

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

СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ НАУКОВОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИКИ

Матеріали XX Міжнародної
науково-практичної конференції
МОЛОДИХ ВЧЕНИХ І СТУДЕНТІВ
*(присвячена 125-річчю КПІ ім. Ігоря Сікорського та
90-річчю НН ІАТЕ (ТЕФ))*
м. Київ, 25–28 квітня 2023 року

ТОМ 1



Київ- 2023

УДК 620.9(062)+621.311(062)

С91

Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики. У 2-х т. : Матеріали XX Міжнар. наук.-практ. конф. молод. вчених і студ. (присвячена 125-річчю КПІ ім. Ігоря Сікорського та 90-річчю НН ІАТЕ (ТЕФ)), м. Київ, 25–28 квіт. 2023 р. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2023. – Т. 1. – 256 с.

ISBN 978-966-990-025-8 (Заг.)

ISBN 978-966-990-026-5 (Т. 1)

Подано тези доповідей XX 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

Я.Є. Трокоз, завідувачий Науково-дослідної (експериментальної) лабораторії процесів в енергетичному обладнанні

Редакційна колегія:

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

Н.М. Аушева, д-р техн. наук, проф.

О.В. Коваль, д-р техн. наук, доц.

В.О. Туз, д-р техн. наук, проф.

В.А. Волощук, д-р техн. наук, проф.

П.О. Барабаш, канд. техн. наук, доц.

П.П. Меренгер, ст. викл.

П.В. Новіков, доц.

А.А. Демчишин, канд. техн. наук, доц.

І.А. Остапенко, асист.

Д.О. Федоров, асист.

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

М.В. Воробйов, канд. техн. наук, доц.

Є.С. Алексеїк, ст. наук. співроб.

В.П. Колумбет, ст. викл.

Відповідальний секретар

О.В. Авдєєва.

Друкується в авторській редакції за рішенням Вченої ради Навчально-наукового інституту атомної та теплової енергетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (протокол № 9 від 27 березня 2023 р.)

ISBN 978-966-990-025-8 (Заг.)

© Автори тез доповідей, 2023

ISBN 978-966-990-026-5 (Т. 1)

© КПІ ім. Ігоря Сікорського (НН ІАТЕ), 2023

СЕКЦІЯ №1

Атомна енергетика

МОДЕРНІЗАЦІЯ СТЕЛАЖІВ БАСЕЙНУ ВИТРИМКИ ВІДПРАЦЬОВАНОВОГО ЯДЕРНОГО ПАЛИВА

Проблема зберігання відпрацьованого ядерного палива (ВЯП) наразі є дуже актуальною для України в цілому, оскільки в державі не здійснюється ні переробка ВЯП з метою подальшого використання, ні поховання ВЯП без переробки. Галузева програма підвищення КВВП передбачає перехід АЕС України на використання паливних касет типу ТВЗА, збільшене залишкове енерговиділення яких у порівнянні зі штатним паливом призводить до необхідності збільшення термінів витримки ТВЗА у БВ перед відправкою палива на тривале зберігання до ССВЯП. Зберігання ВЯП має забезпечувати зняття залишкового тепловиділення ВТВЗ, захист персоналу та перешкоду виходу радіоактивних речовин у навколишнє середовище. Цим вимогам повною мірою відповідає зберігання ВЯП у водному середовищі (мокрый спосіб зберігання), при якому відбувається зниження залишкового тепловиділення та розпад найбільш активних короткоживучих радіонуклідів, таких як йод-131, ксенон-133 та ін.

На сьогоднішній день зберігання ВЯП здійснюється у басейнах витримки (БВ) енергоблоків під водою та забезпечує безпечне та надійне зберігання його з часу вивантаження з реактора до відправки за межі енергоблоку. Ємності басейнів витримки енергоблоків повинні враховувати кількість ВЯП, що вивантажується під час перевантаження і період його зберігання.

Крім цього на ЗАЕС введено в експлуатацію сухе сховище відпрацьованого ядерного палива (ССВЯП). Проект ССВЯП, розроблений компанією «Duke Engineering & Service Inc. (Europe)» спільно з «Sierra Nuclear Corporation», заснований на технології сухого вентильованого контейнерного зберігання (система ВКХ-ВВЕР). Перевагу даному проекту ССВЯП було віддано виходячи з таких міркувань:

- простота конструкції;
- можливість швидкої реалізації та введення в експлуатацію;
- технологічність та швидкість виготовлення комплекуючого обладнання;
- наявний досвід експлуатації та контролю за станом ВЯП;
- низькі витрати на виготовлення та будівництво СХВЯП;
- можливість адаптації технології надсилання палива на зберігання.

Однак згідно з вимогами проекту ССВЯП у контейнери зберігання можна завантажувати ВТВЗ з витримкою в БВ не менше 5 років і тепловиділенням не більше 0,99 кВт (ОАБ ССВЯП ЗАЕС, 2002р.), а ця вимога виконується тільки для ВТВЗ з глибиною вигорання не більше 41,5 МВт*добу/кг. Період витримки ВТВЗ з більшою глибиною вигорання становитиме 6-7 років. З метою підвищення ефективності використання палива, було здійснено перехід від проектного 3-річного ядерного паливного циклу до 4-річного, що відповідно збільшило частку ВТВЗ з глибиною вигорання понад 41 МВт*добу/кг.

Крім того, на кожному енергоблоці певну кількість осередків БВ займають негерметичні ВТВЗ, кількість яких з кожним роком збільшується, а їх вивезення на завод регенерації палива або відправка на зберігання до ССВЯП неможливі. Тому виникає проблема нестачі осередків у БВ, яка вирішується заміною проектних стелажів БВ виробництва Іжорського заводу на стелажі ущільненого зберігання палива виробництва фірми «Шкода ЙС» для забезпечення необхідної витримки ВТВЗ у БВ до вивезення їх у ССВЯП. Стелаж ущільненого зберігання палива дозволить зберігати в 1,85 разів більше ВТВЗ, ніж проектний стелаж виробництва «Іжорського заводу».

Перелік посилань:

1. Про затвердження Правил ядерної безпеки реакторних установок атомних станцій з реакторами з водою під тиском. Держатомрегулювання України; Наказ, Правила від 15.04.2008 № 73 Посилання: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0512-08#Text>
2. Програма технічного обслуговування програмно-технічного комплексу системи аварійного та попереджувального захисту (ПТК АЗ-ПЗ) енергоблок № 1 ПМ.1.0011.0224
3. Технологічний регламент безпечної експлуатації енергоблоку №1 ПАЕС. РГ.1.3810.007.
4. Програмно-технічний комплекс системи аварійного та попереджувального захисту енергоблоку № 1 Інструкція з експлуатації ІЕ.1.0011.0631

УДК 621.039.4

Магістрант 1 курсу, гр. ТЯ-21мп Григорук О.О.

Проф., д.т.н. Носовський А.В.

МЕТОДИ ОЦІНКИ ВПЛИВУ РАДІОАКТИВНИХ ВИКИДІВ РЕАКТОРНОЇ УСТАНОВКИ АР-1000 НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

Ядерна енергетика є достатньо поширеною у всьому світі, вона є основним джерелом виробництва електроенергії в нашій державі. На даний момент в Україні працює чотири атомні електричні станції (АЕС), з працюючими 15 енергоблоками. Атомна енергетика є достатньо конкурентоспроможною, її віднесено до чистих низько вуглецевих джерел енергії, за класифікацією Європейської комісії.

Головними критеріями експлуатації АЕС є надійність та ефективність. При експлуатації АЕС утворюються тверді та рідкі радіоактивні відходи. В нашій державі, на експлуатуючих станціях зараз створюють комплекси для переробки радіоактивних відходів, і приведення системи поводження з радіоактивними відходами з підтриманням сучасних вимог.

Принцип отримання енергії на АЕС полягає в передачі енергії ділення ядер атомів урану водяній парі, яка обертає турбіну та електричний генератор. 90% енергії ділення переносять радіоактивні осколки ядер урану, 10% - потоки частинок (α , β , γ - випромінювання, що утворилися внаслідок ділення ядер урану та розпаду осколків). Таким чином, утворення радіоактивних осколків ядер урану, та радіоактивне випромінювання - невід'ємні умови отримання ядерної енергії на АЕС.

Радіаційна безпека – дотримання допустимих меж радіаційного впливу на персонал, населення та навколишнє природне середовище, встановлених нормами, правилами та стандартами з безпеки.

Радіаційний вплив АЕС на населення та навколишнє середовище формується наступними факторами: зовнішнє опромінення радіоактивними газами та аерозолями, що містяться у викидах в атмосферу; внутрішнє опромінення радіонуклідами, що містяться у викидах та скидах в навколишнє середовище.

Діяльність адміністрації АЕС спрямована на захист персоналу, населення і навколишнього середовища від шкідливого впливу іонізуючих випромінювань і заснована на наступних принципах радіаційної безпеки: Неперевищення припустимих меж індивідуальних доз опромінення від всіх джерел випромінювання. Виконання цього принцип забезпечується безперервним вимірюванням параметрів радіаційного стану в місцях знаходження осіб, що піддаються радіаційному впливу АЕС.

Для обмеження опромінення встановлені річні ліміти індивідуальних доз на рівнях, що виключають можливість виникнення детермінованих ефектів опромінення та, одночасно, що гарантують настільки низьку ймовірність виникнення стохастичних ефектів опромінення, що вона є прийнятною як для окремих осіб, так і для суспільства в цілому.

Виправданість можливої шкоди, що заподіяна додатковим опроміненням, одержуваною користю для людини і суспільства від використання джерел іонізуючого випромінювання (ДІВ).

Оптимізація рівнів індивідуальних доз та/або кількості осіб, що опромінюються, з обліком економічних і соціальних факторів. Оптимізація рівнів опромінення заснована на припущенні про відсутність спостережуваної граничної дози для стохастичних ефектів (безпечного рівня радіації не існує, і, отже, необхідно прагнути до зниження опромінення, наскільки це можливо) і практичної обмеженості засобів, які можуть бути використані для забезпечення радіаційного захисту.

Для одержання інформації про рівні опромінення людей, радіаційну обстановку на АЕС і в навколишньому середовищі, стан захисних бар'єрів на АЕС діє система

радіаційного контролю, що відповідає вимогам нормативних і керівних документів.

Вплив радіоактивних викидів на навколишнє середовище - це гостро порушене питання, оскільки кожен житель нашої планети, хотів би дихати чистим повітрям або їсти якісні продукти.

Оскільки, на території України, планується побудова реакторів покоління III+, до яких належить реакторна установка AP-1000 компанії Westinghouse, головною метою даної праці є оцінити вплив радіоактивних викидів реакторної установки AP-1000 на навколишнє середовище, розглянути сценарії викидів при нормальній роботі та у випадку аварійних ситуацій, розрахувати величини радіоактивного забруднення атмосфери та земної поверхні і пов'язані з цим дози зовнішнього та внутрішнього опромінення людини.

Актуальність даної роботи є в тому, що наданий момент в Україні підписаний договір про будівництво реакторних установок AP-1000, для такого типу реактора даний аналіз буде проведений в нашій державі, вперше. Завданням буде: проаналізувати вплив на навколишнє середовище викидів в межах ближньої зони станції, розглянути сценарії викиду при нормальній роботі станції та у випадках радіаційних аварій, розрахувати за допомогою моделі атмосферного перенесення МАГАТЕ концентрації радіонуклідів в повітрі та щільність випадань на земну поверхню, розрахувати відповідні дози зовнішнього та внутрішнього (за рахунок інгаляційного надходження радіонуклідів) опромінення на основі публікацій МКРЗ, розрахувати дози внутрішнього опромінення людини внаслідок споживання радіоактивно забруднених продуктів харчування за допомогою європейської моделі FDMT.

Також, обов'язковою умовою є аналіз того, що було зроблено раніше на прикладі ХАЕС 2 блоку та проектних 3 і 4 блоків станції та міжнародного досвіду.

Доцільно буде порівняти в кінцевих результатах вплив радіоактивних викидів на прикладі ХАЕС, блоків, що експлуатуються, ВВЕР-1000 та блоків, які планують там бути введеними в експлуатацію AP-1000.

Перелік посилань:

1. <https://www.uatom.org/zagalni-vidomosti-2>
2. https://ecoclubrivne.org/files/nuke_info.pdf
3. <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/185029/07-Nosovskyi.pdf?sequence=1>

УДК 621.039.5

Магістрант 1 курсу, гр. ТЯ-21мп Гришин Д.І.
Доц., к.т.н. Філатов В.І.

МОДЕРНІЗАЦІЯ ПАРОГЕНЕРАТОРУ ПГВ-1000М

Парогенератор ПГВ-1000м на АЕС може використовуватися для виробництва насиченого пару, він має потужність 1000 кг пару на годину. В порівнянні з парогенератором ПГВ-1000 має більш високу ефективність та економічність використання палива, що дозволяє знизити витрати на виробництво електроенергії [1]. Парогенератори ПГВ-1000м широко використовуються на різних АЕС по всьому світу завдяки своїй надійності та ефективності. Вони відіграють важливу роль у виробництві електроенергії та забезпеченні енергетичної безпеки.

Модернізація парогенератора ПГВ-1000м може включати в себе різноманітні заходи з оновлення, удосконалення та покращення різних його складових частин. Залежно від стану та віку парогенератора, а також від потреб енергосистеми, можуть бути запропоновані наступні рішення:

1. Заміна старого обладнання на нове, більш ефективне та надійне.
2. Установка нових систем автоматичного керування та контролю.
3. Підвищення енергоефективності шляхом впровадження технологій енергозбереження та оптимізації процесів.
4. Зменшення витрат на паливо шляхом заміни допоміжного обладнання на менш енергозатратне.
5. Розширення функціональних можливостей парогенератора за рахунок додаткового обладнання та сучасних технологій.

Під час модернізації парогенератора необхідно забезпечити сумісність нових компонентів зі старими, забезпечити безпеку та надійність роботи парогенератора, а також врахувати економічні показники і визначити рентабельність проекту. У будь-якому випадку, перед початком модернізації необхідно провести детальний аналіз технічного стану парогенератора та визначити потреби енергосистеми.

Заміна старого обладнання на нове, більш ефективне та надійне може бути одним з ключових кроків при модернізації парогенератора ПГВ-1000м. Сучасні парогенератори мають більш ефективні системи підтримки оптимального тиску та температури пари, високої точності і автоматизації процесів, що дозволяє знизити витрати палива та збільшити продуктивність парогенератора

При заміні обладнання необхідно враховувати технічні та експлуатаційні параметри нового обладнання, а також забезпечити сумісність з іншими складовими частинами парогенератора, щоб уникнути проблем зі зв'язком та контролем процесів. Також необхідно звернути увагу на особливості монтажу та технічного обслуговування нового обладнання.

Варто зазначити, що заміна старого обладнання може бути досить витратною процедурою, тому необхідно провести ретельний аналіз та порівняти витрати на нове обладнання з очікуваними вигодами від його використання.

Однак, якщо старе обладнання застаріле та не відповідає сучасним вимогам до енергоефективності, то заміна може бути необхідним та доцільним кроком в модернізації парогенератора [2].

На рис. 1 зображено горизонтальний парогенератор ПГВ-1000М.

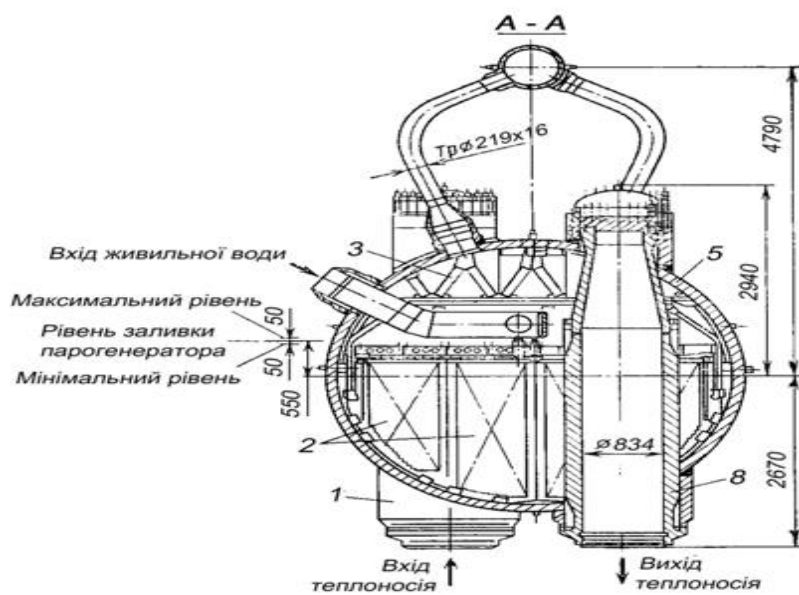
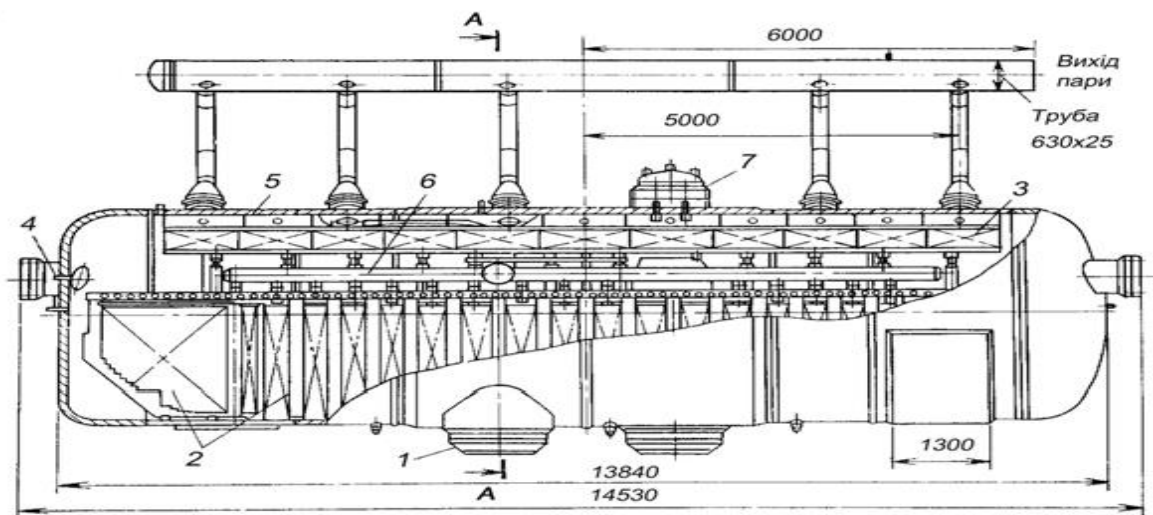


Рисунок 1 - Горизонтальний парогенератор ПГВ-1000М для АЕС з ВВЕР-1000:
 1 – вхідний колектор теплоносія; 2 – поверхня теплообміну; 3 – сепаратори другого ступеня сепарації; 4 – штуцери рівнеміра; 5 – корпус; 6 – роздавальний колектор живильної води; 7 – сепаратори першого ступеня сепарації; 8 – вихідний колектор теплоносія.

Висновок: Тема моєї роботи є дуже актуальною насамперед тим, що парогенератор ПГВ 1000м застосовується на усіх АЕС України. Подовження експлуатації обладнання АЕС шляхом модернізації його є актуальною проблемою.

Перелік посилань:

1. Реактори і парогенератори енергоблоків АЕС: схеми, процеси, РЗІ матеріали, конструкції, моделі / О. В. Єфімов, М. М. Пилипенко, Т. В. Потаніна та ін. ; за ред. О.В. Єфімова. – Харків : ТОВ «В справі», 2017. – 420 с.
2. «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.

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ НА ВИХОДІ З АКТИВНОЇ ЗОНИ ЗА ДОПОМОГОЮ СИСТЕМИ СВРК ВВЕР 1000/320

На даний час на всіх АЕС України встановлено датчики СВРК, які забезпечують вимірювання термогідралічних та нейтронно-фізичних параметрів першого контуру реакторної установки, що дає можливість забезпечити проектний технологічний режим експлуатації активної зони ядерного реактора. Однак, є кілька недоліків інерційності, обмеженість діапазону вимірювання, а також відсутності коректного виміру температури в активній зоні з показів термодар на виході з активної зони. Через ці недоліки, наприклад, уставка переходу з симптомно-орієнтованих інструкцій у керівництво управління важкими аваріями є занадто консервативною. Для більшості аварій, які залишаються ще в рамках симптомно-орієнтованих інструкцій, здійснюється перехід до керівництва управління важкими аваріями, в якій жорсткі стратегії дій персоналу не передбачають подальшу експлуатацію реакторної установки.

Система СВРК використовується для створення техніко-економічного розрахунку та уточнення температурного поля на виході з активної зони реактора. Завдяки вдосконаленню даної системи отримуємо можливість технічної реалізації нових вимог до СВРК, пов'язаних з підвищенням економічності і безпеки експлуатації активної зони реактора.

На даний момент датчики, які працюють в системі внутрішньореакторного контролю мають обмеження в використанні. На це вказують такі розрахункові дані аварій: при існуючому температурному контролі, при 450°C на термодарах в активній зоні маємо 1200°C – коли в нас мала течія, а при знеструмленні енергоблоку - 600°C, коли в а.з. 1200°C. Через це уставка переходу з симптомно-орієнтованої інструкції в керівництво по управлінню симптомними аваріями спрацьовує для знеструмлення енергоблоку занадто рано, тому що вона вибирається консервативно і в певних рамках.

Для розрахунково-аналітичного дослідження необхідно провести широкий спектр моделювання. Реактор – це складна система, для якої необхідно моделювати швидкість потоку та температуру рідини, а також розподіл потужності в активній зоні реактора. Все це можна зробити за допомогою тренажера, який, на даний момент не тільки інструмент для навчання, а також потужний інструмент для аналізу безпеки та перевірки проекту або модернізації АЕС. На тренажері використовується тривимірний версія коду RELAP, що дозволить змодельовати роботу системи, при зміні положення датчиків СВРК.

Вимірювання енерговиділення проводиться в 64 тепловиділяючих зборках (ТВЗ), розташованих по перерізу активної зони, а температура теплоносія вимірюється термодарами на виході з 95-ти ТВС. Теплоносій рухається знизу нагору. Чутливий елемент термодари розміщується у порожнині циліндричної частини головки касети. У цю порожнину надходить теплоносій з напрямних каналів (НК) поглинаючих елементів (ПЕЛ) та з пучка твелів через отвори у плитах пружинного блоку головки касети. Теплоносій, що виходить із НК, має нижчу температуру проти теплоносійем, які виходять з пучка твелів. Ці потоки мають характер окремих струменів і до місця встановлення чутливого елемента термодари повністю не перемішуються.

В активних зонах має місце різні підігріві теплоносія в тепловиділяючих зборках (ТВЗ). Внаслідок неоднаковості тепловиділення, деформації, блокування прохідних перерізів тощо температури теплоносія на виході можуть бути різними як у межах однієї ТВС, так і групи ТВС. Оскільки забезпечення економічної та безпечної роботи реактора багато в чому визначається надійністю контролю над станом ТВС, а розміщення термодар у вихідній частині кожної ТВС важко, виникає питання про можливість контролю стану

декількох ТВС за допомогою однієї термопар. Через наявність перемішування гарячих та холодних струменів води у вихідній частині ТВС виникають труднощі інтерпретації показань термопар.

При встановленні датчиків СВРК в іншому місці, в нас буде відрізнятися поле енерговиділення, а також гідродинаміка каналу, тому що під час входу теплоносія в цей канал умови відрізняються, від умов входу в канал з твелів. Також, існує різниця між діаметрами твелу та каналу СВРК. Підігрів теплоносія визначається різницею між температурою або ентальпією, виміряною петльовим термометром опору на вході теплоносія в корпус реактора. В таблиці 1 подані середні значення коефіцієнтів кореляції між:

- відхиленням показів 1-го датчику термопар і 2-го від показань петльових термометрів опору на вході;
- відхиленням показів 1-го датчика термопар і 2-го, відповідно, з сумою токів детекторів прямої зарядки.

Таблиця 1 - Середні значення коефіцієнтів кореляції

Кореляція		
1-го датчика термопар і 2-го датчика температури	1-го датчика термопар і середній струм СВРК в заданній СВРК	2-го датчика термопар і струмом ДПЗ в заданній СВРК
0,98	0,96	0,97

З цієї інформації слідують такі висновки:

- Результати показів 2-го датчика завжди перевищують покази 1-го датчика;
- З'являється лінійна залежність між підігрівом 1-го та 2-го датчиків з достовірністю апроксимації, яка максимально близько підходить до 1;
- Між підігрівом 1-го датчика термопар та 2-го коефіцієнта кореляції рівняється 0,98, це дає впевненість в наявності жорсткої взаємодії даних величин;
- Між підігрівом 1-го датчика термопар з 2-м разом з середнім струмом ДПЗ в складі СВРК існує коефіцієнт кореляції, які рівні 0,96 і 0,97, відповідно.

При проведенні подальших дослідів ми досягнемо найбільш оптимального положення датчиків СВРК, при яких покази будуть точніше визначати рівномірний температурний розподіл поля енерговиділення. Результати дослідів будуть використовуватися в модернізаціях, які підвищують економічність експлуатації та безпеку активної зони реактора.

Перелік посилань:

1. С.П. Никонов, А.В. Журбенко, Ю.М. Семченко. Оценка влияния внутриреакторных характеристик реактора ВВЭР-1000 на точность расчета теплогидравлических параметров. Доклад на 7-й МНТК «Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР» ОКБ «Гидропресс», 17-20 мая 2011г.

2. Д.Л. Шилов, А.И. Романов, О. Б. Самойлов, А.А. Фальков. Технические характеристики и результаты эксплуатации ТВСА ВВЭР-1000. Доклад на 7-й МНТК «Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР» ОКБ «Гидропресс», 17-20 мая 2011г.

3. Кобзарь Л.Л. Разработка рекомендаций по введению поправок к показаниям термопар, установленных на выходе кассет серийного реактора ВВЭР-1000. Рабочий материал. РНЦ «Курчатовский институт» и ОАО «ТВЭЛ».

4. MCNP – A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5. X-5 Monte Carlo Team. Los Alamos National Laboratory Report LA-UR-03-1987 (April, 2003).

5. OpenFOAM User Guide Version 1.6. 2009. 9. OpenFOAM Programmer's Guide Version 1.6. 2009

ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В АТОМНІЙ ЕНЕРГЕТИЦІ

Штучний інтелект (ШІ) є однією з найбільш швидкозростаючих технологій у світі та має потенціал для покращення процесів прийняття рішень в атомній промисловості. Як наслідок, ядерна галузь виявляє зростаючий інтерес до дослідження та використання технологій штучного інтелекту для покращення показників експлуатації та підвищення безпеки [1].

Штучний інтелект (ШІ) все частіше використовується в атомній енергетиці для підвищення безпеки, ефективності та продуктивності. Ось кілька прикладів того, як ШІ може використовуватись в атомній енергетиці:

- прогнозоване обслуговування: алгоритми штучного інтелекту можуть аналізувати дані з датчиків та інших джерел, щоб передбачити коли обладнання може вийти з ладу, що дає змогу запланувати технічне обслуговування до того, як відмова станеться;
- радіаційний моніторинг: ШІ можна використовувати для аналізу даних з радіаційних датчиків, щоб виявити певне відхилення та визначити потенційні ризики для безпеки;
- управління ядерними реакторами: ШІ можна використовувати для оптимізації роботи ядерних реакторів, підвищення їхньої ефективності та безпеки;
- поводження з ядерними відходами: ШІ може допомогти вдосконалити процес поводження з ядерними відходами, визначаючи найбільш ефективні методи утилізації та мінімізуючи ризики, пов'язані зі зберіганням і транспортуванням радіоактивних матеріалів;
- аналіз ядерної безпеки: ШІ можна використовувати для моделювання та аналізу сценаріїв безпеки, що дозволяє операторам виявляти потенційні ризики для безпеки та розробляти стратегії для їх пом'якшення.
- досвід експлуатації: аналіз звітів з досвіду експлуатації, звітів з розслідування експлуатаційних подій, звітів з впроваджених коригувальних заходів, де відповідно ШІ може виявити закономірності та тенденції, розгляд та аналіз яких може допомогти підвищити безпеку та ефективність атомної станції.

