піролізації, збільшення висоти шахти газогенератора для уникнення необхідності висушування сировини, модернізації шахти, що обертається, для постійного видалення золи та шарування сировини.

Слід зазначити, що даного типу газогенератора з вищезазначеними особливостями, реалізацією запланованої модернізації конструкції та робочого процесу буде достатньо для успішного вирішення поставленої задачі здійснення ефективного процесу енерговиробництва за допомогою ГТУ, що експлуатується на альтернативному відновлювальному виді палива.

Наступним кроком у даному науковому дослідженні є визначення у експериментальних дослідах фізико-хімічних особливостей піролізного газу, які дозволять здійснити розрахунок, розробку та визначення основних конструктивних та аеродинамічних особливостей паливної системи для камери згоряння енергетичної ГТУ.

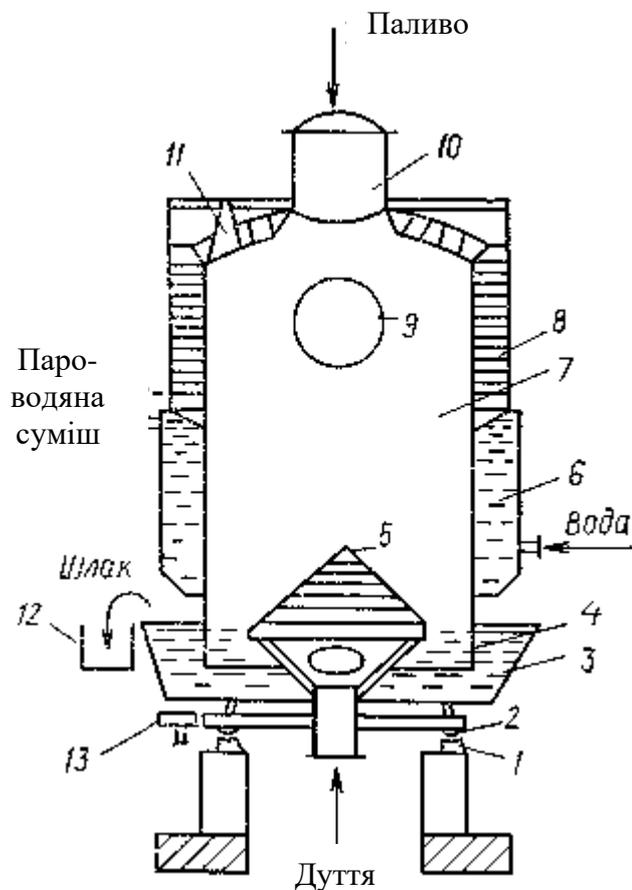


Рисунок 1 - Схема типового напівмеханізованого газогенератора з колосниковою решіткою, що обертається: 1 — рейкова опора, 2 — каток, 3 — чаша; 4 — «фартух», 5 — колосникова решітка; 6 — водяна сорочка, 7 — шахта, 8 — футеровка, 9 — газозлив, 10 — завантажувальний пристрій, 11 — шуровочний отвір; 12 — шлакоприймач, 13 — привід

Перелік посилань:

1. А.А. Шукин - «Газовое и печное хозяйство заводов», издательство «Энергия», Москва-Ленинград, 1966.
2. А.С. Алёшина, В.В. Сергеев - «Газификация твердого топлива», Государственный политехнический университет СПб, 2010.
3. Н. С. Печуро, В. Д. Капкин, О. Ю. Песин. – «Химия и технология синтетического жидкого топлива и газа», М.Химия, 1986.
4. Csaba Fogarassy, Laszlo Toth, Marton Czikkely and David Christian Finger - Improving the Efficiency of Pyrolysis and Increasing the Quality of Gas Production through Optimization of Prototypе Systems», MDPI resources, 2019.

Аспірант Ословський С.О.
Проф., д.т.н. Безродний М.К.

ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ ТА ВЕНТИЛЯЦІЇ НА БАЗІ ГРУНТОВОГО ТЕПЛООВОГО НАСОСУ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕПЛОТИ СТІЧНИХ ВОД ТА ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ ВИКИДІВ

В даний час споживання енергії в будівельному секторі становить приблизно 40% від загального світового споживання енергії [1]. Ця енергія, в основному, поставляється за рахунок викопних енергоресурсів (вугілля, газ, нафта), які викликають близько 36% викидів парникових газів в світі [2]. Згідно з дослідженням Міжнародного енергетичного агентства (МЕА), споживання енергії в комунальному секторі складає 41% від загального споживання енергії в країнах Європи [3]. Тому на даний момент питання енергоефективності та ресурсозбереження постає особливо гостро.

Для вирішення цих проблем необхідно зменшувати споживання енергії в комунальному секторі. Цього можна досягти за рахунок енергозберігаючих рішень в будівництві (мінімізація теплових втрат, рекуперація) і за рахунок впровадження альтернативних високоефективних джерел енергії, одним з яких є тепловий насос [4].

Результати дослідження

Розроблену схему опалення і вентиляції на основі ґрунтового теплового насоса з додатковим використанням теплоти умовно-чистих стічних вод і вентиляційних викидів будинку показано на рис. 1.

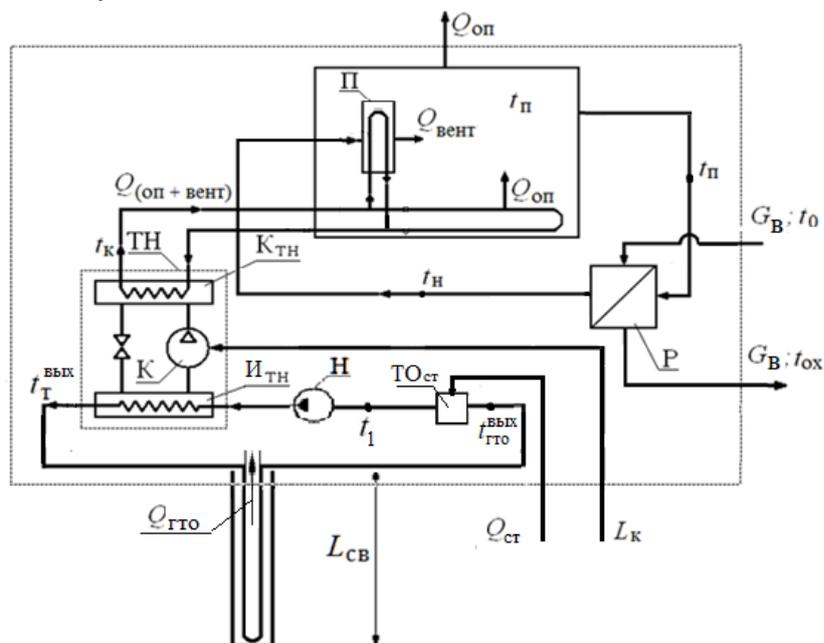


Рисунок 1 - Принципова схема комбінованої системи опалення та вентиляції на базі ґрунтового теплового насоса з додатковим використанням теплоти вентиляційних викидів і стічних вод: ТН-тепловий насос; КТН - конденсатор ТН; ИТН - випарник ТН; К - компресор; ТОст - теплообмінник-утилізатор теплоти стічних вод; П-підігрівач вентиляційного повітря; Н - насос нижнього контуру; Р - рекуператор.

Головною особливістю даного рішення є комбінація ґрунтового ТН з додатковими низькопотенційного джерела енергії, такими як теплота вентиляційних викидів $Q_{вент}$ і

стічних вод $Q_{ст}$. Згідно зі схемою, в нижньому (грунтовому) контурі теплового насоса встановлюється теплообмінник стічних вод (тости), за рахунок якого розчин гліколю, який відібрав теплоту $Q_{гто}$ від ґрунту, підігрівается від температури $t_{гто}^{ввх}$ до t_1 , тим самим утилізуючи скидну теплоту стоків. З іншого боку, в вихідну схему встановлюється теплообмінник-рекуператор (Р), за допомогою якого свіжий припливне повітря в системі механічної вентиляції підігрівается від температури t_0 до t_n , за рахунок теплоти відпрацьованого витяжного повітря, що охолоджується від t_n до $t_{ох}$. Далі, потік припливного повітря проходить через підігрівач (П), де нагрівається до заданої температури t_n в приміщенні.

Термодинамічний аналіз розробленої схеми починається з визначення основних величин в вузлових точках системи і оцінки впливу додаткових джерел енергії на параметри схеми. Використовуючи теплоту стічних вод, необхідно передбачити їх поділ на умовно-чисті (душ, ванна, рукомийники, раковини для миття посуду) і холодні (туалет) [5]. Це розділення необхідне для інтенсифікації процесів в теплообмінниках-утилізаторах, адже температура умовно-чистих стічних вод може досягати в середньому 32°C , тоді як для холодних ця температура не перевищує 10°C . Оцінка потужності такого джерела теплоти була проведена в [6] і її рівень визначався співвідношенням теплоти на гаряче водопостачання $Q_{ГВ}$ до теплоті на опалення $Q_{оп}$.

Висновки

1. Використання додаткових джерел теплоти в верхньому (вентиляційні викиди) і нижньому (умовно чисті стічні води) контурі комбінованої схеми опалення та вентиляції з ґрунтовим ТН в цілому характеризується значним позитивним ефектом.

2. Утилізація теплоти вентиляційних викидів в верхньому контурі за допомогою рекуператора для попереднього підігріву припливного повітря призводить як до значної економії зовнішньої енергії на привід ТН, так і до зниження необхідної потужності ґрунтового теплообмінника, наслідком чого є зменшення його розмірів і капітальних витрат на його спорудження.

3. Застосування теплообмінника стічних вод практично не впливає на оптимальне значення швидкості теплоносія в нижньому контурі ТН і на сумарні питомі витрати зовнішньої енергії на привід компресора ТН і циркуляційного насоса.

Перелік посилань:

1. Computational analysis of wind-driven natural ventilation in a two sided rectangular wind catcher. / M. H.Ghadiri, N. Lukman, N. Ibrahim, M. F. Mohamed. // International Journal of Ventilation. – 2016. – №12. – P. 51–62.

2. Microcogeneration in buildings with low energy demand in load sharing application. / G.Angrisani, M. Canelli, C. Roselli, M. Sasso. // Energy Conversion and Management. – 2015. – №100. – P. 78–89.

3. World Energy Outlook [Електронний ресурс] // International Energy Agency. – 2019. – Режим доступа к ресурсу: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019>.

4. Habibi M. Evaluation and improvement of the thermal performance of different types of horizontal ground heat exchangers based on techno-economic analysis. / M. Habibi, K. Nakkaki-Fard. // Energy Conversion and Management. – 2018. – №171. – P. 1177–1192.

5. Безродний М. К. Термодинамічна ефективність теплонасосної схеми опалення з використанням теплоти ґрунту та стічних вод / М. К. Безродний, Н. О. Притула, С. О. Ословський // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2018. – № 1. – С. 7–15.

6. Безродний М. К. Енергоефективність теплонасосно-рекуператорної системи водяного опалення і вентиляції з використанням теплоти ґрунту та вентиляційних викидів / М. К. Безродний, С.О. Ословський // Енергетика: економіка, технології, екологія.– 2018.– № 3.–С. 95–103.

Аспірант Петречук А.Л.
Проф., д.т.н. Пуховий І.І.

ОПРІСНЕННЯ ВОДИ З ВИКОРИСТАННЯМ НАМОРОЖУВАННЯ ЛЬОДУ В БУРУЛЬКАХ

Відомо, що при замерзанні солоної води кількість солі в льоді зменшується, і з морської води можливо отримати частково опріснену з солоністю 5-10 г/л. Кристалізація в бурульках є більш інтенсивною ніж в закритій поверхні, тому ми вирішили провести експерименти по знесоленню води в бурульках.

Був проведений літературний огляд по опрісненню води виморожуванням. Розглянуті роботи декількох науковців по опрісненню води виморожуванням різними способами. У джерелі [1] розглядаються різні способи опріснення, та приведені результати досліджень по опрісненню виморожуванням способом пристінної кристалізації. В цій роботі досліджено наскільки зменшуються концентрації різних солей після кристалізації води. Запропонована технологія і принципова схема промислової установки для отримання великих об'ємів очищеної даним методом води.

У джерелі [2] досліджено процеси заморожування розчинів солей: хлористого натрію, хлористого калію і хлористого кальцію і перенесення іона солей в лід. Концентрації солей визначалися кондуктометричним способом і методом титрування іонів хлору і кальцію. При опрісненню вод підвищеної мінералізації методом виморожування один цикл процесу об'ємної кристалізації не забезпечує отримання прісної води солемістом меншою за 1 г/л.

У джерелі [3] оцінено новий метод заморожування з використанням переохолодженої води, що робить динамічний лід. Пропонований спосіб мав теоретичне споживання енергії лише 58% від необхідного для непрямого прогресивного контактного заморожування. За допомогою гравітаційної фільтрації відділяли крижано-водяну суміш або за допомогою відцентрової дегідратацію. Досягнуто норми вмісту солі для питної води. Робіт по опрісненню води в бурульках не знайдено.



Рисунок 1 - Дослідна установка після 3 годин роботи. 1 - поверхня удару, 2 - дерев'яні насадки, 3 - дротяні насадки, 4 - ємність з водою

Розроблена дослідна установка (рис.1) висотою 2м, та шириною та глибиною 70см. Зверху установки розміщується ємність з солоною водою. На відстані 40см під нею знаходиться поверхня удару, ще нижче на 30 см знаходяться 3 дерев'яні бруски круглої форми, під ними на 10см нижче, знаходяться 6 натягнутих проводів по всьому периметру діаметрами 3-5мм. Під ними на землі знаходиться резервуар для збору відпрацьованої води.

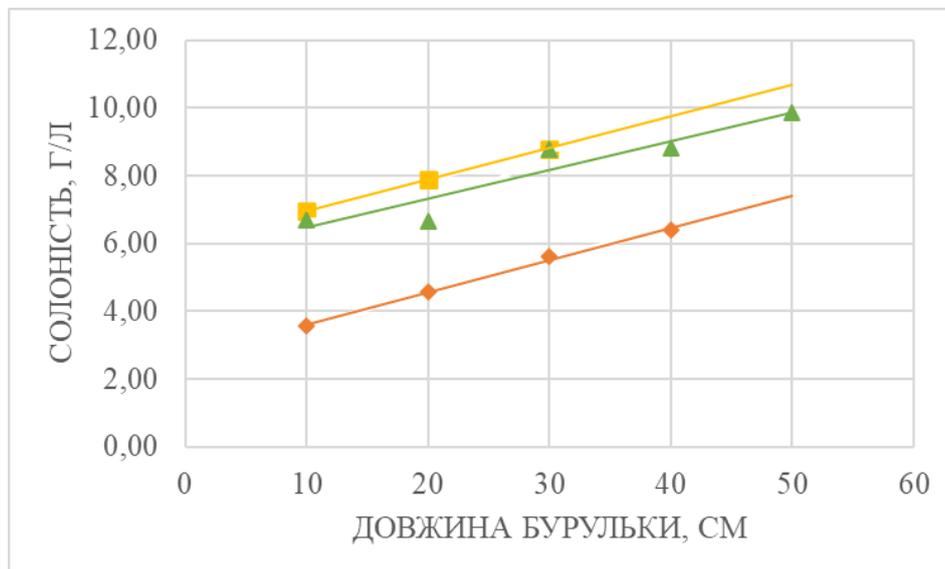


Рисунок 2 - Опріснення води при різній початковій солоності. Початкова солоність: ромб – 10 г/л, квадрат – 20 г/л, трикутник – 30 г/л.

Досліди проводились при морозі -5°C - -15°C при різних концентраціях кухонної солі в водопровідній воді. Солоні вода подавалась з резервуару вгору витратою 1-2 мл/с, попадала на поверхню удару, після чого розбризувалась та збігала на поверхні намерзання. Утворені бурульки, а саме її різні частини по довжині, були досліджені на солоність. Результати показані на Рис.2.

Товший лід, зверху бурульки включає менше солі чим тонкий. Експерименти при початковій солоності води 10 та 20 г/л були поставлені на витраті води 2 мл/с, а 30 г/л на витраті 1 мл/с. Оптимальне значення витрати ≈ 1 мл/с, так як при витраті 2мл/с вода опріснилась менше, навіть при меншій початковій солоності.

Перелік посилань:

1. Глазунов В.Г. Структурирование воды и значительное понижение концентрации растворенных в ней солей методом пристеночной кристаллизации / Лесной вестник – 2006 - С. 218-229
2. Высоцкий С. П., Гулько С. Е. Особенности процессов вымораживания водных растворов / Современное промышленное и гражданское строительство - 2018 - С.109-116.
3. Dong Chen, Chaosheng Zhang, Hongwei Rong, Chunhai Wei, Siyu Gou. Experimental study on seawater desalination through supercooled water dynamic ice making / Guangzhou University, Guangzhou - 2020 - <https://doi.org/10.1016/j.desal.2019.114233>

ЕКСЕРГОЕКОНОМІЧНИЙ МЕТОД АНАЛІЗУ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

Ексергетичний аналіз застосовують для визначення ефективності будь-якого промислового процесу. Він дозволяє оцінити ступінь ефективності процесів, яка виражається ціною корисної ексергії, завдяки чому можна виявити неефективні компоненти у системі. Ексергоекономічний аналіз поєднує ексергетичний аналіз з економічним, забезпечуючи методіку для оцінки вартості різноманітних неефективностей та вартості окремих технологічних потоків, включаючи проміжні та кінцеві продукти.

Основні цілі ексергоекономічного аналізу полягають в наступному: розрахунок витрати на кожен продукт в системі; дослідження процесу формування витрат та потоку витрат в системі; оптимізація системи в цілому шляхом оптимізації її окремих компонентів.

Ексергоекономічні методології можна розділити на два типи.

Перший тип базується на алгебраїчному підході також відомому, як ексергоекономічний метод обліку. Його основною ціллю є оцінка ексергетичних витрат на потоки продукції; оцінка ефективності компонентів системи (підсистем); ітеративна оптимізація системи; покращення показника ексергетичної ефективності системи.

Ексергетично ціннісна теорія базується на пропозиціях Лазано та Валеро 1993 року [1]. Термодинамічна функція названа вартістю ексергії (E_i) визначається межами та рівнем агрегації системи, які в свою чергу визначають вартість фізичного потоку ексергії всіх підсистем (e_i) та суми потоків ексергії необхідних для вироблення цих потоків. Для теорії витрат, якою являється ексергетично ціннісна теорія, має виконуватись три основні умови. По-перше, мають бути чітко визначенні межі систем. Визначення ресурсів часткове і стосується тільки підсистеми яка підлягає дослідженню. Ресурси підсистем які не підлягають дослідженню, хоча й входять в межі системи розглядатися не мають. По-друге, рівень агрегації забезпечує розбиття загальної необоротності системи на підсистеми (обраний рівень агрегації вплине на висновок аналізу). По-третє ефективність підсистем, в нашому випадку ексергетична ефективність, це індикатор довершеності як кожної підсистеми окремо так і всієї системи в цілому. Оскільки необоротність має місце в кожній підсистемі, то чим вона менша – тим вища ефективність підсистем окремо і системи в цілому.

Для розрахунку вартості ексергії використовується наступний принцип. Вартість потоку кінцевої продукції, що використовується в процесі виготовлення ексергії в підсистемі системи, наприклад вартість газу що надходить до електростанції, додається до вартості потоку ексергії в підсистемі. Таким чином відбувається ексергетичне складання. Це підвищує об'єктивність процесу розрахунку витрат за рахунок більш точного розуміння формування собівартості продукту.

Питома вартість ексергії. Вперше метод запропонували Лазаретто та Тсатсароніс [2]. Згідно даного підходу паливо та продукти – це ексергія, яка визначається в ексергетичних потоках кожної підсистеми. Визначаються всі переміщення, додавання та віднімання ексергії. Даний метод складається з трьох основних складових. По-перше, розрахунок ексергетичних потоків. По-друге, розрахунок ексергії палива та продукту. По-третє, складання рівнянь балансових витрат. При розрахунку ексергетичних витрат вартість пов'язується з потоком ексергії.

Другий тип базується на калькуляційному підході, також відомому, як метод Лагранжа. Оптимізація системи відбувається за допомогою граничних витрат. Функція може містити лише одну змінну рішення чи багато змінних рішення, бути безперервною або мати розриви, бути лінійною або нелінійною.

Термoeкономічний функціональний підхід. Заснований на методі математичної оптимізації Лагранжа дає змогу розкласти систему на компоненти. Кожен компонент має свій єдиний продукт. Витрати ексергії можна визначити шляхом складання та вирішення системи балансових рівнянь. Цей метод дає середню вартість за одиницю або граничні ціни функції.

Структурна теорія термoeкономіки. Це стандартне і загальноприйняте математичне формулювання для всіх термoeкономічних методологій. В цій теорії використовують термoeкономічні моделі, які можна виразити лінійними рівняння, в яких враховано всі вхідні та вихідні ексергетичні потоки.

Ексергетична ціна. Цей принцип стверджує, що ексергія є єдиною раціональною основою для використання коштів, сил та засобів. Середні витрати виражають середню кількість ресурсів на одиницю продукту і складають.

$$C_{av,i} = \frac{\dot{C}_{av,i}}{\dot{E}x_i} \quad (1)$$

Граничні витрати є похідними і виражають додаткові ресурси необхідні для виробництва однієї або декількох одиниць продукту за певних умов.

$$C_{marg,i} = \frac{\delta \dot{C}_{av,i}}{\delta E x_i} \quad (2)$$

де \dot{C}_i являє собою середню вартість, пов'язану із забезпеченням кожної одиниці ексергії, $\dot{E}x_i$ – потік ексергії що розглядається.

Ексергія передається вхідними та вихідними потоками речовини, роботи та теплоти, в результаті можна записати [1, 3]:

$$\dot{C}_i = c_i \dot{E}x_i \quad (3)$$

$$\dot{C}_e = c_e \dot{E}x_e \quad (4)$$

$$\dot{C}_w = c_w \dot{E}x_w \quad (5)$$

$$\dot{C}_q = c_q \dot{E}x_q \quad (6)$$

де індекси i та e – відповідно вхід потоку речовини та вихід; w – робота; q – теплота.

Для установок, які працюють від електрики та передають тепло через поверхню, рівняння ексергоекономічного балансу можна записати як [4]:

$$\sum(c_i \dot{E}x_i) + c_w \dot{E}x_w + \dot{Z}_k = \sum(c_e \dot{E}x_e) + c_q \dot{E}x_q \quad (7)$$

Перелік посилань:

1. A. Bejan. Optimization of Complex Energy Systems, 1999, p. 101 – 117.
2. Tsatsaronis G. Recent developments in exergy analysis and exergoeconomics // Int. J. Exergy. – 2008. – No.5/6. – P. 489– 499.
3. A. Mabrouk, J. Labidi, A. Rekik, Mohamed-Razak Jeday. Exergoeconomic Analysis. – Springer International Publishing, 2018.
4. Тарасова В. О. Розвиток теорії та методів термoeкономічного аналізу, синтезу, оптимізації інноваційних систем термотрансформації. – Дисертація д.т.н. – Харків, 2019

Аспірант Махров М.А.
Проф., д.т.н. Пуховий І.І.

ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРАВЛІЧНИХ ВТРАТ СИСТЕМИ ЗАХИСТУ ПРИМІЩЕНЬ ВІД ПЕРЕГРІВУ ВЛІТКУ

Перегрівання приміщень, у теплий період року, переважно залежить від надходження сонячної енергії через вікна. Для вирішення цієї задачі нами була розроблена та запатентована [1] система захисту приміщень від перегріву влітку - Overheating premises protection system (OPPS), яка дозволяє запобігти перегріванню приміщень шляхом переносу енергії сонячного випромінювання на воду, яка циркулює через систему. Система одночасно вирішує дві задач – запобігає перегріву приміщення та забезпечує локально водою, яку можна використовувати для цілей ГВП.

За допомогою САПР SolidWorks проведено дослідження гідравлічних втрат системи захисту від перегрівання приміщень влітку з отриманням води для ГВП [2], за рахунок використання верхнього та нижнього колекторів різного типу.

Метою дослідження було визначити величину гідравлічних втрат в системі, її залежність від розміру та типу колекторів та пошук їх оптимальних параметрів, при яких досягається мінімальна втрата тиску. Великі значення гідравлічних втрат знижують ефективність використання даної системи та вимагають додаткових витрат для забезпечення циркуляції води в контурі.

Для цього в САПР були створені моделі системи з колекторами різних розмірів та форм перерізу (рис. 1).

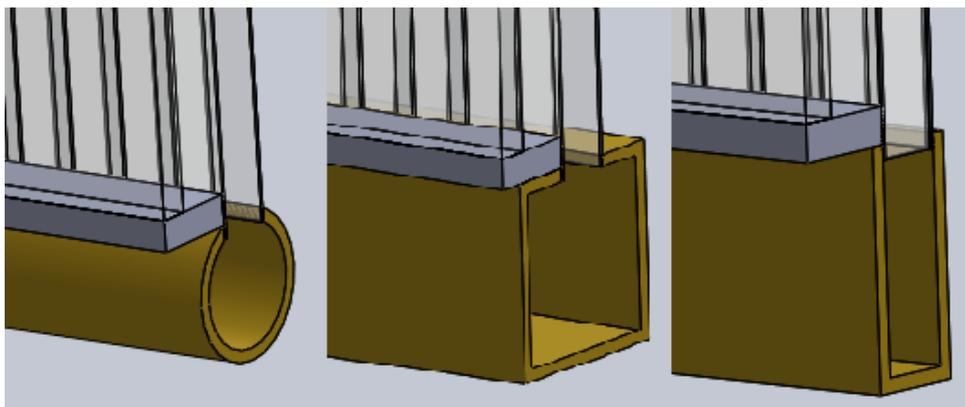


Рисунок 1 – Форми перерізів колекторів

Для дослідження змодельовані колектори круглого перерізу із внутрішніми діаметрами 20, 28 та 36 мм, квадратного перерізу із внутрішніми розмірами 20x20 мм, 28x28мм та прямокутного перерізу із внутрішніми розмірами 28x10 мм (ширина відповідає товщині абсорбера). Для дослідження була задана температура води 20 °С та витрата 560 мл/хв, що відповідає характеристикам реальної системи.

Результати дослідження гідравлічних втрат для колектора круглого перерізу наведені на графіку (рис. 2).



Рисунок 2 – Гідравлічні втрати в системі з колекторами круглого перерізу

Як видно з наведеного графіку мінімальні втрати тиску досягаються при застосуванні колектору круглого перерізу найменшого діаметру, що дозволяє зменшити, як місцеві гідравлічні втрати, так і лінійні втрати. В порівнянні з базовим варіантом (внутрішній діаметр 28 мм) круглий колектор внутрішнім діаметром 20 мм забезпечує гідравлічні втрати зменшуються майже на 1 кПа. Використання колекторів більшого діаметру призводить до збільшення гідравлічних втрат та вартості системи в цілому, тому є недоцільним.

Дослідження моделі з колекторами квадратного та прямокутного перерізу показали незначні відмінності по гідравлічним втратам: 9516 Па для колектору внутрішнього перерізу 28x28 мм, 9742 Па для колектору перерізу 20x20 мм та 9851 Па для колектору прямокутного перерізу 28x10 мм. Таким чином зміна розмірів колектору прямокутного перерізу значно не впливає на величину гідравлічних втрат в системі.

Отже, оптимальним значення гідравлічних втрат досягається при використанні колекторів круглого перерізу з мінімальним діаметром.

Перелік посилань:

1. Пуховий І.І., Махров М.А. Спосіб захисту від перегрівання і використання пасивної системи сонячного опалення та вікон для гарячого водопостачання влітку Пат. України на к. м. № 118236 Опубліковано: 25.07.2017, МПК: F24J 2/42

2. Пуховий І.І., Махров М.А. Система захисту від перегрівання приміщень влітку через вікна та вітражі пасивних систем сонячного опалення, тези зі збірки тез до XVI Міжнародної науково-практичної конференції аспірантів, магістрантів і студентів «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики» м. Київ, 24-27 квітня 2018 року – «Політехніка». - 2018. – Т. 1. - С. 206.

Магістрант 2 курсу, гр. ТП-91мн Швець Н.О.
Доц., к.т.н. Серета В.В.

РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВІДДАЧІ ПІД ЧАС КОНДЕНСАЦІЇ У МІНІКАНАЛАХ

Застосування мініканалів є одним із способів інтенсифікації теплообміну у разі фазових перетворень та робить впровадження мініканалів перспективним напрямом у створенні сучасних конденсаторів із мініканальними трубками (рис. 1). Використання мініканальних систем призводить до забезпечення високого рівня міцності апаратів, підвищення інтенсивності теплообміну, дозволяє зменшити кількість холодоагенту в них.



Рисунок 1 - Багатопортова екструдована трубка [1]. Типовий розмір каналу близько 1 мм.

Проведений порівняльний критичний аналіз результатів експериментальних досліджень різних авторів у разі конденсації різних холодоагентів у середині мініканалів показав, що існує суттєва розбіжність у значеннях експериментальних коефіцієнтів тепловіддачі для кожного з холодоагентів у разі практично однакових масових швидкостей потоку і геометричних параметрах мініканалів.