Далі буде розглянуто один із вище перелічених напрямків, а саме досвід експлуатації. В атомній промисловості накопичено тисячі років досвіду експлуатації. Історичні дані та досвід можна використовувати для підвищення ефективності експлуатації та технічного обслуговування, створюючи нові найкращі практики на основі прийняття рішень на основі даних. В цьому може допомогти обробка природної мови (на англ. Natural Language Processing). Обробка природної мови (ОПМ) - це дуже активна і міждисциплінарна галузь досліджень (також відома як комп'ютерна лінгвістика), метою якої є навчити комп'ютери автоматично розуміти людську мову, застосовуючи штучний інтелект і машинне навчання [2]. Етапи обробки природної мови в штучному інтелекті наведені на рисунку 1.

Модель ОПМ може обробляти та знаходити шаблони з даних, щоб упорядкувати їх і виконати певне завдання, наприклад, певний аналіз. Як приклад може слугувати компанія Curtiss-Wright, яка запровадила ОПМ для багатьох завдань, таких як класифікація записів програм коригувальних дій, а також використання ОПМ для порівняння документів, щоб

заощадити час на регуляторні перевірки. Також можна виділити компанію NuclearN, яка розробила платформу в ядерній галузі з кількома рішеннями ОПМ, такими як автоматичне кодування звіту про стан, виявлення тенденції стану, звітування про безпеку та скринінг записів програм коригувальних дій. Окрім того, популярний ChatGPT є також прикладом мовної моделі NLP.

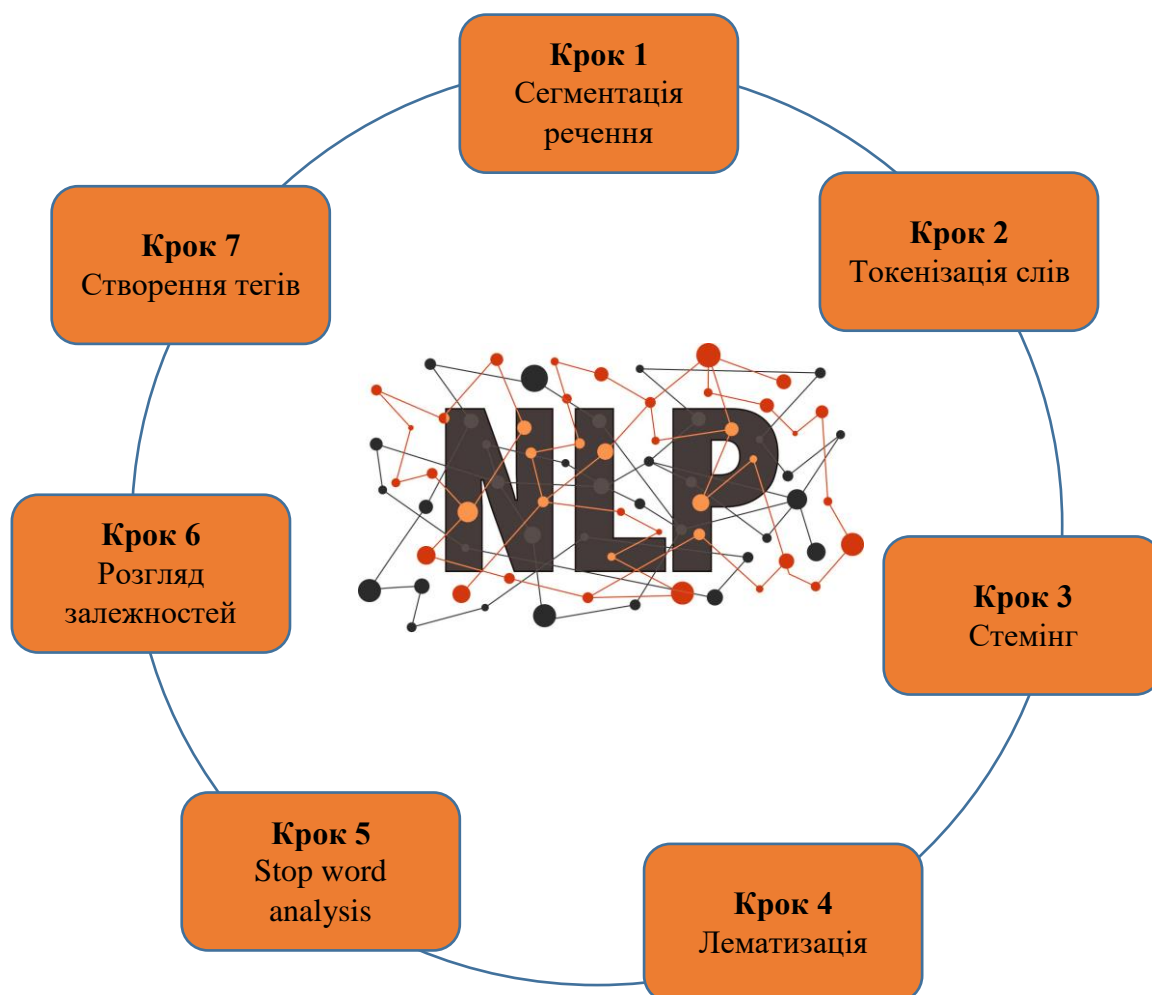


Рисунок 1 - Етапи обробки природної мови в штучному інтелекті

Отже, здатність точно обробляти та інтерпретувати дані за допомогою штучного інтелекту є важливим фактором для покращення аналізу звітів, моніторингу із визначенням тенденцій та рекомендацій тощо. Таким чином, постійні інвестиції в дослідження штучного інтелекту мають важливе значення для майбутнього розвитку ядерної промисловості.

Перелік посилань:

1. Artificial Intelligence. U.S. Nuclear Regulatory Commission.
URL: <https://www.nrc.gov/about-nrc/plans-performance/artificial-intelligence.html>
(Дата звернення: 05.03.2023).
2. N. Galanis, P. Vafiadis, K. Mirzaev, and G. Papakostas, Machine Learning Meets Natural Language Processing – The story so far, March 2021.
URL: https://www.researchgate.net/publication/351046768_Machine_Learning_Meets_Natural_Language_Processing_-_The_story_so_far (Дата звернення: 05.03.2023).

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ СЕЙСМІЧНОЇ СТІЙКОСТІ КОНСТРУКЦІЙ, СИСТЕМ І ЕЛЕМЕНТІВ ЕНЕРГОБЛОКІВ АЕС ДЛЯ ЦІЛЕЙ КВАЛІФІКАЦІЇ НА СЕЙСМІЧНІ ВПЛИВИ

Безпека атомних електростанцій (АЕС) є однією з найважливіших проблем, пов'язаних з використанням ядерної енергії. АЕС мають величезний потенціал для надання додаткових енергетичних ресурсів та забезпечення життєво важливих послуг, однак при неправильному проектуванні, будівництві чи експлуатації можуть бути джерелом серйозних загроз для життя та здоров'я людей, навколишнього середовища та соціально-економічної стабільності.

Важливість безпеки АЕС визначається тим, що наслідки надзвичайних ситуацій на АЕС можуть бути катастрофічними та довготривалими, а в деяких випадках - навіть необоротними. Тому важливо забезпечити найвищий рівень безпеки на кожному етапі життєвого циклу АЕС - від проектування та будівництва до експлуатації та відключення.

З метою забезпечення безпеки на АЕС розробляються та вдосконалюються нормативно-правові акти, стандарти та рекомендації, а також проводяться регулярні перевірки, аналізи та оцінки стану безпеки на АЕС. Одним з ключових факторів забезпечення та підтримання встановленого проектом рівня безпеки на АЕС є кваліфікація обладнання.

Під час проектування АЕС важливо використовувати обладнання, яке успішно пройшло кваліфікацію на виконання функцій безпеки в умовах зміни навколишнього природного середовища, таких як температура, тиск, вібрація, ударна сила струменя, вологість, радіація та сейсмічна дія, протягом усього терміну експлуатації, включаючи надійну роботу під час аварійних ситуацій [1].

Сейсмічна кваліфікація обладнання [2] - це процес підтвердження та забезпечення технічних характеристик обладнання відповідно до вимог щодо його працездатності під час та після сейсмічних впливів на протязі всього терміну експлуатації. Цей процес включає в себе перевірку та аналіз властивостей обладнання, його дослідження та визначення максимальних сейсмічних навантажень, які воно може витримати без порушення своєї працездатності. Метою сейсмічної кваліфікації є забезпечення безпеки обладнання та запобігання можливим аварійним ситуаціям на енергетичних об'єктах під час сейсмічних подій.

У відповідності до передової світової практики, переоцінка сейсмостійкості обладнання діючих АЕС є необхідною через збільшення сейсмічної небезпеки місцезнаходження АЕС на основі нових даних про сейсмічну активність, появу нових даних про сейсмічну крихкість споруд та елементів та підвищення вимог регулюючих органів. Останнім часом набуто значного досвіду оцінки поведінки конструкцій, систем і елементів (КСЕ) АЕС під час реальних землетрусів та сейсмічних випробувань. Для визначення сейсмостійкості КСЕ АЕС з типом реактора ВВЕР у Чеській Республіці, Словаччині та Угорщині було модифіковано два методи - Seismic Margin Assessment (SMA) та Generic Implementation Procedure (GIP). На сьогодні, SMA та GIP є найбільш поширеними методами для визначення сейсмостійкості КСЕ діючих АЕС.

Метод SMA використовується для оцінки запасу сейсмостійкості елементів та систем у заводському виконанні або після модернізації, з метою визначення високої достовірності та низької ймовірності відмови. Запас сейсмостійкості визначається для пікового прискорення ґрунту (Peak Ground Acceleration - PGA) рівня максимального розрахункового землетрусу PGA_{MP3} , з 95% достовірністю того, що відмова станеться не

більше, ніж у 5 випадках з 100. При використанні методу мається на увазі, що елементи обладнання та системи були належним чином спроектовані з урахуванням всіх несейсмічних навантажень та впливів.

Метод GIP використовує досвід інших енергоблоків з таким самим обладнанням для порівняння. В рамках даної процедури порівнюється технічні характеристик і параметри обладнання з базою даних, а також проводиться огляд обладнання. Якщо елемент обладнання не відповідає критеріям, то необхідно провести більш детальне дослідження за допомогою випробувального стенда, який імітує сейсмічні навантаження[3].

Недоліком методу GIP є те, що його не можна використати при проектуванні енергоблоку з новим обладнанням або іншою компоновкою приміщень, бо розміщення елементів системи впливає на сейсмостійкість. Але якщо створити базу даних та вносити туди відомості на протязі всього терміну експлуатації енергоблоку то можна отримати повну бібліотеку даних з характеристиками, визначити закономірності, відповідності кваліфікаційним вимогам в залежності від зношення або ж старіння КСЕ та успішно використовувати отриманні данні на нових енергоблоках.

Наступним недоліком методу є те, що спеціаліст який проводить перевірку має мати достатній досвід щоб візуально оцінити стан обладнання що перевіряється. Детерміністичні ж методи тісно пов'язані з числами що дозволяє зробити перевірку людиною з меншим досвідом або навіть штучним інтелектом, що значно зменшує вірогідність помилки. Але з іншого боку досвідчений спеціаліст потрібен для надання рекомендацій по покращенню сейсмостійкості у разі її невідповідності вимогам.

Найефективнішим методом для проведення програми кваліфікації тепломеханічного обладнання (ТМО), електротехнічного обладнання (ЕТО) та обладнання інформаційно-керуючих систем (ІКС) є проведення спеціальних сейсмічних випробовувань. Використання інших методів оцінки сейсмостійкості такого обладнання може бути ненадійним або неможливим, тому що врахування всіх навантажень та впливів з урахуванням землетрусу є складним завданням. Для проведення тестувань використовуються спеціальні сейсмічні стенди або платформи.

Для методу випробовувань можна виділити декілька основних недоліків стосовно інших методів. Перший полягає у тому, що не завжди є можливість отримати зразок для тестування, який буде відповідати певному етапу старіння та зношення матеріалу, цього можна добитися штучно, але це вносить додаткову похибку. Другий полягає у проблематичності відтворення процесу з урахуванням всіх факторів впливу.

В цілому вирішення проблеми вибору методу полягає у їхньому комбінуванні та виборі максимально ефективного, відповідно до можливостей, які наявні, або ж використання двох чи більше методів для перевірки та підтвердження отриманих даних. Тому для енергоблоків з реакторною установкою (РУ) типу ВВЕР пропонується використовувати метод GIP з урахуванням досвіду модифікації даного методу під дослідну РУ.

У рамках роботи планується проаналізувати наукові методи та підходи до визначення сейсмічної стійкості КСЕ АЕС, а також виявити можливі шляхи їх вдосконалення.

Перелік посилань:

1. Загальні положення безпеки атомних станцій (ЗПБ 2008), НП306.2.141-2008, Державний комітет ядерного регулювання України, Київ, 2008.
2. Вимоги до сейсмостійкого проектування та оцінки сейсмічної безпеки енергоблоків атомних станцій НП 306.2.208-2016, Державна інспекція ядерного регулювання України, Київ, 2016.
3. Seismic Evaluation Procedure for equipment in U.S. department of energy Facilities, DOE/EH-0545, U.S. Department of energy, Livermore, 1997.

ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМУ МАНЕВРУВАННЯ ПОТУЖНОСТІ ВВЕР-1000

Необхідність залучення АЕС в роботу в режимі добового регулювання потужності зумовлена поступовим зростанням частки відновлювальних джерел енергії в Об'єднаній енергетичній системі України. Також значну роль відіграють умови для впровадження заходів щодо запобігання змінам клімату та погіршення умов функціонування ОЕС України в умовах зміни економічної ситуації: збільшення потреби в маневреній потужності для забезпечення виконання добового графіку споживання електроенергії.

Тому завданням даної роботи є оптимізувати режим добового регулювання потужності, встановити причини недоліків існуючого методу регулювання потужності на АЕС і запропонувати підхід для їх усунення.

Метод дослідження – розширений аналіз досліджень пов'язаних з режимом ДРП, аналіз результатів проведеної дослідницької експлуатації режиму ДРП енергоблоку №2 ОП ХАЕС, дослідження досвіду використання режиму ДРП західними партнерами.

Розглянемо детальніше режим ДРП, який передбачає проведення розвантаження-навантаження енергоблоку АЕС з ВВЕР-1000 відповідно до чіткого алгоритму, у строгому діапазоні, із швидкістю зміни потужності реакторної установки (встановленою технологічним регламентом безпечної експлуатації). При цьому важливо забезпечити суворий контроль за дотриманням параметрів роботи енергоблоку, згідно з вимогами норм і правил ядерної та радіаційної безпеки.

Дотепер на енергоблоці 2 ВП ХАЕС проводиться впровадження режиму ДРП для активної зони, повністю сформованої з ТВЗА. В ході 2-ї ПК у 2006 році, енергоблоку № 2 ВП ХАЕС успішно проведені експериментальні випробування режиму добового регулювання, для двох моментів ПК (на початку ПК - починаючи зі 106 еф. доби та в середині ПК - починаючи зі 175 еф. доби) ,а також проведено дослідну експлуатацію режиму добового регулювання потужності енергоблоку №2 ВП ХАЕС у 10-й паливній кампанії.

За результатами цих випробувань були зафіксовано порушення меж і умов безпечної експлуатації енергоблоку, проте були реалізовані певні заходи і на заключному етапі випробування досягнуто стабільного стану РУ. Таким чином, репрезентована можливість забезпечення в перехідних режимах параметрів активної зони і палива, в межах, що не призводять до розгерметизації палива внаслідок виникнення дефектів оболонки палива.

Основними проблемами керування поля енерговиділення в режимах маневрування у реакторах ВВЕР-1000 це приглушення ксенонових коливань і контроль аксіального офсету по всій активній зоні .

Враховуючи результати багатьох досліджень проведених на енергоблоці № 2 ВП ХАЕС, найдоцільнішими з них виявилось дослідження маневреного режиму з використанням ОР і системи борного регулювання без використання центрального ОР СУЗ , а також дослідження з використанням центрального ОР СУЗ у маневровому режимі енергоблоку.

За результатами цих досліджень, враховуючи всі переваги та недоліки цих двох методів, зокрема безпечнішу експлуатацію та мінімальні коливання аксіального офсету за першим методом, перший етап дослідної експлуатації режиму ДРП на АЕС здійснювалось саме за методом без центрального ОР СУЗ.

У ході дослідницької експлуатації режиму ДРП протягом 10-ї паливної кампанії зафіксовано недоліки та рекомендації, на основі яких рекомендовано реалізувати наступні заходи:

1) Підвищити рівень автоматизації режиму ДРП. Так, незважаючи на те, що АРП під час ДРП був включений в автоматичний режим, його робота мала фактично охоронний характер. АРП працював, якщо персонал не міг (не встигав) зробити корекцію установок за тиском у ГПК та/або вплив на ОР СУЗ. Велика кількість дій оперативного персоналу призводить до підвищеного ризику здійснення помилки.

2) Сигнал ПЗ-2, що виникає під час введення дистиляту, обмежує можливість оптимізації виконання навантаження як в автоматичному, так і в ручному режимах. Алгоритм виникання сигналу ПЗ-2 не враховує ні витрати водообміну, ні швидкість і величину реактивності введення під час підйому групи. Це призводить до накладання обмеження на управління РГ при швидкостях введення позитивної реактивності значно менших, ніж швидкість, досягнута одним з цих способів при максимальному використанні проектних можливостей.

3) Зниження або підвищення потужності реактора передбачає введення розчину борної кислоти чи дистиляту у перший контур. Оператору для суворого дотримання програми при введенні вище згаданих середовищ необхідно вести відлік секунд, при такому підході не виключається можливість виникнення неточностей у визначенні сумарного часу введення середовища.

4) Для енергоблоків АЕС України, на яких підживлювальні насоси мають щільніні ущільнення, при виборі тривалості порцій розчину борної кислоти необхідно брати до уваги, що затримка надходження частини дистиляту буде до 40-50 хвилин. Це зумовлено значною витратою зі щільніних ущільнень (до 12 м³/годину на три агрегати). При введенні бору такий ефект також буде, але менший.

5) У порівнянні з базовим режимом, при експлуатації енергоблоку в режимі ДРП у багато разів збільшується кількість дій (часто однотипних) оперативного персоналу на БЦУ, що збільшує ймовірність помилок.

Більшість із зазначених недоліків можна усунути за рахунок відмови від борного регулювання, лише через регулювання за допомогою механічної системи ОР СУЗ, зокрема, проблему виникнення сигналу ПЗ-2, що накладає заборону на введення реактивності двома засобами для запобігання порушення правил ПБЯ.

Тобто, регулювання реактивності під час процесу маневрування доцільно реалізувати або за рахунок борного регулювання, або за допомогою ОР СУЗ. Проаналізувавши певні переваги та недоліки двох методів, доцільнішим, на мою думку, виявився метод регулювання з використанням ОР СУЗ, а саме за допомогою використання сірих кластерів.

Внаслідок відмови від рідинного регулювання виникне проблема збільшення ефективності ОР СУЗ, яку можна вирішити збільшенням глибини занурення ОР СУЗ. Проте таке занурення кластерів збільшує деформацію поля енерговиділення, а також буде спричиняти ксенонові коливання. Таким чином, сірі кластери можуть бути кращою альтернативою тому, що вони збільшать ефективність органів регулювання за рахунок глибини занурення, але при цьому не будуть викликати значну деформацію поля енерговиділення і ксенонових коливань.

Перелік посилань:

1. №2.ЯБ.0271.ОТ4-06. Отчет о проведении второго этапа испытаний маневренных характеристик энергоблоку №2, ХАЕС, 2006.

2. Отчет о научно-исследовательской работе Разработка предварительного ОАБ опытно-промышленной эксплуатации энергоблока №2 Хмельницкой АЭС в режиме маневрирования мощностью, ХАЕС, 2015.

РЕЗУЛЬТАТИ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕРМО-АЕРОДИНАМІЧНОЇ МОДЕЛІ ВЕРХНЬОГО БЛОКУ ВВЕР-1000 У ВІТЧИЗНЯНУ ГАЛУЗЬ

В даній доповіді наведені основні результати розробки моделі верхнього блоку реактора ВВЕР-1000 для формування актуального температурного стану металу при перехідних процесах, які дозволяють враховувати вплив роботи системи ТЛОЗ.

Наявність індивідуальних характеристик кожного елементу металлоконструкції та патрубків верхнього блоку, а також специфічних властивостей складного теплообміну веде до неминучого спрощення розрахункової моделі, а також замикаючих характеристик. При цьому існують невизначеності, пов'язані з поглинаючими та дифузійними властивостями поверхонь, що беруть участь у теплообміні випромінюванням, а також з характеристиками теплообміну на внутрішній стороні патрубків (Зона 2 – ТК, КНІ та СУЗ, Зона 3-СУЗ, Рис. 1). До того ж, випробування [1] показали, що існують нещільності в Зоні 1, які призводять до зниження середньооб'ємної температури та заохолодження фланця кришки реактора.

Враховання вище сформульованих особливостей, які повинна включати розрахункова модель, описується, в загальному випадку, тривимірною нелінійною постановкою. Вирішення таких задач потребує застосування CFD методів з урахуванням інтерфейсів тверде тіло – текуче середовище (газ, рідина). До того ж це дозволяє врахувати складний теплообмін між елементами складної геометричної конфігурації.

З інженерної точки зору, в особливості для розрахунку перехідних процесів які мають характерну довжину перебігу у часі від 10^3 до 10^5 секунд (розігрів), необхідно визначити компроміс між повнотою моделювання, точністю та швидкістю розрахунку. Зважаючи на область застосування було розроблено універсальну розрахункову модель для формування еквівалентних теплових ГУ, які визначають теплову задачу в подальшому аналізі міцності.

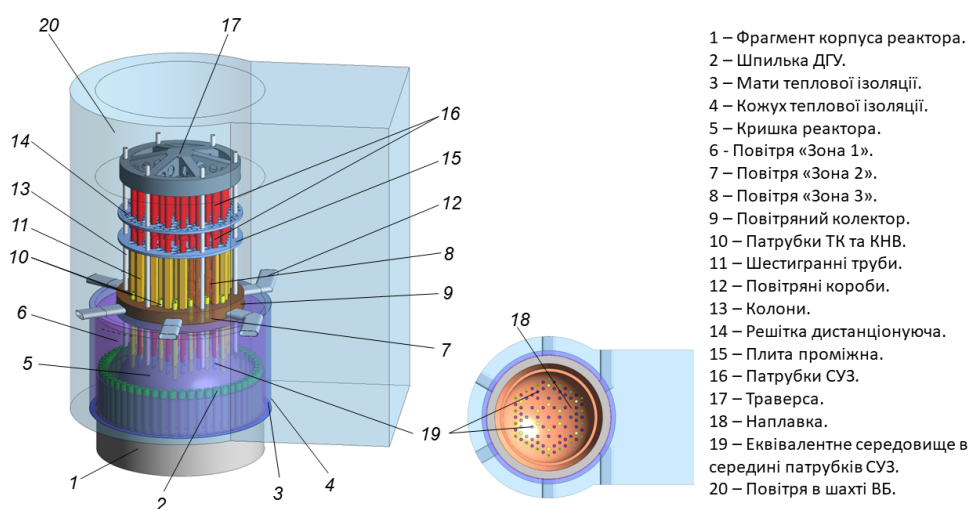


Рисунок 1 – Область моделювання «повної» розрахункової моделі

Основа для побудови спрощеного підходу із застосуванням CFD полягає у виокремленні такої геометричної конфігурації, яка б дозволяла враховувати основні особливості фізичних процесів, а всі спрощення повинні базуватися на принципі «найгіршого» впливу на обладнання.

Орієнтуючись на відповідні розрахункові моделі міцності (де розглядається фрагмент із 3 шпильок ДГУ) була побудована еквівалентна (не симетрична) розрахункова модель (Рис. 2), для якої основні спрощення були всебічно обґрунтовані параметричним аналізом, а також валідацією феноменології, стаціонарного стану та перехідного процесу на основі натурних випробувань. В цьому і полягає унікальність виконаної роботи. Оскільки для впровадження методів розрахункової гідродинаміки необхідно кількісно та якісно аргументувати та захистити отримані результати, а також спосіб їх визначення розрахунковою моделлю. Запропонований підхід до визначення еквівалентних граничних умов (чи безпосередньо температурного стану елементів ВБ) є результатом плідної співпраці зі спеціалістами оцінки міцності, тобто інженери теплогідрравліки повністю орієнтувались на висновки інженерів міцності, що дало змогу уточнювати/додатково враховувати ті особливості, які дійсно впливають на цільовий параметр.

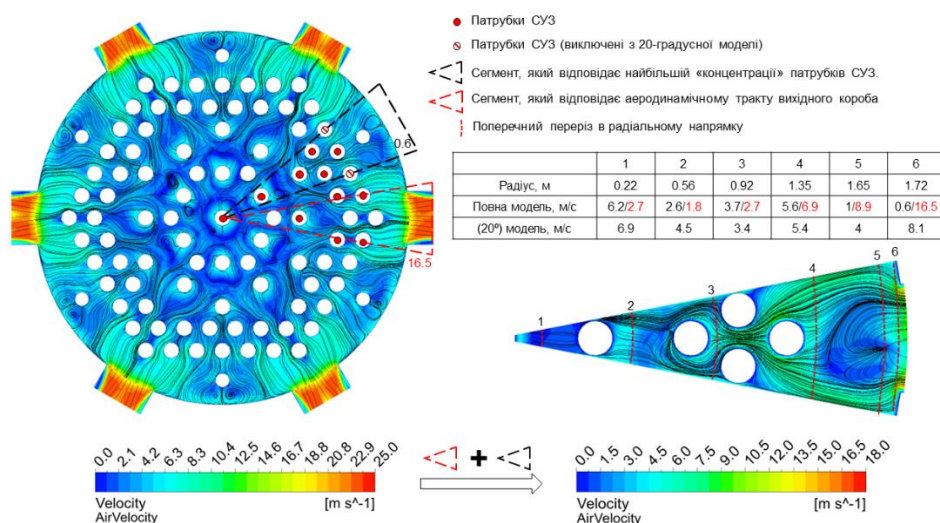


Рисунок 2 – Концепція формування спрощеної розрахункової моделі

Для впровадження розрахункової моделі в практику розрахунків для продовження ресурсу та управління старінням були підтверджені наступні позиції, які детально представлені у доповіді, а саме:

- Обґрунтувати прийнятність вибору 20-градусної «симетрії» (параметричний аналіз).
- Вибір коефіцієнтів випромінюючої здатності (валідація, параметричний аналіз). Необхідність врахування випромінювання поза повітряною зоною 1.
- Вибір замикаючої комбінації моделі випромінювання та моделі турбулентності (валідація на основі експерименту, напіваналітична модель).
- Підтвердження адекватності прогнозних результатів при перехідних режимах (валідація на основі натурних випробувань).
- Обґрунтування вибору уніфікованих ГУ зі сторони TL03, які будуть прийнятними без прив'язки до конкретного енергоблоку та нівелюватимуть індивідуальні особливості серії (параметричний аналіз).
- Вплив режимів роботи вентиляційних агрегатів TL03 (валідація, параметричний аналіз).

Представлена робота є завершенням тих планів, які були сформовані на даній конференції в 2018 році при доповіді «особливостей гібридної процедури ВБ».

Перелік посилань:

1. Пусконаладочный контроль теплогидравлических характеристик верхнего блока реактора при вводе в эксплуатацию АЭС С ВВЭР-1000 / [В. У. Хайретдинов, С. В. Жаданов, Д. А. Татурин и др.].

Магістрант 1 курсу, гр. ТЯ-21мп Ковальчук П.О.
Доц., к.т.н. Носовський А.В.

МОДЕРНІЗАЦІЯ СТЕЛАЖІВ БАСЕЙНУ ВИТРИМКИ ВІДПРАЦЬОВАНОВОГО ЯДЕРНОГО ПАЛИВА

В рамках реалізації заходу КзПБ №31301 «Модернізація облицювання басейну витримки відпрацьованого ядерного палива енергоблоку і установка стелажів ущільненого зберігання палива» на енергоблоках №1, 2 ВП РАЕС було замінено верхні стелажі на такі, що відповідають вимогам НП 306.2.221-2019 щодо забезпечення підкритичності системи зберігання не менше 5% у всіх діапазонах густини сповільнювача при постульованих початкових подіях аварій.

Підтвердження відповідності проектних рішень модифікації вимогам безпеки, що пред'являються нормативними документами України до систем АЕС, виконано у відповідних ПЗАБ для даних енергоблоків.

Технічні рішення про введення в дослідну експлуатацію верхнього (знімного) стелажу ущільненого зберігання палива виробництва «Skoda JS a.s.» на енергоблоках №1,2 ВП РАЕС було погоджено ДІЯРУ (вих. 15-21/01/14468-15293 від 28.12.2020р.) за умови виконання, до введення модифікації у промислову експлуатацію, оцінки впливу модифікації на результати аналізу важких аварій у БВ енергоблоків №1 та №2 ВП РАЕС та, за необхідності, розробки змін до відповідної протиаварійної документації

В рамках реалізації модифікації було замінено існуючі верхні (знімні) стелажі зберігання відпрацьованого ядерного палива на стелажі нової конструкції, ущільненого зберігання ВЯП (СУЗП), згідно з технічною специфікацією ТРЕ Ае 02428/18.

Оновлений стелаж для зберігання ядерного палива складається з 3-х секцій, кожна з яких має опорну та верхню плиту. У верхньому стелажу нового проекту є 359 абсорбційних труб для розміщення паливних касет. Крім того, стелаж має 13 комірок для герметичних пеналів, які необхідні для зберігання негерметичних касет в БВ. Верхній стелаж встановлюється над СУЗП у випадку, коли він повністю заповнений та в ньому недостатньо вільних чарунок для аварійного вивантаження всіх паливних касет з активної зони реактора.

Основна технічна характеристика «старих» знімних стелажів наступна:

- кількість абсорбційних секцій – 3 шт.;
- кількість комірок для ТВЗ – 296 шт.;
- кількість комірок для гермопеналів – 54 шт.;
- сумарна кількість комірок – 350 шт.

Основна технічна характеристика нових СУЗП:

- кількість абсорбційних секцій – 3 шт.;
- кількість комірок для ТВЗ – 359 шт.;
- кількість комірок для гермопеналів – 13 шт.;
- сумарна кількість комірок – 372 шт.

Основна технічна характеристика нижніх СУЗП:

- кількість абсорбційних секцій – 3 шт.;
- кількість комірок для ТВЗ – 682 шт.;
- кількість комірок для гермопеналів – 17 шт.;
- сумарна кількість комірок – 699 шт.

Оцінку впливу модифікації на результати важких аварій виконано як «аналіз запроектованих аварій з важким пошкодженням палива»

Перелік посилань:

1. <https://www.wiki-data.uk-ua.nina.az.html>
2. <https://www.uatom.org/ekspluatatsiya-ssvyap-na-rivnenskiy-aes>

УДК 621.039.5

Магістрант 1 курсу, гр. ТЯ-21мп Кравченко П.М.

Доц., к.т.н. Коньшин В.І.

ОСОБЛИВОСТІ ТЕПЛОГІДРАВЛІЧНОГО РОЗРАХУНКУ ДЛЯ МАЛИХ МОДУЛЬНИХ РЕАКТОРІВ З ПРИРОДНЬОЮ ЦИРКУЛЯЦІЄЮ ТЕПЛОНОСІЯ

Теплогідравлічний розрахунок реактору – розрахунок головною метою якого є визначення основних параметрів обладнання першого контуру та таких параметрів реактору як розподіл витрат теплоносія по каналах реактора, тиск і паровміст по контуру циркуляції, коефіцієнт теплопередачі, температуру оболонки ТВЕЛ, температуру паливного осердя, коефіцієнт запасу до кризи теплообміну та інше [1].

Галузь атомної енергетики активно розвивається і одним з напрямків розвитку стали малі модульні реактори (ММР). ММР – це ядерні реактори з відносно невеликою потужністю до 300 МВт. Головними особливостями даних реакторів є високий рівень використання пасивного підходу до безпеки, тобто максимальний рівень автономності за рахунок пасивних систем безпеки, які працюють за рахунок природних процесів. Наразі передовими в цьому напрямку є такі реактори:

- NuScale Power Module;
- HOLTEC SMR-160;
- Westinghouse SMR.

В кожному з них циркуляція теплоносія в першому контурі відбувається за рахунок природньої циркуляції теплоносія, а сам перший контур є інтегральним, тобто парогенератор напряму з'єднаний з корпусом реактору без циркуляційних трубопроводів, це можна побачити на рисунку 1 на прикладі для реактору SMR-160 [2].

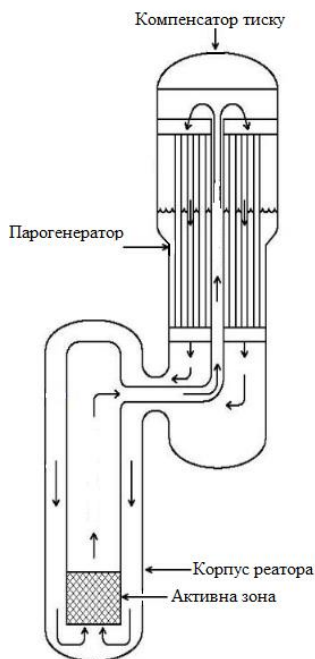


Рисунок 1 - Спрощена схема інтегральної компоновки реактору SMR-160 [3].

Основна складність теплогідравлічного розрахунку ММР полягає якраз таки в інтегральній компоновці. Даний розрахунок необхідно виконувати в декілька етапів, які являють собою розрахунок окремих зон:

- активної зона;
- зона підйому;

- зона теплообміну;
- зона спуску.

Після чого отримані параметри необхідно пов'язати між собою, таким чином отримавши загальну картину.

Також можна зазначити наступну особливість розрахунку. Циркуляція теплоносія першого контуру відбувається за рахунок природньої конвекції, це означає, що нема циркулюючого насосу, який міг би забезпечити постійну витрату теплоносія. Тому при зміні потужності реактору, витрата теплоносія також змінюється, а відповідно змінюються більшість інших гідравлічні параметрів. Звідси виникає потреба у виконанні окремого розрахунку для кожного рівня потужності. Такий розрахунок є необхідним для подальшого проектування систем безпеки, робота яких буде відбуватись не при номінальному рівні потужності.

Таким чином, основними особливостями теплогідравлічного розрахунку для малих модульних реакторів з природньою циркуляцією теплоносія є необхідність багатоетапного розрахунку для різних зон та відсутність постійного значення витрати для різних рівнів потужності.

Перспективу даного дослідження вбачаємо у проведенні подальшого теплогідравлічного розрахунку для реактору HOLTEC SMR-160.

Перелік посилань:

1. Кириллов П. Л. Справочник по теплогидравлическим расчетам (ядерные реакторы, теплообменники, парогенераторы) / П. Л. Кириллов, Ю. С. Юрьев, В. П. Бобков. - М. : Энергоатомиздат, 1990. 360 с.
2. Advances in Small Modular Reactor Technology Developments A Supplement to: IAEA Advanced Reactors Information System (ARIS) 2020 Edition. Austria, 2020. 354p.
3. HOLTEC International. URL: <https://holtecinternational.com/products-and-services/smr/features/safe-and-secure/>

ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАБОРОНИ ОДНОЧАСНОГО ВВЕДЕННЯ ПОЗИТИВНОЇ РЕАКТИВНОСТІ ДВОМА ТА БІЛЬШЕ СПОСОБАМИ

У проектах енергоблоків, які експлуатуються в Україні не виключалася можливість одночасного введення позитивної реактивності в активну зону двома різними способами, що суперечить вимогам п.3.3.42 Правил ядерної безпеки реакторних установок, НП.306.2.145-2008[1].

Засобами, які могли вносити позитивну реактивність, є:

- лінія подачі чистого конденсату з послідовно розташованою арматурою TN30S04, TN30S06 системи штатного підживлення першого контуру;
- система групового та індивідуального управління органів регулювання системи управління захистом(ОР СУЗ).

Цілями впровадження заборони одночасного введення позитивної реактивності двома і більше способами захисту системи управління захистом(СУЗ) енергоблоку є:

- підвищення рівня безпеки експлуатації енергоблоку шляхом впровадження додаткового попереджувального захисту II роду;
- приведення характеристик системи у відповідність чинним вимогам нормативної документації(НД) щодо безпеки атомних електричних станцій(АЕС)[2].

Впровадження нового захисту виконується на зупиненому реакторі під час проведення планово - попереджувального ремонту під час перебування реакторної установки в режимі «зупинка перевантаження».

Для виключення одночасного введення позитивної реактивності за рахунок підйому ОР СУЗ і дистилату в активну зону реактора в програмно-технічному комплексі аварійного та попереджувального захисту(ПТК АЗ-ПЗ) формується попереджувальний захист 2-го роду(ПЗ-2)(заборона на підйом ОР СУЗ) за фактом початку відкриття арматури TN30S04 при відкритій арматурі TN30S06 або за фактом початку відкриття арматури TN30S06 при відкритій арматурі TN30S04, що дозволяє підвищити безпеку роботи реакторної установки. Сигнал спрацьовування ПЗ-2 знімається за фактом закриття будь-якої арматури TN30S04, TN30S06.

Сигнали від кінцевих вимикачів арматури TN30S04, TN30S06 передаються на вхід ПТК АЗ-ПЗ, де формується алгоритм роботи захисту. На відеокадрах робочої станції відображається формування та стан проходження сигналу. З ПТК АЗ-ПЗ сигнали за фактом одночасного незакритого стану арматури TN30S04, TN30S06 передаються на блочному щиті управління(БЩУ) (першопричина) та інформаційно обчислювальну систему(ІОС) (для реєстрації)[3].

Програмно-технічний комплекс системи аварійного та запобіжного захисту реактора за нейтронно-фізичними та технологічними параметрами призначений для ініціювання дії захисних систем безпеки реактора при неприпустимих відхиленнях роботи РУ, а також здійснення контролю та управління у процесі виконання ними захисних функцій.

Припинення реакції або зниження потужності РУ відбувається шляхом видачі відповідних сигналів у системі групового та індивідуального управління реактором(СПУ-Р) органами регулювання реактора(ОР СУЗ)[4].

ПТК АЗ-ПЗ виконує функції системи безпеки, що керує. Згідно з НП 306.2.141-2008 ПТК АЗ-ПЗ відноситься до класу 2У. Компоненти ПТК АЗ-ПЗ, які не беруть участь у виконанні керуючих функцій (робоча станція(РС), робоче місце оператора(РМО), робоче місце технолога(РМТ)) відносяться до класу безпеки 3 і мають класифікаційне позначення

ЗН. ПТК АЗ-ПЗ розрахований на режим цілодобової безперервної роботи з урахуванням проведення технічного обслуговування та ремонту[2].

Наразі дана система перевіряється, розглядається можливість модифікації, проводиться аналіз розрахунків щодо її використання та аналізуються похибки в роботі.

Для уникнення проблеми з вимогою про технічну реалізацію заборони введення позитивної реактивності двома і більше способами пропонується розробити спрацювання сигналу ПЗ-2 при наявному введенні позитивної реактивності в активній зоні. Таким чином попереджувальний захист буде працювати від показників реактивності та спрацьовувати не залежно від причини, а спрацьовувати при наявній позитивній реактивності, тим самим накладаючи технічну заборону на введення позитивної реактивності двома і більше способами, як й зазначено у вимогах до Правил ядерної безпеки реакторних установок НП 306.2.145-2008 (п.3.3.42).

Перелік посилань:

1. Про затвердження Правил ядерної безпеки реакторних установок атомних станцій з реакторами з водою під тиском. Держатомрегулювання України; Наказ, Правила від 15.04.2008 № 73 Посилання: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0512-08#Text>

2. Програма технічного обслуговування програмно-технічного комплексу системи аварійного та попереджувального захисту (ПТК АЗ-ПЗ) енергоблок № 1 ПМ.1.0011.0224

3. Технологічний регламент безпечної експлуатації енергоблоку №1 ПАЕС. РГ.1.3810.007.

4. Програмно-технічний комплекс системи аварійного та попереджувального захисту енергоблоку № 1 Інструкція з експлуатації ІЕ.1.0011.0631

ВИЗНАЧЕННЯ МЕЖ ПОНЯТТЯ "ЗНЯТТЯ З ЕКСПЛУАТАЦІЇ"

Важливою частиною атомної енергетики є не лише нормативно-правильна та безпечна експлуатація атомних електростанцій а й їх не менш безпечне зняття з експлуатації. Проте, АЕС є надто складною та об'ємною структурою, яку не так просто вивести з робочого стану. Це трудомісткий процес, який має свої види, етапи виконання та особливості. Фундаментальною частиною цього процесу є сама концепція виведення з експлуатації – документ, який концептуально ілюструє основні аспекти робіт під час зняття з експлуатації, базисні положення стратегії, кількість етапів виведення та фінальний стан енергоблоку після його зняття з експлуатації.

Одним із основних етапів створення розробки концепції виведення з експлуатації є методика вибору та її обґрунтування оптимально варіанту стратегії ЗЕ енергоблоку АЕС. Взагалі, існують три стратегії зняття з експлуатації: з відкладеним демонтажем, з невідкладеним та захоронення на місці. Опираючись на статтю О. А. Пуртова та О. М. Масько [1], захоронення на місці можна відокремити від інших стратегій для зручнішого систематизування.

Відкладений демонтаж представляє собою стратегію, під час якої після припинення експлуатації відбувається перехід в безпечний стан на декілька десятків років. До цього відносять виконання операцій по видаленню палива та радіоактивних об'єктів, тим самим підготовлюючи установку до витримування і відкладеного демонтажу. Наступним кроком після переходу в безпечний стан є підготовка до демонтажу і власне сам демонтаж. Протягом всього відкладеного демонтажу забезпечуються програми по виконанню нагляду та обслуговуванню для забезпечення відповідного рівня безпеки.

Невідкладений демонтаж – стратегія, яка починається відразу після завершення експлуатації. В даній стратегії використовують такі поняття як «кінцевий зупин» та перехідний період», які є необхідними для реалізації просування стратегії ЗЕ. У відповідності до вимог НП 306.4.194-2013 (змінено, зм. №1), зняття з експлуатації може відбутись в об'ємі одного проекту, за умови, що при цьому буде досягнуто кінцевого стану та звільнення установки демонтажу від контролю регулювання.

Якщо говорити про захоронення на місці, то дана стратегія включає в себе захоронення радіоактивних матеріалів, які розміщують в спеціальні бар'єри, що запобігають їх розповсюдженню за межами установки демонтажу.

Отже, з вищезазначених стратегій, слід підібрати найбільш оптимальну. Вибір базується на принципі «витрати-користь» та відповідні фактори, на які опирається цей принцип:

- вимоги до безпеки, які регулює законодавство (фактор А);
- оцінка можливої шкідливої дії на персонал, населення та екологію (фактор Б);
- радіаційний стан установки та прогнозування його зміни у часі (фактор В);
- фізичний стан установки та прогнозування його зміни у часі (фактор Г);
- особливості проведення процедур з радіоактивними відходами (фактор Д);
- можливість повторного використання елементів установки або їх переробка (фактор Е);
- можливість вивільнення матеріалів установки для необмеженого використання (фактор Ж);
- плани на подальше використання території, що займає установка (фактор З);
- наявність технологій та техніки, які необхідні для ЗЕ (фактор І);
- наявність персоналу та можливості використання досвіду й знань експлуатаційного персоналу (фактор Й);

- наявність фінансового забезпечення (фактор К);
- міжнародний та державний досвід виведення з експлуатації (фактор Л);
- соціальні аспекти (фактор М).

Для збалансованого врахування вищезгаданих факторів, визначення оптимального варіанту стратегії виведення з експлуатації, слід використовувати метод багатофакторного аналізу. За допомогою цього методу можна передбачити можливість подвійного аналізу кількісних та якісних факторів, які в даний час є підтвердженими шляхом аналізу об'єктивними вихідними даними та результатом розрахунків прогнозування. При відсутності даних аналізів слід розробити оцінювання, базуючись на розгляді експертів.

У доповіді виконується аналіз особливостей методики вибору оптимального варіанту зняття з експлуатації енергоблоку АЕС. Особливість методики полягає в унікальності кожного з методів вибору, який базується на відокремленому вигляді концепції кожної із стратегій ЗЕ.

Метою даної роботи є дослідження методики вибору оптимального варіанту виведення з експлуатації енергоблоку АЕС.

Основним завданням є визначення меж поняття «зняття з експлуатації». Для виконання даного завдання необхідно дослідити та проаналізувати прийняті фахівцями підходи методики вибору оптимального варіанту ЗЕ енергоблоку, провести збір інформації та встановити підхід до визначення меж даного поняття.

Перелік посилань:

1. Пуртов, О.М. Масько, «Порівняльний аналіз оновлених концепцій зняття з експлуатації діючих АЕС України», ДП «Державний науково-інженерний центр систем контролю та аварійного реагування», Київ 2019.

2. Требования к содержанию концепции снятия с эксплуатации АЭС. (СОУ НАЭК 015:2012), Государственное предприятие «Национальная атомная энергогенерирующая компания «Энергоатом», Киев, 2012.

3. Общие положения безопасности атомных станций (ОПБ 2008), НП306.2.141-2008, Государственный комитет ядерного регулирования Украины, Киев, 2008.

**ТЕПЛОВИЙ АНАЛІЗ БАГАТОМІСНОЇ ГЕРМЕТИЧНОЇ КОРЗИНИ В
БЕТОННОМУ МОДУЛІ СУХОГО СХОВИЩА ВІДПРАЦЬОВАНОВОГО ЯДЕРНОГО
ПАЛИВА В РОЗШИРЕНИХ ПРОЄКТНИХ УМОВАХ**

Зберігання відпрацьованого ядерного палива (ВЯП) сухим способом стає все більш популярним у світі. Багато країн вже широко його застосовують: компанія Cogema Logistics (Франція) розвиває технологію сухого зберігання ВЯП як найбільш зручний та дешевий спосіб поводження з відпрацьованим паливом; в Німеччині запроваджена технологія контейнерного зберігання ВЯП в пристанційних сховищах (контейнери CASTOR); цей тип контейнерів (CASTOR) застосовуються в Литві для зберігання ВЯП РБМК-1000 на Ігналінській АЕС і також для зберігання ВЯП ВВЕР-440 на майданчику АЕС Дуковани в Чехії; великий досвід контейнерного, камерного та модульного зберігання ВЯП має США.

Сховище ВЯП сухого типу має ряд переваг:

- можливість будівництва чергами;
- менші інвестиції в будівництво;
- пасивна система відводу залишкових енерговиділень від відпрацьованих тепловиділяючих збірок (ВТВЗ);
- незначні утворення радіоактивних відходів при експлуатації сховища;
- низькі витрати при експлуатації.

Україна теж обрала шлях сухого типу зберігання ВЯП. Сховище сухого типу відпрацьованого ядерного палива було побудовано на майданчику Запорізької АЕС. Була обрана система зберігання в бетонних контейнерах VSC-24, яка розроблена компанією Sierra Nuclear Corporation (США).

Одним із ключових аспектів оцінки безпеки систем сухого зберігання ВЯП є визначення температурного профілю ВЯП для різних умов зберігання. У рамках звіту з аналізу безпеки багатомісної герметичної корзини (БГК) бетонного модуля зберігання сухого сховища ВЯП не виконувався розрахунковий аналіз вихідної події із розгерметизацією БГК, яка відноситься до розширених проєктних умов.

При виникненні вказаної вихідної події з втратою герметичності БГК, його внутрішнє середовище (гелій) заміщається повітрям, і відбувається погіршення умов теплообміну внаслідок гірших теплофізичних властивостей повітря, що призводить до зростання температури оболонок твел ВЯП. Таким чином існує необхідність виконання оцінки температурних умов ВЯП, а також визначення їх відповідності температурним критеріям прийнятності. Крім того, отримані результати дадуть змогу оцінити можливість ідентифікації такої події за допомогою моніторингу зміни температури повітря на виході з вентиляційних каналів бетонного модуля зберігання.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі задачі:

- розглянути систему сухого зберігання ВЯП, конструкцію БГК та бетонного модуля зберігання;
- розглянути та проаналізувати перелік вихідних подій, які мають бути розглянуті в рамках звіту з аналізу безпеки сухого сховища ВЯП для проєктних аварій та

для розширених проєктних умов згідно норм та правил з ядерної та радіаційної безпеки;

- розглянути існуючі підходи до моделювання систем сухого зберігання ВЯП та розробити власну розрахункову модель для комп'ютерного коду ANSYS CFX;
- визначити початкові та граничні умови аналізу по відношенню до критеріїв прийнятності, що аналізуються;
- виконати тепловий розрахунок, проаналізувати отримані результати та зробити висновки за отриманими результатами.

Перелік посилань:

1. Безопасность атомных станций. Безопасность сухого хранения отработавшего ядерного топлива. / [Рудычев В.Г., Алехина С.В., Голощапов В.Н. и др.]; под общ. ред. Ю.М. Мацевитого, И.И. Залюбовского, - Харьков, 2013. – 200 с.

2. Обоснование безопасности хранения отработавших ТВС-WR в СХОЯТ ОП ЗАЭС. Отчет. Редакция 4, - Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт», 2021. – 168 с.

3. Отчет по анализу безопасности сухого хранилища отработавшего ядерного топлива запорожской АЭС. Версия 3.01.1, - Министерство топлива и энергетики Украины, 2006. – 790 с.

РОЗРОБКА МОДУЛЮ СПРЯЖЕННЯ RELAP5/MOD 3.2-CFX ДЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ НА РУ ВВЕР-1000

Моделювання важкої аварії зі застосуванням спряження CFD-моделі реактору з системним теплогідравлічним кодом RELAP5/Mod 3.2 [1] дозволить надійно та в адекватні терміни прогнозувати динаміку аварії, моделювати форму коріуму, передати величину і розподіл теплових потоків на корпус реактору, моделювати його деградацію та відмову з врахування потоншення стінки внаслідок температурної повзучості та виникаючих навантажень від маси розплаву на днищі, маси самого днища і внутрішнього надлишкового тиску в реакторі.

В обсязі роботи реалізовано модуль спряження на Python 3 зі застосуванням парадигми об'єктно-орієнтованого програмування, що забезпечує легкість його підтримування, розширення і модифікації. Модуль здійснює керування спряженим розрахунком RELAP5-CFX шляхом:

- послідовного запуску кодів з «субциклованням» між кроками спряження;
- отримання результатів розрахунку CFX необхідних для RELAP5 за допомогою CFX-блоку «cfx5mondata» [2];
- отримання результатів розрахунку RELAP5 необхідних для CFX за допомогою «strip-файлів» [1];
- зміни вхідних параметрів CFX-моделі на кожному кроці спряження за допомогою CCL (CFX Command Language) [3];
- зміни вхідних параметрів RELAP-моделі на кожному кроці спряження редагуванням відповідних карт моделі.

Для реалізації спряження розроблена модифікаційна модель, що застосовується, як надбудова над RELAP-моделлю РУ ВВЕР-1000/В-320 енергоблоку №1 ЗАЕС [4] та здійснює:

- модифікацію моделі РУ без безпосередньої її зміни;
- «виключення» з розрахункової моделі гідродинамічних елементів та теплових структур реактору;
- створення інтерфейсу для спряження, шляхом «введення» додаткових гідродинамічних елементів;
- перекомпоновку системи «тріпів» та алгоритмів роботи керуючих компонентів без зміни їх проектної логіки.

Загальна реалізація спряження зі сторони RELAP-моделі показана на рисунку 1.



Рисунок 1 – Загальна реалізація спряження зі сторони RELAP-моделі

В рамках роботи проведено налагодження та тестування модифікованої RELAP-моделі на автономному розрахунку стаціонарного стану («ss.mod-модель»). Результати розрахунку показують стабілізацію основних параметрів РУ на номінальних значеннях і підтверджують коректність створеної моделі.

На основі отриманих параметрів модифікованої RELAP-моделі проведено спряжений стаціонарний розрахунок («ss.coupled-модель») з імітатором CFD-моделі реактору, при наступних спряжених граничних умовах:

- зі сторони реактору:
 - на входах в реактор – масова витрата та температура, значення яких отримуються

з крайніх об'ємів холодних петель RELAP-моделі;

- на виходах з реактору – тиски, значення яких отримуються з перших об'ємів гарячих петель RELAP-моделі.

- зі сторони петель RELAP-моделі:

- на входах в гарячі петлі – масова витрата та температура, значення яких отримуються з виходів CFD-моделі реактору.

- на виходах з холодних петель – тиски, значення яких отримуються з входів CFD-моделі реактору.

Розрахунки проводилися в залежності від часового кроку спряження між кодами. На рисунку 2 приведені значення тиску та витрати теплоносія на вході та виході з реактору для кроку спряження 0,1 с. В початковий момент часу виникають коливання, які затухають протягом перших 10 с. При збільшенні кроку спряження до 0,2 с і більше, виникають коливання, які затухають більше 30 с. При зменшенні кроку спряження менше 0,1 с такі коливання стабілізуються на перших секундах розрахунку.

В результаті тестування отримано спряжену стаціонарну модель зі стабільними основними параметрами РУ, що дає змогу в подальшому використовувати дану модель для розрахунків уже перехідних аварійних процесів («tr-модель»). Також, наступним кроком в дослідженні є заміна імітатору CFD-моделі на реальну CFD-модель реактору ВВЕР-1000, її налагодження та тестування у спряженні з RELAP-моделлю.

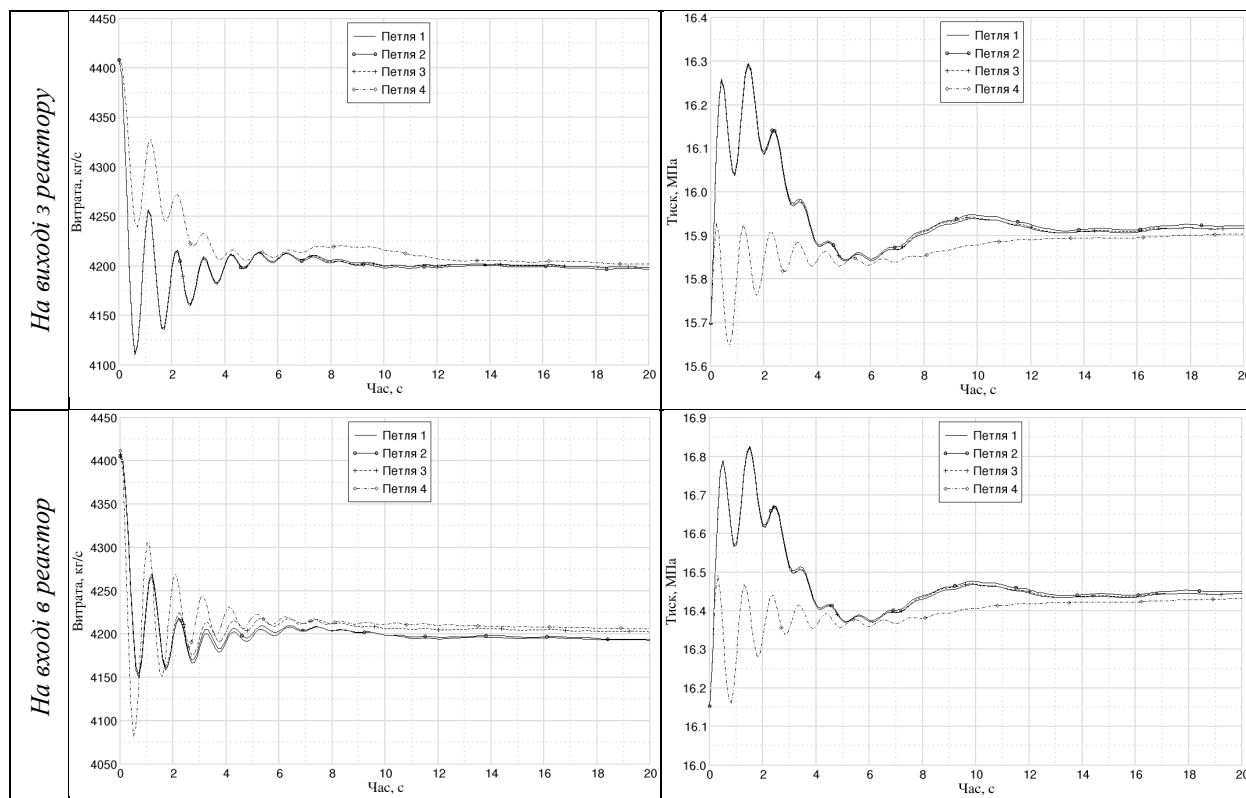


Рисунок 2 – Результати розрахунку спряженого стаціонарного стану

Перелік посилань:

1. Nuclear Safety Analysis Division 2001, RELAP5/Mod3.3 code manual Volume I: Code Structure, System Models, and Solution Methods., vol. 1.