Враховуючи результати проведеного аналізу, а також висновки із наукових праць [2,3] стосовно незначних змін характеристик двофазного потоку під час конденсації у середині мініканалів, були проведені порівняльні розрахунки тепловіддачі за напівемпіричною залежністю (1) з роботи [4] для розрахунку конденсації у середині гладких труб, яка заснована на теоретичній моделі турбулентної конденсації:

$$Nu_f = 0.0144 Fr_i^{0.36} Pr_i^{0.43} \quad (1)$$

Для порівняння були обрані експериментальні дані досліджень тепловіддачі під час конденсації різних речовин у середині мініканалів з наявних у вільному доступі робіт: [1] - конденсація R134a і R32 у круглих каналах; [2] - конденсація R32 у круглому каналі; [3] – конденсація R134a, R404A та R407C у круглих каналах; [5] конденсація R134a у квадратному, трикутному і напівкруглому каналах; [6] - конденсація R22, R410A та пропану (R290) у круглих каналах; [7] - конденсація R22, R410A і R407C у круглих каналах; [8] - конденсація R290 (пропан) у круглому каналі.

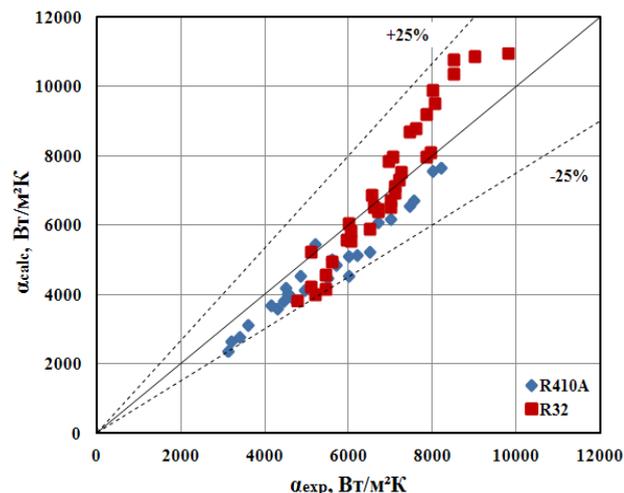


Рисунок 2 - Результати розрахунків за формулою (1) експериментальних даних [2] для випадку конденсації R410A і R32 у середині мініканалів із $d_h = 1,16$ мм

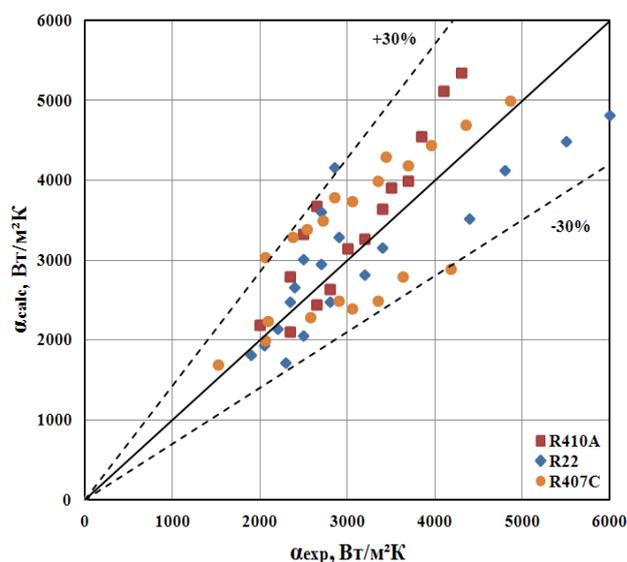


Рисунок 3 - Результати розрахунків за залежністю (1) експериментальних даних [7] для випадку конденсації R410A, R22 і R407C у мініканалах із $d_i = 1,088$ мм і $d_i = 1,289$ мм

Результати проведеного розрахунку показані на рис. 2 та 3 і свідчать, що напівемпірична формула (1), яка заснована на теоретичній моделі турбулентної конденсації, дозволяє узагальнити всі дослідні дані із достатньою точністю (похибка розрахунку складає $\pm 30\%$). Необхідно зазначити, що застосовувати формулу (1) для розрахунку тепловіддачі у разі конденсації різних холодоагентів у середині мініканалів можливо тільки за умови, коли число Re_l знаходиться у межах від $2 \cdot 10^2$ до 10^4 .

Перелік посилань:

1. Matkovic M. Experimental study on condensation heat transfer inside a single circular minichannel / M. Matkovic, A. Cavallini, D. Del Col, L. Rossetto // *Int. J. Heat Mass Transfer*, - 2009. – Vol. 52. - P. 2311 – 2323.
2. Lopez-Belchi A. R32 Heat Transfer Coefficient During Condensation In A Mini-Channel Multiport Tube / A. Lopez-Belchi, F. Illan-Gomez, J.-R. Garcia-Cascales, F. Vera-Garcia // *15th International Refrigeration and Air Conditioning Conference at Purdue, July 14 - 17. – 2014. – 2488. - P. 1 – 10.*
3. Bohdal T. Heat transfer during condensation of refrigerants in tubular minichannels / T. Bohdal, H. Charun, M. Sikora // *Archives of Thermodynamics*, 2016. – № 4. - P. 3–18.
4. Rifert V.G. Substantiation and the range of application of a new method for heat transfer prediction in condensing inside plain tubes / V.G. Rifert, V.V. Sereda, V.V. Gorin, P.A. Barabash, A.S. Solomakha, // *ENERGETIKA: Scientific Journal of the Lithuanian Academy of Sciences*. - 2018. - Vol. 64. - № 3. - P. 146–154.
5. Derby M. Condensation heat transfer in square, triangular, and semi-circular minichannels. / M. Derby, H. J. Lee, Y. Peles, Michael, M.K. Jensen // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2012 – Vol. 55. - P. 187-197.
6. Park K.J. Flow Condensation Heat Transfer Coefficients of R22, R410A and Propane in Aluminum Multi-Channel Tube. / K.J. Park, k.J. Lee, D. Jung // *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*. – 2005. – Vol. 17. - № 7. – P. 649 – 658.
7. Zhang H.-Y. Experimental investigation of condensation heat transfer and pressure drop of R22, R410A and R407C in mini-tubes. / H.-Y. Zhang, J.-M. Li, N. Liu, B.-X. Wang // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. – 2012. – Vol. 55. - P. 3522-3532.
8. Del Col, D., et al., Condensation Heat Transfer and Pressure Drop with Propane in a Minichannel, *International Refrigeration and Air Conditioning Conference*, (2012), 2572, pp. 1 – 9.

Аспірант Цзянгуо Ц.; доц. к.т.н. Романова К.О.
Проф., д.т.н. Варламов Г.Б.

ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ ТА ВАЖЛИВІСТЬ ЇХ ОХОЛОДЖЕННЯ

Науково-технічний прогрес змушує людство створювати нові механізми для вирішення складних енергоємних задач підвищеної складності.

Також, розвиток енергетики і транспорту, завдання підвищення ефективності використання енергетичних ресурсів та інші сучасні тенденції зумовлюють розвиток керуючої та обчислювальної електроніки. У більшості випадків такі електронні пристрої поєднують в собі потужне обчислювальне ядро і потужні канали управління виконавчими пристроями. Продуктивність і функціональність такої електроніки сьогодні постійно росте разом зі складністю і кількістю вирішуваних завдань.

Сучасна потужна електроніка працює в побутовій техніці і пристроях промислового призначення, в стандартних і жорстких кліматичних умовах, вона різноманітна і багатозадачна.

Саме за допомогою сучасних високопродуктивних та потужних обчислювальних комплексів людство вступило в нову стадію свого розвитку.

Під електронним обчислювальним комплексом прийнято розуміти сукупність взаємопов'язаних і взаємодіючих процесорів або ЕОМ, периферійного обладнання та програмного забезпечення, призначеного для збору, зберігання, обробки і розподілу інформації. Відмінною особливістю обчислювальних комплексів є наявність в них декількох обчислювачів, що реалізують паралельну обробку.

Створення високоефективних обчислювальних комплексів у даний час має на меті вирішення наступних основних задач:

- підвищення продуктивності системи за рахунок прискорення процесів обробки даних,
- підвищення надійності та достовірності обчислень,
- надання користувачам додаткових сервісних послуг і т.д.

Головним показником, який відповідає за технічні, експлуатаційні, економічні та ергономічні характеристики роботи обчислювальних систем (ОС) є їх ефективність. Ефективність роботи ОС це сукупність властивостей, що визначають можливість використання ОС за призначенням.

Її можна оцінити чисельно за допомогою показників якості роботи, які повинні мати фізичний зміст, досить повно описувати якість, просто обчислюватися і не суперечити один одному.

Показник ефективності – це вектор, компонентами якого служать показники властивостей, які є показниками якості.

При оцінці ефективності ОС в процесі її розробки або експлуатації зустрічаються з двома труднощами. Перша полягає в тому, що в більшості випадків не вдається встановити єдиний узагальнений показник ефективності, який дозволив би порівняти різні системи і вибрати найкращу.

А друга, і напевно, найбільш вагома полягає у необхідності постійного моніторингу оцінки ефективності роботи обчислювальних комплексів та систем, що дозволить говорити про точність, надійність та достовірність отриманих даних.

На сьогоднішній день в комп'ютерній індустрії існує кілька варіантів охолодження, основними з яких є:

- повітряне охолодження;
- охолодження із застосуванням теплових трубок;

- азотне охолодження;
- фреоновий охолодження;
- рідинне охолодження.

Кожна з представлених систем має свої переваги і недоліки.

Так, наприклад, повітряна система охолодження є найбільш поширеним варіантом охолодження. На процесор встановлюється кулер - радіатор з вентилятором. Тепло від процесора передається радіатору, який охолоджується вентилятором. При такому способі охолодження робочим тілом-охолоджувачем є навколишнє повітря. Основними недоліками таких систем є значний рівень шуму при збільшенні кількості кулерів в корпусі у високопотужних ОС та зворотня залежність ефективності охолодження від рівня температури навколишнього середовища, а саме: чим вище температура повітря у приміщенні, тим нижча ефективність такої системи охолодження.

Принципово новою системою охолодження, яка могла б забезпечувати необхідні режими роботи комплексів обробки інформаційних потоків цілий рік і в будь-який час доби є рідинні системи охолодження обчислювальних комплексів (рис.1).

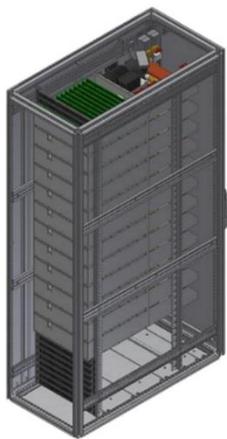


Рисунок – 1.
3-D модель обчислювальної системи на основі рідинного охолодження

Наразі, вченими КПІ ім. І. Сікорського запропонована принципово нова універсальна система охолодження потужних обчислювальних комплексів, заснована на використанні двох типів робочих середовищ (повітряно-рідинної) [8]. Така система реалізує складні високоефективні теплообмінні процеси на основі застосування переваг фазових переходів з використанням ефектів теплообміну у термосифонах.

Авторами запропонована нова конструкція потужного обчислювального комплексу, який реалізує принцип модульності і універсальності по тепловій потужності та місця розташування на земній кулі в т.ч. і в південних широтах земної поверхні.

Перелік посилань:

1. Bacho R.J. State regulation of financial services markets in terms of virtual currencies. Business Inform. - 2015. - № 11. - P. 294–298;
2. X. Zhang, K. Parhi. “High-speed VLSI architectures for the AES algorithm”. IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems, vol. 12, no. 9, pp.957–967, 2004.
3. B. M. Baas, “A low-power high-performance 1024-point FFT processor,” IEEE Journal of Solid-State Circuits, vol. 34, pp. 380–387, March 1999.
4. Blackmorejohn Parry B. and Bornoff R.PCB Thermal Design DEVELOPMENT. – Printed Circuit Design & Fab /circuits Assembly, 2010, Nov., p.30–32.
5. John D.Owens, David Luebke, Naga Govindaraju, Mark Harris, Jens Krüger, Aaron E. Lefohn, Tim Purcell. “A Survey of General-Purpose Computation on Graphics Hardware”. Computer Graphics Forum, volume 24, number 1, 2007, pp. 80–113;
6. John D.Owens, David Luebke, Naga Govindaraju, Mark Harris, Jens Krüger, Aaron E. Lefohn, Tim Purcell. “A Survey of General-Purpose Computation on Graphics Hardware”. Computer Graphics Forum, volume 24, number 1, 2007, pp. 80–113.
7. High Voltage Half Bridge Design Guide for LMG3410x Family of Integrated GaN FETs . Application Report SNOA946A–April 2016–Revised November 2018, p.1-21.
8. Варламов Г.Б, Варламов Д.Г. Багатоканалний термосифон з вертикальною камерою випаровування. Патент України на корисну модель № 122371, 25.01.2018 р., бюл. № 2.

Студент 3 курсу, гр. ТП-81 Трущуненко І.О.
Ст. викл. Голіяд М.Н.

СТИСНЕНИЙ СУХИЙ ГАЗ ЯК АЛЬТЕРНАТИВНЕ МОТОРНЕ ПАЛИВО ДЛЯ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

В 1801 та 1861 рр. французи Ф. Лемон і Ж. Ленуар запропонували та почали використовувати світильний газ (продукт газифікації твердого або рідкого палива) як пальне для стаціонарних двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ). Але недосконалість технічних засобів обумовила їх невдачу [1].

Новий поштовх в розвитку цього напрямку використання газу, як альтернативного моторного палива для ДВЗ, було зроблено в роки першої світової війни (в 1914-1915 рр.) внаслідок значного дефіциту палива під час воєнних дій. Причому на транспорті почали використовувати не лише світильний, а й природний газ.

Стиснений газ як моторне пальне спочатку став використовуватися в країнах Західної Європи. Особливих успіхів в цьому питанні досягли в Італії, де в 1940 р. було використано в якості газового пального ~50 млн. м³ газу для вантажних автомобілів та автобусів. Особливість використання газу тоді в Італії полягала в тому, що на станціях здійснювалася не заправка, а заміна балонів. У 30-40-х роках ХХ ст. основна маса бензину мала октанове число 60-70, а природний і світильний газ - 80, тому використання газу дозволяло значно форсувати двигуни [1].

В Україні перші станції для виробництва стисненого газу як моторного пального (на коксовому газі) були збудовані в Мелітополі та Горлівці в 1939 р. Передбачалося будівництво таких станцій в цілому ряді міст, але на заводі стала війна. В роки війни широко використовувалися газогенераторні автомобілі (ГАЗ-42), газ вироблявся з дров у спеціальному генераторі (по своїм властивостям цей газ наближався до доменного) [1].

В теперішній час АГНКС є практично в усіх обласних центрах і в переважній більшості районних центрів України (в м. Києві, наприклад, знаходяться 4 АГНКС). Збудовані в 60 містах нашої країни 90 АГНКС загальною потужністю 35 тис. заправок на добу можуть забезпечити газовим паливом 68 тис. автомобілів, що дає можливість замінити 630 тис. т бензину на рік [2].

Зараз в світі високий рівень розвитку мереж постачання автотранспортних засобів (замість бензину) стисненим природним газом має досить великий перелік країни. Такі країни, як: Данія, Бельгія, Нідерланди, Японія використовують в якості альтернативного пального зріджені вуглеводневі гази (ЗВГ).

Важливим стимулом переведення автомобілів на газове пальне є зниження токсичних викидів [1,2]. Але не тільки це приваблює використання такого моторного палива. Наведемо моторні властивості природного газу для ДВЗ автотранспортних засобів [1,2].

Насамперед відмітимо, що сумарні витрати на одержання 1 т природного газу в 2,67 рази менші витрат на одержання 1 т бензину (при цьому враховується, що видобування 1 т природного газу обходиться в 10 разів дешевше видобування еквівалентної кількості нафти, проте витрати на транспортування газу по магістральних газопроводах майже в 15 разів перевищують витрати на перекачування нафти по нафтопроводу) [2].

Крім цього, результати експериментальних досліджень автомобільного двигуна під час його роботи на бензині та на природному газі показують [2], що в незначному діапазоні зміни коефіцієнта надлишку повітря α при горінні палива в ДВЗ, характерному для границь запалення бензиново-повітряної суміші ($0,8 \leq \alpha \leq 1,2$), швидкість горіння газоповітряної суміші мало відрізняється від швидкості горіння бензиново-повітряної суміші, чим забезпечується можливість заміщення бензину природним газом без зміни конструкції двигуна. При цьому практично зберігаються термодинамічні параметри циклу ДВЗ та його ККД.

Ці ж самі дослідження показали, що октанове число метану $A = 130$, а природного газу - $A = 120$ (до складу якого входить близько 90 % метану). Відомо, що чим більше число A , тим більше може бути ступінь стиснення ε (вище економічність двигуна). Для карбюраторних бензинових ДВЗ гранична величина ε не може перевищувати 10. Для ДВЗ, що сконструйовані під природний газ, граничне значення ε може складати величину $\varepsilon = 10-14$ [2]. Саме через це природний газ може використовуватися як екологічно чиста добавка до нафтових бензинів для підвищення їх октанового числа.

Однак, високі моторні якості природного газу не можуть бути цілком реалізовані під час переобладнання (без зміни конструкції двигунів) сучасних бензинових карбюраторних ДВЗ на стиснений природний газ. Причина полягає в меншому масовому заряді газу (на 18-20 %; менша густина газу та більший вміст повітря в стехіометричній газоповітряній суміші) в порівнянні з масовим зарядом бензину, що призводить до відповідного (~15 %) зниження потужності переобладнаного двигуна [2].

Відносно використання стисненого ПГ в дизельних двигунах ($\varepsilon = 15-17$ та $\alpha = 1,5-2$) відмітимо наступне. Через високу температуру запалення природного газу (приблизно втричі перевищує температуру самоzapалення соляру) здійснення робочого процесу Дізеля стає неможливим [2].

Природний газ є екологічно більш чистим паливом порівняно з нафтовими моторними паливами (які містять досить велику кількість ароматичних вуглеводнів, сполук сірки, антидетонаційних додатків з вмістом свинцю; усі ці компоненти відсутні в природному газі). Проведені експериментальні дослідження показали, що підвищені значення коефіцієнта надлишку повітря під час використання в ДВЗ природного газу дають змогу збільшити величину ε (ККД циклу) та дещо знизити температуру горіння, зменшивши тим самим утворення оксидів азоту та токсичних продуктів згорання [2].

Холодний запуск газового двигуна здійснити важче, ніж бензинового. Причина криється в більш високій температурі запалювання метану та збільшеній конденсації водяної пари на свічках запалювання порівняно з бензиновими двигунами. Молекула метану має в 1,6 рази більшу масову частку водню, ніж молекула бензину. Це призводить до більшого парціального тиску водяної пари в продуктах згорання, більшої температури точки її роси (на 10-12 °C) та утворенню на свічках запалювання водяної плівки з більшою товщиною. Через це на ДВЗ, що працюють на природному газі, передбачають спеціальні конструктивні заходи (свічки з більш потужним розрядом, регулятори холостого ходу для забезпечення більш точного дозування подачі природного газу під час запуску тощо) [2].

Корозійна агресивність моторних палив зумовлюється наявністю в їх складі домішок сірки та кисневих сполук. В природному газі ці домішки відсутні або ж їх вміст набагато менший, ніж у нафтових паливах. Проте існує руйнівний вплив метану на гумотехнічні вироби двигуна (прокладки, діафрагми газової апаратури та ін.) [2].

Досвід експлуатації газобалонних автомобілів засвідчує зниження корозії двигуна та нагароутворення, відсутність сажі та твердих часток, що спричиняють збільшену зношеність пар тертя. Природний газ не розчиняє (на відміну від бензину) мастило і тому в газових двигунах його витрати значно менші, а термін служби більший (в 1,5-1,8 рази).

Наприкінці відмітимо, що для роботи ДВЗ 1 л бензину еквівалентний 1 м³ стисненому ПГ. Всі газобалонні автомобілі є універсальними газо-бензиновими, що мають дві автономні паливні системи: бензинову та газову.

Перелік посилань:

1. Системи газопостачання: навч. посіб. /М.К. Безродний, М.Н. Голіяд. – Київ : НТУУ "КПІ", Вид-во "Політехніка", 2019. – 128 с.

2. Г.О. Биков, К.І. Капітанчук, М.С. Кулик, І.О. Орлов. Автомобільні газонаповнювальні компресорні станції: Підручник.- К.: Книжкове вид-во НАУ, 2006. – 292

Студент 4 курсу, гр. ТП-71 Грищенко В.І.
Доц., к.т.н. Притула Н.О.

ТЕХНІЧНЕ ПЕРЕОСНАЩЕННЯ КОТЕЛЬНОЇ З ВИКОРИСТАННЯМ СИСТЕМИ AUTOCAD

Енергетична сфера – одна із найважливіших і невід’ємних складових економічного комплексу України. Рівень її розвитку має значний вплив на стан економіки в державі, вирішення проблем соціальної сфери та рівень життя людини. Водночас енергетична безпека є однією з найслабших складових національної безпеки нашої держави внаслідок того, що Україна належить до країн частково забезпечених традиційними видами первинної енергії, а отже змушена вдаватися до їхнього імпорту. Значні втрати при транспортуванні, розподілі та використанні теплоти, монопольна залежність від імпорту енергоносіїв та брак активної політики енергозбереження в країні ще більше ускладнюють ситуацію на енергетичних ринках України [1,2].

Одним із способів зменшити теплові втрати та покращити екологічні показники в теплоенергетиці є заміна старого обладнання і систем на сучасні. Технічне переоснащення котельні є запорукою довготривалої їхньої роботи. При невиконанні переоснащення з’являється ризик підвищення тарифів на опалення та гаряче водопостачання, збільшення економічних втрат на закупівлю палива та погіршення екологічної ситуації, що в сучасному світі являється основною проблемою [3,4].

Технічне переоснащення котельні розроблено у зв’язку з необхідністю заміни застарілого газопальникового обладнання, автоматики управління, необхідністю експлуатації котлів з більш високим ККД, оптимізації існуючої системи теплопостачання, більш ефективного і економічного використання енергоресурсів за рахунок заміни існуючих котлів та встановлення сучасного високотехнологічного допоміжного обладнання.

При технічному переоснащенні котельні виконується заміна діючого обладнання на нове сучасне, що має менші розміри та вагу, та зменшує навантаження на конструкції будівлі. Виконано 3D модель котельні в системі AutoCad, що представлена на рис. 1. Система Autocad компанії Autodesk є основним продуктом в розробленні інженерних систем, теплоенергетичних установок та формування відповідної проектно-інженерної документації [5].

Виконано технічне переоснащення існуючої котельні для забезпечення теплопостачання системи опалення та гарячого водопостачання (ГВП) до споживачів. Технічні характеристики котельні наступні: встановлена проектна потужність котельні – 9 885 кВт, а відповідно загальне приєднане теплове навантаження споживачів 7,688 кВт: на систему опалення – 7,385 кВт; на систему ГВП (максимальне) – 0,303 кВт.

3D модель котельні наглядно демонструє розміщення котлів й допоміжного устаткування необхідного для забезпечення технологічних процесів виробництва теплоти у будівлі існуючої котельні. В котельні встановлено три газових, водогрійних котли фірми «Viessmann» Vitomax LW M62C потужністю 3140 кВт на систему опалення та одного газового, водогрійного котла фірми «Viessmann» Vitoplex 200 SX2A потужністю 465 кВт на систему гарячого водопостачання, з газовими автоматизованими пальниками з модульним регулюванням спалювання газу фірми "ELCO" на котли системи опалення та фірми «GIERSCH» на котел системи ГВП.

Складна екологічна ситуація в Україні, яка зумовлена значною мірою шкідливими викидами підприємств традиційної теплоенергетики потребує впровадження енергозберігаючих заходів та технологій. Є певна залежність між послідовним проведенням політики, спрямованої на збільшення енергоефективності (шляхом реалізації енергозберігаючих заходів) та охороною навколишнього природного середовища (шляхом

позитивного впливу на довкілля). Ефективне енергоспоживання зменшить загальне використання паливо-енергетичних ресурсів, що відповідно зумовить зменшення забруднення довкілля, зокрема, скорочення викидів в атмосферу газів, які виникають у промислових процесах виробництва енергоносіїв.

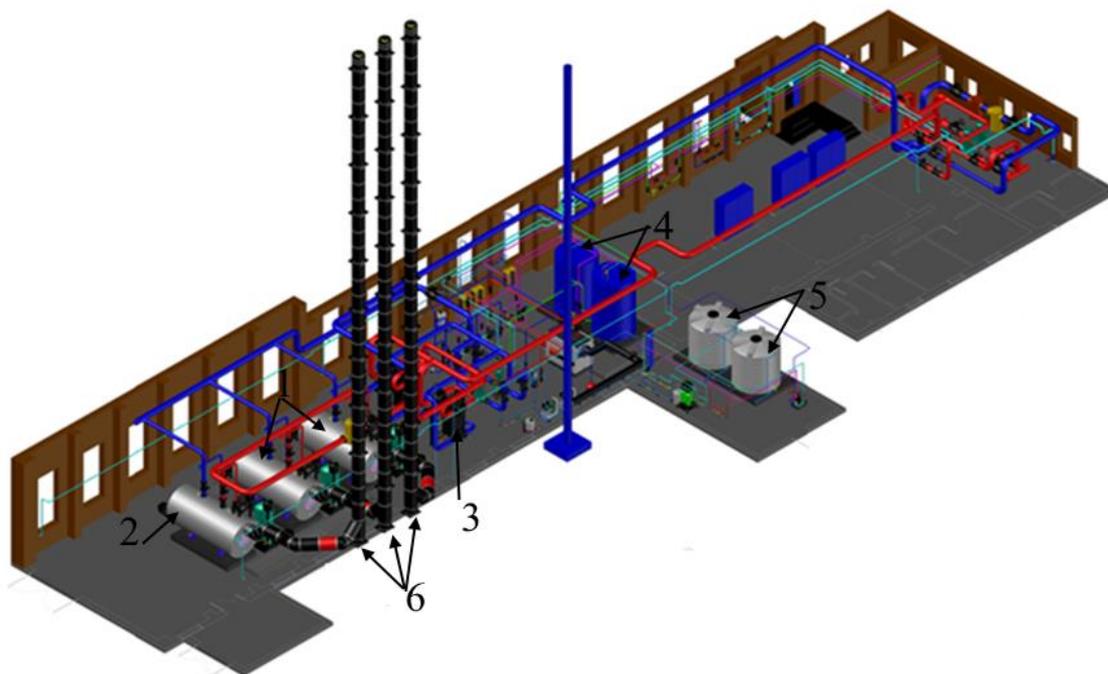


Рисунок 1 – 3D модель котельні, що реконструюється, в системі AutoCad:
1 – котел водогрійний потужністю 3,140 МВт; 2 – котел водогрійний потужністю 0,465 МВт; 3 – теплообмінник нагріву мережної води; 4 – бак запасу води ГВП; 5 – бак запасу підготовленої води, 6 – димові труби.

Для зменшення викидів забруднюючих речовин в атмосферу встановлюються пальники з низькими показниками емісії. Отримані концентрації забруднюючих речовин не перевищують встановлених законодавством України граничнодопустимих викидів. Обсяги викидів забруднюючих речовин (діоксиду азоту, оксиду вуглецю) до реконструкції котельні становлять – 2,27 г/с (11,06 т/рік), після реконструкції котельні – 0,40 г/с (2,38 т/рік). Обсяги викидів забруднюючих речовин (діоксиду азоту, оксиду вуглецю) після реконструкції котельні зменшаться на 1,86 г/с (8,68 т/рік).

Перелік посилань:

1. Варламов Г.Б. Теплоенергетика та екологія: Підручник / Г.Б. Варламов, Г.М. Любчик, В.А. Малярєнко. – Х.: «Видавництво САГА», 2008. – 234 с.
2. Боженко М.Ф. Джерела тепlopостачання та споживачі теплоти: навч. посіб. / М.Ф. Боженко, В.П. Сало. – Київ : ІВЦ «Видавництво «Політехніка», 2004. – 192 с.
3. ДБН В.2.5-77:2014. Котельні. [Чинні від 2015-01-01]. Київ, 2014. 61с. (Інформація та документація).
4. Алабовський О.М. Проектування котельень промислових підприємств: Курсове проектування з елементами САПР : навч. посібник / О.М. Алабовський, М.Ф. Боженко, Ю.В. Хорєнженко. – К.: Вища шк., 1992. – 207 с.
5. Жарков Н.В. AutoCAD 2020. Полное руководство / Н.В. Жарков, М.В. Финков. – СПб.: Наука и Техника, 2020. – 640 с.

Студент гр. ТП-71 Заболотний О.А.
Доц., к.т.н. Боженко М.Ф.

УТИЛІЗАЦІЯ ТЕПЛОТИ ДИМОВИХ ГАЗІВ ПАРОВИХ КОТЛІВ В КОТЕЛЬНЯХ

Котельні систем централізованого теплопостачання поділяються на промислові, опалювальні і промислово-опалювальні, в яких можуть бути встановлені парові та водогрійні котли.

Для теплопостачання житлових, громадських і промислових будівель гарячою водою на опалення, вентиляцію і гаряче водопостачання тепловим навантаженням 42,9 МВт та покриття парового навантаження на технологію витратою 42 т/год в м. Дніпро працює пароводогрійна промислово-опалювальна котельня. Котельня оснащена трьома паровими котлами ДЕ-16-14-ГМ і двома водогрійними котлами КВ-ГМ-20.

За каталогом заводів виробників визначені температури димових газів на виході з парового котла $t'_{г.п} = 157$ °С, водогрійного - $t'_{г.в} = 190$ °С; витрата природного газу на паровий котел $B_{к.п} = 1194$ м³/год, на водогрійний - $B_{к.п} = 2520$ м³/год; коефіцієнт корисної дії парового котла $\eta_{к.п} = 91,8$ %, водогрійного - $\eta_{к.п} = 91,9$ %.