2. ANSYS CFX-Solver Manager User's Guide. ANSYS, Inc. Release 18.2. ANSYS Drive Canonsburg, ANSYS, Inc., 2017, p. 200.

3. CFX Command Language. CFX-5.5.1. p 22. URL: <https://cupdf.com/document/cfx-command-language.html>

4. Запорожская АЭС. Энергоблок №1. Отчет по анализу безопасности. Анализ проектных аварий. Адаптация. Итоговый отчет. EP43-2008.3811.ОД.2.

ОПТИМІЗАЦІЯ ПЕРІОДИЧНОСТІ РЕГЛАМЕНТНИХ ВИПРОБУВАНЬ СИСТЕМ ВАЖЛИВИХ ДЛЯ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ЗНАХОДЖЕННЯ ЕНЕРГОБЛОКУ НА ПОТУЖНОСТІ ДЛЯ АЕС З РУ ВВЕР-1000

Серед проблем, які сьогодні стоять в сфері ядерної енергетики, відмічається проблема ефективного та безпечного використання ядерних установок. На сьогоднішній день, в Україні не використовується метод ризик-інформованого керування конфігурацією ядерних енергетичних установок (ЯЕУ), але даний метод успішно застосовується на АЕС США та Європи [1].

В діючих технологічних регламентах умови безпечно експлуатації (ТРБЕ) припускають знаходження систем важливих для безпеки (СВБ) в непрацездатному стані протягом встановленого часу. Однак цей час не обґрунтовано в проекті РУ.

Дослідження даної тематики дозволить розробити методологічні та регуляторні підходи для проведення таких обґрунтувань, дозволить проводити переоцінку безпеки та встановити, з використанням ризик-інформованого підходу (PI), обґрунтований час непрацездатності систем і елементів ЯЕУ.

Актуальність обумовлена підтримкою необхідного рівня безпеки при процесі керування конфігурацією ЯЕУ з метою проведення регламентних випробувань на потужності.

Однією із стратегій оптимізації технічного обслуговування і ремонту (ТОіР) є оптимізація обсягу робіт проведення необхідного контролю металу, технічного огляду (післяремонтних випробувань) СВБ після ТОіР та кількості необхідного для цього персоналу, впродовж експлуатації енергоблоку АЕС.

Для прийняття рішення щодо того, яка діяльність з ТОіР може бути перенесена на період роботи енергоблоку на потужності, слід вирішити низку питань, які пов'язані з: збільшенням ризику; можливістю виведення з роботи обладнання; можливістю проведення контролю металу для технічного огляду, проведення технічного огляду СВБ після ТОіР та недоступністю конструкцій, систем та елементів та ін. Інструментом, що дозволяє вирішити перелічені вище завдання є ризик-інформоване управління конфігурацією АЕС (PI-УК).

PI-УК сприяє вибору оптимальної стратегії ТОіР. При виборі такої стратегії розглядаються ключові аспекти процесу планування робіт і прийняття рішень для безпечного обслуговування конструкцій, систем та елементів з прийнятним рівнем ризику із забезпеченням високої якості робіт під час роботи енергоблоку, а також визначення ризику, який пов'язаний із виведенням з роботи та/або недоступністю групи обладнання.

При виконанні роботи застосовано загальний підхід до PI-УК, а саме [2]:

- першим етапом робіт з PI-УК є визначення переліку КСЕ, обслуговування яких можна оптимізувати;
- другим етапом є розробка імовірнісної моделі PI-УК.
- після доопрацювання/розробки імовірнісної моделі буде виконано розрахунки показників ризику для базової конфігурації АЕС;
- після визначення кількісних показників ризику для всіх специфічних конфігурацій АЕС, виконується їх порівняння з пороговими критеріями та приймається рішення щодо можливості зміни конфігурації, а також необхідності розробки та впровадження компенсуючих заходів.

Для вирішення завдання використовується наявна експлуатаційна та технічна документація, а для розрахунків комп'ютерний код RiskSpectrum, який дозволяє розробляти

імовірнісну модель каналів систем безпеки з різною конфігурацією, що допоможе вирішити поставлені перед даною роботою задачі.

Використання ризик-інформованого підходу для оптимізації інтервалів між контрольними випробуваннями конструкцій, систем та елементів дає можливість виконати аналіз додаткових ризиків та приймати ефективні заходи щодо їх усунення або пом'якшення.

Саме тому, розглянута тема є перспективним напрямком в атомній енергетиці і дана робота є актуальною.

Перелік посилань:

1. Методичне керівництво щодо ризик – інформованого управління конфігурацією АЕС, ризик-інформованого ТРБЕ та ризик-інформованого визначення міжремонтних інтервалів та періодичності технічного обслуговування для АЕС з ВВЕР-1000 21.2.ООР.2.4.ОД.02 «НАЕК «Енергоатом»;

2. NUREG/CR-6141. P.K. Samanta, I.S. Kim, «Handbook of Methods for RiskBased Analyses of Technical Specifications», BNL-NUREG-52398, November 1994.

ЗНЯТТЯ З ЕКСПЛУАТАЦІЇ АЕС З РЕАКТОРАМИ ВВЕР. ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКОСТІ РАВ ЩО ВИНИКАЄ ПРИ ДЕМОНТАЖІ СИСТЕМ РЕАКТОРНОГО ВІДДІЛЕННЯ

Зняття з експлуатації є останнім обов'язковим етапом життєвого циклу ядерної установки, в тому числі і атомної електричної станції та \ або її окремих структурного компонента - ядерного енергоблоку. Необхідність проведення зняття з експлуатації у вигляді комплексу організаційних технічних заходів викликана тим, що на відміну від неядерних енергетичних об'єктів, атомна електростанція за період своєї експлуатації накопичує в своєму обсязі значна кількість як активованих, так і забруднених радіонуклідами систем і елементів.

Кінцевою метою зняття з експлуатації АЕС може бути як досягнення майданчика на якій вона побудована стану необмеженого використання для будь-яких господарських потреб, так і стану обмеженого використання майданчика і окремих споруд для потреб експлуатуючої організації при умові що всі джерела іонізуючого випромінювання видалені з майданчика АЕС. Це означає, що всі забруднені будівлі і споруди АЕС повинні бути знесені, радіоактивні відходи (РАВ) що утворилися при демонтажі повинні бути перероблені і захоронені в спеціально призначених для цього сховищах. Також повинні бути демонтовані і знесені будівлі і споруди інфраструктури, яка додатково створювалася для зняття з експлуатації. Вторинні РАВ що виникли при цьому теж повинні бути перероблені і захоронені.

У відповідності до Концепції зняття з експлуатації атомних електричних станцій України [1], діяльність по зняттю їх з експлуатації повинна відбуватись шляхом реалізації відкладеного демонтажу з витримкою під наглядом частини енергоблоку, що підлягає консервації. При цьому діяльність в межах цього варіанту повинна проводитись шляхом послідовного виконання робіт на стадіях (етапах) консервації, витримки та демонтажу.

Метою стадії консервації є приведення енергоблоку в стан, що відповідає безпечному зберіганню джерел іонізуючих випромінювань (ДІВ), які знаходяться в його межах. протягом визначеного періоду.

Метою стадії витримки є забезпечення зниження сумарної активності ДІВ за рахунок природного розпаду.

Остаточна мета зняття з експлуатації досягається при реалізації стадії демонтажу, яка характерна значним обсягом саме демонтажних робіт, які виконуються по радіоактивно забрудненому обладнанню і спорудам. Відповідно, особливостями демонтажних робіт є використання комплексу спеціального обладнання і механізмів для демонтажу і наявність саме на цьому етапі великої кількості різноманітних РАВ.

Класифікація і загальна характеристика РАВ наведена в [2]. РАВ, що будуть виникати на етапі демонтажу в першу чергу можна поділити по рівню активності (високий, середній та низький рівень) і агрегатному стану (тверді та рідкі).

Виходячи з необхідності переробки РАВ, що виникають при демонтажі для подальшого захоронення буде також необхідним встановлення додаткового обладнання, призначеного для поводження саме з РАВ. Визначення складу такого обладнання повинно буде зроблено заздалегідь виходячи з попередньо прогнозованої кількості і типів РАВ, що виникають при демонтажі.

Виходячи з вищесказаного визначення кількості РАВ, що будуть виникати при знятті АЕС з експлуатації набуває значної актуальності.

Попередня інформація щодо кількості і типів РАВ, які будуть виникати окремих етапах зняття з експлуатації наведена в [1] і [3].

Аналіз даних наведених в [3] призводить до висновку, що щорічний обсяг високоактивних РАВ що виникають при зняття з експлуатації енергоблоків Запорізької на етапі витримки становить приблизно 170 т на один енергоблок. Така кількість РАВ може бути отримана тільки при здійсненні демонтажу частин реакторної установки і систем першого контуру. Але на цьому етапі проведення демонтажних робіт не планується.

– Проектні особливості діючих енергоблоків АЕС полягають в тому, що практично весь обсяг радіоактивних компонентів з середнім і високим рівнем забруднення знаходиться в межах герметичної оболонки в вигляді металевих компонентів реактора, обладнання і трубопроводів першого контуру і допоміжних систем та елементів будівельних конструкцій. І саме в межах герметичної оболонки всі ці ДІВ герметизуються і проходять етап витримки, що орієнтовно буде продовжуватись 30 років.

Відповідно кількість РАВ різного рівня активності та агрегатного стану що будуть виникати під час демонтажу потребує уточненню під час розробки проекту зняття з експлуатації.

Під час демонтажу забруднених систем реакторного відділення в першу чергу будуть виникати тверді РАВ. Але з метою зниження рівня активності та переводу окремих забруднених елементів до стан, що не буде підлягати контролю при демонтажу буде здійснюватися дезактивація, при якій будуть виникати рідкі РАВ.

Метою даної роботи є розробка алгоритму прогностичного визначення кількості РАВ що будуть виникати при демонтажі систем реакторного відділення АЕС з реактором ВВЕР.

Для розрахункового визначення кількості РАВ планується використати наступні вихідні данні:

- Загальний обсяг, що накопились в реакторному відділенні під час експлуатації;
- Поділ ДІВ за типом і кількістю;
- Тип та рівень забруднення для різних елементів реакторної установки;
- Проектні (конструктивні) характеристики елементів обладнання і трубопроводів реакторної установки;
- Характеристики методу перед демонтажною дезактивацією.

Під час розрахунків планується прийняти наступні допущення:

- Товщина внутрішнього шару радіаційного забруднення;
- Коефіцієнт дезактивації методів, що плануються застосувати.
- Метод переробки вторинних рідких РАВ.

В результаті розрахунків планується отримати данні по кількості і рівню забруднення твердих РАВ, що будуть передаватися на захоронення, а також кількість вторинних РАВ, отриманих в результаті рідких відходів дезактивації.

Перелік посилань:

1. Концепція зняття з експлуатації діючих атомних електростанцій України. Затверджено наказом Міністерства палива та енергетики України від 10.12.2015 № 7982.

2. Носовський А.В., Васильченко В.М., Павленко А.О. та ін. Поводження з радіоактивними відходами: [Монографія]. За ред. А.В. Носовського. – К.: Техніка, 2007. – 368 а.с.

3. Пуртов О.А., Масько О.М. Порівняльний аналіз оновлених концепцій зняття з експлуатації діючих атомних електричних станцій України//Ядерна енергетика і довкілля, 2019.- №3(15).

УДК 621.039.009.

Магістрант 1 курсу, гр. ТЯ-21мп Тимошенко В.С.

Доц., к.т.н. Бібік Т.В.

МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ РАДІОАКТИВНИХ ВИКИДІВ І СКИДІВ В НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

Моделювання є дуже важливою сучасною мірою розробки, коректування та аналізу процесів, які відбуваються або будуть відбуватись. Сучасний енергетичний блок теплової та атомної електростанції є складним багатокомпонентним автоматизованим комплексом обладнання, систем контролю та управління, що забезпечують технологічний процес. Щоб детальніше розглянути глибші розуміння фізики взаємозв'язаних технологічних процесів, що протікають при появі розглянутою мною проблеми, важливим чинником є моделювання цих процесів на спеціальних кодах, які дозволяють зрозуміти та зробити певні висновки.

Під час розгляду питання розповсюдження радіоактивних викидів і скидів в навколишнє середовище особливу увагу необхідно приділити виявленню вразливих місць. Джерелами радіоактивних відходів АЕС є продукти нейтронної активації, що утворюються поза твелів, і продукти ділення, частково виділяються з твелів в теплоносій. Частина цих радіоактивних речовин в результаті тих чи інших технологічних операцій безперервно або періодично виводяться з реактора в систему обробки і зберігання РАВ АЕС. Інша частина радіоактивні речовини, які утворюються в незмінних частинах обладнання реактора, - стає відходами тільки після зупинки станції на демонтаж або консервацію після закінчення терміну її експлуатації.

Об'єктом моєї роботи виступає можливі викиди саме у контейнерах відпрацьованого палива. Такі контейнери є на Запорізькій атомній станції на спеціальній площадці – ССВЯП, яка призначена для безпечного зберігання протягом щонайменше 50 років.

Радіоактивні відходи - матеріальні об'єкти та субстанції, активність радіонуклідів або радіоактивне забруднення яких перевищує межі, встановлені нормами, їхнє попадання до навколишнього середовища може спричинити катастрофу: забруднення землі, води та повітря, мутацію тварин, онкологію та інші чинники.

Моделювання такого процесу є складним, оскільки треба враховувати наступні фактори: внутрішні:

- через що відбувся викид (тріщини, нещільність, вибух, пошкодження при транспортуванні, тощо)
- та якого від масштабу (невелика теча чи моментальний витік)
- кількість об'єктів
- швидкість реагування персоналу станції

зовнішні:

- це природні чинники, такі як дощ, швидкість вітру та його напрямок, туман

Після чого треба визначити площу зони ураження, при найгірших умовах це може бути ділянка радіусом у 20 кілометрів. Почати евакуацію населення, проводити ліквідацію наслідків.

На даний час, згідно з технологією вентильованого контейнерного зберігання, на спеціальному бетонному майданчику зберігання (фундаментній плиті) розміщуються контейнери з відпрацьованим ядерним паливом. Кожен контейнер, в свою чергу, складається з двох компонентів: внутрішнього - багатомісного герметичного кошика (БГК) і зовнішнього - вентильованого бетонного контейнера (ВБК). Дані контейнери забезпечують сухе, герметичне і безпечне зберігання ТВЗ. ССВЯП розраховане на безпечне зберігання 380 (станом на зараз зберігається 173 контейнера) контейнерів, що містять 9000 збірок з відпрацьованим ядерним паливом з реакторних установок ВВЕР-1000. Система є

пасивною, і після установки бетонних контейнерів на майданчик зберігання Не вимагає значного технічного обслуговування.

Всі операції радіаційного контролю ССВЯП здійснюються відповідно до «робочої програми радіаційного контролю», що визначає види контролю, періодичність і критерії успішності. На етапі підготовки до відправки відпрацьованого ядерного палива на зберігання в ССВЯП НВП «АтомЕнергоСпецЗахист» за завданням ВП Запорізька АЕС виконує розрахунки радіаційних параметрів в залежності від характеристик конкретно планованого до завантаження в вентильовані кошики зберігання палива, а також найбільш безпечну схему розстановки нових вентильованих контейнерів зберігання на майданчику ССВЯП. Цей підрозділ визначив, що треба враховувати три потенційних види радіаційної небезпеки на ЗАЕС:

- проникаюче іонізуюче випромінювання (зовнішнє);
- радіоактивне забруднення;
- внутрішнє опромінення.

Моделювання оцінки наслідків розсіювання і випадання радіоактивних або токсичних речовин на ССВЯП, а також на підприємстві і в міській забудові грає вирішальну роль у прийнятті адекватних рішень щодо захисту персоналу і населення. Адже прогнозування радіаційної обстановки в умовах швидкої зміни ситуації дуже складне. Можливість такого прогнозу дозволяє ставити і вирішувати цілий ряд завдань щодо уникнення аварій, підвищення безпеки, підвищення аварійної готовності радіаційно-небезпечних підприємств, таких як:

- аналіз, оптимізація та перевірка реалістичності планів ліквідації наслідків надзвичайної ситуації, дослідження можливості пом'якшення наслідків, недопущення переростання її в катастрофу;
- проектування та оптимізація систем;
- навчання персоналу, тренінги та створення тренажерів, що дозволяють проводити відпрацювання дій з управління силами і засобами в аварійних ситуаціях (наприклад, роботами) в імітаційному режимі;
- ознайомлення персоналу аварійно-рятувальних формувань з умовами роботи в зоні можливого радіоактивного забруднення та оптимізація захисних заходів;
- підготовка та проведення навчань.

Перелік посилань:

1. Закон України «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку» від 01.01.23;
2. Система сухого хранения отработавшего ядерного топлива. Опытная промышленная эксплуатация ВКХ- ВВЭР. Программа и методика испытаний. ОО.ОБ.УУ.ПМ.2993А;
3. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97);
4. Закон України «Про фізичний захист ядерних установок ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання»;
5. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, IAEA Nuclear Safety and Security Glossary, Non-serial Publications , IAEA, Vienna (2022).

АНАЛІЗ ЯДЕРНОЇ ТА РАДІАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ СХОВИЩА ВІДПРАЦЬОВАНОВОГО ЯДЕРНОГО ПАЛИВА

Пріоритет безпеки людини та навколишнього природного середовища, права і обов'язки громадян у сфері використання ядерної енергії, регулює діяльність, пов'язану з використанням ядерних установок та джерел іонізуючого випромінювання, встановлює також правові основи міжнародних зобов'язань України щодо використання ядерної енергії.

Актуальним питанням в атомній енергетиці країни є питання про підвищення радіаційної безпеки АЕС. Ядерна захищеність на національному рівні є складовою забезпечення режиму глобальної безпеки.

Для більшого розуміння понять радіаційна безпека та ядерна безпека приведемо визначення цих понять:

Радіаційна безпека – дотримання допустимих меж радіаційного впливу на персонал, населення та навколишнє природне середовище, встановлених нормами та правилами з безпеки;

Ядерна безпека – дотримання норм та правил та умов використання ядерних матеріалів, що забезпечують радіаційну безпеку.

Згідно з рекомендаціями МАГАТЕ функції безпеки, які виконуються системами транспортування та зберігання палива, і внесок кожної основної конструкції та компонента у виконання цих функцій повинні бути описані з рівнем деталізації, який є достатнім для того, щоб основи проектування структур, систем і компонентів могли бути визначеними.

Світова практика відпрацювала дві основні технології довготривалого проміжного зберігання відпрацьованого ядерного палива (ВЯП): мокре зберігання і сухе зберігання і відповідні конструкційні рішення проміжних сховищ.

Для забезпечення безпечного функціонування сховища ВЯП воно повинно відповідати всім сучасним вимогам з безпеки як за нормальних умов експлуатації, так і під час аварійних ситуацій.

Проблема зберігання і переробки відпрацьованого ядерного палива (ВЯП) з ВВЕР-1000 призвела до того, що виник варіант будівництва в 1993 року сухого сховища ВЯП (ССВЯП) на Запорізькій АЕС і запущено в експлуатацію в 2001 році.

В основі проекту покладено технологію сухого вентильованого контейнера зберігання (ВКЗ) відпрацьованих тепловиділяючих збірок (ВТВЗ) у вертикальному положенні. Метод сухого зберігання практичний, оскільки при зберіганні ВТВЗ у басейні витримки впродовж не менш ніж 5 років залишкове енерговиділення та радіоактивність значно зменшуються. Таке паливо можна безпечно зберігати на майданчику АЕС в сухий спосіб у ВКЗ-ВВЕР, що забезпечують ефективне зняття тепла з ВТВЗ та достатній біологічний захист від радіаційного впливу на персонал АЕС, населення та довкілля.

На Запорізькій АЕС система сухого зберігання відпрацьованого ядерного палива, умовно розділена на три зони:

- 1) зона завантаження;
- 2) зона транспортування;
- 3) зона зберігання.

Основними компонентами системи сухого зберігання ВЯП є:

- багатомісний герметичний кошик (БГК);
- перевантажувальний контейнер (ПК);
- вентильований бетонний контейнер (ВБК);

- вентильований контейнер зберігання (ВКЗ-ВВЕР), який складається з завантаженої ВТВЗ в БГК, розташованої у ВБК.

З метою забезпечення безпечної експлуатації комплексу сухого зберігання ВЯП здійснюється постійний моніторинг стану вентильованих контейнерів зберігання, обладнання, що використовується, будівель та споруджень комплексу. Забезпечення безпеки є основним принципом при проектуванні та експлуатації системи. Захист населення, персоналу станції та навколишнього середовища є фундаментальними вимогами.

Існують різні види радіаційного контролю, коли відбуваються роботи, які пов'язані зі зберіганням ВТВЗ на ССВЯП:

- індивідуальний дозиметричний контроль внутрішнього і зовнішнього опромінення, контроль потужності дози по контрольних точках вентильованого контейнера зберігання ВВЕР;
- безперервний контроль потужності дози гамма-випромінювання каналами інформаційно-вимірювальної системи радіаційного контролю ССВЯП;
- контроль радіоактивного забруднення підземних і стічних вод в районі майданчика ССВЯП;
- Контроль атмосферних випадів і повітря.

Пріоритетними питаннями поводження з ядерними відходами будуть:

1. модернізація технологій для переробки вже накопичених ядерних відходів, а також тих, що з'являться в майбутньому;
2. удосконалення контейнеру для збору, транспортування та зберігання радіоактивних відходів.

Тому в перспективі необхідно:

- модернізувати СВЯП сухого типу на Запорізькій АЕС для його безпечного використання;
- створити централізоване сховище сухого типу для відпрацьованого палива, яке можна буде експлуатувати в подальшому;
- розробити стратегію і технологію безпечного поводження з ядерним паливом, виробивши свій ресурс, після закінчення терміну зберігання.

Для досягнення безпеки на АЕС потрібно робити аналіз результатів введення та експлуатації ССВЯП, щоб система вентильованого контейнера зберігання ВВЕР забезпечувала всі функції, визначені проектом, і була в змозі забезпечити виконання критеріїв ядерної та радіаційної безпеки.

Перелік посилань:

1. IAEA Safety Standards // Design of Fuel Handling and Storage Systems for Nuclear Power Plants: IAEA, 2020.
2. Закон України. Про фізичний захист ядерних установок ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання.
3. <https://www.uatom.org/ekspluatatsiya-ssvyap-na-zaporizkij-aes>

УДК 621.039.4

Магістрант 1 курсу, гр. ТЯ-21мн Шахнюк Е.В.

Доц., к.т.н. Філатов В.І.

ВИВЕДЕННЯ З ЕКСПЛУАТАЦІЇ АЕС. ПІДГОТОВКА ДО ЗАКРИТТЯ СТАНЦІЇ. СТИСЛИЙ ОПИС КОНЦЕПЦІЇ

У даний час в енергосистемі України на чотирьох АЕС експлуатуються 15 енергоблоків з реакторами типу ВВЕР. Встановлена потужність їх складає 13,835 ГВт, що становить 25,5% від усіх електрогенеруючих потужностей енергосистеми України. Дванадцять з них були введені в експлуатацію в період з 1980 по 1989 рік. Проектний термін експлуатації блоків АЕС України складає 30 років. Але експлуатуюча організація в період с 2000 року по дійсний час проводила і проводить великий комплекс робіт по подовженню проектного терміну експлуатації, який включає в себе розробку і реалізацію програм керування старінням і обґрунтування терміну подовження експлуатації саме реакторної установки та допоміжного технологічного обладнання, розробку звітів з аналізу безпеки та інших необхідних заходів. Відповідно після подовження терміну експлуатації, остаточна зупинка більшої частини енергоблоків АЕС України прогнозується в період з 2030 до 2039 року. В межах проектного терміну експлуатації в даний час працюють тільки енергоблоки № 6 Запоріжської АЕС, № 2 Хмельницької АЕС і № 4 Рівненської АЕС.

Враховуючи дану ситуацію необхідно завчасно провести підготовку до зняття з експлуатації АЕС. Саме ця підготовка ключовий елемент успішного та безпечного закриття станції. Процес підготовки включає у себе накопичення коштів, розробку концепції та проекту а також здійснення підготовчих заходів.

На мою думку одним із головних завдань етапу підготовки це розробка концепції. Відповідно до міжнародного досвіду та рекомендацій МАГАТЕ існують наступні варіанти виведення з експлуатації енергоблоку:

- невідкладний демонтаж;
- відкладений демонтаж;
- могильник (entombment).

Невідкладний демонтаж - це стратегія, яка починається після ухвалення рішення про остаточну зупинку енергоблоку та є процесом, під час якого відбувається негайний демонтаж енергоблоку, а кінцевим результатом є звільнення території станції від радіаційного впливу та контролю. Все радіоактивне обладнання видаляється або дезактивується і територія вважається незабрудненою.

Головна перевага даного методу це зберігання кваліфікованого персоналу, що знайомий з особливостями станції. Також це допоможе уникнути непередбачуваних інцидентів які можуть статися при відкладеному демонтажі. Крім цього це збереже більшу частину персоналу працевлаштованим, що важливо для населення маленьких міст що оточують станцію. Недолік даного методу в тому що необхідно більше запобіжних заходів.

Відкладений демонтаж – це стратегія, згідно з якою ухвалення рішення про остаточну зупинку енергоблоку відбувається консервація на кілька десятків років. Стратегія складається зі стадій – остаточне закриття, консервація, витримка та демонтаж.

Сукупно ці стадії можуть тривати від 10 до 80 років. У період відкладеного демонтажу забезпечується обслуговування та нагляд за зупиненим блоком, щоб гарантувати необхідний рівень безпеки території. Також такий підхід називають «Безпечний корпус».

Головна перевага цього методу у значно меншому ризику для персоналу та у зниженому фінансовому навантаженні. Головний недолік у тому що виведення з експлуатації буде здійснюватися новим персоналом що незнайомий з особливостями блоку. Крім того, складність завдання може зрости через деградацію матеріалів.

Entombment (могильник) реалізовується у США та передбачає фактичне «заливання» ядерної установки матеріалом типу бетону. Така отверділа структура підтримується та контролюється доти, доки радіоактивність не досягне рівнів, припустимих для необмеженого використання. У США така стратегія реалізовується для невеликих дослідницьких реакторів або для реакторів значно віддалених від населених пунктів.

Враховуючи особливості розміщення українських енергоблоків ми можемо одразу відмовитися від концепції могильника. Заливання енергоблоків бетоном призведе до створення споруд які не можливо транспортувати чи модифікувати. Ці споруди повинні залишатися там до 1000 років і ми не маємо змоги гарантувати безпеку людей що проживають поруч. Фактично, Україна повинна обирати між невідкладним або відкладеним демонтажем.

Для вибору між даними варіантами потрібно провести аналіз переваг та недоліків обох методів. Крім цього, потрібно врахувати чи накопичено достатньо коштів для негайного виведення з експлуатації. Це може бути складним завданням так як не зібрано достатньо світового досвіду у цій сфері. Частково можна орієнтуватися на витрати для виведення з експлуатації енергоблоків Грайсвальд 1-4 в Німеччині, Богуніце 1-2 в Словаччині та Козлодуй 1-4 в Болгарії. Але цей досвід допоможе отримати лише приблизну вартість закриття енергоблоків 1-2 Рівненської АЕС.

Перелік посилань:

1. Snyder, Kenneth A.. “Condition Assessment of Concrete Nuclear Structures Considered for Entombment | NIST.” (2003).
2. Поводження з радіоактивними відходами / А.В.Носовский, З.М.Алексеева, Г.П.Борозенець та ін.; За ред.А.В.Носовського.. – К.: Техніка, 2007. – С.84-135.
3. Полуэктова Г.Б., Ковальчук О.В. Методы дезактивации и демонтажа оборудования АЭС // Атомная техника за рубежом, 1990, № 8, с. 9-13.6. Енговатов И.А. и др. Вывод из эксплуатации реакторных установок гражданского и военного назначения // Атомная энергия, 1998, т. 85, вып. 4, с. 283-288.7. Нечаев А.Ф. Размышления по поводу вывода из эксплуатации ядерных объектов // Атомная стратегия – XXI, 2004, № 8(13), с.2.