Для підвищення ефективності котельні пропонується встановити за трьома паровими котлами ДЕ-16-14-ГМ, що працюють цілорічно, утилізатори теплоти димових газів, використавши їх для нагрівання сирої води витратою $G_{с.в} = 5,02$ кг/с і хімічно підготовленої води витратою $G_{хво} = 4,19$ кг/с. Дослідження, які були проведені на кафедрі ТПТ показали, що найбільш ефективним утилізатором є поверхневий калорифер.

За заданим складом природного газу за методикою [1] визначені вологовміст продуктів згоряння $d'_г = 0,12$ кг/кг с.п, масова витрата сухих газів $G'_г = 13,16$ кг/м³. Надалі в розрахунках визначаємо масову витрату сухих продуктів згоряння за кожним з котлів, кг/с за формулою

$$L'_{гн} = \frac{B_{кп}}{3600} G'_г \quad (1)$$

З урахуванням наведених вище даних величина $L'_{гн}$ складе 4,36 кг/с.

Ентальпію димових газів на виході з котлів, кДж/кг, визначали за формулою

$$h_{г_i} = c_{с.г_i} t_{г_i} + (2500 + 1,97 t_{г_i}) d'_г, \quad (2)$$

де $c_{с.г_i}$ – теплоємність димових газів, кДж/кг, яку беремо 1 кДж/кг.

Тоді згідно з формулою (2) величина $h'_{г.в} = 494,11$ кДж/кг.

Беремо сухий режим роботи калориферів, тобто температуру димових газів на виході з них $t''_г = 60$ °С, і за формулою вигляду (2) визначаємо ентальпію димових газів на виході з калориферів, яка складе $h''_{г.п} = 374,2$ кДж/кг.

Можливу теплопродуктивність калориферів за димовими газами, кВт, визначаємо за формулою

$$Q_{г_i} = L'_{г_i} (h'_{г_i} - h''_{г_i}). \quad (3)$$

З урахуванням визначених вище величин теплопродуктивність калориферних установок за кожним з котлів складе 522,8 кВт, а сумарна для трьох котлів - $Q_{г} = 1568,4$ кВт.

Необхідне теплове навантаження для нагрівання води власних потреб котельні, кВт, визначаємо за формулою

$$Q_{в.i} = G_{в.i} c_{в} (t''_{в.i} - t'_{в.i}), \quad (4)$$

де $G_{в}$ – витрата води, кг/с; $c_{в}$ - теплоємність води, кДж/(кг·К), беремо 4,19 кДж/(кг·К); $t'_{в}$ і $t''_{в}$ - температури води на вході в калорифер і виході з нього відповідно, °С.

Для нагрівання сирі води від $t'_{c,b} = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $t''_{c,b} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ необхідно витратити $Q_{c,b} = 420,6$ кВт теплоти.

Можлива теплопродуктивність калориферних установок для нагріву хімічно очищеної води визначається за різницею Q_{Γ} і $Q_{c,b}$, яка складе $Q_{xbo} = 1147,8$ кВт.

За формулою вигляду (4) при температурі хімічно підготовленої води на вході $t'_{xbo} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ визначаємо можливу температуру хімічно очищеної води на виході з калориферів, яка складає $90,4\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Таким чином, за першим котлом встановлюються дві калориферні установки, в першій з яких буде нагріватися сира вода (теплопродуктивність установки $Q_{c,b} = 420,6$ кВт), а в другій – хімічно підготовлена вода (теплопродуктивність установки $Q_{xbo1} = 102,2$ кВт і витрата хімічно підготовленої води, що визначена з рівняння вигляду (4) $G_{xbo1} = 0,37$ кг/с). Витрата продуктів згоряння на кожну калориферну установку, які охолоджуються до температури $t''_{\Gamma} = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$, визначена за рівнянням вигляду (3) і для першої з них (нагрівання сирі води) складе $3,50$ кг/с, для другої (нагрівання хімічно підготовленої води) – $0,85$ кг/с.

За другим і третім паровими котлами встановлюються калориферні установки теплопродуктивністю $Q_{xbo2,3}$ по $522,8$ кВт, в кожній з яких нагрівається хімічно підготовлена вода витратою $G_{xbo2,3} = 1,91$ кг/с, а продукти згоряння охолоджуються до температури $t''_{\Gamma} = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Вибір калориферних установок виконаний за методикою [1], результати розрахунків наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Результати вибору калориферних установок

Показник	Калориферні установки			
	T1 за ПК1 для нагріву сирі води	T2 за ПК1 для нагріву хім. підг. води	T3 за ПК2 для нагріву хім. підг. води	T4 за ПК3 для нагріву хім. підг. води
Q_k , кВт	420,6	102,2	522,8	522,8
$(\rho v)_{\Gamma}$, кг/(с·м ²)	2,56	3,2	2,5	2,5
ω_b , м/с	1,0	0,336	0,57	0,57
K , Вт/(м ² ·К)	43,5	38	39,9	39,9
Δt , °С	85,4	47,7	47,7	47,7
Модель, номер	КСк3-9	КСк4-6	КСк4-9	КСк4-9
Кількість калориферів, спосіб під'єднання	$n_{\text{заг}} = 6; N=3;$ $n_k = 6;$ $n_{\Gamma} = 2; n_b = 1$	$n_{\text{заг}} = 4; N=1;$ $n_k = 1;$ $n_{\Gamma} = 4; n_b = 4$	$n_{\text{заг}} = 9; N=3;$ $n_k = 3;$ $n_{\Gamma} = 3; n_b = 3$	$n_{\text{заг}} = 9; N=3;$ $n_k = 3;$ $n_{\Gamma} = 3; n_b = 3$
F_T , м ²	113,2	56,38	274,7	274,7
F_d , м ²	135,5	69,68	338,94	338,94

Примітки: $n_{\text{заг}}$ – загальна кількість калориферів; N – кількість паралельних у фронтальному перетині; n_k – кількість паралельних за напрямком руху води; n_{Γ} і n_b – кількість послідовних за напрямком руху димових газів і води відповідно.

Перелік посилань:

1. Боженко М.Ф. Енергозбереження в тепlopостачанні : Навч. посіб./ М.Ф.Боженко, В.П.Сало. - Київ. : НТУУ «КПІ», 2008. – 268 с.

Студент 4 курсу, гр. ТП-71 Заболотний О.А.
Ст. викл. Голіяд М.Н.

ПОЧАТКОВІ ЕТАПИ СТАНОВЛЕННЯ НООСФЕРИ НА ЗЕМЛІ

Нагадаємо: ноосфера (за акад. Вернадським В.І.) – стан людства, в якому розумна діяльність людини, в сфері взаємодії природи та суспільства, стає визначальним фактором [1].

У червні 1992 р. (коли наявність глобального потепління було визнано усіма провідними фахівцями в галузі фізики атмосфери) на конференції ООН з навколишнього середовища в Ріо-де-Жанейро (Бразилія) 155 держав (в т.ч. й Україна) підписали Рамкову конвенцію ООН про зміну клімату. Вона набула чинності 21 березня 1994 р. Україна ратифікувала цю конвенцію 29 жовтня 1996 р.

Кінцевою метою цієї конвенції було "домогтися стабілізації концентрації парникових газів (CO₂, N₂O, CH₄, тропосферного озону O₃ та інших) в атмосфері на такому рівні, який не допускав би шкідливого антропогенного впливу на кліматичну систему". З часу набуття чинності конвенції відбулося 21 засідання її найвищого органу - Конференції сторін.

Кількісні зобов'язання з обмеження та скорочення викидів парникових газів були визначені в Кіотському протоколі (третя сесія Конференції сторін; грудень 1997 р., Кіото, Японія).

На жаль виконання Кіотського протоколу країнами-учасницями конвенції не досягло бажаних результатів: не вдалося стримати глобальне потепління, зменшити викиди парникових газів до хоча б задовільного рівня. Найбільша сумарна доля забруднень припадає на Китай, США, Індію, Росію та Японію; їх сумарний внесок в загальну емісію парникових газів за 2018 рік складає 58,3% (стосовно України тренд щодо викидів також незадовільний: замість скорочення викидів CO₂ в 2015 р. на 60 %, від рівня 1990 р., був досягнутий рубіж лише в 32 %) [2].

Саме через це на 21-й сесії Конференції Сторін Рамкової конвенції ООН про зміну клімату 12 грудня 2015 року в Парижі була прийнята Паризька угода (юридично обов'язковий міжнародний договір по зміні клімату, який вступив в силу 4 листопада 2016 року [3]).

Завдання Паризької угоди - утримання приросту глобальної температури в найближчі 2-3 десятиліття на планеті не вище (1,5 - 2) градуси Цельсія від доіндустріального рівня. Особливості цієї угоди, що докорінно відрізняє її від Кіотського протоколу наступні: кожна країна самостійно визначає свій внесок у вирішення проблеми зміни клімату на планеті; за невиконання плану не передбачено санкцій, забороняється продаж невикористаних лімітів CO₂, відмінено сталий внесок; основний курс – обмежувати не викиди, а видобуток та особливо використання копалин, спалення яких спричиняє ці викиди.

З цієї причини зараз вся світова спільнота пропагує ідею декарбонізації. Тобто перебудову економіки і енергетичних систем з метою різкого зменшення викидів CO₂, що в перспективі забезпечить зниження навантаження на навколишнє середовище. Повна декарбонізація енергосистем є єдиним рішенням для стабілізації клімату. В ідеалі, для досягнення нульових чистих викидів необхідно перейти на чисті (без вуглецю) джерела теплової енергії.

Сутність декарбонізації енергетики та всієї економіки держав світу полягає в найменшому використанні енергетичних палив (в перспективі й повного їх виключення в застосуванні), які мають в своєму складі вуглець, для потреб вироблення теплової енергії.

Кількісно ефективність декарбонізації економіки можна визначити в зниженні CO₂ на одиницю ВВП (тонна / дол США / чол). Теж саме для енергетики - зниження викидів CO₂ на одиницю виробленої енергії.

Як відомо при спалюванні таких палив утворюється CO₂- доволі інертний (хімічно не активний) газ, який є основою всього розмаїття парникових газів. Більш того, для можливості порівняння здатності кожного з парникових газів відбивати теплове випромінювання від поверхні Землі було введено поняття глобального потенціалу потепління, а вуглекислий газ був обраний як газ-еталон (як метр - міра довжини в системі СІ). Наприклад, для метану потенціал глобального потепління складає 21, а для закису азоту - 310 [1].

Природньо, що для такої держави як Україна (обсяг виробництва електроенергії на ТЕС близько 45 %; основний вид палива - вугілля; маневровий режим роботи ТЕС; фізична зношеність їх основного обладнання та недостатнє фінансування; моральне старіння існуючих енергоблоків і як результат зниження ефективності їх роботи; ККД станцій - близько 33%; питомі витрати палива на виробництво електроенергії - 375 г.у.п./(кВт-год)) реалізація програми декарбонізації енергетичної галузі, на сьогоднішній день, неможлива. Заміна частки електроенергії, що виробляється на ТЕС, її виробництвом на АЕС також неможлива через старіння блоків власне АЕС і проблему захоронення відходів (більшість країн Західної Європи взагалі відмовляються від виробництва енергії на АЕС).

Стосовно декарбонізації всієї економіки нашої країни можна відмітити такі заходи: як переведення транспорту на електротягу, відмова спалювання органічного палива, твердих міських відходів, побутових стоків в житловому секторі та комунально-побутовому господарстві, обладнання полігонів для побутових відходів установками по виробництву та збору біогазу і т.п.

Не треба забувати також про підвищення ефективності використання палива та енергозбереження, відновлювальні енергетичні ресурси (гідро-, вітро-, сонячна енергетика, геотермальні ресурси) [1-3].

Перелік посилань:

1. Калыгин В.Г. Промышленная экология: Курс лекций. – М.: Изд-во МНЭПУ, 2000. – 240 с.
2. Statistical Review of World Energy 2019.
3. https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_russia_n_.pdf

УДК 697.1

Студент 4 курсу, гр. ТП-71 Кравчук К.С.
Доц., к.т.н. Боженко М.Ф.

УТИЛІЗАЦІЯ ТЕПЛОТИ ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ ВИКИДІВ НА ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

У зв'язку з загальним енергетичним дефіцитом необхідно шукати шляхи економії теплової енергії і в системах вентиляції й кондиціонування повітря промислових будівель. Одним з напрямків удосконалення і скорочення енергоємності систем вентиляції і кондиціонування є використання для нагріву припливного повітря теплоти низькотемпературних ВЕР.

Теплоносієм ВЕР може використовуватися теплота вентиляційних викидів місцевої або загальнообмінної вентиляції; газоповітряної суміші, яка видаляється від технологічного обладнання; води зворотних систем, які охолоджують технологічне обладнання тощо.

Для утилізації теплоти вентиляційних викидів можуть бути використані регенеративні обертові теплоутилізатори; пластинчасті теплообмінники; теплообмінники з проміжним теплоносієм; теплоутилізатори рекуперативні на базі теплових труб; кондиціонери – утилізатори; КТАНи – повітрянагрівачі систем опалення і вентиляції тощо.

Відомо, що регенеративні теплоутилізатори є одними з найбільш поширених при утилізації теплоти вентиляційних викидів. До їх переваг відносяться висока ефективність утилізації, що характеризується коефіцієнтом температурної ефективності η_t при порівняно низьких значеннях аеродинамічного опору ΔP . Компактність цих утилізаторів характеризується відношенням площі теплопередавальної поверхні F до об'єму утилізатора V біля $3000 \text{ м}^2/\text{м}^3$.

В механічному цеху машинобудівного заводу, розташованому в м. Києві, внутрішнім об'ємом $V_{\text{вн}} = 50000 \text{ м}^3$ здійснюється модернізація системи припливно-витяжної механічної вентиляції.

Визначаємо необхідну об'ємну витрату припливного повітря, $\text{м}^3/\text{год}$

$$V_{\text{п}} = m V_{\text{вн}}, \quad (1)$$

де m – кратність повітрообміну, год^{-1} .

За галузевими стандартами беремо величину $m = 2 \text{ год}^{-1}$, тоді витрата припливного повітря згідно з формулою (1) складе $100000 \text{ м}^3/\text{год}$. Така ж витрата повітря буде видалятися з приміщення цеху.

За отриманою витратою повітря обираємо дві припливно-витяжні установки номінальною повітропродуктивністю $63 \text{ тис. м}^3/\text{год}$ кожна з регенеративними обертовими теплоутилізаторами. Загальна площа теплопередавальної поверхні кожного з утилізаторів складає $F_3 = 10950 \text{ м}^2$, а площа фронтального перетину (за кожним з потоків) $f_{\text{фр}} = 5,55 \text{ м}^2$.

За методикою [1] при температурі зовнішнього повітря $t_{\text{н1}} = t_{\text{р.о}} = -22 \text{ }^\circ\text{C}$ і того, що видаляється при температурі $t_{\text{в1}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, визначені густини повітря, які відповідно складають $\rho_{\text{н1}} = 1,406 \text{ кг}/\text{м}^3$ і $\rho_{\text{в1}} = 1,2 \text{ кг}/\text{м}^3$, а далі – масові витрати зовнішнього повітря $L_{\text{н}} = 39,06 \text{ кг}/\text{с}$ та того, що видаляється $L_{\text{в}} = 33,33 \text{ кг}/\text{с}$.

У подальшому для кожного з теплоутилізаторів визначені відношення водяних еквівалентів припливного та видалюваного повітря $\bar{\omega} = 1,17$, масова швидкість видалюваного повітря у фронтальному перетину $(\rho v_{\text{ф}})_{\text{в}} = 3,52 \text{ кг}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$, число одиниць переносу теплоти за потоком повітря, що видаляється $N_{\text{в}} = 6,22$, і коефіцієнт температурної ефективності утилізатора за потоком повітря, що видаляється, $\eta_{\text{тн}} = f(N_{\text{в}}, \bar{\omega}) = 0,7$.

Кінцева температура повітря, що нагрівається в утилізаторах, $^\circ\text{C}$, визначається за формулою

$$t_{н2} = t_{н1} + \eta_{tн} (t_{в1} - t_{н1}) . \quad (2)$$

З урахуванням визначених вище величин температура $t_{н2} = 7,4 \text{ }^\circ\text{C}$.

За $h-d$ – діаграмою (див. рис. 1) за отриманою температурою $t_{н2}$ визначена ентальпія зовнішнього повітря після теплоутилізатора, яка складає $h_{н2} = 9 \text{ кДж/кг с.п.}$

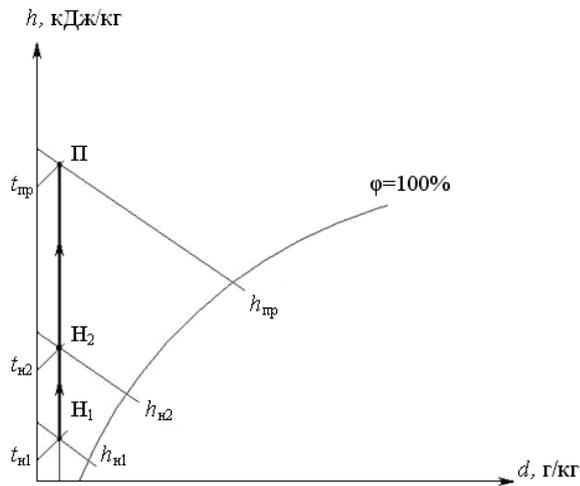


Рисунок 1 – Процес зміни стану зовнішнього повітря

Потік утилізованої теплоти вентиляційних викидів, кВт, визначали за формулою

$$Q_{ут} = L_n (h_{н2} - h_{н1}) , \quad (3)$$

де $h_{н1}$ – ентальпія зовнішнього повітря при температурі $-22 \text{ }^\circ\text{C}$, яка дорівнює $-20,6 \text{ кДж/кг}$.
Тоді величина $Q_{ут}$ складе 1156 кВт .

Річна кількість утилізованої теплоти вентиляційних викидів, ГДж/рік, визначена за формулою

$$Q_{ут.річ} = Q_{ут} \frac{t_{вн} - t_{ср.о}}{t_{вн} - t_{р.о}} n_o z_b 3,6 \cdot 10^{-3} , \quad (4)$$

де $t_{вн}$ – розрахункова температура внутрішнього повітря у приміщенні цеху, $^\circ\text{C}$; $t_{ср.о}$ – середня температура зовнішнього повітря за опалювальний період, $^\circ\text{C}$; n_o – продовжуваність опалювального періоду, діб; z_b – кількість годин роботи вентиляції за добу.

Беремо за нормативними і кліматологічними даними $t_{вн} = 16 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{ср.о} = -0,1 \text{ }^\circ\text{C}$; $n_o = 176$ діб; $z_b = 16 \text{ год/добу}$, тоді величина $Q_{ут.річ}$ складає 4965 ГДж/рік .

З урахуванням вартості одиниці теплоти $1654,41 \text{ грн/ГКал}$ ($394,85 \text{ грн/ГДж}$) ефективність утилізації складе 1960430 грн/рік .

Перелік посилань:

1. Боженко М.Ф. Энергозбереження в теплопостачанні : Навч. посіб./ М.Ф.Боженко, В.П.Сало. - Київ. : НТУУ «КПІ», 2008. – 268 с.

Студент 4 курсу, гр. ТП-71 Кравчук К.С.; курсу, гр. - Варавва І.Г.
Проф., д.т.н. Пуховий І.І.

ЗМЕНШЕННЯ РІВНЯ СВІТОВОГО ОКЕАНУ ШЛЯХОМ НАКОПИЧЕННЯ ЛЬОДУ З МОРСЬКОЇ ВОДИ НА ОСТРОВІ ГРЕНЛАНДІЯ

В зв'язку з глобальним потеплінням, постає проблема танення льодовиків, яка стає все масштабнішою і приводить до підвищення рівня світового океану з наслідками затоплення суші. Вчені всього світу намагаються вирішити її зменшенням викидів парникових газів. В Потсдамському інституті кліматичних змін пропонують встановити в Антарктиді насосні станції для отримання снігу з морської води з метою компенсації танення льоду на шельфі континенту. Висота антарктичного крижаного покриву досягає 4000 метрів [або 2,5 милі], а це вимагає величезної кількості енергії. Спотрібно більше однієї десятої нинішніх щорічних світових поставок енергії [1].

Проведений нами аналіз умов Гренландії показав, що майже по всій береговій лінії є ділянки, вільні від багаторічного льоду, і вони мають ширину до 200 – 250 км. там є можливість розміщувати лід, забираючи воду з океану. При цьому воду слід піднімати не вище 10 – 150 м. Острів Гренландія входить до складу Королівства Данія і є найбільшим островом планети. В центрі острова розташований льодяний масив висотою 3-4 км. Близько 80% площі Гренландії вкрито льодом. Верхні шари льоду переміщуються від центру до західних і східних краях льодовика з середньою швидкістю близько 150 м за рік. У країв швидкість зростає, на окремих ділянках в рух приходить вся товща льоду і утворюються вивідні льодовики - вузькі, довгасті відростки щита, які по долинах досягають океану. Вивідні льодовики рухаються зі швидкістю 20-40 м на добу і дають початок айсбергам (до 100-135 м висоти над рівнем океану), які виносяться в північну частину Атлантики і становлять велику небезпеку для судноплавства. На північному схилі щита лід малорухомий [2].

Східне узбережжя омивається холодною Східно-Гренландською течією і майже протягом усього року блоковано плавучим льодом, що приноситься з центральної частини Північного Льодовитого океану. Більш доступне з моря південно-західне узбережжя, що омивається теплими водами Західно-Гренландської течії. Північне узбережжя острова блоковано льодом протягом усього року. Береги сильно порізані глибокими і довгими фіордами, що доходять до країв крижаного щита. За загальна протяжність берегової лінії досягає 39 тисяч км, ділянки непокритою льодом суші простягаються у вигляді безперервної смуги уздовж берегів острова, досягаючи місцями ширини 200-250 км. Найбільш значні території вони займають на південно-заході і півночі острова і являють собою плоскогір'я заввишки 400-600 м, що чергуються з гірськими масивами висотою до 1700-2000 м. Східне узбережжя утворює покриті гірськими льодовиками хребти, в одному з яких - хребет Уоткінс - розташована найбільш висока вершина Гренландії і всієї Арктики - Гунбьорн, 3694 м, на заході древній кристалічний щит виходить на поверхню, утворюючи широкий, але переривчастий пояс масивів і нагір'їв узбережжя моря Баффіна. Північний берег Гренландії - Земля Пірі - також вільний від крижаного покриву, з огляду на низьку вологість повітря, нездатного поновлювати втрати льоду

Клімат прибережних районів Гренландії мінливий. Він найбільш м'який на південно-західному узбережжі. Середні температури липня в Какортоку - +9,6° С, в Нууке - +8,3° С, а в січні, відповідно, - -7,8° С і -10,7° С.

Найнижчі температури спостерігаються в центрі острова, взимку на льодовиковому щиті температура нерідко опускається нижче -60° С, а влітку не піднімається вище -12° С.

На західному узбережжі також холодно. У Пітуффіке середня температура січня - 27° С. Тут з льодовикового покриву зі швидкістю до 70 км /год дмуть сильні стокові вітри.

Взимку бухти навіть на західному узбережжі на північ від острова Діско замерзають на 0,7 м.

Дослідники з Каліфорнійського університету в Ірвайні і Лабораторії реактивного руху NASA зібрали дані про льодовики Гренландії за останні 46 років та визначили, яку кількість льоду острів втрачав кожне десятиліття.

Раніше кліматологи з Університету штату Огайо, показали, що найбільша втрата льоду з 2003 по 2013 рік сталася в південно-західному регіоні Гренландії.. льодовиків. Вчені визначили, що з 1972 року Гренландія викликала підвищення рівня Світового океану майже на 14 міліметрів, причому половина припала на останні вісім років. Один міліметр підйому дорівнює 360 мільярдам тонн льоду.

Танення відбувається нерівномірно. Приміром, льодовик Якобсхавн за означений період втратив 323 мільярди тонн, що вже майже відповідає одному міліметру, а льодовик Гумбольдта - 152 мільярда тонн. Якщо почнуть активно танути такі льодовики, як Ніогальфьєрфьорден (Nioghalvfjerfjorden) і Захарія Ісстрьом (Zachariae Isstrøm), то при їх зникненні рівень Світового океану підніметься на один метр.

На думку Ріньо, причини численні. Серед них - і підвищення температури, і теплі океанічні води, які приходять з Атлантики.

Джерелом цього снігу повинні стати «трильйони тонн води», яку будуть викачувати з океану і за допомогою снігових гармат розпорошувати над шельфовими льодовиками.

Такий план передбачає установку близько 90 промислових насосних станцій для відкачування води з океану, і транспортування її на континент через трубопроводи, стійкі до низьких температур.

Розглянемо такий приклад: загальна площа світового океану становить $F = 361 \times 10^6 \text{ km}^2$.

Об'єм води, яку необхідно заморозити становить $V = 361 \times 10^6 \times 1 \times 10^{-3} \times 10^6 = 361 \times 10^9 \text{ м}^3$. Прийmemo необхідний напір 100м, тоді потужність насосів становитиме $Q = 361 \times 10^9 \times 100 = 36.1 \times 10^{12} \text{ м}^3$ за рік. Розрахований нами об'єм води співпадає з

даними [3]. За 9 місяців витрата води становитиме $V_{9\text{міс}} = \frac{36.1 \times 10^9}{9 \times 30 \times 24 \times 3600} = 15474.97 \text{ м}^3/\text{с}$.

Середня за рік потужність насосів, приймаючи час їх роботи 9 місяців насосів з урахуванням ккд:

$$P = \frac{Q \times \rho \times g \times H}{3600 \times 102 \times \eta_n \times \eta_{\text{п}}} = \frac{36.1 \times 10^{12} \times 1025 \times 9,8 \times 100}{3600 \times 102 \times 0,83 \times 0,90} = 132,2 \times 10^{12} \text{ Вт}$$

ЦЕ СКЛАДАЄ БІЛЯ 132 млрд. т . Пікову потужність в найхолодніший період можна оцінити біля 2000 МВт. Це є потужність середньої АЕС. Цю потужність можна забезпечити встановленням біля 300 вітроагрегатів по 1 СВт з врахуванням змінності швидкості вітру. При вартості агрегатів з їх монтажем у важких умовах біля 1000 дол. за кВт потрібні інвестиції біля 300 млрд доларів.. Ще 10-40 млрд потрібно затратити на насосні станції і трубопроводи чи канали для підведення морської води.. Сума з врахуванням інших робіт не перевищує 400 млрд доларів США, що є допустимим для екологічних спонсорів і багатих держав. Особливий внесок повинні дати країни, що можуть бути затопленими.

Перелік посилань:

1.<https://nv.ua/techno/popsience/iskusstvennyy-sneg-mozhet-reshit-problemu-tayaniya-lednikov-50032778.html>.

2.<https://www.unian.ua/ecology/ecologyclimate/10528287-tanennya-lodovikiv-grenlandiji-priskorilosya-mayzhe-v-shist-raziv-z-80-h-rokiv.html>.

3. Гренландія-Вікіпедія.

УДК 697.1

Студент 4 курсу, гр. ОТ-71 Крамаренко С.О.
Доц., к.т.н. Білоус І.Ю.

ОЦІНКА ВПЛИВУ ЛІНІЙНИХ ТЕПЛОПРОВІДНИХ ВКЛЮЧЕНЬ В МІСЦЯХ ПРИМИКАННЯ ВІКОННОЇ РАМИ ДО ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЛІ

Будівлі є основним споживачем енергетичних ресурсів в Україні, де основна складова витрат становить витрати на потреби опалення. Зменшення цієї складової є можливе шляхом покращення теплотехнічних характеристик огорожень та використання сучасних інженерних мереж/технологій. В стандартах для розрахунку енергетичної ефективності будівель в Україні, в їх основі лежать стаціонарні та квазістаціонарні методи розрахунку, лінійні та точкові мостики холоду не враховуються або враховуються укрупнено через надбавку до коефіцієнту теплопередачі зовнішньої стіни [1]. Лінійні мостики холоду виникають в місцях примикання віконної рами або плити перекриття до зовнішньої стіни і т. д. В загальному енергобалансі втрати тепла через стіни можуть досягати 30%, що також спричинено теплопровідними включеннями. Особливістю теплопровідних включень є поява додаткових теплових потоків, які зменшують загальний опір теплопередачі огорожувальної конструкції та збільшують втрати тепла. Частка втрат тепла вікна через відкос може досягати 15% [2]. Всі нові будівлі в країнах ЄС повинні будуватися як будівлі з майже нульовим споживанням енергії. Україна також приєдналася до країн, які рухаються в напрямку нульового споживання енергії будівлями (nZEB). В значній мірі досягнення рівня nZEB можливе за рахунок утеплення та/або заміни огорожень, а отже врахування теплопровідних включень стає особливо важливим [3].

Метою роботи є визначення приведенного термічного опору з врахуванням лінійних мостиків холоду в місцях примикання вікна до стіни на основі імітаційного моделювання за різними методиками.

Об'єкт дослідження – процес оцінювання приведенного термічного опору огорожень будівлі, що відповідають сучасним вимогам теплового захисту.

В роботі розглянуто елемент зовнішнього огороження розміром 4×2,8 м з двокамерним енергозберігаючим вікном розміром 1,4×1,5 м. Вікно – двокамерний склопакет типу 4M1-10-4M1-10-4M1 з повітряним заповненням камер. Розглянуто два типи зовнішніх стін, які складаються з 4-х шарів. Несучий шар конструкції виконаний: 1) з газоблоків 400 мм; 2) з силікатної цегли в 1,5 цеглини – 375 мм. Для досягнення сучасних вимог до теплозахисних властивостей огорожень додано шар мінеральної вати товщиною 100 мм.