ВПЛИВ ДОВЖИНИ ЗОНИ НАГРІВУ НА ТЕПЛОПЕРЕДАВАЛЬНУ ЗДАТНІСТЬ ДВОФАЗНОГО ТЕРМОСИФОНА

Двофазні термосифони є одним з різновидів ефективних автономних теплопередавальних пристроїв. Використовуються вони в якості передачі теплової енергії в сонячних колекторах [1], а також в системах охолодження різного теплообмінного обладнання. Також існує можливість використання термосифонів при розхолодженні контейнерів з відпрацьованим ядерним паливом та для системи охолодження відпрацьованого ядерного палива у басейні витримки. Це пов'язано з тим, що при відносній простоті виготовлення вони передають значні теплові потоки і працюють в автономному режимі [2].

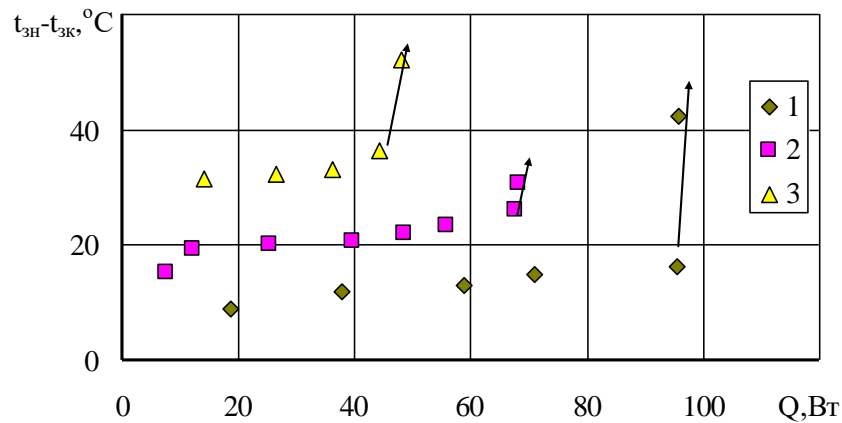
Перший патент на однофазну трубку Перкінса, тобто на однофазний термосифон, в 1831 році отримав А. М. Перкінс. У 1892 р. Л. П. Перкінс и В. Е. Бак отримали патент на теплопередавальний пристрій, виконаний у вигляді термосифону. Трубка Перкінса є герметично закритою порожниною, частково заповненою теплоносієм. У порожнині відбуваються наступні процеси: кипіння (випаровування), у результаті якого утворюються дві фази – парова та рідка, конденсація та вільно конвекційний тепломасопереніс між ділянками кипіння та конденсації. При цьому виділяють три зони – нагріву (випарник), транспортну та конденсації (конденсатор). Цей розподіл трохи умовний, тому що переніс рідини та пару відбувається у всіх зонах. Крім того, у деяких випадках можна знехтувати довжиною транспортної зони в порівнянні з довжиною випарника та конденсатора.

В якості досліджуваних зразків було виготовлено мідний закритий двофазний термосифон зовнішнім діаметром 6мм та внутрішнім 5мм (загальною довжиною 700мм; зони нагріву змінювалися від 45мм до 200 мм, зона конденсації 200 мм). Термосифон був заповнений дистильованою водою без домішок розчиненого у ній кисню. У всіх експериментах висота теплоносія всередині термосифона складала 87мм. Температура по всій довжині термосифона вимірювалася за допомогою мідь-константанових термопар, що припаювались до його зовнішньої стінки. Сигнал від термопар подавався на аналогово-цифровий перетворювач і далі на персональний комп'ютер. Система опитування показань термопар дозволяла фіксувати температуру в реальному часі з частотою 1Гц. Зона конденсації омивалася проточною водою з температурою 20⁰С і постійною витратою.

Метою дослідження було визначити вплив довжини зони нагріву на теплопередавальну здатність термосифона при постійній довжині зони конденсації.

Основними характеристиками, які відповідають за кількість передачі теплоти у двофазних термосифонів є максимальні теплові потоки Q_{max} і мінімальний термічний опір R_{min} . Ці характеристики термосифонів залежать як від режимних параметрів (величина теплового потоку, витрата й температура охолоджуючої рідини зони конденсації, орієнтація в просторі), так і від їх геометричних характеристик (загальної довжини, внутрішнього діаметра, довжини зон нагріву і конденсації). Важливим чинником є і вид теплоносія.

Вплив довжини зони нагріву на теплопередавальну здатність термосифона показано на рис. 1. При однакових умовах охолодження зони конденсації довжина зони нагріву суттєво впливає на температурні показники термосифона.



Довжина зони нагріву: 1 – 200мм; 2 – 90мм; 3 – 45мм.

Рисунок 1 – Залежність перепаду температур між зонами нагріву і конденсації для термосифона діаметром $5,0 \cdot 10^{-3}$ м і (вода, $G = 4,9 \cdot 10^{-3}$ кг/с, $t_{ox} \sim 20$ °С).

Як видно, зменшення довжини зони нагріву приводить до підвищення перепаду температур між зонами нагріву $t_{зн}$ і конденсації $t_{зк}$. При цьому максимальний тепловий потік спостерігався при довжині зони нагріву 200мм (рис.2).

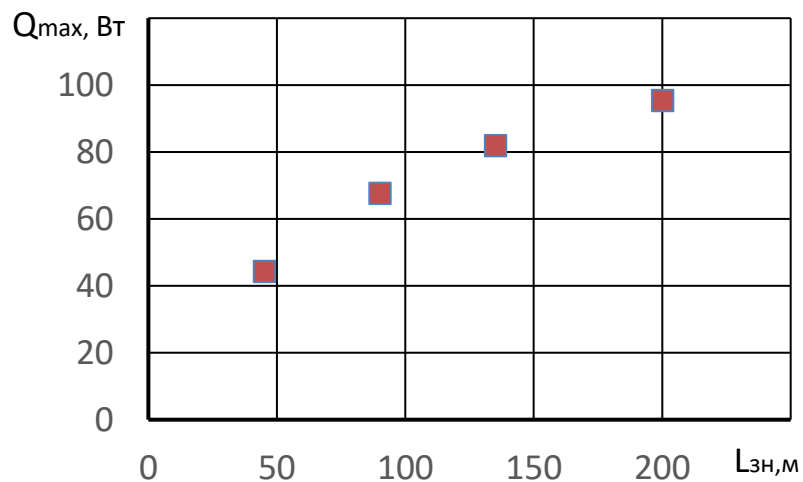


Рисунок 2 – Вплив довжини зони нагріву на максимальний тепловий потік двофазного термосифона

Таким чином, дослідження показало, що довжина зони нагріву суттєво впливає на теплопередаючі характеристики двофазних термосифонів. Насамперед це впливає на перепад температур між зонами нагріву і конденсації. Чим більша довжина зони нагріву, при фіксованій кількості теплоносія, тим менший цей перепад. Однак слід враховувати, що існує вплив інших факторів, таких, як співвідношення висоти теплоносія і довжини зони нагріву, внутрішнього діаметру термосифона, довжин зон транспорту і конденсації, а також виду теплоносія [2]. При проектуванні ефективних систем охолодження на основі двофазних термосифонів слід враховувати ці фактори.

Перелік посилань:

1. Безродный М.К., Волков С.С., Мокляк В.Ф. Двухфазные термосифоны в промышленной теплотехнике – К: Вища школа, 1991. – 75 с.
2. Кравець В.Ю. Процеси теплообміну у мініатюрних випарно-конденсаційних системах охолодження. Харків. ФОП Бровін О.В., 2018. –288 с.

ВПЛИВ ЦИКЛІЧНИХ КОЛИВАНЬ НА КОНСТРУКЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ АКТИВНОЇ ЗОНИ РЕАКТОРА ТИПУ ВВЕР В РЕЖИМІ ДОБОВОГО МАНЕВРУВАННЯ ПОТУЖНОСТІ

Використання режиму добового маневрування для ядерних реакторів ускладнюється рядом проблем, пов'язаних з технологічними параметрами та нейтронно-фізичними характеристиками. Однією з головних проблем є необхідність пошуку додаткових ресурсів системи конструкційних матеріалів, стійкість яких до флюенсу нейтронів і температура при частих змінах потужності зменшується в порівнянні з постійною щільністю потоку нейтронів.

Радіаційно-індукована деградація механічних властивостей корпусних сталей у процесі експлуатації є результатом мікроструктурних змін наноструктурного масштабу. На основі аналізу даних з радіаційного окрихчення корпусних сталей (рис. 1) розроблені емпіричні залежності, що пов'язують радіаційне окрихчення з флюенсом швидких нейтронів та хімічним складом сталей.

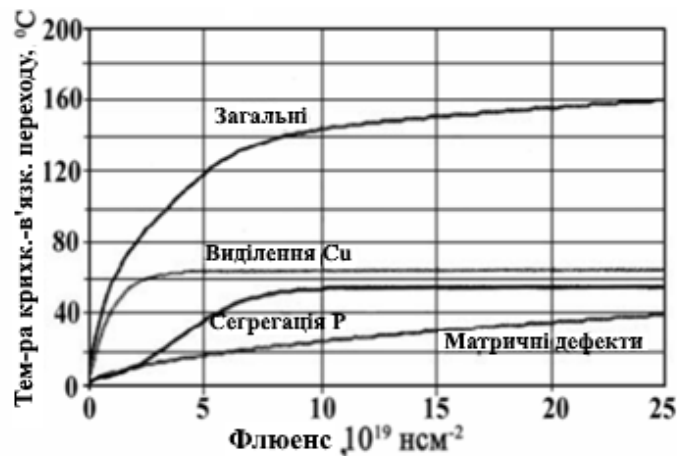


Рисунок 1 – Залежність температури крихколамного переходу від флюенсу нейтронів [1]

При збільшенні флюенсу відбувається зростання зсуву температури крихколамності. Виділення міді суттєво знижує антикорозійні властивості корпусної сталі, а сегрегація фосфору зменшує міцність міжкристалічних зв'язків, що на пряму призводить до підвищення температури крихколамного переходу [1].

Багаторазовий перерозподіл енерговиділення в активній зоні з причини виникаючих ксенонових коливань, призводить до виникнення термоциклічних навантажень, що впливають на циклічну втому матеріалу і пластичну деформацію оболонки твेलів. Додаткові термоциклічні навантаження виникають у ТВЗ, що знаходяться під регулюванням, унаслідок постійного переміщення стрижнів органів регулювання у протилежних напрямках для підтримки нормативного значення аксіального офсету, що є невід'ємним для підтримки ядерної енергетичної установки (ЯЕУ) у стійкому стані. Більше того, термоциклічні навантаження виникають у ТВЗ першого і другого радіальних рядів, розташованих навколо ТВЗ, яка знаходиться під регулюванням. Одним з основних елементів обладнання ЯЕУ, який забезпечує межу безпечної експлуатації при циклічному режимі роботи в постійному перехідному процесі, є оболонки твелів. Межа безпечної

експлуатації регламентується кількістю твелів, що розгерметизувались, від їхньої загальної кількості в активній зоні: 1% як газова нещільність і 0,1% як прямий контакт паливної матриці з теплоносієм.

Тепловиділяючі елементи з паливом у вигляді таблеток спеченого діоксиду урану та циліндричними оболонками з цирконій-ніобієвого сплаву, що використовуються у вітчизняних реакторах на теплових нейтронах, мають високу надійність при базовому режимі експлуатації АЕС. Число ТВЕЛів, що передчасно втрачають герметичність, не перевищує 0,01% загального їх числа [2].

Найактуальніше питання – збереження безпеки реакторів при змінних навантаженнях. Головними обмежувачими факторами маневреності реакторів є: розгерметизація оболонок ТВЕЛ при циклічних змінах енерговиділення, нестационарне ксенонове отруєння, змінні термічні навантаження у корпусах реакторів типу ВВЕР. При роботі реактора у маневреному режимі експлуатації надійність ТВЕЛ знижується через швидку зміну температури оболонки та додаткові навантаження у матеріалі що виникають при цьому.

Встановлено, що руйнування ТВЕЛ при підйомах потужності викликане, в основному, механічним впливом термічного розширення паливного осердя на оболонку, що виникають через різницю температур і коефіцієнтів температурного розширення осердя та оболонки (коефіцієнти температурного розширення цирконієвих сплавів у 1,5 - 2 рази менше, ніж діоксиду урану). Виявлено, що у присутності таких агресивних продуктів поділу, як: йод, цезій та інших ізотопів, цирконієві сплави відчують схильність до корозійного розтріскування під напругою внаслідок втрати пластичності. Перелічені фактори вимагають посилення вимог до умов експлуатації ТВЕЛ у реакторі.

Небезпека руйнування оболонок ТВЕЛ при циклічній зміні потужності обумовлена трьома факторами:

- значним вигоранням палива;
- високими лінійними навантаженнями;
- великим збільшенням локального лінійного енерговиділення.

При визначенні вимог до умов експлуатації ТВЕЛ по кожному фактору встановлюється певний запас.

Аналіз інформації та позитивний досвід експлуатації показують, що випущені в даний час ТВЕЛ мають досить високу стійкість до змінних навантажень і не накладають обмеження на участь енергоблоків з реакторами на теплових нейтронах у регулюванні тижневих графіків навантаження з регулюючим діапазоном до 30% номінальної потужності та швидкістю підйому потужності до 1%/хв. Для висновку про можливість режимів роботи АЕС із щодобовим розвантаженням на ніч потрібні додаткові обґрунтування. Основний обмежувачий фактор при цьому – термонавантажений стан оболонок ТВЕЛ. Проте, навіть при отриманні позитивних результатів необхідно продовжити пошук нової конструкції та технології виробництва високоманеврених ТВЕЛ [3].

Перелік посилань:

1. УДК 620.187:621.039.5431. В.Н. Воеводин. Конструкционные материалы ядерной энергетики – вызов 21 века. Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт».

2. Maksimov M.V., Pelykh S.N., Maslov O.V., Baskakov V.E. Model of cladding failure estimation for a cycling nuclear unit. — Nucl. Engng Design, 2009, v. 239, № 12, p. 3021—3026.

3. Киров В., Комарова Я., Душок В., Латий А. Влияние маневренных режимов реакторов ВВЭР-1000 на оболочки ТВЭЛ и на КИУМ. — Одесский национальный политехнический университет.

РОЗРАХУНОК НА СЕЙСМОСТІЙКІСТЬ СИСТЕМИ ПУСКОВОГО ПОВІТРЯ РДЕС

Резервні Дизель-Електричні Станції (РДЕС) є ключовим елементом систем забезпечення надійного живлення у випадку аварійних ситуацій. Правильне функціонування РДЕС забезпечується наявністю системи пускового повітря, яка відповідає за постачання повітря до дизель-генераторного агрегату для запуску його двигуна. У зв'язку з цим, розрахунок на сейсмостійкість системи пускового повітря РДЕС стає важливим завданням, оскільки відповідність системи пускового повітря вимогам з сейсмостійкості є важливим фактором безпеки у разі землетрусу.

Для сейсмічної кваліфікації (оцінки сейсмостійкості) різних елементів енергоблоків АЕС в НП 306.2.208-2016 [1] передбачено використання таких методів: аналіз (розрахунок), випробування, досвід експлуатації. Сейсмічна кваліфікація може виконуватися як одним із зазначених методів, так і з використанням їх комбінації. Найбільш достовірні результати досягаються у разі сумісного використання результатів аналізу та випробувань. Для різних елементів системи можуть використовуватися різні методи кваліфікації.

Випробування та аналіз (розрахунок) належать до прямих методів сейсмічної кваліфікації обладнання, а досвід експлуатації – до непрямих. Під непрямим методом розуміють оцінку сейсмостійкості елементів АЕС, яка оснований на виконанні аналізу сейсмічного досвіду, отриманого під час реальних землетрусів та в результаті випробувань аналогічного за своїми конструктивними та функціональними характеристиками обладнання на вібраційних стендах.

З технічного погляду розрахункові методи обґрунтування сейсмостійкості та підтвердження сейсмічної кваліфікації обладнання однакові.

Найбільш достовірні результати сейсмічної кваліфікації обладнання досягаються у разі сумісного використання результатів аналізу та випробувань. Значна кількість обладнання АЕС (наприклад, трубопровідна арматура, насоси тощо) кріпиться до опорних конструкцій. Для забезпечення сейсмостійкості виробу загалом необхідно підтвердити сейсмостійкість безпосередньо обладнання, наприклад, за допомогою випробувань, та його опорних конструкцій з використанням методу аналізу (розрахунку).

Вимоги та підходи до підтвердження сейсмостійкості обладнання за допомогою випробувань розглянуто в п. 4.1.2 Монографії [1].

Згідно з НП 306.2.208-2016 [2] обґрунтування сейсмостійкості, зокрема, опорних конструкцій обладнання, має виконуватися на підставі відповідних нормативних документів.

Метод випробувань є найбільш достовірним, але водночас і найбільш витратним методом сейсмічної кваліфікації.

Випробування виробів на сейсмічні впливи виконується відповідно до вимог та положень спеціальних нормативних документів і стандартів.

Обладнання необхідно випробовувати у складеному та остаточно відрегульованому вигляді в режимі, який імітує робочий стан під час експлуатації.

Перед проведенням випробувань трубопровідної арматури її жорстко закріплюють за патрубки, якщо в конструкторській документації не зазначені інші види закріплення. Випробування арматури проводяться в діапазоні частот 1-30 Гц. Якщо визначено, що власні частоти арматури вищі за 10 Гц, допускається проводити випробування з 5 Гц. Допускається підтверджувати сейсмостійкість арматури за допомогою обґрунтованого

поширення результатів експериментальної перевірки типових зразків арматури аналогічної конструкції.

Обладнання вважається таким, що витримало випробування на сейсмостійкість, якщо значення параметрів, які контролюються, перед початком, під час та після проведення випробувань задовольняють вимоги, встановлені в конструкторській документації.

Метод кваліфікації обладнання «досвід експлуатації» належить до так званих «непрямих» методів оцінки сейсмостійкості і заснований на досвіді експлуатації аналогічного обладнання під час впливів реальних землетрусів на об'єкти, а також результатах сейсмічних випробувань конструкцій та обладнання на вібраційних стендах.

На основі цих даних у США було розроблено загальну процедуру проведення сейсмічної кваліфікації на підставі використання досвіду експлуатації, яка отримала назву «Generic Implementation Procedure» (GIP) [3].

Для того щоб почати модернізацію обладнання на сейсмостійкість потрібно провести оцінку кваліфікації на сейсмостійкість цього обладнання. Після цього ми можемо визначитись чи підтверджена сейсмостійкість даного обладнання чи ні. Якщо ні то згідно із даними розрахунками ми можемо визначити можливі варіанти підвищення кваліфікації обладнання.

Також потрібно проаналізувати документацію даного обладнання та врахувати всі можливі аспекти даного обладнання, обладнання яке знаходиться неподалік досліджуваного обладнання та багатьох інших речей які можуть впливати на роботу та сейсмостійкість обладнання. Після цього потрібно визначитись із можливими та найкращими варіантами які підходять в окремій ситуації для окремого обладнання.

В системі може налічуватись велика кількість обладнання, тому проводиться групування обладнання за загальними критеріями, щоб не проводити для великої кількості обладнання одних і тих же розрахунків.

Після дослідження всіх варіантів на сейсмостійкість робиться висновок що до отриманих результатів, із точки зору доцільності та реалізації даних модернізацій.

Перелік посилань:

1. ДП «Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки» Монографія “ОЦІНКА СЕЙСМІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ЕНЕРГОБЛОКІВ АТОМНИХ СТАНЦІЙ”.

2. Specific Safety Guide № SSG-25. Periodic Safety Review of Nuclear Power Plants. – Vienna: IAEA, 2013. – 106 p.

3. SRS No. 3. Equipment Qualification in Operational Nuclear Power Plants: Upgrading, Preserving and Reviewing. – Vienna: IAEA, 1998.

ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМУ МАНЕВРУВАННЯ ПОТУЖНОСТІ ВВЕР-1000

Необхідність залучення АЕС в роботу в режимі добового регулювання потужності зумовлена поступовим зростанням частки відновлювальних джерел енергії в Об'єднаній енергетичній системі України. Також значну роль відіграють умови для впровадження заходів щодо запобігання змінам клімату та погіршення умов функціонування ОЕС України в умовах зміни економічної ситуації: збільшення потреби в маневреній потужності для забезпечення виконання добового графіку споживання електроенергії.

Тому завданням даної роботи є оптимізувати режим добового регулювання потужності, встановити причини недоліків існуючого методу регулювання потужності на АЕС і запропонувати підхід для їх усунення .

Метод дослідження – розширений аналіз досліджень пов'язаних з режимом ДРП, аналіз результатів проведеної дослідницької експлуатації режиму ДРП енергоблоку №2 ОП ХАЕС, дослідження досвіду використання режиму ДРП західними партнерами.

Розглянемо детальніше режим ДРП, який передбачає проведення розвантаження-навантаження енергоблоку АЕС з ВВЕР-1000 відповідно до чіткого алгоритму, у строгому діапазоні, із швидкістю зміни потужності реакторної установки (встановленою технологічним регламентом безпечної експлуатації). При цьому важливо забезпечити суворий контроль за дотриманням параметрів роботи енергоблоку, згідно з вимогами норм і правил ядерної та радіаційної безпеки.

Дотепер на енергоблоці 2 ВП ХАЕС проводиться впровадження режиму ДРП для активної зони, повністю сформованої з ТВЗА. В ході 2-ї ПК у 2006 році, енергоблоку № 2 ВП ХАЕС успішно проведені експериментальні випробування режиму добового регулювання, для двох моментів ПК (на початку ПК - починаючи зі 106 еф. доби та в середині ПК - починаючи зі 175 еф. доби) ,а також проведено дослідну експлуатацію режиму добового регулювання потужності енергоблоку №2 ВП ХАЕС у 10-й паливній кампанії.

За результатами цих випробувань були зафіксовано порушення меж і умов безпечної експлуатації енергоблоку, проте були реалізовані певні заходи і на заключному етапі випробування досягнуто стабільного стану РУ. Таким чином, репрезентована можливість забезпечення в перехідних режимах параметрів активної зони і палива, в межах, що не призводять до розгерметизації палива внаслідок виникнення дефектів оболонки палива.

Основними проблемами керування поля енерговиділення в режимах маневрування у реакторах ВВЕР-1000 це приглушення ксенонових коливань і контроль аксіального офсету по всій активній зоні .

Враховуючи результати багатьох досліджень проведених на енергоблоці № 2 ВП ХАЕС, найдоцільнішими з них виявилось дослідження маневреного режиму з використанням ОР і системи борного регулювання без використання центрального ОР СУЗ , а також дослідження з використанням центрального ОР СУЗ у маневровому режимі енергоблоку.

За результатами цих досліджень, враховуючи всі переваги та недоліки цих двох методів, зокрема безпечнішу експлуатацію та мінімальні коливання аксіального офсету за першим методом, перший етап дослідної експлуатації режиму ДРП на АЕС здійснювалось саме за методом без центрального ОР СУЗ.

У ході дослідницької експлуатації режиму ДРП протягом 10-ї паливної кампанії зафіксовано недоліки та рекомендації, на основі яких рекомендовано реалізувати наступні заходи:

- 1) Підвищити рівень автоматизації режиму ДРП. Так, незважаючи на те, що АРП під

час ДРП був включений в автоматичний режим, його робота мала фактично охоронний характер. АРП працював, якщо персонал не міг (не встигав) зробити корекцію установок за тиском у ГПК та/або вплив на ОР СУЗ. Велика кількість дій оперативного персоналу призводить до підвищеного ризику здійснення помилки.

2) Сигнал ПЗ-2, що виникає під час введення дистиляту, обмежує можливість оптимізації виконання навантаження як в автоматичному, так і в ручному режимах. Алгоритм виникання сигналу ПЗ-2 не враховує ні витрати водообміну, ні швидкість і величину реактивності введення під час підйому групи. Це призводить до накладання обмеження на управління РГ при швидкостях введення позитивної реактивності значно менших, ніж швидкість, досягнута одним з цих способів при максимальному використанні проектних можливостей.

3) Зниження або підвищення потужності реактора передбачає введення розчину борної кислоти чи дистиляту у перший контур. Оператору для суворого дотримання програми при введенні вище згаданих середовищ необхідно вести відлік секунд, при такому підході не виключається можливість виникнення неточностей у визначенні сумарного часу введення середовища.

4) Для енергоблоків АЕС України, на яких підживлювальні насоси мають щільніні ущільнення, при виборі тривалості порцій розчину борної кислоти необхідно брати до уваги, що затримка надходження частини дистиляту буде до 40-50 хвилин. Це зумовлено значною витратою зі щільніних ущільнень (до 12 м³/годину на три агрегати). При введенні бору такий ефект також буде, але менший.

5) У порівнянні з базовим режимом, при експлуатації енергоблоку в режимі ДРП у багато разів збільшується кількість дій (часто однотипних) оперативного персоналу на БЩУ, що збільшує ймовірність помилок.

Більшість із зазначених недоліків можна усунути за рахунок відмови від борного регулювання, лише через регулювання за допомогою механічної системи ОР СУЗ, зокрема, проблему виникнення сигналу ПЗ-2, що накладає заборону на введення реактивності двома засобами для запобігання порушення правил ПБЯ.

Тобто, регулювання реактивності під час процесу маневрування доцільно реалізувати або за рахунок борного регулювання, або за допомогою ОР СУЗ. Проаналізувавши певні переваги та недоліки двох методів, доцільнішим, на мою думку, виявився метод регулювання з використанням ОР СУЗ, а саме за допомогою використання сірих кластерів.

Внаслідок відмови від рідинного регулювання виникне проблема збільшення ефективності ОР СУЗ, яку можна вирішити збільшенням глибини занурення ОР СУЗ. Проте таке занурення кластерів збільшує деформацію поля енерговиділення, а також буде спричиняти ксенонові коливання. Таким чином, сірі кластери можуть бути кращою альтернативою тому, що вони збільшують ефективність органів регулювання за рахунок глибини занурення, але при цьому не будуть викликати значну деформацію поля енерговиділення і ксенонових коливань.

Перелік посилань:

1. №2.ЯБ.0271.ОТ4-06. Отчет о проведении второго этапа испытаний маневренных характеристик энергоблока №2, ХАЕС, 2006.

2. Отчет о научно-исследовательской работе Разработка предварительного ОАБ опытно-промышленной эксплуатации энергоблока №2 Хмельницкой АЭС в режиме маневрирования мощностью, ХАЕС, 2015.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЦИКЛУ КОНТРОЛЮ ГЕРМЕТИЧНОСТІ ОБОЛОНОК ТЕПЛОВИДЛЯЮЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМИ SIPPING-КОНТРОЛЮ

Контроль герметичності оболонок (КГО) ТВЕЛ ТВЗ на працюючому реакторі проводиться з метою раннього виявлення і стеження за розвитком дефектів, що з'явилися, в оболонках твелів, недопущення експлуатації РУ при перевищенні допустимих меж пошкоджень оболонок твелів і з метою визначення необхідності та обсягів КГО на зупиненій РУ.

Контроль герметичності оболонок ТВЕЛ на зупиненому реакторі під час планового ремонту проводиться з метою індивідуального відбракування ТВЗ та видачі рекомендацій щодо зниження питомої активності теплоносія першого контуру [1].

Однією з основних перешкод на шляху збільшення встановленої потужності атомних електростанцій, що працюють у базовому режимі, є перевантаження ядерного палива. Планове профілактичне обслуговування зазвичай планується на період перевантаження. Тому для вирішення проблеми збільшення виробництва енергії було б доцільним скоротити час перевантаження.