Розрахунок проводився для розрахункових ($t_{p.o}=-22^{\circ}\text{C}$) та середніх ($t_{c.o}=-0.1^{\circ}\text{C}$) опалювальних умов для м. Київ та відносній вологості 75%. [4] Внутрішня температура повітря 20°C, відносна вологість 55% [1].

Проведено аналіз визначення приведенного опору теплопередачі огороження будівлі з врахуванням лінійних мостиків холоду в місцях примикання віконної рами до стінки на основі різних методик, а саме: ДСТУ Б В.2.6.-189:2013, ДСТУ Б А.2.2-12:2015, EN 12831:2003 [5-7] (рис. 1). У EN 12831:2003 вплив лінійних мостиків холоду включено до розрахунку питомого коефіцієнту теплопередачі вікна, тоді як стандарти ДСТУ Б А.2.2-12:2015 та ДСТУ Б В.2.6-189:2013 враховують цю складову при зовнішній стіні. Стандарт ДСТУ Б В.2.6-189:2013 дозволяє враховувати деталізовано лінійні та точкові теплопровідні включення, але може бути використаний лише для будівель, які відповідають сучасними вимогам до теплового захисту.

За отриманими результатами слідє, що за стандартом EN 12831:2003, який орієнтований на розрахунок навантаження на систему опалення, вплив теплопровідних

включень для розглянутого огороження мінімальний, та становить 0,26-0,52% порівняно з показниками без врахування теплопровідних включень, що пояснюється методикою розрахунку, а саме величина теплопровідного включення враховується в частині світлопрозорого огороження (рис. 1).

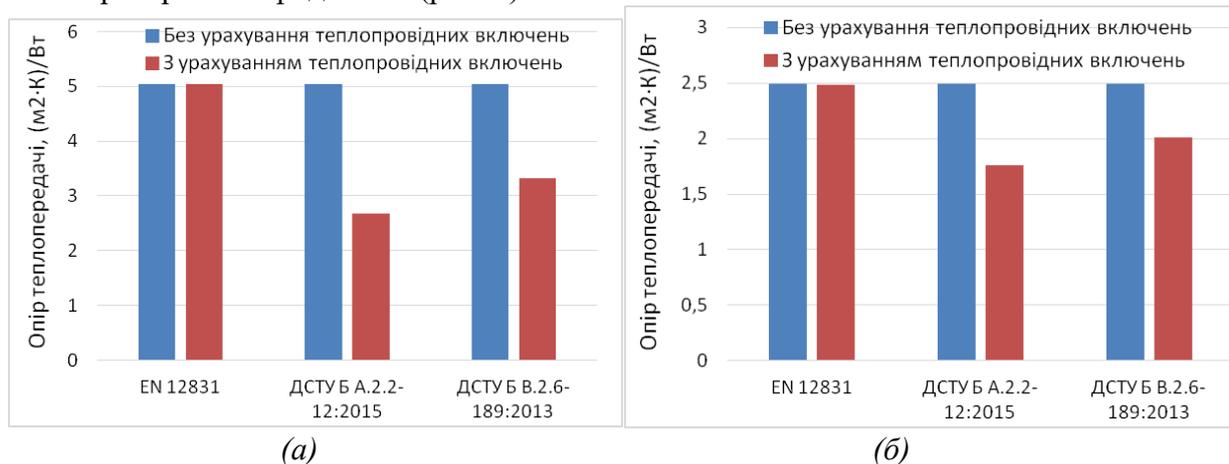


Рисунок 1— Опір теплопередачі елемента фасаду з врахуванням теплопровідних включень для кладки з газоблоків (а) і кладки з силікатної цегли(б)

Результати розрахунків за стандартами ДСТУ Б А.2.2-12:2015 (який орієнтований на розрахунок енергоспоживання на потреби опалення, охолодження, ГВП та освітлення) та ДСТУ Б В.2.6-189:2013 (найбільш деталізований варіант врахування теплопровідних включень серед розглянутих) ілюструють зменшення опору теплопередачі стіни після врахування теплопровідних включень на 30-47% і 19-34% (рис.1), відповідно для розглянутих варіантів стін, що свідчить про істотний вплив мостиків холоду на теплофізичні властивості огорожень будівлі. Потрібно відмітити, що врахування теплопровідних включень розраховане за ДСТУ Б А.2.2-12: 2015 та ДСТУ Б В.2.6-189:2013 досить близькі, але розрахунок за ДСТУ Б А.2.2-12: 2015 досить спрощений, що зменшує час розрахунку без втрати якості.

Перелік посилань:

- 1 Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні / ДСТУ Б А.2.2-12:2015 [Національний стандарт України] – К.: Мінрегіон України, 2015, - 203 с.
- 2 Семенова Э.Е., Самсонова М.Г., Нецепляев Д.Е., Компанец В.Ю. Пути повышения энергоэффективности гражданских зданий. Инженерные системы и сооружения. - 2019. - №3 (36). - С. 20-24.
- 3 Дешко В. І., Білоус І.Ю., Крамаренко С.О. Додаткові тепловтрати в місцях примикання віконної рами до огорожувальних конструкцій. *Науковий журнал «Енергетика: економіка, технології, екологія»*. Випуск №2 Київ 2020. С 36-43.
- 4 ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія. К., 2011. 127 с.
- 5 Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель / ДСТУ Б В.2.6-189:2013 [Національний стандарт України]– К.: Мінрегіон України, 2013, - 55 с.
- 6 EN 12831:2003 E Heating systems in buildings – Method for calculation of the design heat load. (Опалювальні системи в будівлях – Розрахунок теплових навантажень). CEN, 2003. P. 76.
- 7 Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні / ДСТУ Б А.2.2-12:2015 [Національний стандарт України] – К.: Мінрегіон України, 2015, - 203 с.

ПРОБЛЕМА ВОДОПОСТАЧАННЯ ПРІСНОЮ ВОДОЮ В УКРАЇНІ ТА ЇЇ ВИРІШЕННЯ

Доповідь зроблено на основі роботи [1]. На сьогоднішній день Україна займає одне з найостанніших місць у Європі по забезпеченню прісними водними запасами (близько 1000 м³ на душу населення; цей показник у середньому по Європі – в 4,6 разів більший).

Треба розрізнити поняття водокористування та водоспоживання. Перше з цих понять характеризує відношення структур суспільства до джерел природної води, які відрізняються використанням цих джерел як середовищем проживання різноманітних представників флори та фауни, що їх населяють (рибальство, розведення риб, добування різних корисних рослин та т.п.), як транспортними артеріями для перевезення пасажирів та різноманітних вантажів, як, нарешті, масовими місцями відпочинку населення (пляжі, курорти тощо).

Характерною рисою водокористування є якісне виснаження ресурсів джерел природної води, яке пов'язане з безпосередніми забрудненнями водою від транспортних засобів, що там використовуються, та впливом локальним систем водоспоживання і глобальним антропогенним впливом людства на природне середовище (зниження рН прісних вод, підвищення вмісту іонів кальція, магнія, кремнію в підземних та річкових водах через вимивання та розчинення підкисленими дощовими водами карбонатних та інших гірських порід, підвищення вмісту в природних водах іонів важких металів, фосфатів, нітратів, нітритів та ін., зниження вмісту кисню в природних водах через евтрофікацію водоймищ).

Водоспоживання характеризується використанням природної води з її джерел як робочим тілом для безпосереднього живлення систем водопостачання населення (питною водою, яка готується з природної), комунальних та промислових підприємств (енергоносієм, який також, відповідним чином, готується з природної води).

Мабуть одним із найбільшим водоспоживачів залишається сільське господарство (в основному для поливного вирощування овочів, фруктів та інших культур). Тобто, за визначенням для водоспоживання водних ресурсів та незворотні втрати води.

Перспектива світового водоспоживання цілком безрадісна, враховуючи, що тренд на збільшення питомих втрат природної прісної води повністю зберігається при одночасному збільшенні населення Землі та зростанні об'ємів промислового та сільськогосподарського виробництва.

Таким чином, можна відмітити, що одним із шляхів вирішення цієї комплексної загальної для всього людства проблеми ми бачимо в тотальному створенні замкнутих систем водопостачання для промислових підприємств із використанням сучасних способів та методів знешкодження їх стічних вод. Іншим резервом зменшення водоспоживання є запровадження індивідуальних (для кожної технологічної операції, а не для всього потоку стічних вод із підприємства; своєрідна спеціалізація очищених стоків – водоочищувальна система як продовження основної товарної технології підприємства) очисних установок.

Стосовно компенсації втрат прісної води в сільськогосподарському виробництві відмітимо наступне. На часі широке запровадження (замість природної води для поливного вирощування овочів, фруктів та інших культур) крапельної меліорації (досвід Ізраїлю, що став світовим) та використання власне стічних вод (так звана технологія природного очищення стічних вод) на полях зрошування: після механічного, фізико-хімічного та біохімічного очищення такі стічні води направляються на поля зрошування для поливного вирощування культур; у неполивний період води скидаються в біологічні ставки для їх доочищення; зараз ці технології використовуються для стічних вод харчової промисловості,

зокрема, для стоків спиртових заводів; до речі, ґрунт – найнадійніша та найпотужніша система очищення; наприклад, ГДК для фенолів, що подаються на ґрунтове очищення, - 100 мг/л, що в 106 разів більше відповідної величини при скиданні стоків до водоймищ.

Відомо, що для нормальної життєдіяльності природних водоймищ промислові та міські стічні води після механічного та біологічного їх очищення повинні ще в 20-30 разів розбавлятися природною водою. Тільки при цій умові вода, що забруднена стічними водами, може відновлювати свої природні властивості.

Опріснена вода, як правило, дорожча (через витрати енергії на обробку вихідної морської або річкової води) за природну вихідну прісну воду з поверхневих або підземних джерел, але треба ж їх мати в достатній кількості, чого, на жаль, не спостерігається (як у випадку з Україною). До речі, виснаження запасів природних прісних вод – серйозна проблема не тільки в нас, а й в усьому світі.

Торкнемося екологічних питань. Використання технологій концентрування вихідного водного розчину (природні морська, річкова, підземна води, додамо також до цього переліку побутові та промислові стічні води) з наступним отриманням опрісненої води для вирішення важливого (майже кризового) питання для України – забезпечення держави достатньою кількістю прісної води – породжує додатково ще два потоки (окрім опрісненого) води, а саме: потік стічної води після попередньої обробки вихідної води перед опріснювальною установкою та концентрований потік природної води після неї.

Зупинимося на питанні про те, що робити з концентрованим потоком природної води після опріснювальної установки.

Досвід передових (у питанні забезпечення екологічної безпеки від потоків сольових розчинів після опріснювальних установок) країн такий. Для цих сольових потоків, окрім підвищеного солевмісту, характерними є температура, яка вища за температуру навколишнього середовища (приблизно на 10-15°C), та деякі залишки попередньої обробки води перед опріснювачем, побічні продукти їх реакції та важкі метали (через корозію). Для обмеження негативного екологічного впливу ці потоки зазвичай розбавляють перед скиданням в море (океан) водними потоками з меншим солевмістом (та бажано з меншою температурою та більшими витратами). Для екології відносно малих водоймищ (річок, озер тощо) скидання до них сольових потоків після опріснювачів обмежується, окрім наявності забруднювачів, ще й явищем осмосу. Суттєві зміни в концентрації солей та інших речовин у таких водоймах загрожує загибеллю їх мешканців (через виникнення осмотичного тиску в них). Вихід із такого положення єдиний: задіяти технологію знешкодження сольового розчину з використанням отриманої води для поливного вирощування овочів і т.д., а сухий залишок у першому наближенні – на захоронення на полігонах.

Насамкінець, обговоримо проблему охорони здоров'я. Процеси опріснення супроводжуються втратою йоду у воді та ризиком розвитку йододефіцитних хвороб у населення, що використовує опріснену воду як питну. Вихід єдиний: після кожного опріснювача для потоку питної води встановлювати блок кондиціонування (від слова доведення до кондиції) для насичення опрісненої води необхідними для функціонування організму людини солями.

Отож, з року в рік ситуація з водопостачанням дедалі погіршується і в майбутньому ми можемо вичерпати прісні водні запаси, що призведе до дефіциту питної води. Тому слід звернути увагу на шляхи зменшення навантаження на природні джерела води, що вказані в доповіді, та на використання світового досвіду стосовно компенсації втрат прісної води застосуванням технологій опріснення солоних вод.

Перелік посилань:

1. М.К. Безродний, М.Н. Голяд, Н.О. Притула. Стратегічні напрямки розвитку водопостачання в Україні // Водопостачання та водовідведення. - 2020, № 3, С. 11 - 15.

Студент 4 курсу, гр. ТП-71 Мараховська В.Ю.
Доц., к.т.н. Боженко М.Ф.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ВОДОГРІЙНИХ КОТЛІВ В КОТЕЛЬНІ

Для теплопостачання житлового масиву і промислового підприємства в м. Івано-Франківську в експлуатації знаходиться промислово-опалювальна пароводогрійна котельня. Котельня забезпечує споживачів на опалення $Q_o = 32,42$ МВт, вентиляцію $Q_v = 3,928$ МВт, гаряче водопостачання $Q_{г.в} = 5,89$ МВт і технологічних споживачів з витратою пари $D_T = 0,3$ кг/с. В котельні встановлені 2 водогрійні котли КВ-ГМ-20 і 2 парових котли ДЕ-4-14-ГМ.

За каталогом заводів виробників визначені температури димових газів на виході з парового котла $t'_{г.п} = 156$ °С, водогрійного - $t'_{г.в} = 190$ °С; витрата природного газу на паровий котел $B_{к.п} = 304$ м³/год, на водогрійний - $B_{к.п} = 2520$ м³/год; коефіцієнт корисної дії парового котла $\eta_{к.п} = 90,3$ %, водогрійного - $\eta_{к.п} = 91,9$ %.

Для підвищення ефективності котельні пропонується в першу чергу її модернізації встановити за обома водогрійними котлами КВ-ГМ-20 утилізатори теплоти димових газів, використавши їх для нагрівання води власних потреб. Дослідження, які були проведені на кафедрі ТПТ показали, що найбільш ефективним утилізатором є поверхневий калорифер.

За заданим складом природного газу за методикою [1] визначені вологовміст продуктів згоряння $d'_г = 0,13$ кг/кг с.п, масова витрата сухих газів $G'_г = 13,21$ кг/м³. Надалі в розрахунках визначаємо масову витрату сухих продуктів згоряння за кожним з котлів, кг/с за формулою

$$L'_{г.в} = \frac{B_{к.в}}{3600} G'_г \quad (1)$$

З урахуванням наведених вище даних величина $L'_{г.в}$ складе 9,25 кг/с.

Ентальпію димових газів на виході з котлів, кДж/кг, визначали за формулою

$$h_{г.в} = c_{с.г} t_{г.в} + (2500 + 1,97 t_{г.в}) d'_г, \quad (2)$$

де $c_{с.г}$ – теплоємність димових газів, кДж/кг, яку беремо 1 кДж/кг.

Тоді згідно з формулою (2) величина $h'_{г.в} = 563,7$ кДж/кг.

Беремо сухий режим роботи калориферів, тобто температуру димових газів на виході з калорифера $t''_г = 60$ °С, і за формулою вигляду (2) визначаємо ентальпію димових газів на виході з калориферів, яка складе $h''_{г.в} = 400,4$ кДж/кг.

Можливу теплопродуктивність калориферів за димовими газами, кВт, визначаємо за формулою

$$Q_{г.в} = L'_{г.в} (h'_{г.в} - h''_{г.в}). \quad (3)$$

З урахуванням визначених вище величин теплопродуктивність калориферних установок за кожним з котлів складе 1510,5 кВт, а сумарна для обох котлів - $Q_{г.в} = 3021$ кВт.

Необхідне теплове навантаження для нагрівання води власних потреб котельні, кВт, визначаємо за формулою

$$Q_{с.в} = G_{с.в} c_{с.в} (t''_{с.в} - t'_{с.в}), \quad (4)$$

де $G_{с.в}$ – витрата води, кг/с; $c_{с.в}$ - теплоємність води, кДж/(кг·К), беремо 4,19 кДж/(кг·К); $t'_{с.в}$ і $t''_{с.в}$ - температури води на вході в калорифер і виході з нього відповідно, °С.

Для нагрівання сирої води витратою $G_{с.в} = 7,53$ кг/с (отримана з розрахунку теплової схеми котельні) і температур $t'_{с.в} = 5$ °С та $t''_{с.в} = 25$ °С необхідно витратити $Q_{с.в} = 631$ кВт теплоти.

Можлива теплопродуктивність калориферних установок для нагріву хімічно очищеної води визначається за різницею Q_{Γ} і $Q_{c.в.}$, яка складе $Q_{xbo} = 2390$ кВт.

За формулою вигляду (4) при витраті хімічно підготовленої води $G_{xbo} = 6,27$ кг/с (отримана з розрахунку теплової схеми котельні) і температурі на вході $t'_{xbo} = 25$ °С визначаємо можливу температуру хімічно очищеної води на виході з калориферів, яка складає 116 °С.

Оскільки отримана температура t''_{xbo} більша за 94 °С, тому беремо дійсну температуру хімічно очищеної води $t''_{xbo,д} = 94$ °С (отримана з аналізу роботи атмосферного деаератора підживлювальної води) і за рівнянням вигляду (4) уточнюємо теплове навантаження калориферних установок для нагрівання хімічно підготовленої води, яке складає 1813 кВт.

Таким чином, за одним котлом встановлюються дві калориферні установки, в першій з яких буде нагріватися сира вода (теплопродуктивність установки $Q_{c.в.} = 631$ кВт), а в другій – хімічно підготовлена вода (теплопродуктивність установки $Q_{xbo1} = 302,5$ кВт і витрата хімічно підготовленої води, що визначена з рівняння вигляду (4) $G_{xbo1} = 1,04$ кг/с). Витрата продуктів згоряння на кожен калориферну установку, які охолоджуються до температури $t''_{\Gamma} = 60$ °С, визначена за рівнянням вигляду (3) і для першої з них (нагрівання сирої води) складе 3,86 кг/с, для другої (нагрівання хімічно підготовленої води) – 1,85 кг/с, а решта продуктів згоряння витратою 3,54 кг/с після котла з температурою $t'_{\Gamma,в} = 190$ °С по байпасному газоходу спрямовуються в димову трубу.

За іншим водогрійним котлом встановлюється одна калориферна установка теплопродуктивністю $Q_{xbo2} = 1510,5$ кВт, в якій нагрівається хімічно підготовлена вода витратою $G_{xbo} = 5,23$ кг/с, а продукти згоряння охолоджуються до температури $t''_{\Gamma} = 60$ °С.

Вибір калориферних установок виконаний за методикою [1], результати розрахунків наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Результати вибору калориферних установок

Показник	Калориферні установки		
	T1 за ВК1 для нагріву сирої води	T2 за ВК1 для нагріву хім. підг. води	T2 за ВК1 для нагріву хім. підг. води
Q_k , кВт	631	302,5	1510,5
$(\rho v)_{\Gamma}$, кг/(с·м ²)	3,9	4,7	2,8
ω_b , м/с	1	0,61	1
K , Вт/(м ² ·К)	51,5	52,8	45,7
Δt , °С	97	58,6	58,6
Модель, номер	КСк3-7	КСк3-8	КСк3-11
Кількість калориферів, спосіб під'єднання	$n_{заг} = 9; N=3; n_k = 9;$ $n_{\Gamma} = 3; n_b = 1$	$n_{заг} = 6; N=2; n_k = 2;$ $n_{\Gamma} = 3; n_b = 3$	$n_{заг} = 8; N=2; n_k = 2;$ $n_{\Gamma} = 4; n_b = 4$
F_T , м ²	126,4	97,8	564
$F_{д}$, м ²	147,1	116,5	665

Примітки: $n_{заг}$ – загальна кількість калориферів; N – кількість паралельних у фронтальному перетині; n_k – кількість паралельних за напрямком руху води; n_{Γ} і n_b – кількість послідовних за напрямком руху димових газів і води відповідно.

Перелік посилань:

1. Боженко М.Ф. Енергозбереження в теплопостачанні : Навч. посіб. / М.Ф. Боженко, В.П. Сало. - Київ. : НТУУ «КПІ», 2008. – 268 с.

Студент 4 курсу, гр. ТП-71 Роговик Ю.Ю.
Доц., к.т.н. Притула Н.О.

3D МОДЕЛЬ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ТЕПЛООВОГО ПУНКТУ В СИСТЕМІ AUTOCAD

Проблеми раціонального використання природних енергоресурсів та охорони навколишнього середовища, що існують в Україні, можуть бути вирішені як за рахунок зниження теплових втрат, так і шляхом впровадження сучасної техніки генерації, розподілу, регулювання та споживання теплоти. В даний час проектування індивідуальних теплових пунктів (ІТП) зазнає значних змін не тільки в технічному оснащенні та розширенні виконуваних функцій, але і в зміні способу регулювання теплоспоживанням будівель. Розподіл і регулювання теплової енергії в будівлях відповідно до потреб є одним з основних підходів енергозбереження [1,2].

Автоматизований індивідуальний тепловий пункт призначений для контролю і автоматичного управління значеннями параметрів теплоносія, що подається в систему опалення, вентиляції, гарячого водопостачання (ГВП) з метою оптимізації теплоспоживання будівель, а також створення комфортних умов всередині приміщень при мінімальних енерговитратах. Засоби автоматизації і контролю забезпечують роботу теплових пунктів без постійного обслуговуючого персоналу [2,3].

Модульні ІТП відзначаються рядом переваг, а саме: висока економічність; повна автоматизація; зниження експлуатаційних витрат на 40-60%; компактність; простота транспортування і монтажу теплового пункту на об'єкті; безшумність роботи.

Теплопостачання будинку передбачено від вбудованого ІТП, який включає в себе комерційний облік теплової енергії, приготування води для потреб опалення, вентиляції та ГВП. На рис. 1 продемонстрована 3D модель ІТП, з якої видно приєднання систем опалення, вентиляції та ГВП до теплових мереж виконується через відповідні модульні блоки (1-3). Модульні блоки (1-3) включають в себе такі комплектуючі: теплообмінник пластинчастий; циркуляційний насос; регулятор температури з електроприводом; регулятор постійності перепаду тиску; вузол підживлення з підвищувальними насосами; контрольно-вимірювальні приладами та щит керування з частотним регулюванням насосів [4-5].

Системи опалення та вентиляції приєднуються до теплових мереж по незалежним схемам через пластинчасті теплообмінники, а відповідно система гарячого водопостачання приєднується до теплових мереж через пластинчастий теплообмінник по одноступеневій паралельній схемі.

Регулювання теплової потужності по опаленню, вентиляції та ГВП здійснюється регуляторами температури з керуванням від щитів автоматизації модульних блоків. Для систем опалення та вентиляції застосовано регулювання з корекцією по температурі зовнішнього повітря.

Компенсація температурних розширень води в незалежних системах опалення та вентиляції здійснюється за рахунок закритих розширювальних мембранних баків 4.

З метою організації комерційного обліку теплової енергії передбачається встановлення лічильника теплової енергії з встановленням витратомірів та термоперетворювачами опору на подавальному та зворотному трубопроводах вузла теплового вводу.

Автоматичне підживлення незалежних систем опалення та вентиляції здійснюється від зворотного трубопроводу вузла вводу тепломережі через вузли підживлення із підвищувальними насосами, які включені в склад модульних блоків систем (1-3). Облік витрати води на підживлення незалежних систем опалення та вентиляції здійснюється за

допомогою лічильника гарячої води, який встановлюється на лінії підживлення від зворотного трубопроводу вузла теплового вводу.

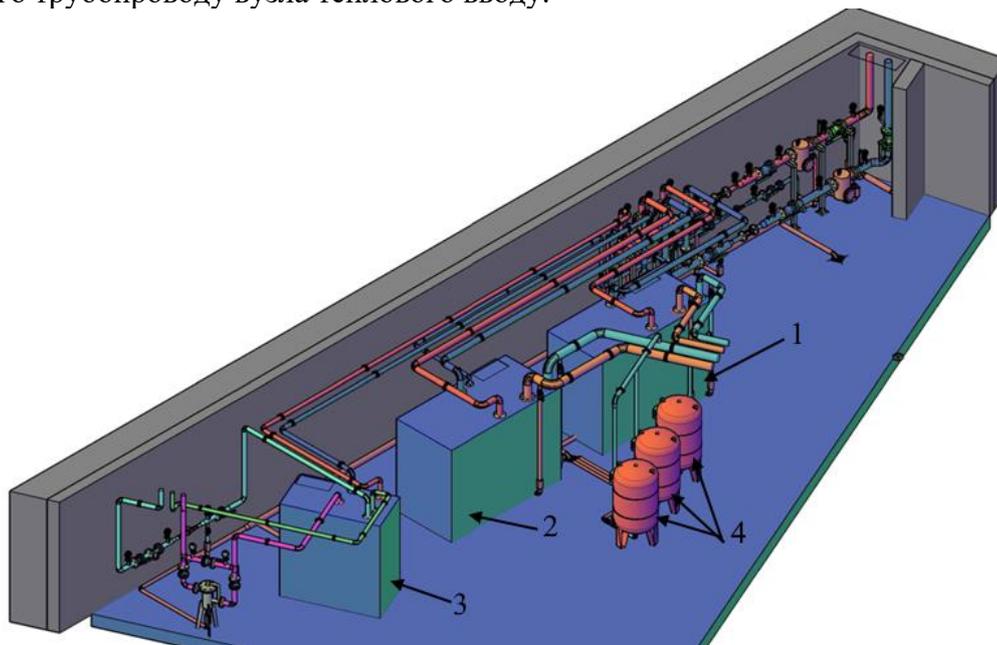


Рисунок 1 – 3D модель індивідуального теплового пункту в системі AutoCad:
1 – модульний блок системи опалення; 2 – модульний блок системи вентиляції;
3 – модульний блок системи ГВП; 4 – мембранний розширювальний бак.

Обладнання ІТП забезпечує виконання наступних функцій: облік споживання теплової енергії; розподілення теплоносія між системами споживання теплової енергії; регулювання витрати теплоносія для систем теплоспоживання; контроль та регулювання параметрів теплоносія; захист систем від аварійного підвищення параметрів теплоносія; заповнення та підживлення систем теплоспоживання.

Висновки:

1. Модульні ІТП на 50% ефективніше, ніж існуючі кожухотрубні. При використанні модульних ІТП можливість вибору режимів теплоспоживання і теплопостачання, а також чітке налагодження призводять до зниження втрат теплоенергії до 15%.
2. Автоматика модульного ІТП забезпечує ефективне енергозбереження та комфорт в приміщеннях, дозволяє проводити погодну компенсацію, встановлювати режими роботи в залежності від часу доби, використовувати режими вихідних/святкових днів
3. Обслуговування модульного ІТП вимагає меншої кількості персоналу, таким чином витрати на обслуговування, поточний ремонт і профілактику знижуються.

Перелік посилань:

1. Боженко М.Ф. Джерела теплопостачання та споживачі теплоти: навч. посіб. / М.Ф. Боженко, В.П. Сало. – Київ : ІВЦ «Видавництво «Політехніка», 2004. – 192 с.
2. ДБН В.2.5-39:2008. Інженерне обладнання будинків і споруд. Зовнішні мережі та споруди. Теплові мережі. [Чинні від 2009-01-07]. Київ, 2009. 56с. (Інформація та документація).
3. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. [Чинні від 2014-01-01]. Київ, 2013. 240с. (Інформація та документація).
4. Алабовський О.М. Проектування котельень промислових підприємств: Курсове проектування з елементами САПР : навч. посібник / О.М. Алабовський, М.Ф. Боженко, Ю.В. Хоренженко. – К.: Вища шк., 1992. – 207 с.
5. Жарков Н.В. AutoCAD 2020. Полное руководство / Н.В. Жарков, М.В. Финков. – СПб.: Наука и Техника, 2020. – 640 с.

ПРОГРЕС ПРОЕКТУ "ВЕЛИКА ЗЕЛЕНА КИТАЙСЬКА СТІНА" І ВІДНОВЛЮВАНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ В РЕГІОНІ

У листопаді 1978 року уряд Ден Сяопіна приймає рішення, яке згодом кардинально змінить долю мільйонів людей в районах «Саньбей». Розроблена владою програма передбачає створення лісозахисних смуг уздовж околиць чотирьох найбільших в Китаї піщаних масивів і восьми пустель. У 1989 році Сяопін запише на листку паперу кілька ієрогліфів - вони означатимуть: «Зелена Велика китайська стіна». Так майбутні лісозахисні смуги, що простягнулися на тисячі кілометрів уздовж трьох районів Китаю паралельно Великій Китайській стіні.

Китай є країною древньої землеробської традиції і досі залишається великим виробником сільськогосподарської продукції, займаючи провідні позиції у виробництві зернових, м'яса, бавовни, насіння ріпаку, фруктів, листового тютюну, чаю, вовни, соєвих бобів, цукрової тростини і джуту. Сучасний розвиток сільського господарства пов'язане з високою інтенсивністю використання ґрунтів, що швидко позбавляє їх поживних речовин, порушує структуру і в кінцевому підсумку знижує стійкість до ерозії. Поверхневий шар вимивається опадами, висихає і несеться вітром. Щорічний збиток від висушування ґрунтів в Китаї оцінюється у вісім мільярдів доларів.

Зменшенню рослинного покриву сприяють також випас худоби і вирубка лісів. Вже до моменту утворення КНР в 1949 році площа лісів становила всього 8% від території країни. Але потім і ця цифра скоротилася - при індустріалізації виникла потреба в паливі і проблема була вирішена за рахунок збільшення вирубки лісів. Швидкий розвиток промисловості негативно вплинуло на екологічну ситуацію, особливо в північних провінціях. Там розташувалися вугле- і нафтовидобувні підприємства, більша частина нафтопереробних заводів і металургійних баз, підприємства паперової промисловості. За деякими даними, близько 70% металургійних виробництв взагалі не мало очисних споруд.