Критичний шлях перевантаження значною мірою визначається контролем герметичності оболонок ТВЕЛ. Тобто інколи, при наявності дефектної ТВЗ, можливе виявлення надлишкової активності в активній зоні, відповідно необхідно знайти дефектну збірку. Фактично КГО однієї паливної збірки виконується протягом 30 хвилин. Беручи до уваги транспортно-технологічні операції, контроль однієї паливної збірки пенальним методом практично відбувається близько 2 годин [2]. Очевидно, що контроль герметичності оболонок ТВЕЛ збільшує тривалість перевантаження [3]. Насправді відбувається наступний розподіл часу при пенальному методі КГО: 30 хвилин - виймання касети з реактора та переміщення її до пенала; 30 хвилин - встановлення касети в пенал та його герметизація, 30 хвилин - проведення КГО, 30 хвилин - розгерметизація пенала та виймання касети з нього [4]. Система «Sipping-контролю» дає можливість частково, а іноді повністю відмовитися від пенального методу контролю герметичності оболонок ТВЕЛ. Це дозволяє підвищити безпеку при транспортуванні палива за рахунок скорочення транспортних операцій, а також отримати значний економічний ефект за рахунок скорочення часу, необхідного для контролю. Тобто, якщо припустити, що за допомогою системи безперервного контролю відбору проб теплоносія першого контуру виявлена додаткова активність при роботі реакторної установки на потужності, необхідно перевіряти кожен паливну збірку на наявність розгерметизації. Якщо виконати перевірку усіх 163 паливних касет пенальним методом, то це займе приблизно 326 годин робочого часу персоналу і відповідно призведе до додаткового простоя енергоблоку [5]. Як було сказано вище система «Sipping-контролю» дає можливість відмовитися від пенального методу контролю герметичності оболонок ТВЕЛ, і відповідно заощадити ці 326 годин [4].

Отже, як висновок можна підсумувати переваги запровадження системи Sipping – контролю виявляються в :

- 100% контролі герметичності ТВЗ у процесі їх перевантаження;
- Зменшенні кількості транспортних операцій із ТВЗ;
- Скороченні часу перевантаження;
- Скороченні потреби у чистій борованій воді;
- Скороченні рідких радіоактивних відходів;
- Зменшенні дозових навантажень на персонал АЕС;
- Високій надійності виявлення ТВЗ з негерметичними твелями;

- Підвищенні безпеки поводження з паливом під час перевантаження.

Перелік посилань:

1. Установка реакторна В-320. Технічні вимоги щодо контролю герметичності оболонок твелів ВВЕР-1000 під час роботи та після зупинки реакторної установки, 320.00.00.00.000 Д119, ОКБ «Гідропрес», 2003р.
2. Технологічний регламент безпечної експлуатації енергоблоку №1 (№2) ХАЕС із реактором ВВЕР-1000 (В-320) №1.ГТ.0122.РГ-10 (№2.ГТ.4270.РГ-10).
3. Регламент радіаційного контролю Хмельницької АЕС №0.РБ.2509.ІЕ-08.
4. Інструкція з контролю герметичності оболонок тепловиділяючих елементів під час роботи та після зупинки реакторної установки, № 0.РБ.6031.ІН-10.
5. Інструкція з експлуатації – пробовідбірна частина системи виявлення дефектних збірок. № 1.РБ.1227.ІЕ-10 (№ 2.РБ.6454.ІЕ-10).

УДК 621.39.58

Магістрант 2 курсу, гр. ТЯ-11мн Кузьменко В.М.

Доц., к.т.н. Бібік Т.В.

ДІАГНОСТИКА ЗАБОРОНИ ОДНОЧАСНОГО ВВЕДЕННЯ ПОЗИТИВНОЇ РЕАКТИВНОСТІ ДВОМА ТА БІЛЬШЕ СПОСОБАМИ

У проектах енергоблоків, які експлуатуються в Україні не виключалася можливість одночасного введення позитивної реактивності в активну зону двома різними способами, що суперечить вимогам п.3.3.42 Правил ядерної безпеки реакторних установок, НП.306.2.145-2008[1].

Засобами, які могли вносити позитивну реактивність, є:

- лінія подачі чистого конденсату з послідовно розташованою арматурою TN30S04, TN30S06 системи штатного підживлення першого контуру;
- система групового та індивідуального управління органів регулювання системи управління захистом(ОР СУЗ).

Цілями впровадження заборони одночасного введення позитивної реактивності двома і більше способами захисту системи управління захистом(СУЗ) енергоблоку є:

- підвищення рівня безпеки експлуатації енергоблоку шляхом впровадження додаткового попереджувального захисту II роду;
- приведення характеристик системи у відповідність чинним вимогам нормативної документації(НД) щодо безпеки атомних електричних станцій(АЕС)[2].

Впровадження нового захисту виконується на зупиненому реакторі під час проведення планово - попереджувального ремонту під час перебування реакторної установки в режимі «зупинка перевантаження».

Для виключення одночасного введення позитивної реактивності за рахунок підйому ОР СУЗ і дистилату в активну зону реактора в програмно-технічному комплексі аварійного та попереджувального захисту(ПТК АЗ-ПЗ) формується попереджувальний захист 2-го роду(ПЗ-2)(заборона на підйом ОР СУЗ) за фактом початку відкриття арматури TN30S04 при відкритій арматурі TN30S06 або за фактом початку відкриття арматури TN30S06 при відкритій арматурі TN30S04, що дозволяє підвищити безпеку роботи реакторної установки. Сигнал спрацьовування ПЗ-2 знімається за фактом закриття будь-якої арматури TN30S04, TN30S06.

Сигнали від кінцевих вимикачів арматури TN30S04, TN30S06 передаються на вхід ПТК АЗ-ПЗ, де формується алгоритм роботи захисту. На відеокадрах робочої станції відображається формування та стан проходження сигналу. З ПТК АЗ-ПЗ сигнали за фактом одночасного незакритого стану арматури TN30S04, TN30S06 передаються на блочному щиті управління(БЩУ) (першопричина) та інформаційно обчислювальну систему(ІОС) (для реєстрації)[3].

Програмно-технічний комплекс системи аварійного та запобіжного захисту реактора за нейтронно-фізичними та технологічними параметрами призначений для ініціювання дії захисних систем безпеки реактора при неприпустимих відхиленнях роботи РУ, а також здійснення контролю та управління у процесі виконання ними захисних функцій.

Припинення реакції або зниження потужності РУ відбувається шляхом видачі відповідних сигналів у системі групового та індивідуального управління реактором(СПУ-Р) органами регулювання реактора(ОР СУЗ)[4].

ПТК АЗ-ПЗ виконує функції системи безпеки, що керує. Згідно з НП 306.2.141-2008 ПТК АЗ-ПЗ відноситься до класу 2У. Компоненти ПТК АЗ-ПЗ, які не беруть участь у виконанні керуючих функцій (робоча станція(РС), робоче місце оператора(РМО), робоче місце технолога(РМТ)) відносяться до класу безпеки 3 і мають класифікаційне позначення ЗН. ПТК АЗ-ПЗ розрахований на режим цілодобової безперервної роботи з урахуванням проведення технічного обслуговування та ремонту[2].

Наразі дана система перевіряється, розглядається можливість модифікації, проводиться аналіз розрахунків щодо її використання та аналізуються похибки в роботі.

Для уникнення проблеми з вимогою про технічну реалізацію заборони введення позитивної реактивності двома і більше способами пропонується розробити спрацювання сигналу ПЗ-2 при наявному введенні позитивної реактивності в активній зоні. Таким чином попереджувальний захист буде працювати від показників реактивності та спрацьовувати не залежно від причини, а спрацьовувати при наявній позитивній реактивності, тим самим накладаючи технічну заборону на введення позитивної реактивності двома і більше способами, як й зазначено у вимогах до Правил ядерної безпеки реакторних установок НП 306.2.145-2008 (п.3.3.42).

Перелік посилань:

1. Про затвердження Правил ядерної безпеки реакторних установок атомних станцій з реакторами з водою під тиском. Держатомрегулювання України; Наказ, Правила від 15.04.2008 № 73 Посилання: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0512-08#Text>

2. Програма технічного обслуговування програмно-технічного комплексу системи аварійного та попереджувального захисту (ПТК АЗ-ПЗ) енергоблок № 1 ПМ.1.0011.0224

3. Технологічний регламент безпечної експлуатації енергоблоку №1 ПАЕС. РГ.1.3810.007.

4. Програмно-технічний комплекс системи аварійного та попереджувального захисту енергоблоку № 1 Інструкція з експлуатації ІЕ.1.0011.0631

РОЗРОБКА ПІДХОДІВ ДО ОПТИМІЗАЦІЇ ПЕРІОДИЧНОСТІ РЕГЛАМЕНТНИХ ВИПРОБУВАНЬ ТА РЕМОНТІВ СВБ ПІД ЧАС ЗНАХОДЖЕННЯ ЕНЕРГОБЛОКУ З РУ ВВЕР-1000 НА ПОТУЖНОСТІ

Метою роботи є: обґрунтування безпеки та можливості проведення ремонту систем, важливих для безпеки, що виконуються під час планово попереджувального ремонту (ППР), при роботі енергоблоку АЕС на номінальному рівні потужності; визначення оптимальної періодичності опробувань та міжремонтного інтервалу для систем, важливих для безпеки, із забезпеченням необхідної надійності виконання функцій; зосередження зусиль на технічному обслуговуванні і ремонту (ТОіР) на обладнанні АЕС, що має домінуючий вплив на безпеку АЕС; визначення оптимальної конфігурації обладнання АЕС при проведенні ТОіР; зменшення дозових навантажень на персонал за рахунок оптимізації проведення ТОіР; зниження надмірного консерватизму при проведенні ТОіР.

В рамках своєї діяльності МАГАТЕ був розроблений технічний документ [1], який визначає область використання ризик-орієнтованих підходів. Згідно з документом МАГАТЕ існує об'єктивна можливість використання ІАБ для обґрунтування виконання поточного ремонту обладнання на працюючому енергоблоці (аналіз допустимого проміжку неготовності) і зміни періодичності проведення випробувань систем (аналіз інтервалу випробувань). Спочатку допустимий проміжок неготовності було встановлено вимогами технологічного регламенту безпечної експлуатації (ТРБЕ) для проведення позапланових (коригувальних) ремонтів обладнання. В даний час для більшості країн - учасниць МАГАТЕ досягнуто згоди між власниками станцій і органами нагляду про те, що виконання планових профілактичних ремонтів під час експлуатації енергоблоків на потужності вносить певні переваги, пов'язані з відновленням оптимального стану обладнання, підвищенням його готовності до експлуатації, ефективним плануванням робіт в період ППР і зниженням ризику під час проведення ППР. Таким чином, аналіз допустимого проміжку неготовності в даний час широко використовується для вирішення питань, пов'язаних з тривалістю проваджень профілактичних ремонтів систем і окремого обладнання. Зміна періодичності проведення випробувань систем в сторону обґрунтованого зниження їх частоти сприяє зменшенню ступеня зносу обладнання і скорочення кількості відмов, що виникають внаслідок такої зношеності.

З початку 1990-х років для різних енергоблоків АЕС України виконувались окремі роботи з імовірнісного аналізу безпеки, напрацьовувалась необхідна методологічна базова інфраструктура щодо використання імовірнісних методів. Це, в свою чергу, обумовило початок діяльності з впровадження ризик-інформованих підходів для прийняття рішень з безпеки. Таким чином, у 2003 році була розроблена та погоджена Держатомрегулюванням Програма ризик-орієнтованих підходів (РОП). В рамках реалізації вказаної програми було виконано значний обсяг напрацювань щодо використання ризик-інформованих підходів. Але більшість проектів не були реалізовані у зв'язку з відсутністю нормативно-правового акту, що регулює діяльність, пов'язану з використанням ризик-інформованих підходів та встановлює імовірнісні критерії. У 2017 році необхідний нормативний документ [2] було введено в дію.

В рамках реалізації кожного проекту Програми РОП були розроблені відповідні методичні керівництва. Більшість методичних керівництв розроблено тільки для окремих майданчиків ВП АЕС. У деяких випадках, описані в них методологічні підходи мають відмінності, що значно ускладнює стандартизацію вимог до обсягів виконання робіт, їх

складу і послідовності. Отримані результати, досягнуті в рамках виконання міжнародних проектів технічної допомоги, обмежуються тими енергоблоками ВП АЕС, для яких вони виконувалися. Поширення результатів на інші енергоблоки не проводилося, незважаючи на те, що при плануванні цих проектів, передбачалися подальші кроки по такому поширенню [3].

Впровадження ризик-інформованих підходів має враховувати наявний світовий досвід експлуатації АЕС. Необхідним є врахування всього спектру наявної інформації (позитивної, негативної), що в свою чергу дозволить з більшою імовірністю отримувати правильні рішення. Необхідно враховувати, що досвід експлуатації АЕС відображено у вимогах нормативної документації шляхом встановлення критеріїв безпеки тощо. Однак, більш глибоку оцінку наявної практики потрібно формувати враховуючи рекомендації МАГАТЕ та інших країн, що вимагає організації відповідного моніторингу як початкової точки реалізації ризик-інформованих підходів і уточнення прийнятих рішень.

Пріоритетними завданнями є:

- забезпечення прийняття більш обґрунтованих/збалансованих рішень з питань безпеки АЕС;
- сфокусувати увагу на тих проблемах, які пов'язані з найбільшим ризиком для безпеки;
- забезпечення ефективності використання ресурсів для реалізації найбільш пріоритетних заходів підвищення безпеки АЕС;
- підвищення економічних показників роботи АЕС, коефіцієнту використання встановленої потужності (КВВП) і коефіцієнту готовності, в кінцевому рахунку, зниження витрат на виробництво електроенергії.

Перелік посилань:

1. IAEA-TECDOC-1200 «Applications of probabilistic safety assessment (PSA) for nuclear power plants».
2. НП 306.2.217-2017 «Вимоги до ризик-інформованого прийняття рішень з безпеки атомних станцій».
3. ПМ-Д.0.41.688-20 «Програма з впровадження ризик-інформованих підходів при експлуатації АЕС ДП «НАЕК «Енергоатом»».

ОПТИМІЗАЦІЯ СПРАЦЮВАННЯ АЛГОРИТМІВ ПРИШВИДШЕНОГО ПОПЕРЕДЖУВАЛЬНОГО ЗАХИСТУ НА БЛОКАХ ВВЕР-1000

Завдання моделювання системи автоматичного контролю нейтронного потоку (АКНП) типу АКНП-І виникла при описі перехідного процесу, пов'язаного з прискореною роботою попереджувального захисту (ППЗ) та аварійного захисту (АЗ) на українських блоках типу ВВЕР-1000. Прискорений попереджувальний захист служить для швидкого розвантаження блоку до рівня потужності 40-50%. Його робота полягає у швидкому введенні в активну зону реактора однієї групи органів регулювання (ОР) системи управління та захисту (СУЗ). Залишаються неврахованими багато процесів, що відбуваються при формуванні сигналу на детекторах та його перетворення до отримання кінцевого результату [1]. Проте облік цих процесів вимагатиме глибокого дослідження конструкції АКНП-І та складного моделювання поля нейтронів за межами активної зони реактора, детально ознайомитися з картограмою можна на рис. 1.

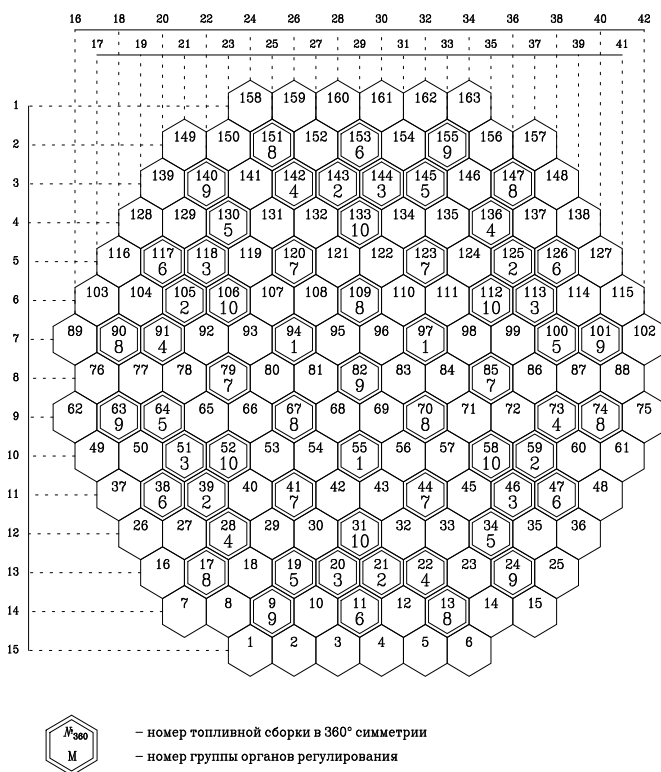


Рисунок 1 - Картограма розташування груп органів регулювання в активній зоні.

В результаті розрахунку за допомогою програмно технічного ТРАП-КС отримано мінімальне значення періоду розгону реактора у режимі пришвидшеного попереджувального захисту (ППЗ). Воно становить 5,1с за номінальних значень параметрів, що добре узгоджується з результатом розрахунку DYN3D – 5,6 с.

Аналіз невизначеності показав, що похибка розрахунку становить близько 30% [2]. Але навіть у межах похибки розрахунковий період відрізняється від періоду, знайденого струмами детекторів, на 1,5 с. Розбіжність може бути пов'язана з похибкою експериментального періоду, яка в цій роботі не враховувалася, та з неточністю моделювання процесу. Розрахунок можна покращити, якщо вдосконалити моделювання детекторів та системи АКНП-І та уточнити експериментальні значення параметрів (закон

падіння групи пришвидшеного попереджувального захисту (ППЗ) становище регулюючої групи і т.д.) [3]. Експериментальні значення наступних параметрів, що істотно впливають на результат розрахунку, залишилися невідомими: закон падіння групи стрижнів пришвидшеного попереджувального захисту (ППЗ); розташування детекторів та довжина їх робочих частин; становище регулюючої групи стрижнів.

Слід зазначити, що реально на АЕС не встановлюється закон падіння стрижнів. Вимірюється лише час їхнього руху. Отже закон залишається принципово невідомим. Тобто заздалегідь не можна передбачити цей параметр. Тому період, визначений до експерименту, у будь-якому разі матиме відхилення від експериментального. У цій роботі різниця в мінімальних періодах для різних законів падіння стрижнів становила приблизно 0,3 с. Змінився також момент настання мінімуму періоду [2]. Після експерименту можна приблизно відновити закон падіння стрижнів за графіком зміни потужності та збільшити точність опису періоду. Для вирішення загальної проблеми, тобто запобігання спрацьовування АЗ в режимі УРБ, можливо вживання наступних заходів: збільшення часу дискримінації у алгоритмі роботи АКНП-І; швидке введення стрижнів регулятором обмеження потужності (РОП) при зміні уставки підтримки потужності. При часі затримки 4,4 с. вже не опускається нижче 10 с. З урахуванням похибки близько 30% слід вибрати час затримки 5,2 с [3]. При цьому запізнення у показанні мінімального періоду збільшиться до 45 с. Як варіант можна змінити залежність кроку дискримінації від потужності та періоду реактора. При цьому на потужності, близькій до номінальної, залишити колишню залежність. А для потужності близько 50% значно збільшити крок дискримінації.

Перелік посилань:

1. Ovdiienko Y., Kuchin A., Khalimonchuk V. State Scientific and technical Centre on Nuclear and Radiation Safety (SSTC N&RC). Analysis of the scram actuation by period during WWER-1000 fast unloading. 18th Symposium of AER on VVER Reactor Physics and Reactor Safety. Hungary, Eger, October 6-10, 2008.

2. Быков М.А., Зайцев С.И., Беляев Ю.В., Алехин Г.В., А.П.Егоров, В.И.Гусев. Развитие комплекса ТРАП-97. Учет пространственных эффектов в реакторе. Доклад на 4-ой международной научно-технической конференции «Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР». 23 - 26 мая 2005 г.

3. Artyomov G.V., Elshin A.V., Ivanov A.S., et al. "Development of neutron- physics models of varies types of reactors on the basis of unified algorithms of applied code package SAPHIR". Proceedings of the 10-th International Seminar on Reactor Physics, 2-6 September, 1997, p.34.

УДК 621.039.4

Магістрант 2 курсу, гр. ТЯ-11мн Полупан А.О.

Доц., к.т.н. Філатов В.І.

РОЗРОБКА ПАСИВНОЇ СИСТЕМИ БЕЗПЕКИ ДЛЯ ВІДВЕДЕННЯ ТЕПЛОТИ ВІД АКТИВНОЇ ЗОНИ РЕАКТОРНОЇ УСТАНОВКИ ВВЕР-1000

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 (СБ). 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 для їх роботи стають непотрібними мережі змінного струму та допоміжні СБ.

Однією з пріоритетних задач при виникненні аварійних ситуацій на АЕС є забезпечення відведення тепла від активної зони реактора в першу чергу при режимі повного знеструмлення.

Метою роботи є дослідження можливості підвищення безпеки експлуатації АЕС з РУ ВВЕР-1000, зокрема, в умовах повного знеструмлення енергоблоку за рахунок впровадження системи пасивного відводу теплоти (СПВТ) від активної зони. Зменшення вірогідності аварій з пошкодженням активної зони реактора ВВЕР-1000 за рахунок розробки і впровадження системи пасивного відводу теплоти від активної зони реактора, на основі уже існуючих СПВТ впроваджених на реакторах нових поколінь.

Для вирішення даного завдання у роботі був виконаний огляд та аналіз уже існуючих типів СПВТ від активної зони реактора та проведений аналіз прикладів реалізації СПВТ від активної зони (АкЗ) на реакторних установках різних типів.

За даними проведеного огляду та аналізу можна сказати, що загалом, різні проєкти РУ використовують відмінні один від одного системи пасивного відведення тепла від АкЗ.

Документом ІАЕА-TECDOC-1624 [1] пропонуються наступна класифікація СПВТ від АкЗ.:

- баки з водою під тиском для охолодження активної зони (гідроємності);
- закриті ємності для підживлення першого контуру зі зливом води під дією природної конвекції (різниці густин);
- відкриті баки для підживлення першого контуру з гравітаційним зливом води;
- системи пасивного охолодження першого контуру через другий;
- системи пасивного охолодження першого контуру в теплообміннику (з однофазним або двофазним переходом теплоносія);
- прямки із природною циркуляцією.

У роботі проведений аналіз кожного типу СПВТ від АкЗ та наведені попередні висновки щодо кожного з них.

Баки з водою під тиском для охолодження та заповнення активної зони теплоносієм або гідроємності (ГЄ) використовуються на існуючих АЕС і є частиною систем аварійного охолодження активної зони. Зазвичай вони складаються з великих резервуарів частково заповнених холодною борованою водою, а об'єм, що залишився, заповнений азотом під тиском або іншим інертним газом.

Закриті ємності для підживлення першого контуру з подачею води під дією природної конвекції на ВВЕР-1000 не використовується по ряду причин, головними з яких є складність установки ГЄ на верхніх межах ГО працюючих енергоблоків та неможливість забезпечувати тепловідведення протягом тривалого часу.

Використання відкритих баків для підживлення першого контуру з гравітаційним зливом води недоцільно для РУ ВВЕР-1000, так як відкриті баки можуть бути використані для охолодження активної зони для обмеженого переліку вихідних подій (ВП), що належать до зупинки РУ. цієї системи Система пасивного охолодження першого контуру через другий:

Використання системи пасивного охолодження першого контуру в теплообміннику (з однофазним або двофазним переходом теплоносія) не доцільно на ВВЕР-1000 тому що встановлення теплообмінників та баків запасу води за межами ГО, що фактично виключає один з бар'єрів безпеки та суттєво знижує рівень безпеки енергоблоку.

Бак (прямокутний) із природною циркуляцією також не може бути застосована для проекту ВВЕР-1000.

Деякі удосконалені конструкції PWR включають систему пасивного відведення залишкового тепла через парогенератори. Процес здійснюється шляхом конденсації пари, що надходить з парогенератора всередині теплообмінника, зануреного в резервуар з водою або в систему з повітряним охолодженням. Дана система впроваджена у проектах нових РУ ВВЕР. Доцільно розглянути можливість запровадження СПВТ такого типу для ВВЕР-1000.

Розглянуті приклади реалізації систем пасивного охолодження реакторних установок різних типів[2], а саме:

- АВWR-II; - ESBWR;
- AP-600/AP-100; - EPR;
- SWR-1000; - ВВЕР-1200.

За результатами проведеного аналізу існуючих проектних рішень для систем пасивного відведення тепла від АкЗ, які вже реалізовані на інших типах РУ великої потужності, був зроблений висновок, що найбільш оптимальним рішенням для ВВЕР 1000 є впровадження СПВТ з організацією контуру циркуляції через ПГ. За основу взято концепцію та принцип роботи системи пасивного відводу тепла через парогенератори (JNB) проекту АЕС-2006 [3]. Подальша робота спрямована на визначення можливості реалізації системи на РУ ВВЕР-1000, та аналітично-розрахунковим обґрунтуванням безпеки та надійності роботи системи за допомогою коду MELCOR.

Перелік посилань:

1. Свириденко И.И. Классификация систем пассивного отвода остаточных тепловыделений ЯЭУ. 2-ге вид. Севастополь : Севастоп. нац. ун-ту ядер. енергії та пром-сті, 2007.
2. [IAEA-TECDOC-1677.Natural circulation phenomena and modeling for advanced water cooled reactors.]. Vienna : 2012. IAEA.
3. Технологічні рішення. АЕС - 2006. 6-те вид. 2007. Т. 1 : Пояснювальна записка. С. 56–79.

ЗНЯТТЯ З ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕНЕРГОБЛОКУ З РЕАКТОРОМ ВВЕР-1000. ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДУ ДІЯЛЬНОСТІ НА ЕТАПІ КОНСЕРВАЦІЇ

Основною метою діяльності із зняття з експлуатації є завершення життєвого циклу всіх ядерних установок атомних електричних станцій та об'єктів, призначених для поводження з відпрацьованим ядерним паливом та радіоактивні відходи на атомних електричних станціях, з досягненням умов, які дадуть змогу забезпечити повторне використання їх території. При знятті з експлуатації цих установок та об'єктів має бути досягнуте повне або обмежене звільнення від регулюючого контролю.

Визначальними умовами стратегічного планування діяльності із зняття з експлуатації є:

безумовне дотримання всіх норм і вимог з безпеки та обмеження негативного впливу на персонал, населення і навколишнє середовище ядерних установок атомних електричних станцій, об'єктів, призначених для поводження з радіоактивними відходами на атомних електричних станціях, на завершальному етапі їх життєвого циклу і відходів, які виникатимуть на цьому етапі (пріоритет безпеки);

забезпечення ефективного використання раніше вкладених коштів (пріоритет виправданості капіталовкладень);

забезпечення безперервності функціонування ядерно-енергетичного комплексу України за межами планованого періоду (пріоритет стабільності в майбутньому);

мінімізація за межами планованого періоду негативних економічних, соціальних, екологічних та інших наслідків від прийнятих рішень і діяльності із зняття з експлуатації протягом планованого періоду (пріоритет захищеності наступних поколінь).

Для досягнення основної мети потребується довгострокове взаємоузгоджене планування та здійснення відповідної діяльності з підготовки та зняття з експлуатації, а також заходів з підтримки і забезпечення цієї діяльності на всіх етапах життєвого циклу ядерних установок атомних електричних станцій та об'єктів, призначених для поводження з радіоактивними відходами на атомних електричних станціях.

У відповідності до прийнятої Концепції зняття з експлуатації атомних електричних станцій України [1], діяльність по зняттю їх з експлуатації повинна відбуватись шляхом реалізації оптимального варіанту - відкладеного демонтажу з витримкою під наглядом частини енергоблоку, що підлягає консервації. При цьому діяльність в межах цього варіанту повинна проводитись шляхом послідовного виконання робіт на стадіях (етапах) остаточного закриття, консервації, витримки та демонтажу.

Метою стадії остаточного закриття є приведення енергоблоку в стан, що унеможливує його використання з метою, для якої енергоблок був побудований.

Метою стадії консервації є приведення енергоблоку в стан, що відповідає безпечному зберіганню джерел іонізуючих випромінювань, які знаходяться в його межах. протягом визначеного періоду.

Порівнюючи мету стадії остаточного закриття і мету стадії консервації можна зробити висновок, що мета стадії консервації більш пріоритетна, вона є першим кроком на шляху реалізації стратегії відкладеного демонтажу з витримкою під наглядом: «підготовка – витримка - демонтаж». Мета стадії остаточного закриття є другорядною і може досягатись шляхом проведення паралельної діяльності як одночасно з діяльністю по консервації, так і на наступних стадіях, якщо це буде стосуватись демонтажу нерадіоактивним споруд, систем та елементів та повторного використання матеріалів і елементів енергоблоку.