Зараз пустелі займають 28% території Китаю, і їх наступ триває. За оцінками, країна щорічно втрачає близько 1200 км² корисних земель, а наслідки опустелювання, так чи інакше, відчувають на собі 400 мільйонів жителів.

Передбачено насадження захисного пояса з дерев, трав і чагарників довжиною 4480 км і шириною близько 100 км. Запланована площа зеленого пояса становить 350 тис. км² - це можна порівняти з площею всієї Німеччини. Для створення насаджень застосовуються дві технології озеленення. Традиційний метод, який використовується з самого початку кампанії, передбачає зриття піщаних дюн і вирівнювання землі екскаваторами і бульдозерами, після чого рослини висаджуються вручну.

Новий технологічний метод передбачає використання авіації, коли з літака, що летів скидаються насіння, що знаходяться на першій стадії дозрівання в кульках з суглинку з додаванням поживних речовин. В ході проекту «Зелена стіна» цей метод був виведений Китаєм на ринковий рівень, і таким способом були озеленені вже більше 1000 км². Крім лісів Зелена стіна включає і орні землі та пасовища з відновленим трав'яним покривом. Також в найближчі роки планується озеленення гірських схилів. Щорічно 12 березня, в день Свята посадки дерев, в Китаї майже третина населення виходить садити дерева. В особливо посушливих районах півночі за посадку кушів і дерев фермерам виплачуються гроші.

На даний момент Зелена стіна розташовується близько до історичної (рис. 1) на території тринадцяти провінцій, займаючи площу понад 26,5 мільйонів гектарів (265 тисяч м²), що більше площі Великобританії. За 35 років дії проекту площа лісів Китаю

збільшилася майже вдвічі і склала понад 1 750 000 км². За підрахунками вчених, вже ліс затримують близько 200 мільйонів тон піску за рік.

Завдяки озелененню в китайській столиці в вісім разів знизилася кількість піщано-пилової бурі в порівнянні з даними 1950-х років і суттєво покращилась якість повітря. А збільшення лісо-трав'яного покриву в сусідніх з Пекіном і Тяньцзінем районах склало 20% в порівнянні з показником 2004 року. В даний час проект планується продовжувати до 2074 року.

Поряд з озелененням, розвивається відновлювана енергетика, в основному, це вітрові і фотоелектричні електростанції. Потужності встановлених в КНР вітряних електростанцій (ВЕС) досягли в 2015 р. неймовірних 115 ГВ. У ВЕС, як і у сонячних електростанцій виникла проблема збуту енергії в період її перевиробництва. Варіантом її використання є системи зрошення, які не потребують точної синхронізації з часом. Воду від опадів (200-600 мм за рік) забирають зі схилів в нижче, де розташований спеціальний резервуар і перекачують далі до установок крапельного зрошення рослин.



Рисунок 1 – Фото Великої китайської стіни

**ЕНЕРГЕТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НАВЧАЛЬНОГО КОРПУСУ №17
КПІ ІМ. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО**

Україна має одну з найбільш енергоємних економік світу. При цьому інтенсивність використання енергоресурсів та вартість енергоносіїв продовжують зростати, тому впровадження заходів з енергозбереження та проведення оцінки їх ефективності є актуальним завданням. Одним із інструментів оцінки рівня енергетичної ефективності будівель є використання програмного моделювання [1].

Метою даної роботи є моделювання енергетичних потоків та аналіз їх характеристик у різних програмних середовищах з метою забезпечення мінімально допустимих вимог рівня енергоефективності навчального корпусу №17 НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського». Начальний корпус №17 побудований 1969 році та має 5 поверхів, а також опалювальний підвал та неопалювальний технічний поверх. Всі вікна будівлі замінені на металопластикові, за винятком технічного поверху, де встановлені склоблоки. Вентиляція приміщень здійснюється природним шляхом. Система опалювання центральна, опалювальні прилади – чавунні радіатори М140. Використовуючи вихідні дані на будівлю, було проведено моделювання енергетичних потоків, з урахуванням вимог діючих на території України стандартів [2] для кліматичних умов міста Києва. Моделювання проводили у програмних продуктах: RETScreen, DesignBuilder, PVsol, Tsol.

Розглянуто два сценарії: «базовий» – приведений до базового рівня існуючий стан будівлі, та «запропонований» – стан будівлі після термомодернізації. До запропонованих заходів з енергозбереження ввійшли: утеплення зовнішніх стін мінеральною ватою; утеплення даху мінеральною ватою; встановлення системи рекуперативної вентиляції в частині приміщень корпусу; утеплення стін нижче рівня ґрунту екструдованим полістиролом; модернізація ТП, заміна чавунних радіаторів. Крім цього, пропонується встановлення системи автоматичного вимкнення світла в приміщеннях непостійного використання. Моделювання базового рівня та комплексу заходів по покращенню теплофізичних властивостей огорожень та модернізації інженерних систем проводилось в RETScreen, DesignBuilder. 3D модель будівлі створена в програмному продукті DesignBuilder наведена на рис. 1.

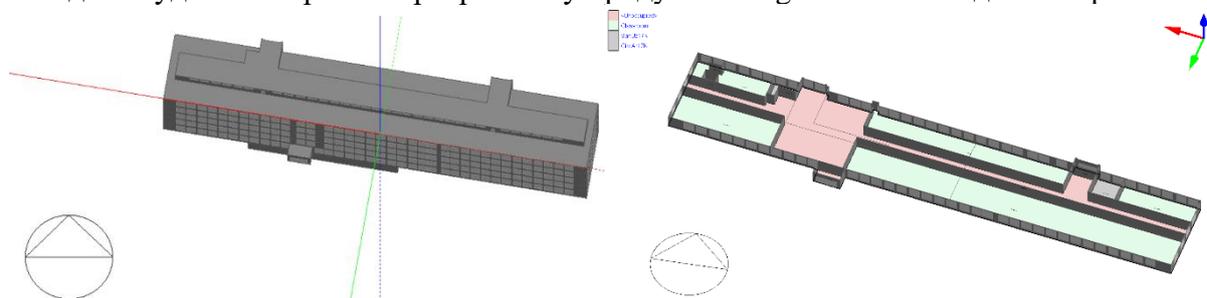


Рисунок 1 – 3D модель (зліва) та зонування всередині будівлі (справа)

Результати моделювання наведені в табл. 1. З результатів слідує, що модельний розрахунок на основі програм RETScreen та DesignBuilder досить близькі та підтверджують, що у будівлі не витримуються комфортні умови. Перевищення споживання теплової енергії для базового рівня над традиційним (за лічильником з врахуванням корегувального погодного коефіцієнту) понад 30%, що є наслідком того, що в корпусі не завжди витримуються нормативна внутрішня температура повітря.

Крім цього, в роботі проведено моделювання використання енергії сонця, як відновлювального джерела енергії. В програмному середовищі PVsol Premium проведено

моделювання дахової фотоелектростанції, де пропонується встановити 293 сонячні панелі типу JAM72D00-350/PR. Імітаційне моделювання показало, що ФЕС генерує 113 574 (кВт·год)/рік з коефіцієнтом продуктивності 84,1%. Запропонована ФЕС покриває 40,6% від потреби електроспоживання будівлі.

Таблиця 1

Прогр.	Модель	Історичне	Actual	Baseline	Proposed
DesignBuilder	Електроенергія, кВт·год/рік				
	Абсолютне значення	191990	192319,40	299180,91	284275,63
	Відхилення від «Історичне»	0%	+0,17%	+55,8%	Від «Baseline» [-4,98%] Від «Історичне» [+47,9%]
	Теплова енергія, кВт·год/рік				
	Абсолютне значення	633838,8	651121,05	900851,44	389923,91
	Відхилення від «Baseline»	-30%	-28%	0%	Від «Історичне» [-38,5%] Від «Baseline» [-56,7%]
RETScreen	Абсолютне значення	633838,8	-	1 008 578,7	371 372,5
	Відхилення від «Baseline»	-37%	-	0%	Від «Історичне» [-41,4%] Від «Baseline» [-63,2%]

В програмному середовищі TSol змодельовали систему забезпечення корпусу ГВП на основі сонячних колекторів. Зазначимо, що ГВП в навчальному корпусі відсутнє, тому прийняли кількість гарячої води від загального споживання холодної близько 40%. Розглянули два варіанти: систему з плоским колектором (Vitasol 050) та вакуумним (Vitasol 200-T SD2 2m²). В межах кожного – три сценарії: низький (low), середній (middle) та високий (high) ступінь заміщення. Найбільшу ефективність має система на основі вакуумного колектора при низькому ступені заміщення (45,1%), але з аналізу слідує, що така система недогріває воду в липні (рис. 2, а). Для забезпечення нагріву у більшій мірі доцільно використовувати систему вакуумних колекторів з середнім ступенем заміщення (рис.2, б). Обґрунтування доцільності встановлення потребує економічної оцінки.

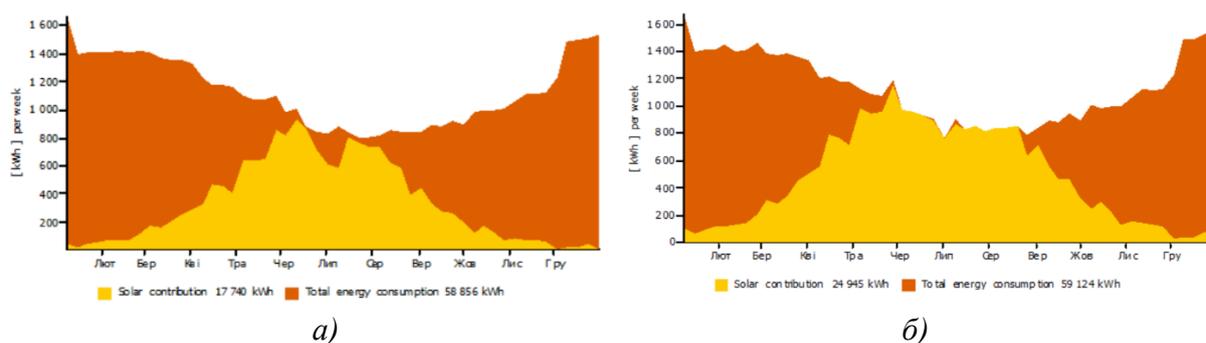


Рисунок 2 – Забезпечення необхідного нагріву води колекторами при низькому (а) та середньому ступені заміщення (б)

Результатом роботи показують комплексну оцінку енергетичних потоків будівлі, що дозволяє підібрати та обґрунтувати комплекс заходів для підвищити рівень її енергетичної ефективності та розглядати будівлю як енергетичну систему.

Перелік посилань

1 Дешко В.І., Білоус І.Ю. Математичні моделі будівель для оцінки енергоспоживання. *Будівельні конструкції: Міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць*. 2014. № 80. С. 68 – 72.

2 Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6–31:2016. – [Чинні від 2016–10–08, на заміну ДБН В.2.6–31:2006.] // Мінбуд України. – К.: Укрархбудінформ, 2016. –33 с. – (Державні будівельні норми України).

УДК 697.1

Магістрант 5 курсу, гр. ОТ-01мп Ващишин Р.Л.
Доц., к.т.н. Шовкалюк М.М.

ПОРІВНЯННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ БУДІВЛІ В ПРОГРАМНОМУ ЗАБЕЗПЕЧЕННІ DESIGNBUILDER ТА RETSCREEN

Важливим елементом сучасного успішного будівництва або реконструкції адміністративних, громадських, промислових, комерційних та багатоквартирних об'єктів стало енергетичне моделювання. Завдяки енергетичній моделі можна отримати детальну інформацію щодо енергоспоживання будівлі, яка необхідна для прийняття вірних техніко-економічних рішень щодо заходів з підвищення рівня енергетичної ефективності об'єкта.

Метою дослідження є моделювання енергетичних витрат та аналіз енергоефективності навчального корпусу №5 КПІ ім. Ігоря Сікорського м. Києва, який знаходиться на вулиці Політехнічній, 6. Будівля складної геометрії, складається з декількох різноповерхових частин. Опалювальна площа складає 14108 м². Площа скління 2603,28 м². Вентиляція приміщень будівлі здійснюється природним шляхом, теплопостачання централізоване з однокотловою системою опалення.

Усереднене енергоспоживання 988550 кВт·год.

Для наведеної будівлі був виконаний розрахунок річних теплових та електричних витрат, використовувалися характеристики матеріалів наведені стандартом [1], а навантаження на теплову систему визначалося враховуючи нормативні погодні умови за [2].

Моделювання, здійснене з використанням програмного забезпечення DesignBuilder (рис. 1), допомогло ознайомитись із динамічними характеристиками адміністративної будівлі та відстежити характер зміни використання енергії у погодинному проміжку [3].

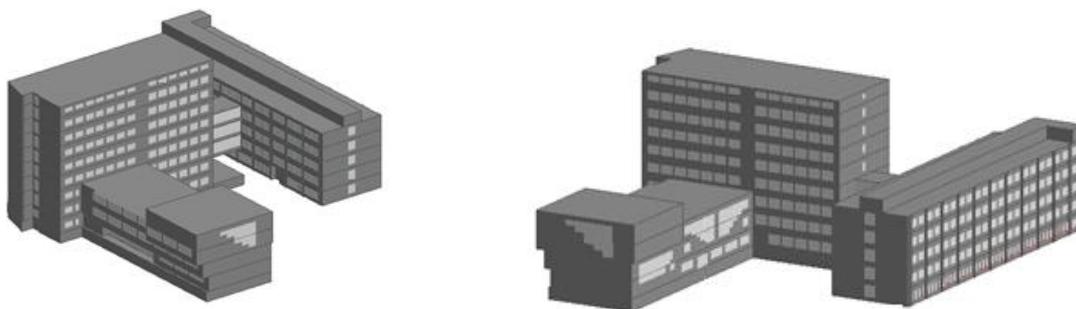


Рисунок 1 – Побудована модель будівлі в DesignBuilder

На основі Design Builder здійснено розрахунок опалення, електричного споживання, кондиціювання та вентиляції. Виконане обчислення наявних та базових систем HVAC таких, як встановлення рекуператора, примусової вентиляції, тощо (рис.2). Також проведений розрахунок споживання після впровадження енергозберігаючих заходів (заміна дерев'яних вікон на енергоефективні, утеплення даху та зовнішньої конструкції). В таблиці 1 показано порівняльний аналіз для різних варіантів розрахунків.

Таблиця 1 – Енергоспоживання будівлі (моделювання у DesignBuilder)

Вид енергії	Наявна	Базова	Запропонована
Теплова енергія, кВт·год	925042,37	1594436,1	433864,81
Електрична енергія, кВт·год	303762,93	448743,08	389956,84

З наведених результатів, загальне витрата енергії запропонованою моделі будівлі знизилось у порівнянні з базовою. Як видно, запропонований рівень споживання теплової

енергії на потреби опалення (на 56%) менший за наявний, а електричної на 20%. За проведеними розрахунками в Design Builder при моделюванні запропонованої будівлі отримане значення показує зменшення споживання енергетичних ресурсів, що в свою чергу свідчить про зниження викидів у навколишнє середовище парникових газів та приводить до зменшення грошових видатків на оплату послуг з енергопостачання.

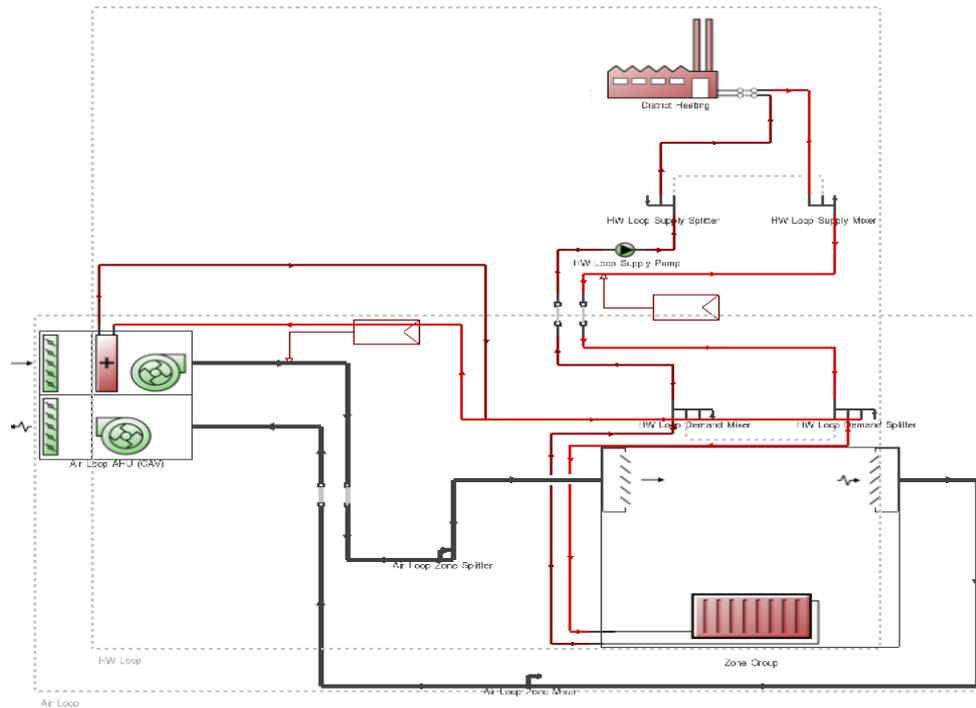


Рисунок 2 – Система опалення та вентиляції (базова модель у DesignBuilder)

Також моделювання будівлі реалізовано в програмі Retscreen в річному розрізі. Програма дозволяє розрахувати інженерні мережі будівлі (теплові та електричні), виконати декілька різних заходів по збереженню з повним описом вагомих показників (економічність, екологічність та енергоефективність). Базовий рівень теплового споживання 1276676,8 кВт·год, електричного 304700 кВт·год. У запропоновані моделі споживання тепла становить 1028863 кВт·год, а електроенергії 234000 кВт·год. Найбільшого покращення можна досягти таким заходом по енергозбереженню, як утеплення зовнішніх огорожувальних конструкцій. Різниця в даних у порівнянні з DesignBuilder зумовлена відмінність в погодних даних, тощо.

Порівнюючи розрахунки серед переваг DesignBuilder виділяється те, що програмний продукт більш зручний для використання. Програмний продукт дозволяє використовувати розрахунки за окремими зонами будівлі, що різняться розрахунковими параметрами мікроклімату, характеристиками інженерних мереж та іншими характеристиками. Під час виконання розрахунків є можливість швидкого модифікування наявної моделі з аналізом окремих впливових факторів на рівень енергетичного споживання інженерних систем будівлі. Також важливим фактором є фінальний звіт, що створюється автоматично з переліком усіх потрібних даних для високоякісного аналізу моделі та її роботи. Важливим пунктом є можливість отримувати графічне зображення такого характеру, як великого масиву інформації помісячно, поденно, погодинно, а також за весь розрахунковий період.

Перелік посилань:

1. Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель / ДСТУ Б В.2.6-189:2013 [Національний стандарт України]– К.: Мінрегіон України, 2013, - 55 с.;
2. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія. К., 2011. 127 с.;
3. DesignBuilder Simulation + CFD Training Guide [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.designbuilder.co.uk/training/online-learning/tutorials> - Назва з екрану.

Магістрант 1 курсу, гр. ТП- мн Іжевська Т.Л.
Доц., к.т.н. Боженко М.Ф.

ЦЕНТРАЛЬНІ СИСТЕМИ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ З ЧАСТКОВИМ НЕПРЯМИМ ВИПАРНИМ ОХОЛОДЖЕННЯМ

Відомо, що кондиціювання повітря – це створення та автоматична підтримка у закритих приміщеннях параметрів повітря (температури, вологості, чистоти, швидкості руху), необхідних для забезпечення оптимальних умов, найбільш сприятливих для самопочуття людей або проходження технологічного процесу.

Перспективним напрямком в системах кондиціювання повітря (СКП) є використання випарного охолодження.

В роботі [1] розглянута СКП з непрямим випарним охолодженням. В ній потік зовнішнього повітря подається в градирню, де контактує зі зрошувальною водою і забезпечує її випарне охолодження, яка у свою чергу подається на повітроохолоджувач зовнішнього повітря. Надалі повітря після повітроохолоджувача надходить на зрошувальну камеру, де також охолоджується в результаті випаровування цієї води.

Слід зазначити, що випарне охолодження, яке реалізоване в роботі [1] ефективне в умовах сухого і жаркого клімату (відносна вологість зовнішнього повітря при температурах 27 – 32 °С не повинна перевищувати 30 %). В різних регіонах України розрахункова відносна вологість зовнішнього повітря в липні місяці коливається від 63 до 75 %, тому повністю реалізувати випарне охолодження в СКП за умови підтримання в приміщеннях оптимальних параметрів повітря неможливо.

Нами розглянута схема часткового випарного охолодження (рис.1), яка може бути реалізована в усіх регіонах України.

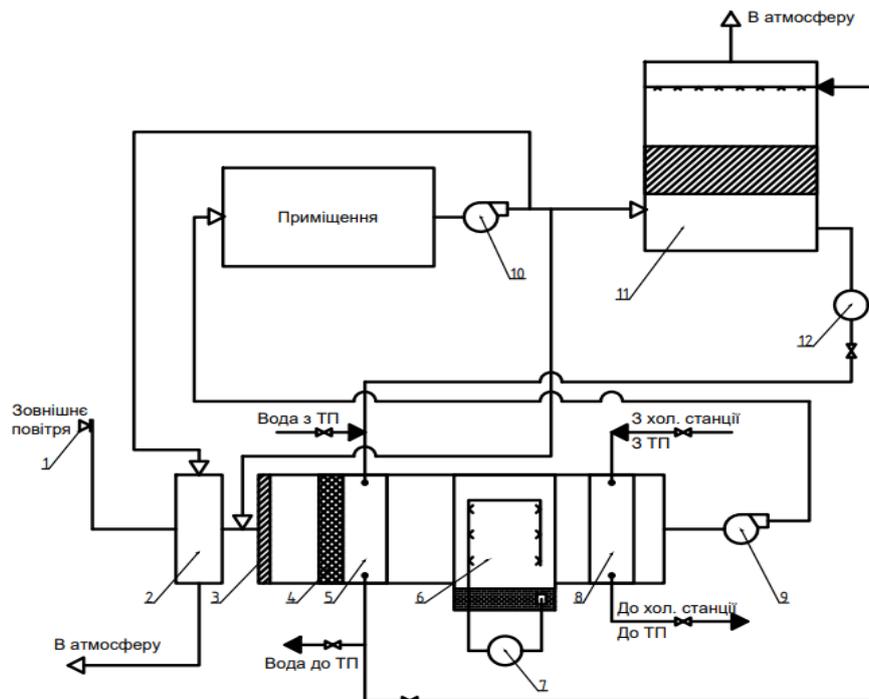


Рисунок 1 - Принципова схема СКП з частковим непрямим випарним охолодженням:

- 1 – повітрязабірний пристрій; 2 – утилізатор теплоти; 3 – приймальний клапан; 4 – повітряний фільтр; 5 – теплообмінник; 6 – зрошувальна форсункова камера; 7 – циркуляційний насос; 8 – теплообмінник; 9 – припливний вентилятор; 10 - витяжний вентилятор; 11 – градирня; 12 - насос охолодженої випаровуванням води.

В теплий період року витягне повітря з приміщення надходить на градирню, де охолоджує воду, що спрямовується на поверхневий теплообмінник для першої стадії охолодження повітря. Надалі це повітря охолоджується і осушується в повітроохолоджувачі водою з холодильної станції.

Зовнішнє повітря змішується з витяжним і далі суміш охолоджується в теплообміннику 5 водою після градирні до температури, яка на $4,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ більша за температуру мокрого термометра витяжного повітря [1], а потім охолоджується і осушується в повітроохолоджувачі 8 та надходить до приміщення (рис. 2а).

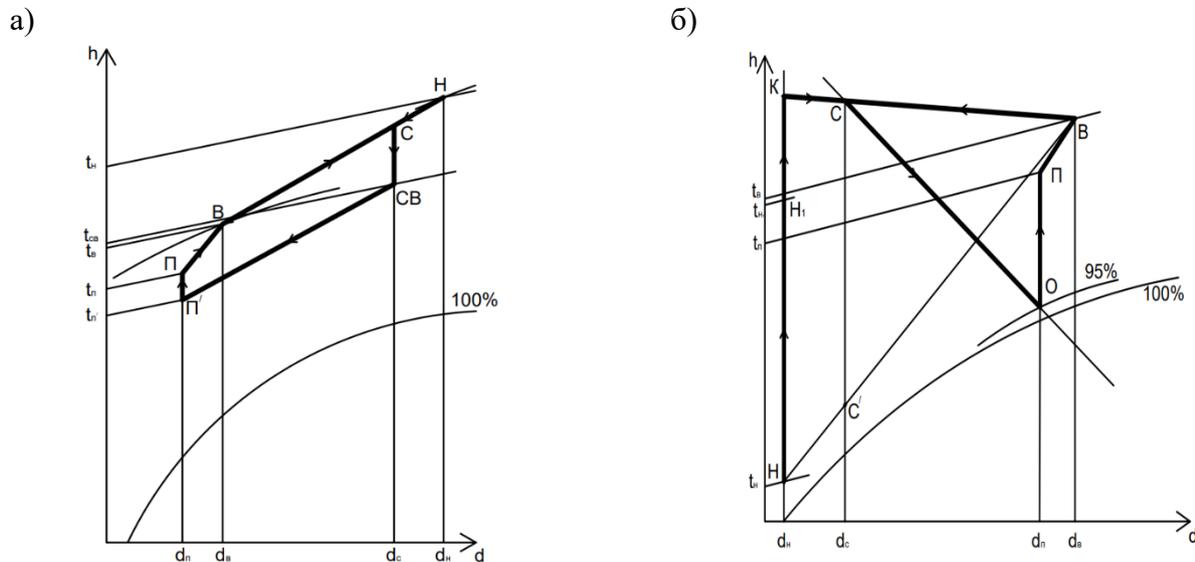


Рисунок 2 - Побудова процесів зміни стану повітря в СКП:
а) - теплий період; б) - холодний період.

В холодний період року зовнішнє повітря спочатку підігрівається в теплоутилізаторі 2, потім – в теплообміннику 5, змішується з витяжним, а надалі суміш адиабатно зволожується в зрошувальній камері 6, підігрівається в теплообміннику 8 і надходить до приміщення (рис. 2 б).

Результати попередніх розрахунків показали, що в схемі з рециркуляцією і частковим непрямим охолодженням для теплого періоду року питомі витрати холоду на оброблення повітря (визначені за різницею відповідних ентальпій повітря) приблизно в 1,5 рази зменшені порівняно з традиційною схемою, коли зовнішнє повітря охолоджується і осушується в повітроохолоджувачі водою з холодильної станції.

Для холодного періоду року була визначена температура припливного повітря після теплоутилізатора, яка дорівнює $9,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, а за $h - d$ діаграмою його ентальпія ($10,2\text{ кДж/кг}$).

За кліматологічними даними для м. Києва були визначені температура і відносна вологість зовнішнього повітря, середня температура зовнішнього повітря і продовжуваність опалювального періоду. За $h - d$ діаграмою обчислена ентальпія зовнішнього повітря ($- 20,6\text{ кДж/кг}$), і за методикою [2] при витраті зовнішнього повітря $33,3\text{ кг/с}$ – потік утилізованої теплоти вентиляційних викидів (1048 кВт) та річна кількість утилізованої теплоти (5336 ГДж/рік).

Перелік посилань:

1. Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха: справ. пособ. / Л.Д. Богуславский, В.И. Ливчак, В.П.Титов и др.; под ред. Л.Д. Богуславского и В. И.Ливчака. – М. : Стройиздат, 1990. – 624 с.
2. Боженко М.Ф. Энергосбережения в теплостачанні : Навч. посіб./ М.Ф.Боженко, В.П.Сало. - Київ. : НТУУ «КПІ», 2008. – 268 с.

Студент 1 курсу, гр. ТП- мн Іжевська Т.Л.
Доц., к.т.н. Куделя П.П.

ОПИС ДРУГОГО ЗАКОНУ ТЕРМОДИНАМІКИ НА МАКРОСКОПІЧНОМУ ТА МІКРОСКОПІЧНОМУ РІВНЯХ

Другий закон має фундаментальне значення. Без використання Другого закону подальший розвиток теплоенергетики, хімічної технології і багатьох інших галузей техніки і науки був би неможливий. Він враховує якість енергії, а саме здатність енергії до перетворення в інші форми, що в свою чергу визначає придатність, економічну цінність енергії.

Різні форми енергії можна розділити на три групи:

1. Необмежено перетворювані – робота, кінетична, потенціальна, електрична, ядерна енергії.
2. Обмежено перетворювані – теплота, ентальпія.
3. Неперетворювані – енергія навколишнього середовища (повітря, морська вода тощо). Вона не здатна до перетворень, її якість дорівнює нулю, тому вона не має технічної цінності.

Отже, основна якісна характеристика енергії – це її здатність до перетворення в інші форми. Ентропія є мірою хаотичності руху мікрочастинок системи, тобто чим більша невпорядкованість руху мікрочастинок, тим більшим є значення ентропії. Відомо, що будь-який впорядкований рух прагне перейти в хаотичний (неупорядкований) рух. Зворотній перехід самочинно здійснюватись не може. Визначення ентропії, як міри невпорядкованості макротіл, розкриває фізичний зміст поняття ентропії та дозволяє робити якісні висновки про основні властивості ентропії та характер її зміни в різних процесах.

З точки зору перетворюваності енергії Другий закон термодинаміки на мікроскопічному рівні визначається дисипацією (розсіюванням) енергії [1]. Тобто всі реальні процеси супроводжуються розсіюванням енергії. Дисипація є необоротним явищем.

Причина дисипації на мікрорівні можна пояснити обміном енергії між величезною кількістю рухомих мікрочастинок при їх взаємних зіткненнях. В зв'язку з чим принаймні частина впорядкованого руху переходить в хаотичний, а рівень хаотичності неупорядкованого руху зростає. При цьому відбувається вироблення (генерація) ентропії, як міри хаотичності руху мікрочастинок, тобто $S_{\text{ген}} > 0$. Важливо також те, що ентропія виробляється всередині системи, а не запозичується ззовні. В ідеальному (оборотному) процесі вироблення ентропії дорівнює 0 ($S_{\text{ген}} = 0$), що свідчить про незмінність хаотичності руху мікрочастинок. Проте такий ідеальний процес неможливо реалізувати. Крім того, протилежний процес, тобто процес із знищенням ентропії ($S_{\text{ген}} < 0$) є неможливий. Дисипація приводить до таких змін енергії, які не піддаються самовідновленню і породжують необоротність перетворення енергії та, як наслідок, необоротність термодинамічних процесів. Отже, необоротний (реальний) процес – це процес, в якому перетворення енергії відбувається з дисипацією енергії, оборотний – без дисипації. Природне прагнення енергії до розсіювання визначає і напрям, в якому протікають фізичні і хімічні процеси.

В класичній термодинаміці на макроскопічному рівні Другий закон термодинаміки найбільш загально формулюється так [2]: про які б системи не йшла мова - ізольовані, закриті, відкриті – завжди виконується нерівність $S_{\text{ген}} \geq 0$, тобто вироблена ентропія завжди позитивна, знищення її ($S_{\text{ген}} < 0$) неможливе. Виходячи з умови перетворення енергії $S_{\text{ген}} \geq 0$ маємо: $S_{\text{ген}} > 0$ – реальний (необоротний) процес; $S_{\text{ген}} = 0$ – оборотний (гранично ідеалізований); $S_{\text{ген}} < 0$ – неможливий процес.

З опису Другого закону слідує, що відмінність у здатності різних форм енергії до перетворення з мікроскопічних позицій пов'язана з різним характером руху мікрочастинок (молекул, атомів) [1]. Форми необмежено перетворювальної енергії відрізняються впорядкованим (організованим) характером руху мікрочастинок, а обмежено перетворювані і неперетворювані - невпорядкованим (неорганізованим). По відношенню до ентропії організована безентропійна, характеризується нульовою ентропією ($S = 0$). Неорганізована енергія – ентропійна, характеризується ентропією відмінною від нуля $S > 0$. У відповідності з умовою перетворення енергії $S_{ген} \geq 0$ всі форми безентропійної енергії ($S = 0$) здатні до необмежених перетворень. Навпроти, для ентропійної енергії ($S > 0$) неможливе перетворення зі знищенням ентропії ($S_{ген} < 0$). Очевидно, будь-яка організована енергія ($S = 0$) в технічному розумінні якісніша, цінніша. Такі форми енергії – універсальні, тому що завжди можливо перетворення їх у будь-яку форму енергії. Якість упорядкованої енергії стовідсоткова. Всі необмежено перетворювані форми енергії (безентропійні), повне перетворення яких в будь-яку іншу форму припустиме за Другим законом, можна узагальнити коротким терміном «ексергія». Перетворити повністю неорганізовану енергію ($S > 0$) в організовану ($S = 0$) неможливо, оскільки при цьому ентропія повинна знищуватись ($S_{ген} < 0$). Часткове перетворення можливе, але лише за умови $S_{ген} \geq 0$.

В процесі дисипації енергії кількість енергії зберігається, але перехід руху в більш хаотичну форму приводить до зниження якості енергії, до її знецінення, деградації в процесах енергетичних перетворень. Здатність енергії до перетворень, її якість погіршується і при відведенні в навколишнє середовище зовсім зникає. Така енергія технічної, економічної цінності не має. Отже, енергія водночас і зберігається (Перший закон) і знижує свою якість – деградує (Другий закон).

Згідно з кількісним формулюванням Другого закону ентропія може передаватись через контрольну поверхню відкритої системи з теплою S_Q і речовиною S_p , а також виробляється всередині системи дисипативними процесами ($S_{ген} \geq 0$). Це дозволяє записати рівняння ентропійного балансу для стаціонарного поточного процесу у вигляді (рис. 2):

$$\Sigma S_p^{під} + \Sigma S_Q^{під} + \Sigma S_{ген} = \Sigma S_p^{від} + \Sigma S_Q^{від}; \quad \Sigma S_{ген} = \Sigma S^{від} - \Sigma S^{під}, \quad \Sigma S_{ген} \geq 0. \quad (1)$$

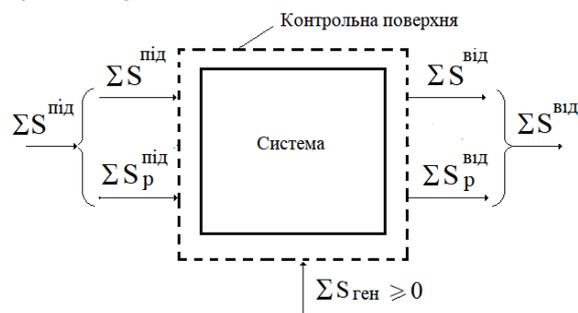


Рисунок 1 - Схема ентропійного балансу системи.

Сумарна відведена ентропія $\Sigma S^{від}$ повинна бути рівною сумарній підведеній ентропії або перевищувати її на величину генерації ентропії $\Sigma S_{ген} \geq 0$. Перший випадок відноситься до ідеальної (оборотної) системи, другий – до реальної (необоротної). Якщо ж $\Sigma S^{від} < \Sigma S^{під}$, то $\Sigma S_{ген} < 0$ – такий процес неможливий.

Ентропійний баланс використовується в ентропійному методі аналізу і оптимізації енергоперетворюючих технічних систем. Проте громіздкість, а в деяких випадках обмежені можливості ентропійного методу не завжди забезпечують знаходження правильних рекомендацій для вирішення інженерних задач [3].

Перелік посилань:

1. Эткинс П. Порядок и беспорядок в природе. – М.: Мир, 1987. – 224 с.
2. Пригожин И., Кондепуди Д. Современная термодинамика. От тепловых двигателей до диссипативных структур. Пер. с англ. – М.: Мир, 2002. - 461 с.
3. Бродянский В.М. Классическая термодинамика на рубеже XXI века: состояние и перспективы развития. Изв. РАН. Энергетика. – 2001.-№5. – с.17-43.

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ВОДНЕВОГО ПАЛИВА У СИСТЕМАХ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Для сучасного суспільства вже звичним є застосування енергії сонця, вітру, різних видів біопалива і інших відновлювальних джерел енергії для керованого енерговиробництва. Поки що їх частка у загальній генерації енергії не велика. Однак у світі найбільш поширеним та майже необмеженим енергетичним ресурсом є водень, який за своїми характеристиками позитивно відрізняється від інших органічних джерел енергії у технологіях виробництва теплової і електричної енергії [1]. Його застосування у цих технологіях більш екологічно чисте, водень у чотири рази має вище масову теплоту згоряння ніж природний газ, більш широкий діапазон займання і стабільного спалювання, продуктом згоряння водню є вода і незначна кількість викидів шкідливих речовин, що дозволяє рахувати його найбільш екологічно чистим джерелом енергії.

У розвинутих країнах світу потужні корпорації розробили та активно стали використовувати водень у двигунах автомобілів, автобусів і потягів за допомогою паливних елементів, що дозволяє їх вважати найбільш екологічно чистими видами транспорту навіть у порівнянні з електромобілями, які живляться електрикою від шкідливо небезпечних для довкілля теплових та атомних електростанцій.

Однак, водень також доцільно застосовувати у децентралізованих системах теплопостачання, оскільки він дозволяє генерувати теплоту для опалення та гарячого водопостачання у компактних теплогенераторах.

Перевагами застосування водню як газоподібного палива у процесах спалювання необхідно вважати наступні:

- теплота згоряння на одиницю маси дорівнює 120 МДж/кг (теплота згоряння 1 т водню H_2 еквівалентна теплоті згоряння 4,1 т умовного палива);
- межі займання в повітрі за об'ємного вмісту H_2 у суміші становлять 4-75%;
- високе значення температури горіння, яка дорівнює близько 2000 °С;
- швидкість поширення ламінарної межі полум'я водню H_2 становить 310 м/с, що у 10 разів вище ніж для природного газу;
- мінімальна енергія, необхідна для індукції запалення становить 0,018 МДж, що у 16 разів менше, ніж для запалення метану CH_4 ;
- відсутність в продуктах згоряння H_2 окису вуглецю CO і радикалів $CxHy$, які є шкідливими забруднювачами довкілля при спалюванні природного газу і інших органічних палив.

Однак ці переваги потребують забезпечення реалізації певних умов якісного спалювання H_2 у теплових установках. Ці умови стосуються забезпечення оптимальної та вибухобезпечної інтенсивності горіння водню, яка залежить від організації оптимальних і якісних аеродинамічних показників сумішоутворення «повітря-водень» за допомогою конструктивних елементів пальникової системи та топкової камери.

Важливим також є забезпечення збільшення часу реагування водню H_2 з окислювачем (киснем повітря) τ_k під час реалізації ланцюга протікання близько 20 елементарних реакцій за участю вільних радикалів, в яких беруть участь вісім компонентів: H_2 , O_2 , H , O , OH , NO_2 , H_2O , H_2O_2 . Це збільшення повинно забезпечити виконання умов $\tau_d \gg \tau_k$, де τ_d відповідає часу, необхідного на входження в контакт окислювача з воднем. Додержання цих умов дозволяє безпечно та якісно організувати дифузійне спалювання водневого палива. У випадку не дотримання цих часових умов і неможливості

забезпечення дифузійного механізму спалювання водню виникає велика ймовірність вибухонебезпечного згоряння водню у вигляді детонації суміші «повітря-водень».

Однак не тільки ця особливість водню ускладнює сам процес згоряння водню у топковій камері теплового агрегату.

Важливо також якісно і безпечно організувати оптимальну швидкість поширення полум'я у зоні спалювання водню, яка залежить від кінетики горіння повітря-водневої суміші, додержання у цій об'ємній зоні оптимальних значень коефіцієнту надлишку повітря, температури та тиску газової суміші.

Такі особливості носять комплексний взаємопов'язаний характер і потребують знаходження оптимальних рішень під час розробки, проектування та виготовлення у єдиному комплексі пальнової системи, топкової камери та газовідвідної системи теплового агрегату, в якому необхідно спалювати водневе паливо.

Котельні агрегати традиційної конструкції не придатні до застосування водню у якості палива для тепловиробництва у зв'язку з тим, що в них неможливо оптимізувати реалізацію вище наведених особливостей і вимог безпечного та ефективного горіння водню H_2 .

Найбільш ефективними, вибухонебезпечними та екологічно сприятливими для тепловиробництва у системах тепlopостачання виглядають теплогенератори контактного типу [2]. Вони маю певні особливості і переваги перед іншими конструкціями теплових агрегатів (котлами, водонагрівачами тощо) оскільки мають можливість реалізувати повний цикл автоматизації процесу їх експлуатації, здатні до швидкотермінових пусків і зупинок, мають низьку теплову інерцію та питому металоємність (менше 2 кг ваги на кВт виробленої теплоти).

Також, важливими перевагами таких контактних теплогенераторів у порівнянні із сучасними котельними агрегатами різних марок і виробників є можливість досягнення під час експлуатації високих значень ККД на рівні 104-106% на нижчу теплотворну здатність палива з одночасним забезпеченням низьких значень емісії шкідливих викидів оксиду азоту NO_x у межах до 20 мг/м^3 з повною відсутністю оксиду вуглецю CO та отриманням додатково значної кількості технічно чистої води. Цю воду доцільно застосовувати у електролізерах для генерування водню H_2 безпосередньо біля контактного теплогенератора, що не потребує його транспортування до міста спалювання.

Окрім того, водень H_2 у такій системі може генеруватися у електролізерах з використанням електрики від сонячних панелей, вітрогенератора чи від електричної мережі.

Наступними основними завданнями наукових досліджень є:

- розробка, виготовлення та випробування дослідного водневого пальника з високими показниками ефективності сумішоутворення, безпечності та якісного спалювання повітря-водневої суміші під час експлуатації на різних режимах від 10 до 100 % навантаження;

- розробка, виготовлення та комплексні випробування дослідного зразка водневого контактного теплогенератора невеликої теплової потужності для цілей децентралізованого тепlopостачання.

Перелік посилань:

1. <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B4>
2. G. Varlamov, K. Romanova, O. Daschenko, M. Ocheretyanko, S. Kasyanchuk. The use of contact heat generators of the new generation for heat production// Eastern-European journal of enterprise technologies №6 (2016) – p.52 -59.

Магістрант 6 курсу, гр. ТП-91мн Мітченко І.О.; аспірант У Ц.
Проф., д.т.н. Варламов Г.Б.

ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВОДОГРІЙНОГО КОТЛА КВГМ-20 ПІСЛЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ ПАЛИВНОЇ СИСТЕМИ

Актуальним завданням на даний час для теплоенергетичної галузі України є виконання законодавчих актів із забезпечення екологічних норм енерговиробництва, що витікають з Паризького протоколу [1] та Національного плану скорочення викидів від великих спалювальних установок [2] та умов Угоди про асоціацію України з ЄС [3].

Забезпечення виконання вказаних екологічних умов можливе двома шляхами: шляхом модернізації паливоспалювальних установок і систем та шляхом проведення комплексної реконструкції теплоенергетичних об'єктів. Останній шлях потребує значних капіталовкладень та великих термінів реалізації, а перший шлях є мало витратним і є швидко терміновим у його проведенні.

За цим шляхом виконані попередні розробки [1] та визначені основні умови проведення модернізації паливної системи водогрійного котла типу КВГМ-20.

Успішне проведення короткотермівової модернізації (протягом 10 робочих годин) паливкової системи даного типу котла із заміною штатного газомазутного пальника типу РГМГ-20 на мікрофакельний газовий пальник типу МГП-20 підтверджено пусковими та експлуатаційними випробуваннями котла на різних режимах навантаження.

Головними вимогами технічного завдання здійснення модернізації котла КВГМ-20 визначено наступні [4]:

- забезпечити надійну мінімальну-максимальну теплопродуктивність котла від 3 до 20 Гкал/год за рахунок заміни штатного газо-мазутного пальника на мікрофакельний газомазутний пальник та встановлення частотних перетворювачів на вентилятор та димосос;
- забезпечити вміст оксиду азоту $<100 \text{ мг/м}^3$ (в перерахунку на NO_x) і $<100 \text{ мг/м}^3$ оксиду вуглецю (СО) у сухих не розбавлених продуктах згоряння (при $\text{O}_2 = 3\%$) в діапазоні регулювання потужності пальника при роботі на природному газі;
- знизити аеродинамічний опір паливкового газо-мазутного пристрою на 25-30% у порівнянні із штатним пальником;
- новий мікрофакельний паливковий пристрій повинен бути встановлений у існуючу амбразуру штатного пальника без зміни конструкції амбразури, топки та поверхонь нагріву котла;
- новий пальник повинен реалізовувати принцип мікрофакельного спалювання природного газу та мати можливість додавання вологи у повітря під час спалювання природного газу;
- забезпечити надійний запуск і стійку роботу пальника у діапазоні 5-100% навантаження котла;
- регулювання потужності тягодуттьових механізмів повинно бути забезпечене за рахунок встановлення відповідних частотних перетворювачів;
- частотні перетворювачі повинні реалізувати різні закони керування двигуном залежно від використання та вимог ефективності: VTS (variable torque standard) – характеристика для навантаження зі змінним моментом, LAM (load adaptation mode) – енергозбереження, CTS (constant torque standard) – характеристика для навантаження з постійним моментом, UF5 (custom load profile five points) – скалярний закон керування, характеристика по п'яти точках;
- частотні перетворювачі повинні зберігати працездатність у випадку падіння напруги до 50% згідно вимог SEMI F47, мати інтегровані функції безпеки у відповідності з МЕК (IEC)/EN 61508-1/2 SIL2 чи SIL3, зокрема “STO” (Safe Torque Off);
- частотні перетворювачі повинні мати можливість здійснення конфігурації фізичних входів та виходів, вбудований веб-сервер для налаштування, діагностики та контролю.

Наведені вимоги щодо забезпечення якісного монтажу, керування, екологічної безпеки та експлуатаційних характеристик і надійності роботи водогрійного котла потребували значних зусиль щодо розробки, виготовлення та встановлення відповідного обладнання. Здійснення демонтажу штатного газо-мазутного пальника типу РГМГ-20 та монтажу мікрофакельного газо-мазутного пальника нового покоління типу МГП-20 проведено протягом 8 робочих годин. Встановлення частотних перетворювачів та підключення їх до двигунів вентилятора та димососу з монтажем нових кабельних трас та нової системи автоматизованого управління роботою котла потребувало 24 години робочого часу.

Пускові (див. рисунок) та експлуатаційні випробування котла після проведення модернізації довели ефективність та якість виконаних робіт, що зафіксовано відповідними актами та протоколом Державних випробувань з наданням Атестаційного листа та позитивного Заключення, які підтвердили повне виконання усіх вимог технічного завдання здійснення модернізації.

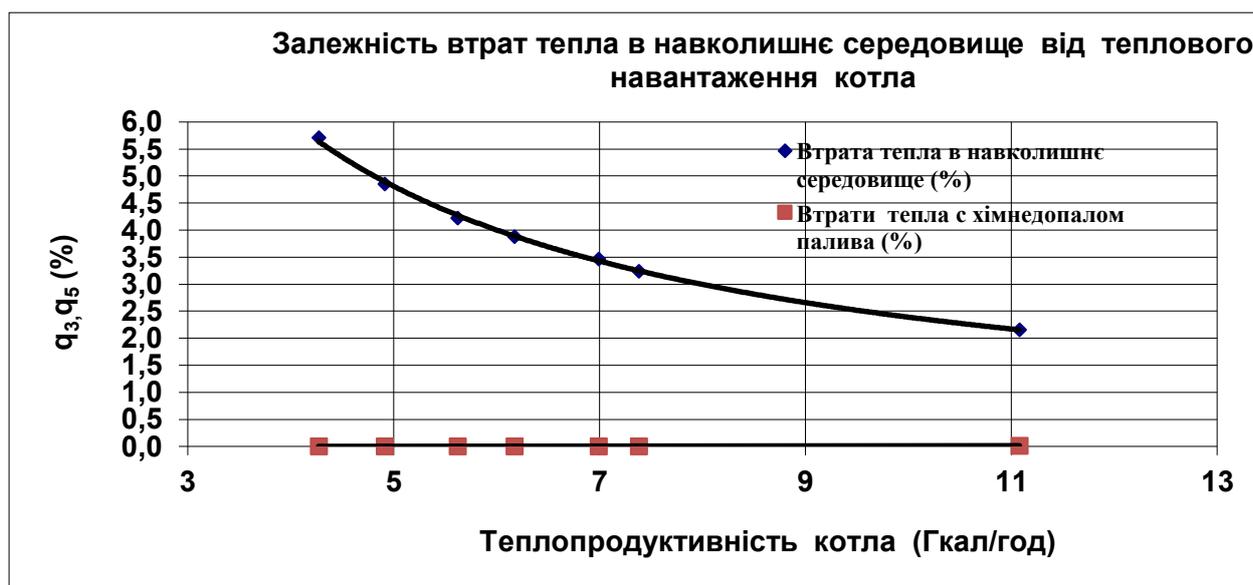


Рисунок 1 - Залежність втрат у доквіллія (q_5) та втрат від хімічного недопалу (q_3 - емісія $CO=0$) котла КВГМ-20 після модернізації з використанням мікрофакельного пальника типу МГП-20

Перелік посилань:

1. Паризька угода _ від 12.12.2015. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_161#Text.
2. Постанова КМ України від 8 листопада 2017 р. № 796-р. «Про Національний план скорочення викидів від великих спалювальних установок» {Із змінами, внесеними згідно з Розпорядженням КМУ № 597-р від 24.07.2019}. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/796-2017-%D1%80#Text>.
3. Угода про асоціацію України з ЄС.
4. Мухін М.С., Романова К.О., Варламов Г.Б. Застосування унікальних властивостей МТС-технології для модернізації пальникової системи котла КВГМ-20. // Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики: Матеріали XVIII Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених та студентів 2020 року. У 2 т. – К. : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – Т. 1. с.170.

УДК 536.24

Магістрант 6 курсу, гр. ТП-91мн Олійник Б.В.
Доц., д.т.н. Барабаш П.О.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ТА ГІДРАВЛІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОЖУХОПЛАСТИНЧАСТИХ ТЕПЛОБМІННИКІВ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН

У якості об'єкта дослідження було взято водні розчини триетаноламінового ефіру жирних кислот з масовою концентрацією $5 - 20$ мг/л, а також водопровідну воду, як основу для порівняння. Дослідження були проведені на спрощеній моделі пакета пластин кожухопластинчастого теплообмінного апарату, пакет пластин омивався теплоносієм модифікованим поверхнево-активними речовинами (ПАР).

В програмі SolidWorks була створена модель, та за допомогою додатка Flow simulation були виконані відповідні розрахунки

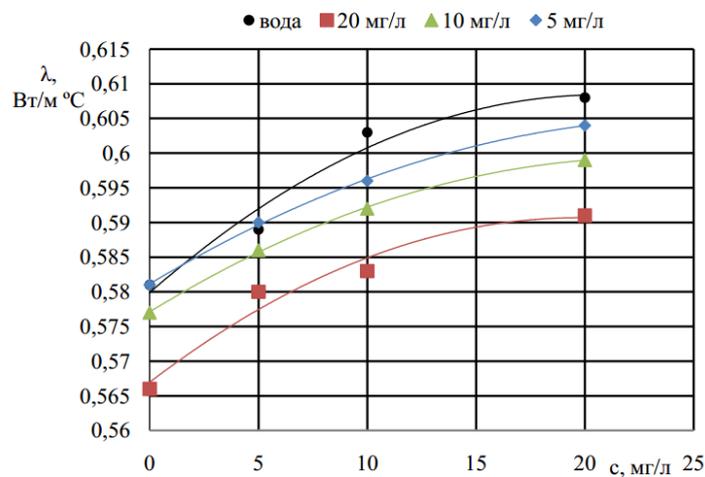


Рисунок 1- Залежність коефіцієнту теплопровідності від концентрації ПАР

Коефіцієнт теплопровідності модифікованого теплоносія у діапазоні температур $60 - 90$ °C зменшується відносно води на 3% це можна побачити на графіку, який зображено на (Рисунку1)

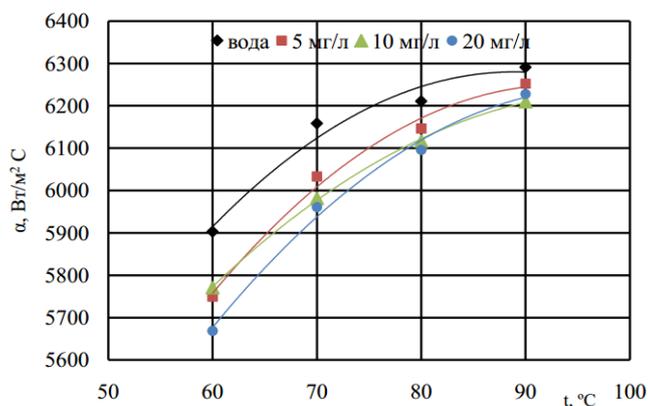


Рисунок 2 – Залежність коефіцієнту тепловіддачі від температури

Коефіцієнт тепловіддачі від теплоносія до стінки α при температурі 70 °C лежить у межах 5668 Вт/м²·°C для $c = 20$ мг/л до 5749 Вт/м²·°C для концентрації $c = 5$ мг/л, тоді як для

води при цій же температурі $5900 \text{ Вт/м}^2\text{°C}$. З підвищенням температури різниця між коефіцієнтами тепловіддачі для води і модифікованого теплоносія зменшується до $c=20 \text{ мг/л}$ $6209\text{-}6290 \text{ Вт/м}^2\text{°C}$ (Рисунок 2)

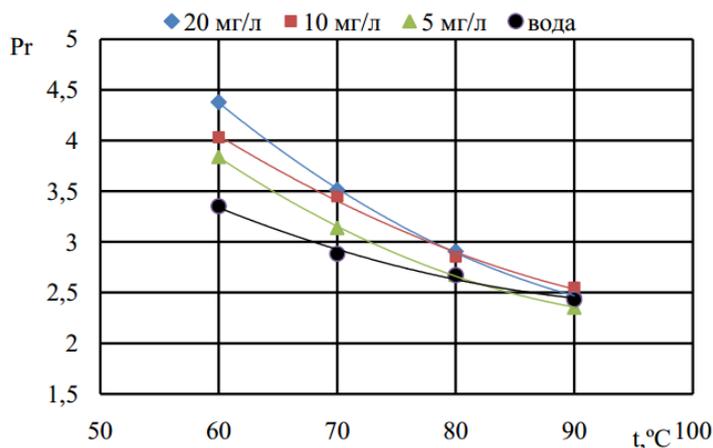


Рисунок 3 – Залежність числа Прандтля від температури теплоносія

Числа Прандтля модифікованого теплоносія відносно води зменшуються на 16% - при температурі 70 °C і $c=20 \text{ мг/л}$ та на 3% при температурі 90 °C і $c=5 \text{ мг/л}$. (Рисунок 3)

З урахування результатів, можна зробити висновок, що додавання до теплоносія триетаноламінових ефірів жирних кислот масовою концентрацією 5 мг/л для забезпечення безнакипного і безкорозійного режиму роботи теплообмінного обладнання, у діапазоні робочих температур $70\text{-}90 \text{ °C}$ не буде суттєво впливати на теплообмін конвекцією.

Модифікатор концентрацією 2 мг/л доречно застосовувати для очищення вже існуючих відкладень і, таким чином, покращувати теплообмін за рахунок зменшення товщини відкладень на поверхнях нагріву теплообмінників.

Перелік посилань

1. Теплообменные аппараты холодильных установок / Под общей ред. Г.Н. Даниловой. – Л.: Машиностроение, 1986. – 303 с.
2. Методические указания по применению комплексонных препаратов для ведения водно-химического режима теплоэнергетических систем 1981. – 304с
3. Исаченко В.П. Теплообмен при конденсации. – М.: Энергия, 1977. – 239с.
4. Волков Ю.А. Тепло- и массообмен при ламинарной пленочной конденсации пара на вертикальной поверхности из вынужденного потока парогазовой смеси: Дис. ... канд. техн. наук. – М., 1986. – 164 с.
5. Исаченко В.В. Теплопередача/ В.В. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. – М.: Энергоатомиздат, – 1981. – 416 с.

Магістрант 2 курсу, гр. ТП-91мн Зарубін О.О., доц., к.т.н. Притула Н.О.;
Проф., д.т.н. Безродний М.К.

УТИЛІЗАЦІЯ ТЕХНОГЕННИХ ПОВІТРЯНИХ ДЖЕРЕЛ ТЕПЛОТИ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ

В умовах сучасної України енергозбереження разом із енергоефективністю складають єдиний пріоритетний напрямок розвитку енергетичної політики держави.

Сукупність всіх умов наших реалій, а саме: наростаючий дефіцит викопних джерел енергії, ріст цін на традиційні джерела енергії, розробка нових екологічних стандартів щодо забезпечення екологічної чистоти технологічних процесів, охорони і збереження навколишнього середовища, зростання потреб споживача в сфері теплової енергії, призводить до того, що проблема енергозбереження для економіки України стає нагальною.

Для більш повної реалізації економічного потенціалу енергоефективності Україна зобов'язана більш широко використовувати економічні ресурси фінансових інститутів Європи та світу, в тому числі і механізми Кіотського протоколу.

Одним із найбільш ефективних видів сучасної техніки нетрадиційної енергетики є теплові насоси (ТН) завдяки їх можливості використовувати поновлювану та нетрадиційну енергію [1,2].

Майже всі наукові або дослідницькі розробки, що пов'язані з впровадженням теплонасосної технології утилізації теплоти техногенних повітряних джерел, перебувають на стадії одиничних проектних рішень і застосувань. У наявній літературі є лише поодинокі дослідження без узагальнення та повного аналізу одержаних результатів, і спроби застосування їх на решту систем [1]. Таким чином, виконаний аналіз досліджень у сфері застосування ТН у системах теплопостачання показав, що дане питання є відкритим. На основі методу балансних рівнянь розроблено теоретичну модель схемного рішення теплонасосної системи (ТНС) теплопостачання (рис.1), а також методичку термодинамічного аналізу їхньої роботи. З використанням числового методу отримано дані щодо ефективності застосування ТН у системі теплопостачання та визначено оптимальну глибину використання техногенних повітряних викидів, як нижнього джерела енергії.