У відповідності до [1,2], тривалість стадії остаточного закриття прийнята 4 роки, а стадії консервації – 3 роки. При поєднанні стадій, стадія «остаточного закриття -

консервації» може тривати 5 років. При цьому практично вдвічі скорочується обсяг діяльності, спрямований на розробку супровідної документації. Так, розробку Проекту і оцінку впливу на навколишнє природне середовище, Звіту з аналізу безпеки і Технологічного регламенту потрібно буде робити тільки для стадії витримки.

Практика поєднання стадій остаточного закриття і консервації вже має місце в при знятті з експлуатації Чорнобильської атомної електричної станції [3,4].

У відповідності до [1], одним з головних напрямків діяльності на етапі консервації є реконструкція та модернізація систем, які залишаються для подальшого експлуатування станції: електропостачання, вентиляції, опалення, моніторингу стану будівельних конструкцій та забруднених систем, контролю радіаційної обстановки частини, що консервується.

Для подальшого обслуговування енергоблоку, що знімається з експлуатації на стадії витримки для подальшого закриття, треба реконструювати та модернізувати системи опалення, системи радіаційного моніторингу, системи вентиляції, системи технічного водопостачання, спец водо очищення та дизель генератори, все це необхідно для надійної та безпечної роботи працівників станції.

В магістерській роботі пропонується розробити/спланувати заходи щодо модернізації систем технічної води, в першу чергу системи технічної води відповідальних споживачів: визначити де саме треба провести модернізацію та реконструкцію та обґрунтувати доцільність даної задумки, що у свою чергу потребує зробити розрахунки на витрати води, які будуть реально потрібні системам, які залишаються в роботі станції, розрахувати матеріальні та трудові витрати, на здійснення задумки.

Перелік посилань:

1. Концепція зняття з експлуатації діючих атомних електростанцій України. Затверджено наказом Міністерства палива та енергетики України від 10.12.2015 № 798;

2. Пуртов О.А., Масько О.М. Порівняльний аналіз оновлених концепцій зняття з експлуатації діючих атомних електричних станцій України//Ядерна енергетика і довкілля, 2019.- №3(15);

3. Чорнобильська атомна електрична станція. Стратегія зняття з експлуатації. <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>;

4. Єлисей Холодовський. Зняття з експлуатації атомних електричних станцій <https://petrimazepa.com/nuclearpowerplant.html>

ТЕПЛОВИЙ РЕЖИМ КОНТЕЙНЕРА ДЛЯ ТРАНСПОРТУВАННЯ ВІДПРАЦЬОВАНОГО ЯДЕРНОГО ПАЛИВА

Наразі в Україні є потреба вирішення проблеми поводження з відпрацьованим ядерним паливом (ВЯП) українських АЕС [1], підвищення економічної ефективності системи поводження з ВЯП, встановлення рамкових умов та завдань для оператора щодо безпечного та економічно ефективного поводження з ВЯП.

Завданнями, визначеними в рамках роботи, є, зокрема, технологічна витримка ВЯП у приреакторних басейнах, безпечна експлуатація сховища «сухого» типу на ЗАЕС та Централізованого сховища відпрацьованого ядерного палива (ЦСВЯП), впровадження технологій Холтек для створення інфраструктури для відвантаження ВЯП з басейнів і транспортування до ЦСВЯП.

Програму досліджень розроблено з урахуванням європейських підходів у сфері поводження з відпрацьованим ядерним паливом.

На даний момент стоїть питання про дослідження теплових режимів контейнерів HI TRAC, що призначений для завантаження та внутрішньомайданного перевантаження ВЯП в HI STAR 190 ML для подальшого перевезення до ЦСВЯПу. Та для HI STORM 190, що розроблений для тривалого зберігання ВТВЗ реакторів ВВЕР.

Для виконання поставлених завдань будуть виконані теплові розрахунки HI STAR 190 ML для підтвердження відповідності вимогам до перевезення ВЯП в Україні.

Для перевезення відпрацьованого ядерного палива з АЕС на ЦСВЯП компанія «Holtec» сконструювала транспортний контейнер HI STAR 190 ML [2], що дозволяє заощадити час, здійснити транспортування палива залізничним транспортом до ЦСВЯП за низького дозового навантаження і без радіоактивного забруднення. HI STAR 190 ML - контейнер виробництва «Holtec International», призначений для перевезення та проміжного зберігання ВЯП.

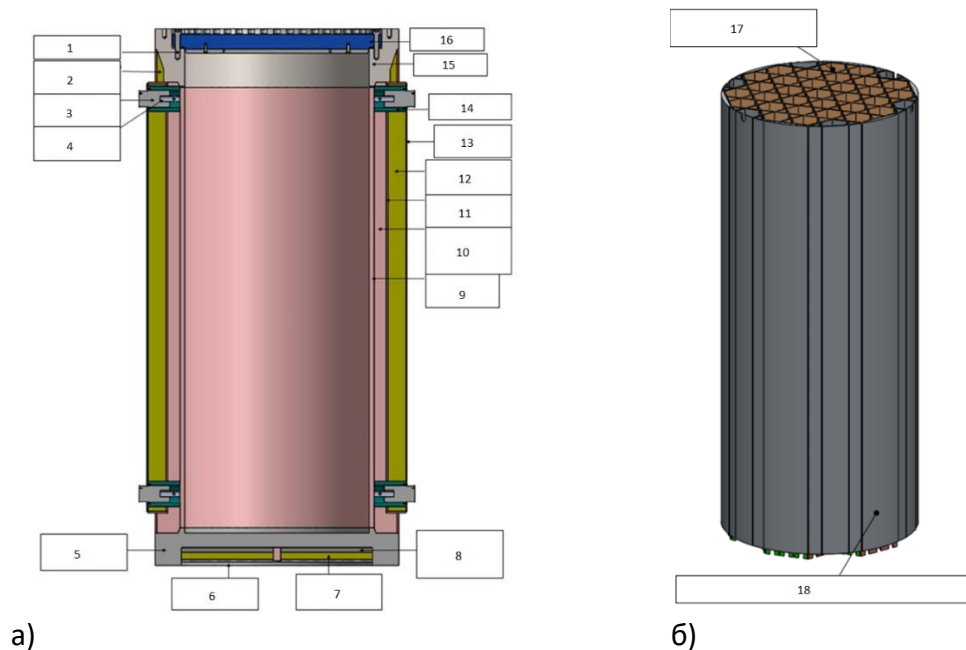
Транспортно-пакувальний комплект HI STAR 190 ML призначений для розміщення в ньому багатоцільового контейнера (БЦК), що забезпечує подвійний бар'єр локалізації і використовується для транспортування ВЯП реакторів ВВЕР 1000.

БЦК призначений для розміщення 31 штук ВТВЗ реактора ВВЕР 1000. БЦК спроектовані для зберігання та транспортування також пошкоджених паливних зборок. Транспортний контейнер не потрапляє до басейну витримки, тобто небезпека радіоактивного забруднення зовнішніх поверхонь відсутня. Після прибуття на ЦСВЯП контейнер HI STAR 190 ML розвантажується із залізничної платформи, а БЦК перевантажується в модуль зберігання HI STORM 190 без перепакування ВТВЗ.

HI STAR 190 ML – назва моделі контейнера, розробленого як транспортний контейнер для перевезення наземним транспортом ВЯП реакторів типу ВВЕР 1000 українських АЕС у БЦК. Транспортно-пакувальний комплект HI STAR 190 ML складається з:

- Транспортний контейнер HI STAR 190 ML;
- багатоцільового контейнера;
- демпфуючих пристроїв.

Таким чином було створено розрахункову модель для проведення теплових розрахунків транспортного контейнера HI STAR 190 ML (дивись рис. 1)



а- перетин ТК НІ STAR 190 ML, б-короб МЦК для зберігання палива реактора типу ВВЕР-1000

1-болти кришки, 2-нейтронний захист,3-підйомна цапфа, 4-труба-проставка цапфи, 5-нижня паковка,6-нижня пластинка,7-нейтронний захист,8-свинцевий екран захисту від гама-випромінювання,9 -внутрішня обичайка, 10 - свинцевий екран захисту від гама-випромінювання,11-проміжна обичайка,12 -наейтронний захист, 13-зовнішня обичайка,14-втулка цапфи,15 -фланец,16-кришка, 17 - чарунка зберігання з Metamic НТ,18 -Алюмінієві опорні конструкції

Рисунок 1 - Загальний вид розрахункових моделей

Перелік посилань:

1. Про затвердження Державної економічної програми поводження з відпрацьованим ядерним паливом вітчизняних атомних електростанцій на період до 2025 року: Постанова Кабінету Міністрів України; Програма, Паспорт, Заходи від 11.08.2021 № 847

2. *Storage and Transport Cask for Nuclear Waste.* (2022). Primary Inventor: Krishna P. Singh. 28 jun. Prior Publication Data: Sep. 2, 2021. Patent: US 11,373,775 B2

**DYNAMICS OF NEUTRON ACTIVITY OF FUEL-CONTAINING MATERIALS
CLUSTERS IN THE SUB-REACTOR ROOM 305/2 OF THE 4TH POWER UNIT OF
THE CHERNOBYL NPP**

Fuel-containing materials (FCM) clusters are located in two (southern and northern) penetration zones of the reactor shaft base plate in the southeast quadrant of sub-reactor room 305/2. FCM cluster in the southern penetration zone contains a critical mass of 15 to 20 tons of fuel. This is a two-layer composition hidden under a layer of "fresh 1990" concrete. The top layer is black lava-like FCM (LFCM) with 5% uranium concentration. The bottom layer is an FCM cluster with a fuel concentration of about 50% and an enrichment of 1.15 for ²³⁵uranium [1].

Subcriticality control of the southern FCM cluster is a key task in ensuring the nuclear safety of the NSC-SO. Control implies the neutron activity monitoring and the availability of means of criticality operational suppression.

Monitoring of neutron activity is provided by the nuclear safety monitoring system at 3 detection points. In the southeastern sector, two of these detection units are located in holes drilled in the concrete of the reactor shaft base plate at the 9,1 m mark, and facing the southeastern quadrant of room 305/2. The third detection unit is located above the base plate. At these points, a constant increase in neutron flux density (NFD) is observed, which can only be caused by a change in the subcriticality level of the southern FCM cluster. The rest of the detection units are located in other rooms and have stable readings with slight fluctuations in the NFD associated with seasonal fluctuations in temperature and humidity conditions [2].

Monitoring of neutron activity in sub-reactor rooms was established in 1987. From 1987 to 1990, the Finish monitoring system recorded a gradual decrease in neutron activity. In June 1990, a powerful neutron anomaly was recorded, which could only be identified as a self-sustaining chain reaction (SSCR) in the southeastern sector of sub-reactor room 305/2. It lasted 32 hours in the oscillation mode, and was caused by the process of water inflow into the cooling cluster of less than 100 degrees Celsius. SSCR was extinguished as a result of waterlogging of the breeding medium [1].

From 1990 to 2016, the neutron flux density in the sub-reactor rooms was unchanged, with the exception of seasonal fluctuations due to changes in the temperature and humidity regime in the sub-reactor rooms.

After the NSC installation and the cessation of precipitation access to the SO a constant increase in the neutron flux density is observed. This increase is recorded at the periphery of the southern FCM cluster with a high fuel concentration and associated with the outflow of water from the cluster's breeding medium.

The presence of the cluster with a high concentration of fuel in the concrete base plate is also confirmed by temperature measurements. Temperature fields were built in the concrete of the reactor shaft base plate. From 1988 to 2007, the peak temperature in the concrete of base plate decreased from 200 to 63 degrees Celsius, which corresponds to a drop in heat release over a given period in fuel-containing materials cluster with from 15 to 20 tons of fuel. The temperature fields were also used to localize the fuel-containing materials cluster and evaluate its geometric parameters [3].

As a result of criticality calculations in MCNP, neutron-physical characteristics of these layers were obtained. A particularity of low-enriched water-uranium breeding systems is the presence of an optimal water-uranium ratio, at which the effective neutron multiplication factor is maximum. The black LFCM layer is deeply subcritical. The bottom layer can go into a critical state. When bottom layer is waterlogged, the effective neutron multiplication factor begins to fall, and the system again becomes subcritical. Today, we observe an increase in neutron activity due

to the gradual outflow of water from the breeding medium of the waterlogged fuel-containing materials cluster.

The staff of our Institute for NPP Safety Problems developed an algorithm for estimating the current level of subcriticality for a given FCM cluster. It also makes it possible to carry out an annual forecast of the dynamics of the detected neutron flux density and the subcriticality level. In 2022, according to the NFD data, until February 3rd, 2021, the forecast turned out to be reliable [4].

Thus, we can draw the following conclusions.

Subcriticality control of FCM cluster in the southeast quadrant of sub-reactor room 305/2 is a key task in ensuring the nuclear safety of the NSC-OS.

After installation of the NSC, the process of water loss by the FCM cluster's breeding medium determined the current dynamics of neutron activity with a constant increase in NFD.

The criteria for assessing the achievement of emergency subcriticality levels ($K_{\text{eff}} > 0,95 - 0,98$) are the multiplicity of increase and the growth rate of NFD, which correlate in the regular detection points of the nuclear dangerous cluster neutron activity.

The fact of the existence of a FCM cluster with a high fuel concentration determines the need to revise the existing versions of the occurrence and development of accident processes in 1986, which did not take into account the formation of corium in the state position of the core, its impact on the base plate and the formation of molten core-concrete interaction product.

References:

1. Vysotsky Ye. D., Klyuchnikov A.A., Lagunenkov A.S., Pazukhin E.M., Shcherbin V.N.: Nuclear-dangerous clusters of fuel-containing materials in the destroyed fourth unit of the Chernobyl nuclear power plant // Radiochemistry. – 2011.– Vol. 53, № 2. – p. 178 – 183.

2. Vysotsky Ye. D., Godun R. L., Doroshenko A.O.: Dynamics of neutron activity and subcriticality of a nuclear-dangerous cluster under conditions of the “NSC-OS” complex. Problemy bezpeky atomnykh elektrostantsiy i Chornobulya (Problems of Nuclear Power Plants’ Safety and of Chornobyl), Vol. 30, (2018), p. 78 – 86.

3. Mykhailov A.V., Vysotsky Ye. D., Doroshenko A.O.: Temperature dynamics of the sub-reactor plate against the background of decay of residual heat release of fuel in critical mass risk zones // Problems of Nuclear Power Plants’ Safety and of Chornobyl. – 2014. – Vol. 22. – p. 76 – 84.

4. Vysotsky Ye. D.: Expert assessment of the current criticality level of clusters of fuel-containing materials after the NSC installing / Ye. D. Vysotsky, R. L. Godun, K.O. Sushchenko // Nuclear Power and the Environment. – 2020. – p. 49 – 56.

Аспірант Романенко І.М.; аспірант Трофименко О.Р.
Проф., д.т.н. Письменний Є.М.

ДОСЛІДЖЕННЯ З ОПРОМІНЕННЯ НЕЙТРОНАМИ БЕТОНІВ ДЛЯ КОНТЕЙНЕРУ HI-STORM ЗА ДОПОМОГОЮ МОНТЕ-КАРЛО КОДУ SERPENT

Безпечне поводження з відпрацьованим ядерним паливом (далі - ВЯП) є важливою складовою та актуальною проблемою атомної енергетики. На даний момент у світі існує три основні напрямки поводження з ВЯП: захоронення, переробка та довготривале проміжне зберігання. У свою чергу Україна, в якій експлуатуються АЕС з реакторами типу ВВЕР, прийняла для себе рішення щодо довготривалого безпечного зберігання ВЯП у проміжних сховищах. Такий спосіб зберігання дозволяє відкласти кінцеве рішення, щодо вибору подальшої стратегії поводження з ВЯП, очікуючи нових рішень в науці та техніці.

Централізоване сховище відпрацьованого ядерного палива (ЦСВЯП) реакторів типу ВВЕР вітчизняних АЕС знаходиться в Чорнобильській зоні відчуження (Київська обл., Іванківський р-н) та готове до введення в експлуатацію. При цьому технологія ЦСВЯП базується на зберіганні ТВЗ з відпрацьованим ядерним паливом у вентильованих бетонних контейнерах HI-STORM виробництва компанії Holtec International [1].

Базовим конструктивним матеріалом, що використовується для захисту від іонізуючого випромінювання в контейнерах HI-STORM є бетон з додаванням важких агрегатів (базальтовий або гранітний щебінь). При цьому основною причиною зміни мікроструктури і, як наслідок властивостей бетону є поступова гідратація, кристалізація аморфних компонентів, хімічні реакції між цементною пастою і агрегатами, а також через вплив зовнішніх факторів, таких як вологість, температура та радіаційне опромінення.

Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є армування бетонної суміші базальт-борною фіброю. В рамках дослідження захисних властивостей від радіаційного випромінювання таких бетонів було розглянуто декілька сумішей, армованих базальтовою фіброю з різною концентрацією оксиду бору (5% та 10%), які в перспективі можуть бути використані для виготовлення контейнерів HI-STORM.

Засобами Монте-Карло коду Serpent [2] розроблено спрощену розрахункову модель для визначення густини потоку нейтронів у бетонному об'ємі біологічного захисту контейнера HI-STORM. Джерелом випромінювання для задачі розрахунку переносу нейтронів виступає циліндрична область, у якій, з метою спрощення розрахункової моделі, гомогенізовано БЦК-31 та ВЯП ВВЕР-1000. Функцію біологічного захисту виконує бетон.

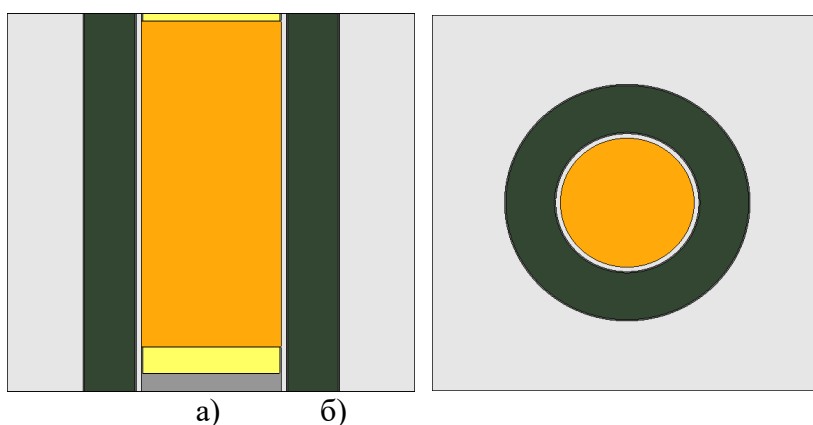


Рисунок 1 - Візуалізація розрахункової моделі HI-STORM а) вид збоку б) вид зверху

Для визначення міри послаблення нейтронного випромінювання в залежності від бетонної суміші розраховувався коефіцієнт T_f - відношення потоку нейтронів в об'ємі детектора розміщеного на зовнішній стінці біологічного захисту F_n до потоку нейтронів в

об'ємі детектора розміщеного на внутрішній стінці біологічного захисту - F_0 за формулою (1) [3,4,5]:

$$T_f = \frac{F_n}{F_0} \quad (1)$$

Детектування частинок проводилося засобами Serpent з використанням карточки «det» у дев'яти попередньо визначених розрахункових зонах, на які умовно був розбитий простір між внутрішньою та зовнішньою поверхнями бетонного біологічного захисту контейнера HI-STORM 190.

Залежність густини потоку нейтронів від масового вмісту базальт-борної фібри у бетоні представлено на рисунках 2.1 та 2.2 відповідно.

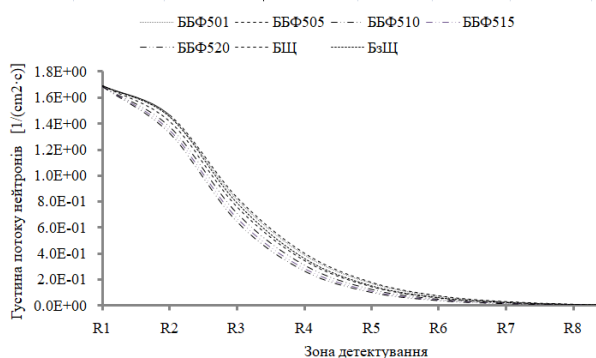


Рисунок 2.1 - Залежність густини потоку нейтронів по товщині бетону з різним дозуванням ББФ для випадку ББФ5

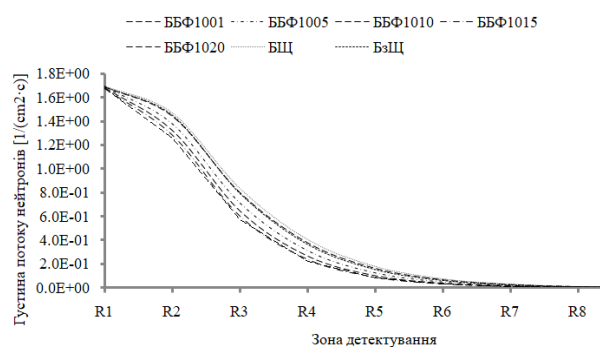


Рисунок 2.2 - Залежність густини потоку нейтронів по товщині бетону з різним дозуванням ББФ для випадку ББФ10

Згідно з результатами на рисунках 2.1, 2.2 можна зробити висновок, що бетони з додаванням ББФ мають перевагу в поглинанні нейтронів. Також бетон з базальтовим щебнем має кращі захисні властивості від нейтронного випромінювання над бетоном з гранітним щебнем.

Представлені дослідження демонструють кращий ефект до збільшення захисних властивостей бетону від нейтронного випромінювання з додаванням базальт-борної фібри.

Порівняння бетонів армованих базальтовою фіброю з різним вмістом оксиду бору, показує зменшення густини потоку нейтронів при використанні 10 % оксиду бору в порівнянні з 5 % оксиду бору уздовж всього біологічного захисту контейнера

Перелік посилань:

1. Актуализированный предварительный отчет по анализу безопасности ЦХОЯТ / ДС-17/17-07 /Глава 7. Биологическая защита // Редакция 1.
2. Leppänen, J., et al. (2015) "The Serpent Monte Carlo code: Status, development and applications in 2013." Ann. Nucl. Energy, 82 (2015) 142-150.
3. Kaplan, M. F. (1989), Concrete Radiation Shielding, John Wiley & Sons, Inc., New York, 448 p.
4. Hine, G. J. (1952), "The effective atomic numbers of materials for various gamma-ray interactions", Physical Review, No. 85, pp. 725–737.
5. Greulich, C., Hughes, C., Gao, Y., Enqvist, A., Baciak, J. (2017), "High energy neutron transmission analysis of dry cask storage", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, No. 874, pp. 5—11.

Аспірант Трофименко О.Р.; Жихарєва М.О.
Проф., д.т.н. Носовський А.В.

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАПИСУ ТА ВІДТВОРЕННЯ ПОТОКУ ЧАСТИНОК ВІД ДЖЕРЕЛА ВИПРОМІНЮВАННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ МОНТЕ- КАРЛО КОДУ SERPENT 2

На сьогоднішній день, до переліку найбільш відомих нейтронно-фізичних кодів на базі методу Монте-Карло можна віднести Serpent [1] та MCNP [2]. Ці програми активно використовуються для визначення нейтронно-фізичних параметрів різноманітних ядерних систем.

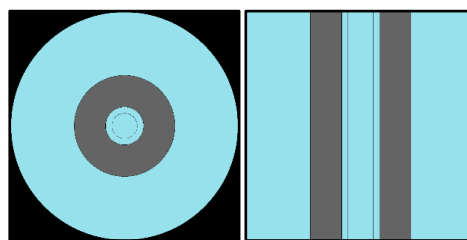
Перспективність використання методу Монте-Карло для вирішення задачі переносу частинок пов'язана з потенціальною здатністю досягти високого рівня деталізації геометрії та матеріального складу моделі. Однак стримуючим фактором використання цього методу є необхідність застосування порівняно потужних та дорогих обчислювальних пристроїв [3]. Внаслідок чого розробникам систематично доводиться вирішувати проблемне питання коректного спрощення розрахункової схеми.

Таким чином, у рамках робіт, пов'язаних з моделюванням бетонних біологічних захистів контейнерів HI-STORM 190, реакторів типу ВВЕР-1000 та DEMO, проводиться дослідження можливості запису параметрів потоку частинок на умовній межі між деталізованим джерелом випромінювання та бетонною конструкцією з подальшим відтворенням потоку, але з виключенням первинного джерела з моделі. Це дозволить спростити модель для визначення флюенсу частинок у об'ємі та дозові навантаження за межами захисних бетонних конструкцій. Першим розглянутим варіантом подібного спрощення є застосування комбінації карток-функцій "det" та "src" у коді Serpent 2 [4].

В два етапи було проведено ряд розрахункових експериментів: запис параметрів потоку частинок на умовній межі від первинного точкового джерела випромінювання "src" за допомогою картки "det" [4] (етап SRC - "source") та наступне відтворення потоку частинок з поверхні "det" за умови виключення з моделі первинного джерела (етап STG - "stage"). Serpent-візуалізація моделей та відносного розподілу густин потоку нейтронів для розглянутих експериментів представлено на рисунках 1, 2, 3 та 4.



а) модель з плоскою стіною

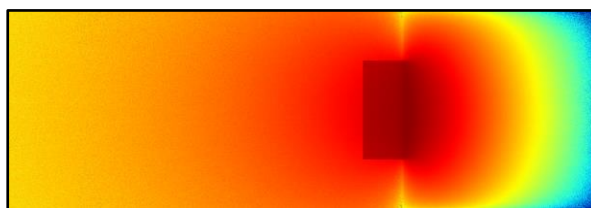


б) модель з циліндричної стіною

Рисунок 1 - Serpent візуалізація розглянутих розрахункових моделей (блакитний колір - повітря; сірий колір - бетон; чорний колір - поглинаючі граничні умови)



а) SRC



б) STG

Рисунок 2 - Serpent-візуалізація густини потоку нейтронів для плоского джерела "src" та зміщеної вправо плоскої поверхні відтворення "det"

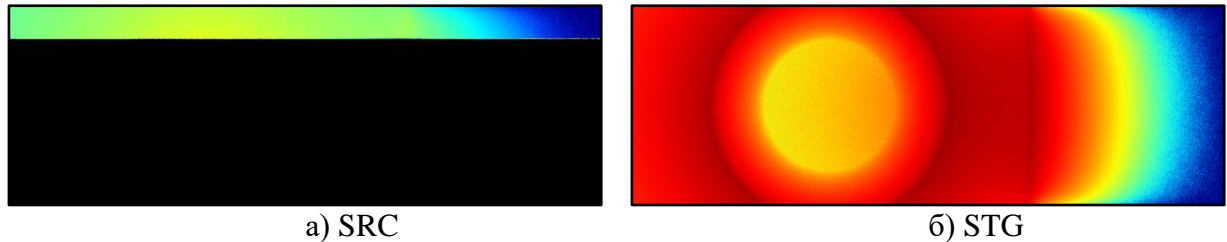


Рисунок 3 - Serpent-візуалізація густини потоку нейтронів для точкового джерела "src" та концентричної сферичної поверхні відтворення "det"

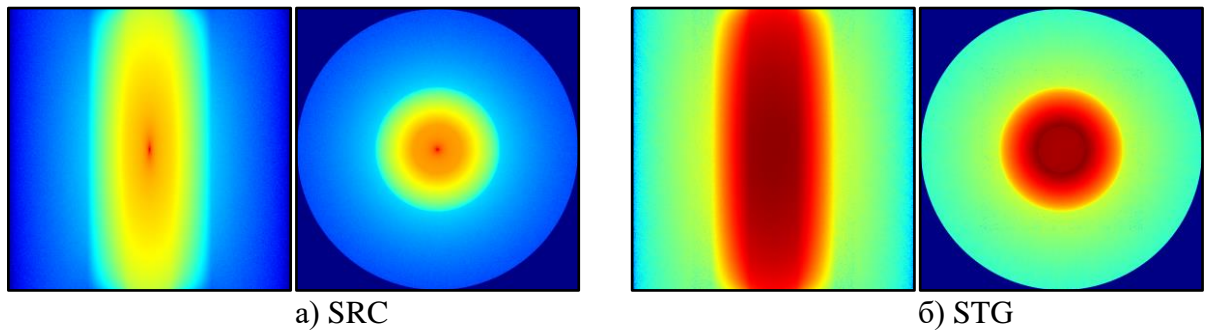


Рисунок 4 - Serpent-візуалізація густини потоку нейтронів для точкового джерела "src" та концентричної циліндричної поверхні відтворення "det"

Згідно з отриманими результатами, чисельне значення густини потоку нейтронів у об'ємі бетонної стіни до та після відтворення відрізняється не більше ніж на 2,47%. Це свідчить про те, що для типових розглянутих схем, розроблених за допомогою Монте-Карло коду Serpent 2, точкове джерело випромінювання може бути замінено поверхневим. Також було зафіксовано не розглянуту у користувальницькій літературі [4] особливість: якщо сферична поверхня "det" виходить за межі розрахункової моделі, результати відтвореного потоку частинок (STG) мають бути нормовані на відношення площі поверхні "det", яка знаходиться у моделі, до загальної площі поверхні "det".