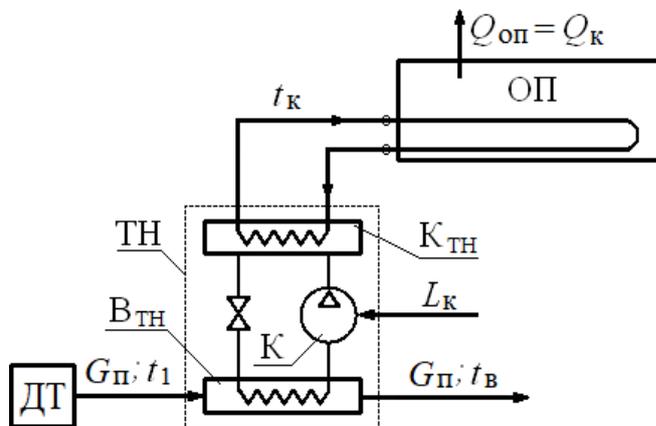
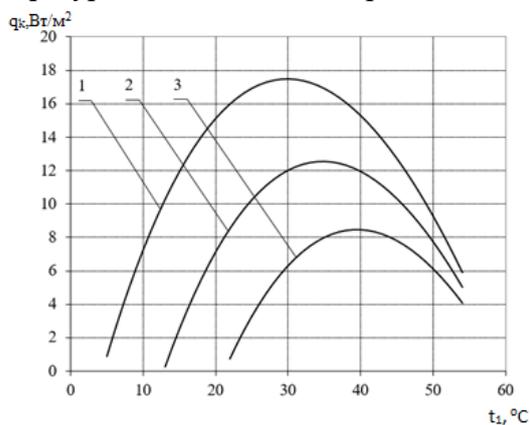


Рисунок 1 - Принципова схема теплонасосної системи опалення, що працює за рахунок утилізації теплоти техногенних повітряних джерел:
ОП – опалюване приміщення;
ДТ – джерело теплоти;
ТН – тепловий насос;
К_{тн} – конденсатор ТН;
В_{тн} – випарник ТН;
К – компресор.

Встановлено, що при утилізації теплоти техногенних повітряних джерел заданої витрати і температури в ТНС теплопостачання існує оптимальна глибина охолодження теплоносія у випарнику ТН за умов отримання максимального корисного ефекту з урахуванням затрат первинної енергії палива на привід ТН.

На рис.3. відображено залежність оптимальної температури повітряних техногенних викидів від температур повітряних техногенних викидів на вході у випарник ТН при розрахункових температурах теплоносія в системі опалення.

Для визначення оптимальних умов роботи ТН типу «повітря – вода» в системі низькотемпературного водяного опалення побудовано графічні залежності питомих затрат зовнішньої енергії $l_{оп}$ від температури повітря на виході з випарника ТН за розрахункової температури теплоносія в низькотемпературній системі опалення $t_T^p = 40, 50, 60$ °С. Температура навколишнього середовища змінюється в діапазоні від -20 °С до 15 °С.



Риснок 2 - Питомий корисний ефект, отриманий у результаті утилізації техногенних повітряних джерел теплоти за допомогою ТН, при температурі техногенних повітряних викидів $t_1 = 60$ °С, де відповідно: 1 – 3 - за відповідної розрахункової температури гріючого теплоносія в системі опалення $t_T^p = 40; 50; 60$ °С.

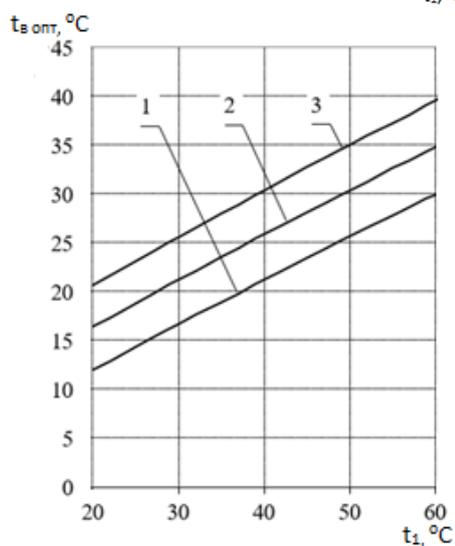


Рисунок 3 - Залежність оптимальної температури повітряних техногенних викидів від їхньої температури на вході у випарник ТН: 1 – 3 - за розрахункової температури гріючого теплоносія в системі опалення $t_T^p = 40; 50; 60$ °С.

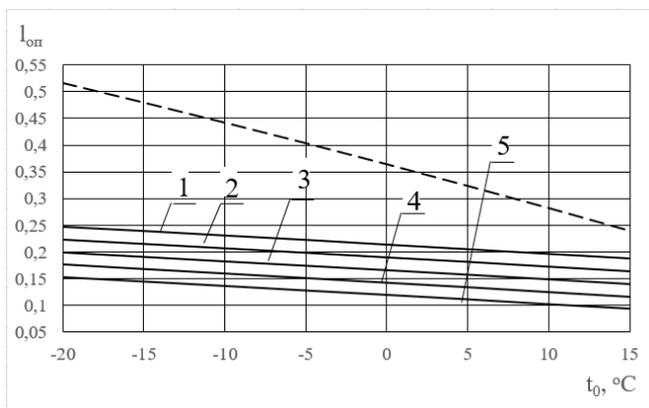


Рисунок 4 - Залежність питомих затрат зовнішньої енергії від температури навколишнього середовища при розрахунковій температурі гріючого теплоносія в системі опалення $t_T^p = 50$ °С та температурі техногенних повітряних викидів 1–5 - $t_1 = 20; 30; 40; 50; 60$ °С відповідно.

Перелік посилань:

1. Гершкович В.Ф. Тепловые насосы. Реализованные проекты и нереализованные возможности / В.Ф. Гершкович. – К.: ЗНИИЭП, 2004. – 34 с.
2. Безродний М.К., Притула Н.О. Термодинамічна та енергетична ефективність теплонасосних схем теплопостачання. – Київ: НТУУ «КПІ», 2016. – 272 с.

УДК 697.1

Магістрант 6 курсу, гр. -91мн Гончаров Н.С.

Проф., д.т.н. Дешко В.І.

АНАЛІЗ МЕТОДИКИ РОЗПОДІЛУ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ В БАГАТОКВАРТИРНИХ БУДИНКАХ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ПРИЛАДІВ-РОЗПОДІЛЮВАЧІВ. РЕЗУЛЬТАТИ ПРАКТИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ

Вступ

Раніше індивідуальний (поквартирний) облік був тільки для мешканців новобудов (будинків з горизонтальною системою опалення). Мешканці старих будівель, де була відсутня технічна можливість встановити індивідуальний тепловий лічильник, платили за обсяг опалення, який споживав увесь будинок, при цьому спожита тепла енергія розподілялася пропорційно площі на всіх мешканців.

Зараз власники квартир, що встановлюють квартирні прилади-розподільвачі теплової енергії на радіатори (при вертикальній системі опалення), зможуть регулювати температуру в своїх квартирах, економити на опаленні та сплачувати виключно за власним лічильником. Доплата складе лише за обігрів загальних місць користування і допоміжних приміщень відповідно до площі їх квартири. Це загальноєвропейська практика.

Прилад-розподільвач теплової енергії призначений для вимірювання різниці температури між поверхнею опалювального приладу та температури оточуючого його повітря, обчислення на основі вимірів різниці температур числового значення, пропорційного кількості теплової енергії, що виділяється опалювальним приладом.

Прилад-розподільвач теплової енергії вимірює не абсолютну, а відносну (пропорційну) кількість теплової енергії, що віддається поверхнею кожного опалювального приладу в системі опалення будівлі.

Відповідно до статті 10 Закону України "Про комерційний облік теплової енергії та водопостачання", пункту 4 частини другої статті 4 Закону України "Про житлово-комунальні послуги", пункту 8 Положення про Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 30 квітня 2014 року № 197 було затверджено Методику розподілу між споживачами обсягів спожитих у будівлі комунальних послуг, що регулює, в тому числі, розподілення теплової енергії при використанні в будівлі приладів-розподільвачів [1]. В методиці присутній ряд поправкових коефіцієнтів для різних типів приміщень, залежно від їх конфігурації, та формул, що їх використовують.

Об'єкт дослідження: Багатоквартирна житлова будівля із вертикальною системою опалення та приладами-розподільвачами на радіаторах.

Предмет дослідження: Фактичні дані про розподілення теплової енергії в багатоквартирній житловій будівлі із вертикальною системою опалення, при використанні приладів-розподільвачів.

Мета дослідження: Проаналізувати розподіл теплової енергії за методикою [1] при використанні приладів-розподільвачів.

Аналіз результатів розподілу теплової енергії сумарно за поверхами та стояками представлено на рис. 1 та 2.

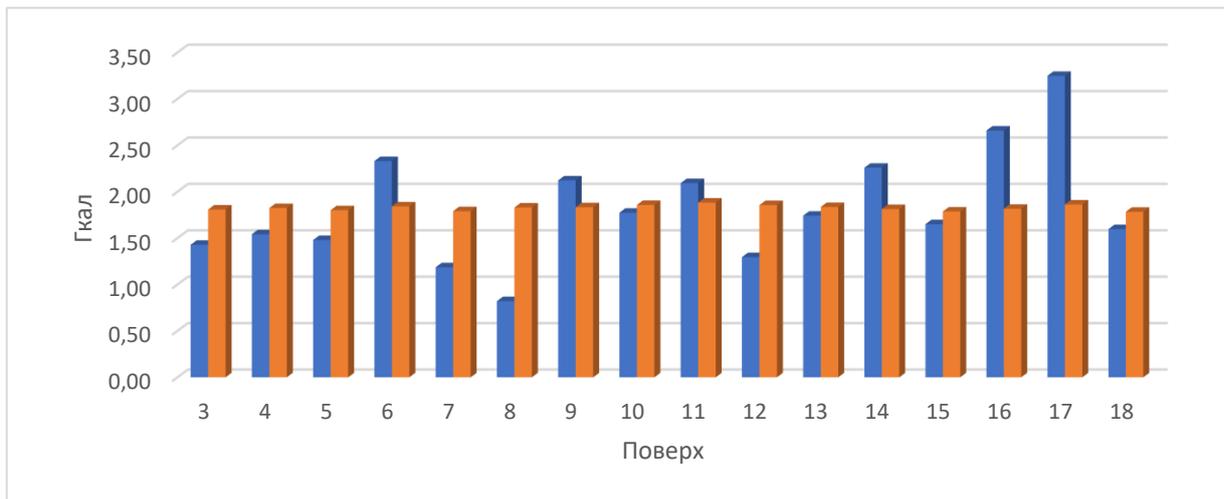


Рисунок 1 – Споживання теплової енергії за поверхами

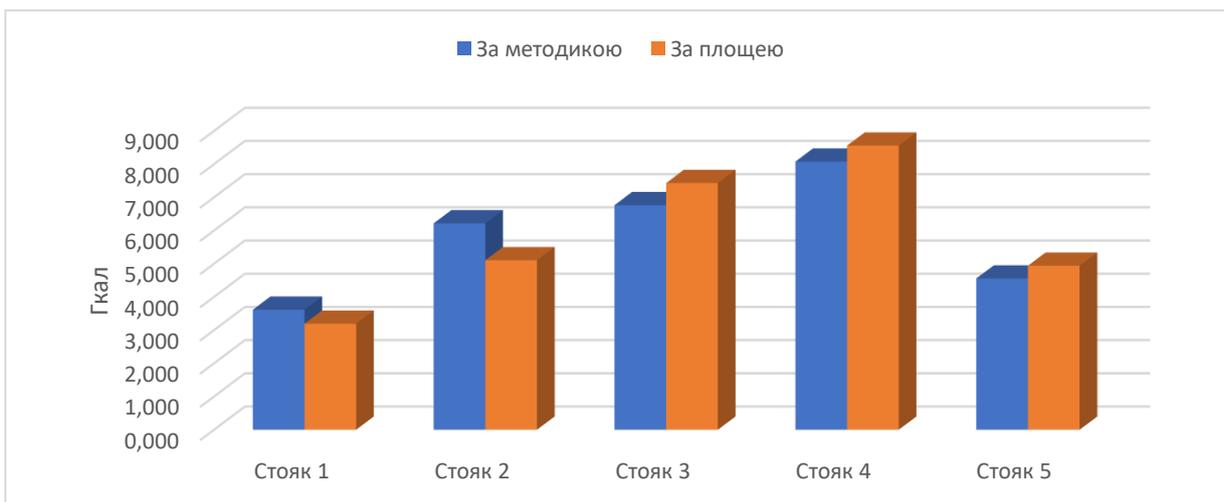


Рисунок 2 – Сумарне споживання теплової енергії за стояками

Висновки

Виходячі з отриманих даних, можна сказати, що прилади-розподільвачі теплової енергії дійсно мають вплив на кількісне розподілення теплової енергії між квартирами, однак виникає ряд питань, які на сьогоднішній день потребують додаткового опрацювання:

Виникнення надлишків теплової енергії при виконанні донарахування відповідно до методики [1].

В цій роботі запропоновано спосіб вирішення даного питання.

Велика різниця в споживанні теплової енергії між приміщеннями.

Споживання теплової енергії за одним і тим же стояком від поверха до поверха може відрізнятися суттєво. Це потребує додаткового аналізу як самої Методики [1], так і роботи приладів-розподільвачів теплової енергії та обробки їх даних.

Перелік посилань:

1. Про затвердження Методики розподілу між споживачами обсягів спожитих у будівлі комунальних послуг: Наказ міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України №315 від 22 листопада 2018. Зареєстрована у Міністерстві юстиції України 28 грудня 2018 року за № 1502/32954. 29 с.

ЗМІСТ

СЕКЦІЯ №1 АТОМНА ЕНЕРГЕТИКА	3
Альтернативні методи імовірнісного аналізу безпеки багатоблочних АС.	4
<i>МАНДРИЧЕНКО К.Е., аспірант</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Клевцов С.В.</i>	
Результати експертної оцінки поточного і прогнозованого рівня підкритичності ядерно-небезпечного скупчення паливовмісних матеріалів всередині ОУ.	6
<i>СУЩЕНКО К.О., аспірант</i>	
<i>Керівник - проф., д.т.н. Носовський А.В.</i>	
Фабрика нейтронів.	8
<i>ДЗЕРУН М.С., студент гр. ТЯ-81</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Лещенко Б.Ю.</i>	
Концепція спряженого розрахунку полей радіаційного енерговиділення та температури з урахуванням особливостей фомозміни вигородки ВВЕР-1000.	10
<i>КОВАЛЕНКО О.В., студент гр. ТЯ-81</i>	
<i>Керівник - Філонова Ю.С.</i>	
Впровадження обладнання для удосконалення ущільнення головного роз'єму реактора типу ВВЕР-1000.	12
<i>АБРАМОВ Ю.Ю., студент гр. ТЯ-71</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Клевцов С.В.</i>	
Очищення теплоносія 1-го контуру енергоблоку з ВВЕР-440.	14
<i>БОНДАРУК М.В., студент гр. ТЯ-72</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Коньшин В.І.</i>	
Аналіз впливу радіаційного випромінювання на міцність корпусів реакторів типу ВВЕР-1000.	16
<i>ВИГОР Я.П., студент гр. ТЯ-72</i>	
<i>Керівник - асист. Остапенко І.А.</i>	
Оптимізація стратегій техобслуговування і ремонт (у т.ч. на основі імовірнісних підходів).	18
<i>ІВАНОВ Д.С., студент гр. ТЯ-72</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Новаківський Є.В.</i>	
Модернізація автоматизованих систем радіаційного контролю на АЕС.	20
<i>КВЯТКОВСЬКИЙ Б.Б., студент гр. ТЯ-71</i>	
<i>Керівник - ст.викл., к.т.н. Семеняко О.В.</i>	
Модернізація перевантажувальної машини на АЕС з ВВЕР 1000.	22
<i>КОЛОДІЙ Н.О., студент гр. ТЯ-71</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Клевцов С.В.</i>	
Керування конфігурацією обладнання енергоблоку з метою підвищення показників надійності АЕС.	24
<i>КОРЧУН В.С., студент гр. ТЯ-71</i>	
<i>Керівник - асист. Федоров Д.О.</i>	
Інтеграція АСКРО АЕС в Єдину автоматизовану систему контролю радіаційної обстановки.	26
<i>КУЗЬМЕНКО В.М., студент гр. ТЯ-71</i>	
<i>Керівник - асист. Остапенко І.А.</i>	
Оцінка стану трубопроводів СВО-5 ЯЕУ з реактором ВВЕР-1000 з метою продовження строку експлуатації у понадпроектний період.	28
<i>ЛЕВЧЕНКО О.Ю., студент гр. ТЯ-72</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Коньшин В.І.</i>	

Приводи органів регулювання системи управління та захисту.	30
<i>ПІДПАЛИЙ Д.В., студент гр. ТЯ-71</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Коньшин В.І.</i>	
Аналіз пасивних систем безпеки, що забезпечують цілісність захисних оболонок та надійний захист гермооб'єму на реакторах нових поколінь.	32
<i>ПОЛУПАН А.О., студент гр. ТЯ-72</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Філатов В.І.</i>	
Використання дизель-привідного насосу для аварійного підживлення і борювання 1-го контуру АЕС з ВВЕР-1000/320.	34
<i>ПУГАЧОВ П.О., студент гр. ТЯ-71</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Клевцов С.В.</i>	
Аналіз впливу гідроудару на функціонування БЗОК.	36
<i>РОЖНЬОВ І.А., студент гр. ТЯ-71</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Рогачов В.А.</i>	
Оптимізація відведення тепла від басейну витримки з метою неперевикнення експлуатаційних меж.	38
<i>СОРОКА Ю.Ю., студент гр. ТЯ-72</i>	
<i>Керівник - проф., д.т.н. Кравець В.Ю.</i>	
Гетерогенне розбавлення борної кислоти в теплоносії першого контуру ВВЕР-1000.	40
<i>СОРОКА О.І., студент гр. ТЯ-71</i>	
<i>Керівник - асист. Федоров Д.О.</i>	
Особливість явища критичного витоку теплоносія на надкритичних параметрах .	42
<i>ФЕДОРОВ Д.О., аспірант</i>	
<i>Керівник - проф., д.т.н. Туз В.О.</i>	
Концепція управління запроектованими аваріями системою зовнішнього охолодження корпусу реактора енергоблоків №3 і №4 ХАЭС.	44
<i>ЧЕРЕПАНОВ І.Ю., студент гр. ТЯ-72</i>	
<i>Керівник - асист., Остапенко І.А.</i>	
Бетон як біологічний захист ядерних реакторів.	46
<i>АНЮШКІНА А.А., магістрант гр. ТЯ-01мн</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Коньшин В.І.</i>	
Оцінка технічного стану та ресурсу корпусу реактора під час експлуатації АЕС.	48
<i>ГАВРИК В.С., магістрант гр. ТЯ-01мн</i>	
<i>Керівник - асист. Остапенко І.А.</i>	
Формування вихідних даних для імовірнісного аналізу безпеки від сейсмічних впливів.	50
<i>ГАВРИК В.С., магістрант гр. ТЯ-01мн</i>	
<i>Керівник - ст.викл. Сахно О.В.</i>	
Аналіз підходів до забезпечення щільності головного роз'єму реактора ВВЕР-1000.	52
<i>КРАСИКОВ В.В., магістрант гр. ТЯ-01мн</i>	
<i>Керівник - ст.викл., к.т.н. Сахно О.В.</i>	
Розробка алгоритму та програми розрахункового дослідження ксенонових аксіальних коливань потужності в реакторах ВВЕР-1000.	54
<i>МУШТУК П.М., магістрант гр. ТЯ-мн;</i>	
<i>ПАЛАМАРЧУК М.М., магістрант гр. ТЯ-мн</i>	
<i>Керівник - к.т.н. Халімончук В.А.</i>	
Аналіз безпеки роботи РУ ВВЕР-1000 на потужностному ефекті реактивності більше 30 діб.	56

<i>ПЕТИШИН О.В., магістрант гр. ТЯ-01мн</i> <i>Керівник - асист., к.т.н. Овдієнко Ю.М.</i>	
Аналіз надійності ШРУ-А в умовах течі теплоносія з 1-го в 2-й контур.	58
<i>РОЗВАЗКИЙ Я.В., магістрант гр. ТЯ-01мн</i> <i>Керівник - ст.викл., к.т.н. Сахно О.В.</i>	
Моделювання активної зони реактора для оперативного визначення нейтронно-фізичних параметрів ядерної установки за допомогою коду Serpent.	60
<i>ЯКИМЧУК А.О., магістрант гр. ТЯ-мн</i> <i>Керівник - ст.викл., к.т.н. Бібік Т.В.</i>	
Кваліфікація розрахункового Монте-Карло коду Serpent для дифузійного розрахунку реакторів ВВЕР.	62
<i>ЯКИМЧУК А.О., магістрант гр. ТЯ-01мн; ТРОФИМЕНКО О.Р., аспірант</i> <i>Керівник - ст.викл., к.т.н. Бібік Т.В.</i>	
Аналіз використання кластерів СУЗ в розробці реакторів модульного типу та сучасні підходи до розробки пасивних систем захисту в реакторах ВВЕР.	64
<i>ГОРБАЧИК С.О., магістрант гр. ТЯ-91мн</i> <i>Керівник - доц., к.т.н. Халімончук В.А.</i>	
Поводження с високоактивними відходами на АЕС України. Сховище ВАВ на території Чорнобильської АЕС..	66
<i>ГРИТЧИНА К.С., магістрант гр. ТЯ-91мн</i> <i>Керівник – доц., к.т.н. Філатов В.І.</i>	
Система радіаційного контролю централізованого сховища відпрацьованого ядерного палива.	68
<i>ДАРИБОГОВ М.М., магістрант гр. ТЯ-91мн</i> <i>Керівник - проф., д.т.н. Носовський А.В.</i>	
Реалізація технічних рішень з реалізації садії остаточного закриття, зняття з експлуатації енергоблоку АЕС з реакторною установкою типу ВВЕР-1000.	70
<i>ЛЕЩЕНКО Д.В., магістрант гр. ТЯ-91мн</i> <i>Керівник - , к.т.н. Філатов В.І.</i>	
Оцінка технічного стану фільтра-гідроциклона грубої очистки ЯЕУ з реактором ВВЕР-1000 з метою подовження терміну експлуатації.	72
<i>МИКИТЮК І.О., магістрант гр. ТЯ-91мн</i> <i>Керівник - доц., к.т.н. Коньшин В.І.</i>	
Продовження експлуатації парогенератора ПГВ-1000М. Управління старінням.	74
<i>МИРОНЕНКО М.О., магістрант гр. ТЯ-91мн</i> <i>Керівник - доц., к.т.н. Філатов В.І.</i>	
Оцінка безпеки персоналу АЕС у випадку аварійного викиду токсичних хімічних речовин.	76
<i>ОДИНЕЦЬ В.В., магістрант гр. ТЯ-91мн</i> <i>Керівник - ст.викл., к.т.н. Сахно О.В.</i>	
Моделювання процесу деградації корпусу реактору при важкій аварії на АЕС.	78
<i>ОНИЩУК Ю.А., аспірант</i> <i>Керівник - доц., к.т.н. Клевцов С.В.</i>	
Оцінка рівня безпеки енергоблоку АЕС при впровадженні заходів, що компенсують повне тривале його знеструмлення.	80
<i>ОСТАПОВЕЦЬ А.О., магістрант гр. ТЯ-91мн</i> <i>Керівник - доц., к.т.н. Коньшин В.І.</i>	

Обґрунтування застосування МНУ для безпеки АЕС в умовах тривалого і повного знеструмлення.	82
<i>ПЕТРИЧУК І.О., магістрант гр. ТЯ-91мн</i>	
<i>Керівник - ст.викл., к.т.н. Бібік Т.В.</i>	
Дослідження стратегії локалізації розплаву коріуму всередині корпусу реактору для РУ типу ВВЕР-440.	84
<i>РИЖКО А.В., магістрант гр. ТЯ-91мн</i>	
<i>Керівник - ст.викл., к.т.н. Сахно О.В.</i>	
Проста адаптація "класичних" пристінкових функцій температури для розрахунку теплообміну при надкритичних параметрах .	86
<i>ФІЛОНОВ В.В., аспірант</i>	
<i>Керівник – проф., д.т.н. Письменний Є.М.</i>	
Зниження ризику пошкодження активної зони в стані РУ "Перевантаження палива".	88
<i>ПЕТРУК В.Р., студент гр. ТЯ-72</i>	
<i>Керівник - проф., д.т.н. Кравець В.Ю.</i>	
Система примусового скидання тиску з системи герметичного огороження реакторної установки.	89
<i>ЗІНЧЕНКО А.Д., студент гр. ТЯ-72</i>	
<i>Керівник - проф., д.т.н. Кравець В.Ю.</i>	
Модернізація стелажів для кріплення відпрацьованих ТВЗ в басейні витримки.	91
<i>АРТЮШИК Д.В., студент гр. ТЯ-72</i>	
<i>Керівник - проф., д.т.н. Кравець В.Ю.</i>	
Розробка оптимізації технічного обслуговування та ремонтів систем важливих для безпеки на основі ризико-інформованого підходу на енергоблоці ЗАЕС №2.	93
<i>БАДАКА Д.В., магістрант гр. ТЯ-мн</i>	
<i>Керівник - асист. Федоров Д.О.</i>	
Підвищення надійності роботи системи аварійного захисту реактора ВВЕР-1000 шляхом модернізації приводів ОР СУЗ.	95
<i>ЧАГУР А.М., магістрант гр. ТЯ-01мн</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Коньшин В.І.</i>	
СЕКЦІЯ №2 ЯДЕРНА ЗАХИЩЕНІСТЬ ТА НЕРОЗПОВСЮДЖЕННЯ	97
Assessment of the performance of the physical protection system.	98
<i>ANIUSHKINA A., master гр. ТЗ-301мн</i>	
<i>Scientific chief - sen. lect. Lysenko T..</i>	
Synergy of security culture and security culture.	100
<i>КОВЧ М.В., undergraduate гр. ТЗ-01мп</i>	
<i>Head - assistant Ostapenko I.A.</i>	
Creation of a complex of engineering and technical means on a hypothetical installation of oncology dispensary.	102
<i>Kovch T.D., undergraduate гр. ТЗ-01мп</i>	
<i>Head - assistant Ostapenko I.A.</i>	
Інформаційна безпека комп'ютеризованих систем обліку і контролю ядерних матеріалів .	104
<i>АНЮШКІНА А.А., магістрант гр. ТЗ-301мн</i>	
<i>Керівник - асист. Остапенко І.А.</i>	
Подолання аварійних та кризових ситуацій за допомогою роботизованих комплексів.	106
<i>Вікторов Я.О., магістрант гр. ТЗ-01мн</i>	

<i>Курівник – ст.викл., к.т.н. Бібік Т.В.</i>	
Методологія своєчасного виявлення внутрішнього правопорушника.	108
<i>КАПІНОС Н.О., магістрант гр. ТЗ-01мп</i>	
<i>Керівник - ст.викл., к.т.н. Бібік Т.В.</i>	
Синергія культури захищеності та культури безпеки.	110
<i>КОВЧ М.В., магістрант гр. ТЗ-01мп</i>	
<i>Керівник - асистент Остапенко І.А.</i>	
Створення комплексу інженерно - технічних засобів на гіпотетичній установці онкодиспансеру .	112
<i>КОВЧ Т.Д., магістрант гр. ТЗ-01мп</i>	
<i>Керівник - асистент Остапенко І.А.</i>	
Актуальність розробки методики оцінки вразливості джерел іонізуючого випромінювання медичного призначення.	114
<i>КОЛОДІЙЧУК О.Л., магістрант гр. ТЗ-01мп</i>	
<i>Керівник - асист. Серафим Р.І.</i>	
Вдосконалення методики оцінки імовірності нейтралізації правопорушника.	116
<i>ПЕТРІВСЬКИЙ Р.І., магістрант гр. ТЗ-01мп</i>	
<i>Керівник - асист. Серафим Р.І.</i>	
Підвищення рівня фізичного захисту ядерної установки за рахунок впровадження системи маршрутизації персоналу.	118
<i>РІЗНИЧЕНКО А.С., магістрант гр. ТЗ-01мп</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Клевцов С.В.</i>	
Переваги і недоліки руйнівного аналізу ядерних матеріалів.	120
<i>ЯКИМЧУК А.О., магістрант гр. ТЗ-01мп</i>	
<i>Керівник - ст.викл., к.т.н. Бібік Т.В.</i>	
СЕКЦІЯ №3 ТЕПЛООБМІН І ГІДРОДИНАМІКА В ТЕПЛОПЕРЕДАЮЧИХ І ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПРИСТРОЯХ	
	122
Теплопередаючі характеристики мініатюрних двофазних термосифонів.	123
<i>БЕХМАРД Г., мол. вчений</i>	
<i>Керівник - проф., д.т.н. Кравець В.Ю.</i>	
Influence of RHP channel design on start-up and gravity: A review.	125
<i>MANE K., postgraduate</i>	
<i>Scientific chief - assist., cand.eng.sc. Alekseik Y..</i>	
Визначення внутрішнього діаметру пульсаційних теплових труб з низькотемпературними теплоносіями.	127
<i>КОЗАК Д.В., мол. вчений</i>	
<i>Керівник - пр.н.спів., д.т.н. Ніколаєнко Ю.Є.</i>	
Вплив параметрів пористих структур на граничні теплові потоки.	129
<i>МЕЛЬНИК Р.С., мол. вчений; ЛІПНІЦЬКИЙ Л.В., магістрант гр. ТФ-61мп</i>	
<i>Керівник - проф., д.т.н. Кравець В.Ю.</i>	
Швидкознімний нагрівальний модуль для теплових досліджень експериментальної партії теплових труб .	131
<i>МЕЛЬНИК Р.С., мол. вчений; ЛІПНІЦЬКИЙ Л.В., магістрант гр. ТФ-91мп</i>	
<i>Керівник - пр.н.спів., д.т.н. Ніколаєнко Ю.Є.</i>	
Порівняння теплових характеристик двох варіантів корпусів приймально-передавальних модулів.	133
<i>ПЕКУР Д.В., мол. вчений</i>	
<i>Керівник - пр.н.спів., д.т.н. Ніколаєнко Ю.Є.</i>	
Стан та перспективи розвитку повітряних систем охолодженням приймально-передавальних модулів.	135

<i>СОЛОМАХА А.С., мол. вчений</i> <i>Керівник - пр.н.спів., д.т.н. Ніколаєнко Ю.Є.</i>	
Анализ целесообразности использование теплоносителей на базе наножидкостей для миниатюрных испарительно-конденсационных систем.	137
<i>ГУРОВ Д.І., аспірант</i> <i>Керівник - проф., д.т.н. Кравець В.Ю.</i>	
Інтенсивність теплообміну при конденсації на горизонтальній оберненій вниз пористій поверхні.	139
<i>ЛПНИЦЬКИЙ Л.В., магістрант гр. ТФ-91мн; МЕЛЬНИК Р.С., мол. вчений</i> <i>Керівник - доц., к.т.н. Лебедь Н.Л.</i>	
Конструкція теплової труби з різьбовою капілярною структурою зі змінним коефіцієнтом заповнення.	141
<i>ЛПНИЦЬКИЙ Л.В., магістрант гр. ТФ-91мн; МЕЛЬНИК Р.С., мол. вчений</i> <i>Керівник - пр.н.спів., д.т.н. Ніколаєнко Ю.Є.</i>	
Дослідження теплопровідності пористих матеріалів.	143
<i>БУГАЙОВ І.В., студент гр. ТФ-71</i> <i>Керівник - доц., к.т.н. Лебедь Н.Л.</i>	
Візуалізація процесів, що відбуваються в тепловій трубі.	145
<i>ВАЛЬЧУК С.А., студент гр. ТФ-71; ЛПНИЦЬКИЙ Л.В., магістрант гр. ТФ-91мн</i> <i>Керівник - асист. Алексеїк О.С.</i>	
Дослідження теплоємності пористих матеріалів.	147
<i>КРАВЧУК Д.А., студент гр. ТФ-71</i> <i>Керівник - доц., к.т.н. Лебедь Н.Л.</i>	
Комп'ютерне моделювання теплових характеристик вузла підігріву сушильного агенту для барабанної сушильної установки.	149
<i>НЕВЧАС Д.М., студент гр. ТФ-71</i> <i>Керівник - проф., д.т.н. Сорокова Н.М.</i>	
Использование дисперсных систем в качестве теплоносителей в термосифонах.	151
<i>СКРИПКО Є.І., студент гр. ТФ-71; МЕЛЬНИК Р.С., мол. вчений</i> <i>Керівник - асист. Алексеїк О.С.</i>	
Фізична модель системи охолодження мікропроцесора на основі двофазного термосифона.	153
<i>ПОЛОВИНКІН К.О., магістрант гр. ТФ-01мн</i> <i>Керівник - проф., д.т.н. Кравець В.Ю.</i>	
Фізична модель наносупутника PolyITAN-4-Bio.	155
<i>ПОЛОВИНКІН К.О., магістрант гр. ТФ-01мн</i> <i>Керівник - проф., д.т.н. Сорокова Н.М.</i>	
Максимальна теплопередавальна здатність пласких теплових труб з металоволокнистою капілярною структурою.	157
<i>ВАСИЛЬЄВА А.Д., магістрант гр. ТФ-91мн; проф., д.т.н. КРАВЕЦЬ В.Ю.,</i> <i>Керівник - доц., к.т.н. Шевель Є.В.</i>	
Тепломасообмін та аеродинаміка композиційних плоскоовальних труб з неповним гофрованим оребренням.	159
<i>КОНЬКО Д.В., магістрант гр. ТФ-91мн</i> <i>Керівник - доц., к.т.н. Баранюк О.В.</i>	
Ефект теплового ключа в випарно-конденсаційних системах.	161
<i>ЮДІН І.І., магістрант гр. ТФ-91мн</i> <i>Керівник - проф., д.т.н. Кравець В.Ю.</i>	

СЕКЦІЯ № 4 ТЕПЛОГІДРАВЛІЧНІ ПРОЦЕСИ В ТЕПЛО- І ПАРОГЕНЕРУЮЧИХ УСТАНОВКАХ	163
Застосування конденсаційних економайзерів на енергетичних на газових енергетичних та водогрійних котлах .	164
<i>НЕДІЛЬКО А.В., аспірант</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Новаківський Є.В.</i>	
Енерготехнологічні особливості використання водневих технологій в промисловості і комунально-побутовому секторі.	166
<i>РЯБЦУН Р.С., аспірант</i>	
<i>Керівник - ст.викл., к.т.н. Воробйов М.В.</i>	
Оребрення пароперегрівача.	168
<i>БУТОК О.В., студент гр. ТК-п81</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Новаківський Є.В.</i>	
Газифікація бурого угля.	170
<i>ВОЛКОВА К.Ю., студент гр. ТК-п81</i>	
<i>Керівник - ст.викл., к.т.н. Воробйов М.В.</i>	
Сумісне спалювання вугілля та біомаси в котлі .	172
<i>ГОЛОВЧЕНКО А.В., студент гр. ТК-71</i>	
<i>Керівник - ст.викл., к.т.н. Воробйов М.В.</i>	
Зниження вмісту оксидів азоту в продуктах згорання за допомогою методу рециркуляції димових газів.	174
<i>ДУДНИК А.А., студент гр. ТК-71мп</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Мариненко В.І.</i>	
Використання біогазу в котлах для заміщення природного газу.	176
<i>НОВОСАД Ю.І., студент гр. ТК-71</i>	
<i>Керівник - ст.викл., к.т.н. Воробйов М.В.</i>	
Низькотемпературна корозія повітропідігрівача котла ГМ-50.	178
<i>СМАЛЮГА Д.О., студент гр. ТК-71мп</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Рогачов В.А.</i>	
Заміщення природнього газу в котлі БКЗ-75-39 на біомасу .	180
<i>ШАЛІНХОВСЬКА Ю.В., студент гр. ТК-71</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Рогачов В.А.</i>	
Використання альтернативних видів палива при роботі парового котла.	182
<i>КОЛБАБА М.В., магістрант гр. ТК-91мп</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Новаківський Є.В.</i>	
CFD - модель ступеневого спалювання палива.	184
<i>ЛОГВИНЮК М.О., магістрант гр. ТК-91мп</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Новаківський Є.В.</i>	
Теплонапружений стан труб плоскоовальної форми .	186
<i>КУЛИНИЧ В.С., аспірант</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Рогачов В.А.</i>	
Електрофільтри .	188
<i>ПИРОГОВ К.С., студент гр. ТК-71</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Новаківський Є.В.</i>	
Реконструкція пальників котла ТП-15.	190
<i>ПІВТОРАЦЬКИЙ В.В., магістрант гр. ТК-91мп</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Мариненко В.І.</i>	
Повітропідігрівник з труб плоскоовальної форми для котла ГМ-50-14.	192
<i>СОБКО Л.В., магістрант гр. ТК-01 мп</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Рогачов В.А.</i>	

СЕКЦІЯ №5 СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ТЕПЛОВІЙ ЕНЕРГЕТИЦІ	
Аналіз впливу основних технологічних параметрів котельного обладнання на емісію оксидів азоту .	195
<i>КОБИЛЯНСЬКА О.О., аспірант гр. ТС-01ф</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Сірий О.А.</i>	
Анализ выбросов твердых летучих частиц при различных технологиях сгорания.	197
<i>БУДЯ Ю.С., студент гр. ТС-п91; ШЕЛЕШЕЙ Т.В., мол. вчений</i>	
<i>Керівник – асист. Беднарська І.С.</i>	
Дослідження зриву полум'я при спалюванні суміші метану та водню.	199
<i>КРИВЕНЦОВ О.О., магістрант гр. ТС-91мн</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Сірий О.А.</i>	
Дослідження характеристик дискового стабілізаторного пальникового пристрою.	201
<i>МОРОЗ О.С., аспірант; ВОЛИНЕЦЬ А.М., магістрант гр. ТС-91мн</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Грановська О.О.</i>	
Вплив тріщин на власні частоти коливань ступінчастих валів парових турбін.	203
<i>НОСАЛЬ О.Ю., магістрант гр. ТС-91мн</i>	
<i>Керівник - проф., д.т.н. Бовсуновський А.П.</i>	
Способи підвищення коефіцієнту корисної дії на тепловій електростанції.	205
<i>СИТНИК В.О., магістрант гр. ТС-01мп</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Нікуленкова Т.В.</i>	
Розробка ресурсозберігаючої стратегії експлуатації пиловугільних енергоблоків ТЕС.	207
<i>ХРИСТАН О.М., магістрант гр. ТС-91мн</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Пешко В.А.</i>	
Влияние зольности углей на теплотехнические показатели работы оборудования.	209
<i>ЯРОШЕНКО В.Ф., магістрант гр. ТС-301мп</i>	
<i>Керівник – ст.викл. Меренгер П.П.</i>	
Особливості моделювання в FlowVision.	211
<i>БЕДНАРСЬКА І.С., аспірант гр. ТС-81ф</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Риндюк Д.В.</i>	
Дослідження впливу складу твердого палива на емісії шкідливих речовин в атмосферу.	213
<i>БЕДНАРСЬКА Я.С., студент гр. ТС-81; БЕДНАРСЬКА І.С., мол. вчений</i>	
<i>Керівник - ст.викл. Шелешей Т.В.</i>	
Кількісні показники викидів суспендованих твердих частинок при різних технологіях спалювання.	215
<i>ЛИТВИНЕНКО О.В., студент гр. ТС-п81; ШЕЛЕШЕЙ Т.В., мол. вчений</i>	
<i>Керівник - асист., Беднарська І.С.</i>	
Аналіз впливу складу твердого палива на кількісні характеристики викидів важких металів.	217
<i>ОЛІЙНИК В.О., студент гр. ТС-81; БЕДНАРСЬКА І.С., мол. вчений</i>	
<i>Керівник - ст.викл. Шелешей Т.В.</i>	
Перспективи використання природного газу країнами Європи до 2050 року.	219
<i>ОЛІЙНИК В.О., студент гр. ТС-81</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Сірий О.А.</i>	
Анализ применения газомазутных блоков с целью уменьшения выбросов оксидов ванадия.	221

<i>П'ЯТАЧУК В.С., студент гр. ТС-81; ШЕЛЕШЕЙ Т.В., мол. вчений</i> <i>Керівник - асист. Беднарська І.С.</i>	223
Влияние состава топлива на показатель эмиссии CO₂. <i>РУДИК М.А., студент гр. ТС-81; ШЕЛЕШЕЙ Т.В., мол. вчений</i> <i>Керівник - асист. Беднарська І.С.</i>	225
Методи контролю витрати вугільного пилу на пальники котлів. <i>ГОНЧАРЕНКО М.О., студент гр. ТС-71</i> <i>Керівник – ст.викл. Меренгер П.П.</i>	227
Зменшення викидів вуглекислого газу від промисловості. <i>ГОНЧАРОВ О.В., студент гр. ТС-71</i> <i>Керівник – доц., к.т.н. Нікуленкова Т.В.</i>	229
Залежність показника емісії вуглекислого газу від складу палива. <i>ДОВГАНЬ І.В., студент гр. ТС-71; ШЕЛЕШЕЙ Т.В., мол. вчений</i> <i>Керівник - асист. Беднарська І.С.</i>	231
Особливості спалювання антрацитового штибу на різних енергетичних установках. <i>ДОРОШЕНКО В.В., студент гр. ТС-71; БЕДНАРСЬКА І.С., мол. вчений</i> <i>Керівник - ст.викл. Шелешей Т.В.</i>	233
Залежність кількості викидів шкідливих речовин в навколишнє середовище від складу твердого палива. <i>КАЧКІВСЬКИЙ Д.О., студент гр. ТС-71; БЕДНАРСЬКА І.С., мол. вчений</i> <i>Керівник - ст.викл. Шелешей Т.В.</i>	235
Аналіз застосування газомазутних блоків з метою зменшення викидів оксидів ванадію. <i>МАЛЬОВАНІЙ Є.О., студент гр. ТС-71; ШЕЛЕШЕЙ Т.В., мол. вчений</i> <i>Керівник - асист. Беднарська І.С.</i>	237
Дослідження характеристик дифузійного стабілізаторного пристрою з кутовою роздачею газу. <i>СТАРЧЕНКО О.С., аспірант; ЛИЦУК С.Р., магістрант гр. ТС-91мн</i> <i>Керівник - доц., к.т.н. Бутовський Л.С.</i>	239
Вплив складу твердого палива на кількісні показники валових викидів суспендованих твердих частинок. <i>УСОВ І.Л., студент гр. ТС-71; БЕДНАРСЬКА І.С., аспірант гр. ТС-81ф</i> <i>Керівник - ст.викл. Шелешей Т.В.</i>	241
Забезпечення високоманеврових потужностей України газотурбінними технологіями. <i>ШАХБАЗОВ І.О., студент гр. ТС-71</i> <i>Керівник - доц., к.т.н. Нікуленкова Т.В.</i>	243
Перспективи запровадження водневої енергетики в Україні. <i>КУЄК Ю.О., магістрант гр. ТС-01мп</i> <i>Керівник - проф., д.т.н. Черноусенко О.Ю.</i>	245
Економічне обґрунтування ефективності турбодетандерних установок. <i>ФЕРШАЛ А.М., магістрант гр. ТС-01мп</i> <i>Керівник - доц., к.т.н. Нікуленкова Т.В.</i>	247
НДС ділянки валопроводу ТА К-200-130 між ротором низького тиску та ротором електрогенератора при короткому замиканні. <i>МАРИСЮК Б.О., аспірант гр. ТС-01ф</i> <i>Керівник - проф., д.т.н. Черноусенко О.Ю.</i>	249
Підвищення економічності та довговічності роботи теплофікаційних турбін за рахунок модернізації проміжних ущільнень. <i>ПЕТРОВЕЦЬ С.О., магістрант гр. ТС-91мн</i> <i>Керівник - ст.викл., к.т.н. Пешко В.А.</i>	249

Методи рішення проблем технологічних процесів при експлуатації низькотемпературних печей.	251
<i>БЄТІН Ю.О., аспірант гр. ТС-91ф</i>	
<i>Керівник – доц., д.т.н. Абдулін М.З.</i>	
Особливості моделювання розпилення зрідженого газу при реалізації процесу миттєвого вскипання струменю.	253
<i>ПАКОШ Д.З., аспірант гр. ТС-91ф</i>	
<i>Керівник – доц., к.т.н. Сірий О.А.</i>	
СЕКЦІЯ №6 ПРОБЛЕМИ ТЕОРЕТИЧНОЇ І ПРОМИСЛОВОЇ ТЕПЛОТЕХНІКИ	255
Конденсація водяної пари всередині горизонтальних труб. Огляд робіт.	256
<i>БОЯНІВСЬКИЙ В.П., аспірант</i>	
<i>Керівник - проф., д.т.н. Ріферт В.Г.</i>	
Конденсація у трубах із внутрішнім спіральним оребренням. Аналіз методів розрахунку втрат тиску.	258
<i>ЛЮ ЯН, аспірант гр.ТП-01ф</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Середа В.В.</i>	
Ефективність теплонасосно-адсорбційної системи консервування обладнання з урахуванням реальних процесів в адсорбційному роторі.	260
<i>МАЙСТРЕНКО О.О., аспірант</i>	
<i>Керівник - проф., д.т.н. Безродний М.К.</i>	
Термодинамічний аналіз високоефективної теплонасосної системи вентиляції та кондиціювання з утилізацією холоду.	262
<i>МІСЮРА Т.О., аспірант</i>	
<i>Керівник - проф., д.т.н. Безродний М.К.</i>	
Актуальність та перспективи розробки технологій використання відходів у системах енерговиробництва.	264
<i>МОРОЗОВ В.С., аспірант; ЧЖАН В.Ц., аспірант</i>	
<i>Керівник - проф., д.т.н. Варламов Г.Б.</i>	
Вибір конструкції піролізного газогенератора для живлення ГТУ піролізним газом.	266
<i>ОБОДОВСЬКИЙ І.І., аспірант</i>	
<i>Керівник - проф., д.т.н. Варламов Г.Б.</i>	
Енергетична ефективність системи опалення та вентиляції на базі ґрунтового теплового насосу з використанням теплоти стічних вод та вентиляційних викидів.	268
<i>ОСЛОВСЬКИЙ С.О., аспірант</i>	
<i>Керівник - проф., д.т.н. Безродний М.К.</i>	
Опріснення води з використанням наморозжування льоду в бурюльках.	270
<i>ПЕТРЕЧУК А.Л., аспірант</i>	
<i>Керівник - проф., д.т.н. Пуховий І.І.</i>	
Ексергоекономічний метод аналізу енергетичних систем.	272
<i>СТРИНАДА П.С., аспірант</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Соломаха А.С.</i>	
Дослідження гідравлічних втрат системи захисту приміщень від перегріву влітку.	274
<i>МАХРОВ М.А., аспірант</i>	
<i>Керівник - проф., д.т.н. Пуховий І.І.</i>	
Розрахунок тепловіддачі під час конденсації у мініканалах.	276
<i>ШВЕЦЬ Н.О., магістрант гр. ТП-91мн</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Середа В.В.</i>	

Ефективність роботи обчислювальних комплексів та важливість їх охолодження.	278
<i>ЦЗЯНГУО Ц., аспірант; доц., к.т.н. РОМАНОВА К.О.</i>	
<i>Керівник - проф., д.т.н. Варламов Г.Б.</i>	
Стиснений сухий газ як альтернативне моторне паливо для двигунів внутрішнього згоряння.	280
<i>ТРУЦУНЕНКО І.О., студент гр. ТП-81</i>	
<i>Керівник - ст.викл. Голяд М.Н.</i>	
Технічне переоснащення котельні з використанням системи AutoCad.	282
<i>ГРИЩЕНКО В.І., студент гр. ТП-71</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Притула Н.О.</i>	
Утилізація теплоти димових газів парових котлів в котельнях.	284
<i>ЗАБОЛОТНИЙ О.А., студент гр. ТП-71</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Боженко М.Ф.</i>	
Початкові етапи становлення ноосфери на Землі.	286
<i>ЗАБОЛОТНИЙ О.А., студент гр. ТП-71</i>	
<i>Керівник - ст.викл. Голяд М.Н.</i>	
Утилізація теплоти вентиляційних викидів на промислових підприємствах .	288
<i>КРАВЧУК К.С., студент гр. ТП-71</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Боженко М.Ф.</i>	
Зменшення рівня світового океану шляхом накопичення льоду з морської води на острові Гренландія.	290
<i>КРАВЧУК К.С., студент гр. ТП-71; ВАРАВВА І.Г.</i>	
<i>Керівник - проф., д.т.н. Пуховий І.І.</i>	
Оцінка впливу лінійних теплопровідних включень в місцях примикання віконної рами до огорожувальних конструкцій будівлі.	292
<i>КРАМАРЕНКО С.О., студент гр. ОТ-71</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Білоус І.Ю.</i>	
Проблема водопостачання прісною водою в Україні та її вирішення.	294
<i>МАГЄРА А., студент гр. ТП-71</i>	
<i>Керівник - ст.викл. Голяд М.Н.</i>	
Підвищення ефективності роботи водогрійних котлів в котельні.	296
<i>МАРАХОВСЬКА В.Ю., студент гр. ТП-71</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Боженко М.Ф.</i>	
3D модель індивідуального теплового пункту в системі AutoCad.	298
<i>РОГОВИК Ю.Ю., студент гр. ТП-71</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Притула Н.О.</i>	
Прогрес проекту "Велика зелена китайська стіна" і відновлювані джерела енергії в регіоні .	300
<i>АРУНА .., магістрант гр. ТП-01мн</i>	
<i>Керівник - проф., к.т.н. Пуховий І.І.</i>	
Енергетичне моделювання навчального корпусу №17 КПІ ім. Ігоря Сікорського.	302
<i>БОЙКО Т.Ю., магістрант гр. -мн</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Білоус І.Ю.</i>	
Порівняння енергетичних моделей будівлі в програмному забезпеченні DESIGNBUILDER та RETSCREEN.	304
<i>ВАЩИШИН Р.Л., магістрант гр. ОТ-01мп</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Шовкалюк М.М.</i>	
Центральні системи кондиціювання повітря з частковим непрямим випарним охолодженням.	306

<i>ІЖЕВСЬКА Т.Л., магістрант гр. ТП- мн</i> <i>Керівник - доц., к.т.н. Боженко М.Ф.</i>	
Опис Другого закону термодинаміки на макроскопічному та мікроскопічному рівнях.	308
<i>ІЖЕВСЬКА Т.Л., студент гр. ТП- мн</i> <i>Керівник - доц., к.т.н. Куделя П.П.</i>	
Особливості застосування водневого палива у системах теплозабезпечення.	310
<i>СТОРОЖУК М.С., магістрант гр. ТП-61мн; ГЛАЗИРІН С.О.</i> <i>Керівник - проф., д.т.н. Варламов Г.Б.</i>	
Особливості експлуатації водогрійного котла КВГМ-20 після модернізації паливної системи.	312
<i>МІТЧЕНКО І.О., магістрант гр. ТП-91мн; УЦ., аспірант</i> <i>Керівник - проф., д.т.н. Варламов Г.Б.</i>	
Результати досліджень теплофізичних та гідравлічних характеристик кожухопластинчастих теплообмінників при використанні поверхнево-активних речовин.	314
<i>ОЛІЙНИК Б.В., магістрант гр. ТП-91мн</i> <i>Керівник - доц., д.т.н. Барабаш П.О.</i>	
Утилізація техногенних повітряних джерел теплоти з використанням теплових насосів.	316
<i>ЗАРУБІН О.О., магістрант гр. ТП-91мн, ПРИТУЛА Н.О., доц., к.т.н.;</i> <i>Керівник - проф., д.т.н. Безродний М.К.</i>	
Аналіз методики розподілу теплової енергії в багатоквартирних будинках при використанні приладів-розподілювачів. Результати практичного застосування.	318
<i>ГОНЧАРОВ Н.С., магістрант гр. -91мн</i> <i>Керівник - проф., д.т.н. Дешко В.І.</i>	

ПОКАЖЧИК АВТОРІВ ДОКЛАДІВ

- Alekseik Y. 125
Aniushkina A. 98
KOVCH M.V. 100
KOVCH T.D. 102
Lysenko T. 98
Mane K. 125
Ostapenko I.A. 100, 102
Абдулін М.З. 251
Абрамов Ю.Ю. 12
Алексеїк О.С. 145, 151
Анюшкіна А.А. 46, 104
Артюшик Д.В. 91
Аруна 300
Бадака Д.В. 93
Барабаш П.О. 314
Баранюк О.В. 159
Беднарська І.С. 197, 211, 213, 215, 217, 221, 223, 229, 231, 233, 235, 239
Беднарська Я.С. 213
Безродний М.К. 260, 262, 268, 316
Бехмард Г. 123
Бетін Ю.О. 251
Бібік Т.В. 60, 62, 82, 106, 108, 120
Білоус І.Ю. 292, 302
Бовсуновський А.П. 203
Боженко М.Ф. 284, 288, 296, 306
Бойко Т.Ю. 302
Бондарук М.В. 14
Боянівський В.П. 256
Бугайов І.В. 143
Будя Ю.С. 197
Бутовський Л.С. 237
Буток О.В. 168
Вальчук С.А. 145
Варавва І.Г. 290
Варламов Г.Б. 264, 266, 278, 310, 312
Васильєва А.Д. 157
Ващишин Р.Л. 304
Вігор Я.П. 16
Вікторов Я.О. 106
Волинець А.М. 201
Волкова К.Ю. 170
Воробйов М.В. 166, 170, 172, 176
Гаврик В.С. 48, 50
Глазирін С.О. 310
Голіяд М.Н. 280, 286, 294
Головченко А.В. 172
Гончаренко М.О. 225
Гончаров Н.С. 318
Гончаров О.В. 227
Горбачик С.О. 64
Грановська О.О. 201
Грищенко В.І. 282
Грітчина К.С. 66
Гуров Д.І. 137
Дарибогов М.М. 68
Дешко В.І. 318
Дзерун М.С. 8
Довгань І.В. 229
Дорошенко В.В. 231
Дудник А.А. 174
Заболотний О.А. 284, 286
Зарубін О.О. 316
Зінченко А.Д. 89
Іванов Д.С. 18
Іжевська Т.Л. 306, 308
Капінос Н.О. 108
Качківський Д.О. 233
Квятковський Б.Б. 20
Клевцов С.В. 4, 12, 22, 34, 78, 118
Кобилянська О.О. 195
Коваленко О.В. 10
Ковч М.В. 110
Ковч Т.Д. 112
Козак Д.В. 127
Колібаба М.В. 182
Колодій Н.О. 22
Колодійчук О.Л. 114
Конько Д.В. 159
Коньшин В.І. 14, 28, 30, 46, 72, 80, 95
Корчун В.С. 24
Кравець В.Ю. 38, 88, 89, 91, 123, 129, 137, 153, 157, 161
Кравчук Д.А. 147
Кравчук К.С. 288, 290
Крамаренко С.О. 292
Красиков В.В. 52
Кривенцов О.О. 199
Куделя П.П. 308
Куек Ю.О. 243
Кузьменко В.М. 26
Кулинич В.С. 186
Лебедь Н.Л. 139, 143, 147
Левченко О.Ю. 28
Лещенко Б.Ю. 8
Лещенко Д.В. 70
Литвиненко О.В. 215
Ліпницький Л.В. 129, 131, 139, 141, 145
Ліщук С.Р. 237
Логвинюк М.О. 184
Лю Ян 258
Магера А. 294

Майстренко О.О. 260
Мальований Є.О. 235
Мандриченко К.Е. 4
Мараховська В.Ю. 296
Мариненко В.І. 174, 190
Марисюк Б.О. 247
Махров М.А. 274
Мельник Р.С. 129, 131, 139, 141, 151
Меренгер П.П. 209, 225
Микитюк І.О. 72
Мироненко М.О. 74
Місюра Т.О. 262
Мітченко І.О. 312
Мороз О.С. 201
Морозов В.С. 264
Муштук П.М. 54
Невчас Д.М. 147
Неділько А.В. 164
Ніколаєнко Ю.Є. 127, 131, 133, 135, 141
Нікуленкова Т.В. 205, 227, 241, 245
Новаківський Є.В. 18, 164, 168, 182, 184,
188
Новосад Ю.І. 176
Носаль О.Ю. 203
Носовський А.В. 6, 68
Ободовський І.І. 266
Овдієнко Ю.М. 56
Одинець В.В. 76
Олійник Б.В. 314
Олійник В.О. 217, 219
Онищук Ю.А. 78
Ословський С.О. 268
Остапенко І.А. 16, 26, 44, 48, 104, 110, 112
Остаповець А.О. 80
Пакош Д.З. 253
Паламарчук М.М. 54
Пекур Д.В. 133
Петишин О.В. 56
Петречук А.Л. 270
Петричук І.О. 82
Петрівський Р.І. 116
Петровець С.О. 249
Петрук В.Р. 88
Пешко В.А. 207, 249
Пирогов К.С. 188
Письменний Є.М. 86
Півторацький В.В. 190
Підпалій Д.В. 30
Половинкін К.О. 153, 155
Полупан А.О. 32
Притула Н.О. 282, 298, 316
Пугачов П.О. 34
Пуховий І.І. 270, 274, 290, 300
П'ятачук В.С. 221
Рижко А.В. 84
Риндюк Д.В. 211
Різниченко А.С. 118
Ріферт В.Г. 256
Рогачов В.А. 36, 178, 180, 186, 192
Роговик Ю.Ю. 298
Рожньов І.А. 36
Розвазкий Я.В. 58
Романова К.О. 278
Рудик М.А. 223
Рябцун Р.С. 166
Сахно О.В. 50, 52, 58, 76, 84
Семеняко О.В. 20
Серафим Р.І. 114, 116
Середа В.В. 258, 276
Ситник В.О. 205
Сірій О.А. 195, 199, 219, 253
Скрипко Є.І. 151
Смалюга Д.О. 178
Собко Л.В. 192
Соломаха А.С. 135, 272
Сорока О.І. 40
Сорока Ю.Ю. 38
Сорокова Н.М. 149, 155
Старченко О.С. 237
Сторожук М.С. 310
Стринада П.С. 272
Сущенко К.О. 6
Трофименко О.Р. 62
Труцуненко І.О. 280
Туз В.О. 42
У Ц. 312
Усов І.Л. 239
Федоров Д.О. 24, 40, 42, 93
Фершал А.М. 245
Філатов В.І. 32, 66, 70, 74
Філонов В.В. 86
Філонова Ю.С. 10
Халімончук В.А. 54, 64
Христан О.М. 207
Цзянгуо Ц. 278
Чагур А.М. 95
Черепанов І.Ю. 44
Черноусенко О.Ю. 243, 247
Чжан В.Ц. 264
Шалінховська Ю.В. 180
Шахбазов І.О. 241
Швець Н.О. 276
Шевель Є.В. 157
Шелешей Т.В. 197, 213, 215, 217, 221, 223,
229, 231, 233, 235, 239
Шовкалюк М.М. 304

Юдін І.І. 161

Якимчук А.О. 60, 62, 120

Ярошенко В.Ф. 209

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Свідоцтво про державну реєстрацію: серія ДК № 5354 від 25.05.2017 р.
просп. Перемоги, 37,
м. Київ, 03056

Підп. до друку 26.04.2021. Формат 60×84¹/₁₆. Папір офс. Гарнітура Times.
Спосіб друку – електрографічний. Ум. друк. арк. 19,53. Обл.-вид. арк. 27,06. Наклад 10 пр.
Поз. 21-3-3-003. Зам. № 21-050.

Видавництво «Політехніка» КПІ ім. Ігоря Сікорського
вул. Політехнічна, 14, корп. 15
м. Київ, 03056
тел. (044) 204-81-78