Таким чином функціонал Serpent 2 дає можливість замінювати один тип джерела випромінювання на інший. У свою чергу подальше дослідження можливостей цього функціоналу може значно спростити моделі зі складними джерелами випромінювання (активні зони ВВЕР, токамак DEMO, багатоцільові контейнери HI-STORM) без втрати достовірності результатів. Окрім того апробація представленого підходу цікавить розробників Serpent 2 та сприяє подальшій модернізації розрахункового коду.

Перелік посилань:

1. J. Leppänen, "Serpent a Continuous-energy Monte Carlo Reactor Physics Burnup Calculation Code," VTT Technical Research Centre, 2004. [Online]. Available: <http://montecarlo.vtt.fi/index.htm>. [Accessed 13. 03. 2022].
2. J. F. Briesmeister, "MCNP - A General Monte Carlo Code N-Particle Transport Code (Version 4C)", Radiation Safety Information Computational Center (RSICC), 18 December 2000. [Online]. Available: <https://inspirehep.net/files/78c669e8d3bb59ccf6fb868a6061450c>. [Accessed 13. 03. 2022].
3. В. В. Гальченко, В. І. Гулік та І. І. Шлапак, "Використання програмного продукту Serpent на основі методу Монте-Карло для розрахунку характеристик тепловиділяючої збірки реактора ВВЕР-1000", Ядерна фізика та енергетика, т. 17, № 3, pp. 250-258, 24. 05. 2016.
4. J. Leppänen, "Serpent Code Wiki: user Manual for Serpent 2," Jaakko Leppänen, 5 October 2019. [Online]. Available: http://serpent.vtt.fi/mediawiki/index.php/Main_Page. [Accessed 19 03 2022].

ЗАСТОСУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНОГО КОДУ TRACE ДО МАЛИХ МОДУЛЬНИХ РЕАКТОРІВ З ПРИРОДНЬОЮ ЦИРКУЛЯЦІЄЮ ТЕПЛОНОСІЯ

Наш час нерідко називають «другим золотим часом» атомної енергетики. Основними рисами цього нового етапу є прагнення досягти більшої паливної ефективності та безпечності ядерних енергетичних установок, а не більшої потужності. Особливий інтерес становлять технології малих модульних реакторів і натуральної циркуляції теплоносія.

Малий модульний реактор це просунута в технічному плані ядерна енергетична установка невеликої потужності (до 300 МВт), що характеризується невеликими розмірами та здатністю її вузлів та агрегатів до уніфікації, а отже і до серійного виробництва [1]. Наразі існує більш 70 комерційних проектів таких установок, які включають в себе не тільки розповсюджені легководні та киплячі реактори, а й екзотичні проекти – на змішаному оксидному паливі, на торієвому паливі, на паливі природнього збагачення. Більшість з цих проектів, так чи інакше, мають в собі елементи натуральної циркуляції, хоча б у вигляді пасивних систем безпеки.

Натуральна циркуляція теплоносія є перспективним розвитком атомної енергетики, так як застосування його дозволяє значно підвищити безпечність установки за рахунок пасивних систем безпеки. В реакторних установках проектна ВВЕР охолодження активної зони в результаті аварійних ситуацій досягається за допомогою подачі води баків САОЗ через аварійні насоси. Такий захист, вочевидь, обмежений кількістю води, а також справністю насосів і електропостачання. Пасивні ж системи безпеки полягають в природній циркуляції води всередині корпусу реактора і навколо нього, відводячи таким чином залишкове тепло в навколишній простір. Така система може функціонувати без будь-якого зовнішнього втручання до 72 годин, а для реакторів невеликої потужності – майже необмежену кількість часу [2]. Це принцип, зокрема, використовується в реакторі AP-1000, будівництво якого вже запущено в США та КНР, а також планується в Україні.

Натуральна циркуляція при нормальному режимі експлуатації може забезпечити ще більшу захищеність установки, однак забезпечити природний рух теплоносія для реакторної установки – технічно складна задача через велику витрату води через активну зону. Однак для ММР це цілком можливо. Подібна компоновка є надзвичайно безпечною, зокрема частота пошкодження активної зони складає в районі 10^{-10} випадків на рік, в той час коли для існуючих реакторів складає лише 10^{-4} [3].

Проблемами на шляху впровадження малих модульних реакторів з природньою циркуляцією є недосконала процедура ліцензування, яка була розроблена для станцій великої потужності [5], а також недосконалість теплогідравлічних кодів, за якими повинна валидуватися та чи інша конструкція.

Останнє є чисто технічним завданням. Подібне ПО розроблялося для моделювання примусової конвекції і необхідно тестувати їх придатність для обрахування природньої конвекції в перехідних режимах. До того ж, одновимірні коди гарно пораються з моделюванням прямо трубних теплообмінних апаратів, а в згаданій вище конструкції теплопередача з першого в другий контур відбувається через змійовикові поверхні. Для виконання цього в Орегонському Державному Університеті в 2003му році була побудована тестова установка OSU-MASLWR, яка відтворює конструкцію ММР з природнім рухом теплоносія, використовуючи в якості джерела теплоти нагрівальні елементи загальною потужністю до 400 кіловат.

Розроблена мною модель згаданої вище тестової установки створена за допомогою теплогідравлічного одновимірного коду TRACE з метою перевірки можливостей

моделювання стаціонарного і перехідних режимів роботи таких реакторів, а також визначення коефіцієнтів поправки для площі змійовикової теплообмінної поверхні. Перевірка коректності моїх розрахунків виконується через порівняння з експериментальними результатами ОДУ та з розрахунковими подібної моделі UNIPA [4]. Наразі модель знаходиться в передтестовій фазі, розробляється система контролю та перевіряється розрахунок для стаціонарного стану. До параметрів, які будуть отримані в результаті обрахунків, відносяться: гідравлічні опори на ділянках складної геометрії (змійовики парогенератора, ділянки вводу змійовиків, дистанціонуючі решітки), масова витрата живильної води. Після завершення системи контролю будуть отримані параметри тепло гідравлічної поведінки системи при перехідних станах після вихідних подій (таких як невелика течя з першого в другий контур, наприклад). Надалі планується вивчати вплив теплової потужності активної зони на можливість здійснення природньої циркуляції та визначення поправочних коефіцієнтів при моделюванні змійовиків з застосуванням комп'ютерного коду TRACE. Останнє є особливо важливим, так як окрім загальної рекомендації по збільшенню площі теплообміну в 1.3-1.5 разів, визначеної методики не існує.

Попередні висновки, щодо придатності наявного коду для моделювання натуральної конвекції можна признати задовільними. Отримані параметри масової і лінійної швидкостей співпадають з експериментальними в достатньому діапазоні.

Загалом, можна зазначити, що розробка малих модульних реакторів з натуральною циркуляцією і пасивними системами безпеки є перспективним напрямком атомної енергетики через їх надзвичайну безпечність, зменшену складність конструкції, економічну доцільність. Ними можна замінювати як традиційні джерела енергії, так і сучасні АЕС, створюючи станції з 10-12 модулів в одному приміщенні (так наприклад пропонує NuScale), при цьому вони пропонують набагато менше місця і мають нижчі вимоги щодо територіального розміщення [6].

Перелік посилань:

1. Liou J. What are Small Modular Reactors (SMRs) [Електронний ресурс] / Joanne Liou // IAEA Office of Public Information and Communication. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.iaea.org/newscenter/news/what-are-small-modular-reactors-smrs>.
2. JOSÉ N. NuSCALE PLANT SAFETY IN RESPONSE TO EXTREME EVENTS / N. JOSÉ, J. REYES. – Circle Boulevard, Suite 350, Corvallis, Oregon 973, 2011. – (NT-5 11-56).
3. ACRS Subcommittee Presentation: NuScale FSAR Chapter 19, Probabilistic Risk Assessment and Severe Accident Evaluation – Rockville: U.S. Nuclear Regulatory Commission, 2019.
4. Evaluation of Advanced Thermohydraulic System Codes for Design and Safety Analysis of Integral Type Reactors – Vienna: IAEA, 2014.
5. Broussard E. New Recommendations on Safety of SMRs from the SMR Regulators' Forum [Електронний ресурс] / Elodie Broussard // IAEA Office of Public Information and Communication. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.iaea.org/newscenter/news/new-recommendations-on-safety-of-smrs-from-the-smr-regulators-forum>
6. ADVANCES IN SMALL MODULAR REACTOR TECHNOLOGY DEVELOPMENTS / S.Bouchet, J. Luque-Gutierrez, M. Subki, F. Reitsma. – Vienna: IAEA, 2020. – (Nuclear Power Technology Development Section)

УДК 621.039

Студент 4 курсу, гр. ТЯ-91 Корольчук В.Ю.
Асист. Остапенко І.А.

ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ ПАСИВНИХ СИСТЕМ РЕАКТОРА BWRX-300

BWRX-300 — це недорогий невеликий модульний природний циркуляційний реактор із водяним охолодженням потужністю 300 МВт, створений компанією GE-Hitachi Nuclear Energy (GEN) США та GEN Японія, який використовує прості системи безпеки, керовані природними явищами. Це киплячий реактор десятого покоління (BWR) і являє собою найпростішу конструкцію BWR. Ліцензований економічний спрощений киплячий реактор (ESBWR) BWRX-300 потужністю 1520 МВт. Він призначений для забезпечення чистого, гнучкого виробництва енергії, економічно конкурентоспроможного з установками, що працюють на природному газі. Цільові програми включають виробництво електроенергії базового навантаження, виробництво електроенергії навантаження, як правило, від 50 до 100% потужності, виробництво води, централізоване опалення та інші застосування технологічного тепла.

Реактори з киплячою водою — це випробувана ядерна технологія, яка використовує звичайну легку воду як теплоносій ядерного реактора. Як і більшість реакторів з киплячою водою, BWRX-300 використовуватиме воду під низьким тиском для відведення тепла від активної зони. Особливістю конструкції цього реактора є те, що вода циркулює всередині активної зони шляхом природної циркуляції. Це на відміну від більшості ядерних реакторів, які потребують електричних насосів для активного охолодження палива. Ця система має переваги як з точки зору простоти, так і економічності.

Відразу після зупинки ядерного реактора майже 7% його попередньої робочої потужності продовжує вироблятися за рахунок розпаду продуктів ділення з коротким періодом напіврозпаду. Дану функцію виконує система ізоляційного конденсатора використовується для забезпечення охолодження палива, це пасивна система, призначена для видалення тепла після розпаду після будь-якої ізоляції та зупинки реактора під час експлуатації електроенергії. У звичайних реакторах пасивне видалення тепла розпаду є складним через низькі температури.

Для забезпечення контролю реактивності в BWRX-300 використовуються дві системи: система приводу стрижня керування.

Щоб забезпечити довгострокове відведення тепла, система охолодження та очищення паливного басейну використовується для забезпечення відведення тепла від відпрацьованого палива та забезпечення якості води під час нормальної роботи. Але в надзвичайних ситуаціях води має бути достатньо, щоб басейни не висихали.

Для забезпечення захисту від радіоактивних матеріалів використовуються три системи: первинна захисна оболонка, пасивна система охолодження захисної оболонки, система інертної захисної оболонки. Таким чином, для зберігання радіоактивних речовин необхідна первинна контейнерна оболонка. Система охолодження пасивної захисної оболонки необхідна для екстреного відводу тепла з первинної захисної оболонки. Для підтримки інертного середовища необхідна система інертної оболонки.

Звичайно даний реактор має багато переваг, але існують і недоліки. Основний недолік даної реакторної установки в тому що станція з реактором BWRX-300 одноконтурна. Станція з реактором типу BWRX-300 буде більш «брудною» у порівнянні з двоконтурною. Також система приводу стрижня керування знаходиться у днищі реактора. Тобто при важкій аварії такої як розплавлення активної зони це сприятиме пришвидшеному проплавленню корпусу. Також при важких аваріях потрібно забезпечити достатній рівень води у басейнах для нормального функціонування систем

безпеки. Звичайно переваг у реактора BWRX-300 більше, але недоліки теж потрібно брати до уваги.

Перелік посилань:

Status Report – BWRX-300 (GE Hitachi and Hitachi GE Nuclear Energy).

1. <https://nuclear.gpower.com/build-a-plant/products/nuclear-power-plants-overview/bwrx-300>
2. NEDC-33911P, “BWRX-300 Containment Performance”
3. NEDC-33910P, “BWRX-300 Reactor Pressure Vessel Isolation and Overpressure Protection”

ОБҐРУНТУВАННЯ ПАЛИВНОГО ЦИКЛУ ТА АНАЛІЗ НЕЙТРОННО-ФІЗИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АКТИВНОЇ ЗОНИ РЕАКТОРА ВВЕР-1000 ПРИ РОБОТІ НА ТЕПЛОВІЙ ПОТУЖНОСТІ 104%*ННОМ

Робота присвячена обґрунтуванню безпеки паливного циклу та аналізу нейтронно-фізичних характеристик активної зони реактора ВВЕР-1000 при роботі на тепловій потужності 104% від номінальної.

Пропонується в рамках роботи обґрунтувати паливний цикл із збереженням існуючої стратегії паливних завантажень та врахуванням номенклатури наявних в Україні ТВЗ. При виконанні розрахункового аналізу основну увагу буде приділено оцінці критеріїв безпеки, а саме, НФХ впродовж експлуатації паливних кампаній, які мають відповідати встановленим документами НП 306.2.141-2008, НП 306.2.145-2008 та СОУ НАЕК 064:2016 «Поводження з ядерним паливом. Перевантаження палива в реакторі ВВЕР-1000. Номенклатура експлуатаційних нейтронно-фізичних розрахунків та експериментів» лімітам та нормам безпечної експлуатації, а також економічній складовій енерговиробництва як активної зони в цілому, так і окремих ТВЗ [1,2 та 3].

Сама тематика підвищення потужності актуальна, оскільки дає можливість підвищити енергогенерацію в країні, використовуючи ті енергоресурси, які вже має країна, в ще більших масштабах, без необхідності добудови нових енергетичних об'єктів.

Основна робота щодо планів підвищення потужності енергоблоків відбувається у рамках проведення обґрунтування можливості експлуатації обладнання першого та другого контурів при заданих збільшених потужностях. В самій РУ зазвичай не передбачено внесення значних конструктивних змін, окрім можливих модернізацій ТВЗ, за необхідністю. Проте питання ТВЗ полягає не лише в їх конструктивних характеристиках, які дають достатній запас міцності для роботи на підвищеній потужності. Тут стає питання і паливних циклів.

Зараз в Україні майже повністю завершено перший етап програми НАЕК «Енергоатом» про «Підвищення дозволеної теплової потужності реакторів діючих енергоблоків ВП АЕС з ВВЕР-1000 (В-320) за рахунок підвищення точності визначення теплової потужності реактора і точності її підтримання», який передбачав підвищення потужності до 101,5%. А 104% є другим етапом розвитку цієї програми.

Враховуючи номенклатуру наявних в Україні ТВЗ можна виділити три типи ТВЗ, що експлуатуються. Це ТВЗ-А від Російської компанії ТВЕЛ, ТВЗ від компанії Westinghouse, на які наразі повністю, або частково вже перейшли наші АЕС, в рамках задачі по диверсифікації постачання ядерного палива в Україну, які в свою чергу також поділяються на 2 типи: ТВЗ типу WFA (Westinghouse Fuel Assembly) та ТВЗ типу RWFA (Robust Westinghouse Fuel Assembly).

Однак, розглядання їх усіх є недоцільним. Тому що планувалося планомірно зменшувати обсяг закупівлі ТВЗ-А у Росії, а події останніх місяців призвели до повного розриву будь-яких торгівельно-економічних, або культурно-політичних зв'язків, через що подальше використання таких ТВЗ не планується. ТВЗ типу WFA є лише першою версією адаптування палива компанії Westinghouse до Українського ринку і також не розглядається, через виявлені в ході їх експлуатації на другому та третьому енергоблоках ПУАЕС, та наявність ТВЗ типу RWFA, що є удосконаленою версією ТВЗ типу WFA, в якій були усунені відповідні недоліки.

Розглядаючи роль конструкції ТВЗ на паливні цикли потрібно зазначити, що збільшення потужності тягне за собою і збільшення швидкості вигорання палива. Тобто є необхідність врахування конструктивних особливостей для забезпечення збільшення

потужності та забезпечення відповідних паливних циклів.

В ТВЗ від Westinghouse забезпечення прийнятних економічних показників, при роботі на підвищеній потужності, досягається збільшенням кількості палива в ТВЗ. При цьому їх ТВЗ має шестикутний поперечний перетин, як і ТВС-А, і 312 ТВЕЛів. Але, якщо їх порівнювати, то в WFA використовують паливну таблетку без центрального отвору, при цьому зовнішній діаметр таблетки було збільшено із 7,57 мм до 7,84 мм, внутрішній діаметр оболонки ТВЕЛ з 7,73 мм до 8,00 мм, зовнішній діаметр оболонки ТВЕЛ з 9,1 мм до 9,14 мм. Висота паливного стовпа залишилась такою самою [4,5].

Таке нововведення, як підвищення кількості палива в ТВЗ, в теорії, може забезпечити економічну вигідність цього нововведення, за рахунок, збільшення теплової потужності, але при умові збереження терміну експлуатації ТВЗ не менше ніж нині використовуваний. Проте, для точної оцінки ситуації необхідне дослідження із проведенням детального розрахункового аналізу.

Тобто, маємо один із методів – це збільшення палива шляхом прибирання центрального отвору. Хоча у рамках цієї теми хочеться згадати і Російські ТВЗ-2М, в яких це досягається збільшенням на 150мм висоти паливного стовпа, та встановленням турболізаторів потоку, для зривання парової плівки із поверхні ТВЕЛів. Для цих ТВЗ Російськими ж спеціалістами вже проводилися роботи щодо обґрунтування використання цих ТВЗ при потужності 107-110% від номінальної [6].

Отже, на сьогоднішній час ведуться активні роботи щодо підвищення експлуатаційної потужності Українських енергоблоків. І при цьому, в цій об'ємній для вивчення темі, що включає у себе внесення конструктивних змін в обладнання першого та другого контурів, потрібно звертати увагу не лише на обґрунтування характеристик міцності та конструктивну можливість використання того чи іншого обладнання на підвищеному рівні теплової потужності, а і на паливні цикли. Оскільки збільшення потужності впливає і на швидкість вигорання палива, виникає необхідність обґрунтування можливості ТВЗ, що використовуються, забезпечити прийнятні характеристики паливного циклу, від якого залежить економічне обґрунтування доцільності проведення робіт із підвищення потужності енергоблоків.

Перелік посилань:

1. НП 306.2.141-2008 «Загальні положення безпеки атомних станцій» / Державний комітет ядерного регулювання України, 2008.
2. НП 306.2.145-2008 «Правила ядерної безпеки реакторних установок атомних станцій із реакторами з водою під тиском» / Державний комітет ядерного регулювання України, 2008.
3. СОУ НАЕК 064:2016 «Поводження з ядерним паливом. Перевантаження палива в реакторі ВВЕР-1000. Номенклатура експлуатаційних нейтронно-фізичних розрахунків та експериментів» / Національна атомна енергогенеруюча компанія «Енергоатом», 2016.
4. Dye M. Enhanced Westinghouse WWER-1000 Fuel Design for Ukraine Reactors / M. Dye, H. Shah – Columbia, USA: Westinghouse Electric Company LLC, 2018.
5. Воробйов Ю.Ю. Теплогидравлічний аналіз безпеки змішаних паливних завантажень для АЕС України з реакторами ВВЕР-1000 / Ю.Ю. Воробйов, А.В. Носовський, О.С. Погонєць, І.А. Шевченко – К.: Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки, 2015. – 9 с.
6. Драгунов Ю.Г. Разработка и внедрение ТВС-2М для перспективных топливных циклов / Ю.Г. Драгунов. – Т.: Атомная энергия, 2005. – 432-437 с.

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

ОЦІНКА СТАНУ БІОЛОГІЧНОГО ЗАХИСТУ ЗОНИ ПАТРУБКІВ РЕАКТОРНОЇ УСТАНОВКИ ЕНЕРГОБЛОКУ 5 ЗАЕС, З МЕТОЮ ПРОДОВЖЕННЯ ТЕРМІНУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Радіаційна обстановка в обслуговуваних приміщеннях атомної електричної станції, розташованих поблизу реактора визначається проникаючим гамма-випромінюванням і випромінюванням нейтронів з активної зони реактора. Вивчення особливостей формування радіаційної обстановки в експлуатації енергоблоку № 5 Запорізької АЕС (далі – ЗАЕС) для оцінки радіаційної обстановки дозволить перевірити ефективність біологічного захисту реакторної установки від гамма-нейтронних полів. Мета роботи полягає у тому, щоб сформулювати висновок про можливість продовження терміну експлуатації біологічного захисту (далі – БЗ) зони патрубків реакторної установки енергоблоку № 5 ЗАЕС для забезпечення надійної і безпечної експлуатації біологічного захисту в понад-проектний термін енергоблоку № 5 ЗАЕС.

Робота виконана шляхом адаптації результатів звітної документації, що стосується визначення ефективності та перепризначення терміну експлуатації біологічного захисту енергоблоків № 1-4 ЗАЕС. Це пов'язано з наступним:

- енергоблоки ВВЕР-1000 ЗАЕС №1-5 однотипні;
- елементи БЗ експлуатувалися без виникнення аварійних ситуацій;
- склад матеріалів блоків БЗ енергоблоків №1-5 ЗАЕС практично однаковий.

Дослідження включає чотири послідовних кроків:

Крок 1 – оцінка технічного стану елементів біологічного захисту;

Крок 2 – аналіз технічної документації;

Крок 3 – рекурсивний аналіз радіаційної обстановки на енергоблоці №5 ЗАЕС;

Крок 4 – розрахунок залишкового ресурсу та оцінка можливості продовження експлуатації елементів біологічного захисту енергоблока №5 ЗАЕС.

На першому кроці встановлено параметри технічного стану. Залежно від конструкції, стану матеріалів захисту та умов експлуатації параметри, що визначають виконання функцій біологічного захисту, поділяються на такі групи:

–група параметрів технічного стану, що визначає конструктивну цілісність БЗ зони патрубків. Основним параметром є об'ємна вага бетону елементів БЗ;

–група параметрів технічного стану, яка визначає ефективність захисту від нейтронного випромінювання – концентрація ядер бору у матеріалі БЗ;

–група параметрів технічного стану БЗ, що визначає ефективність захисту від гамма-випромінювання. Аналіз технічного стану проводиться на підставі даних показників ПЕД гамма-випромінювання.

Також на цьому кроці було здійснено вибір та обґрунтування критерію успішності розрахункового обґрунтування продовження терміну експлуатації біологічного захисту зони патрубків – відповідність / невідповідність значень виміряних рівнів ПЕД у зоні патрубків, встановлених вимогами технічної документації. Як критерій відповідності рівнів ПЕД активаційного походження в зоні патрубків є не перевищення розрахункових значень величини 10 мЗв/год.

На другому кроці в результаті аналізу технічної документації встановлено, що:

- для елементів БЗ відсутні процеси старіння, що інтенсивно протікають;
- конструктивна схема та види матеріалів конструкцій відповідають проектним та нормативним вимогам;
- відмов внутрішніх конструкцій РВ та елементів біологічного захисту не

зафіксовано;

–регулярно проводиться контроль радіологічної обстановки на обладнанні та у приміщеннях блоку.

Таким чином, технічний стан елементів біологічного захисту зони патрубків можна класифікувати як задовільний.

Третій крок даної роботи – виконано рекурсивний аналіз зміни радіаційної обстановки на енергоблоці № 5 ЗАЕС для оцінки ступеня деградації елементів біологічного захисту протягом періоду експлуатації та дозволяє оцінити закономірності розвитку радіаційної обстановки на енергоблоці та прогнозувати зміну параметрів БЗ. Вихідними для проведення рекурсивного аналізу є відомості про динаміку зміни радіаційної обстановки на енергоблоці за попередні 10 років експлуатації. На рисунках 1 та 2 наведено розраховані залежності ПЕД у часі в точках підведення «гарячого» та «холодного» колекторів у приміщеннях ГО.

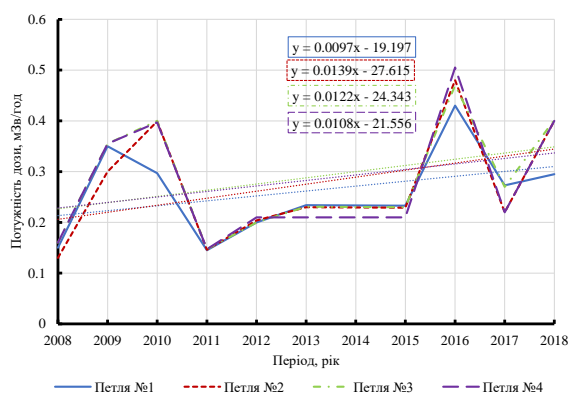


Рисунок 1 – Тренди зміни ПЕД в часі для характерної точки 1 (патрубки «гарячої» лінії)

Рисунок 2 – Тренди зміни ПЕД в часі для характерної точки 2 (патрубки «холодної» лінії)

Результати розрахунку залишкового ресурсу елементів БЗ зони патрубків реактора, які були отримані на четвертому кроці дослідження, представлені таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати розрахунку залишкового ресурсу елементів біологічного захисту зони патрубків реактора

Елемент	Фактичне середнє значення параметра		Швидкість зміни параметра (в рік)		Оцінка залишкового ресурсу Точка 1 та 2
	Точка 1	Точка 2	Точка 1	Точка 2	
Петля 1	0,26	0,23	0,010	0,004	Не менше 50 років
Петля 2	0,27	0,24	0,014	0,009	Не менше 50 років
Петля 3	0,29	0,25	0,012	0,006	Не менше 50 років
Петля 4	0,28	0,25	0,011	0,006	Не менше 50 років

Результати виконаної оцінки технічного стану дозволяють рекомендувати продовження терміну експлуатації енергоблока №5 Запорізької АЕС на надпроектний період до 50 років. Експлуатація елементів біологічного захисту зони патрубків реактора допускається у проектному режимі без обмежень.

Перелік посилань:

1. Норми радіаційної безпеки України; доповнення: Радіаційний захист від джерел потенційного опромінення : затв. постановою Головного державного санітарного лікаря України від 12.07.2000 р. № 116. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0116488-00> (дата звернення: 24.05.2022).

2. Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку : Закон України від 08.02.1995 р. № 39/95-ВР. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/39/95> (дата звернення: 24.05.2022).

МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМ АВАРІЙНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ АКТИВНОЇ ЗОНИ З МЕТОЮ БЕЗПЕЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Використання ядерної енергії в сучасному світі знаходиться на високому рівні, саме через це до атомних станцій висувуються високі вимоги щодо їх надійності і безпечної експлуатації. Найбільша увага приділяється системам важливим для безпеки. Тому варто розглянути яким чином можна модернізувати систему аварійного охолодження активної зони з метою підвищення безпеки експлуатації атомних станцій.

Модернізація САОЗ ВТ необхідна для того, щоб мати можливість керувати тиском на напорі при роботі насосу цієї системи на перший контур. Можливість управління тиском і витратою теплоносія дозволить більш ефективно реагувати на перехідні процеси, що відбуваються на АЕС. Для цього на напірній магістралі САОЗ ВТ можна встановити додаткові регулятори [1]. Для коректної роботи таких регуляторів необхідно їх налаштувати, враховуючи зміни теплогідродинамічних параметрів. Подібним чином можна модернізувати САОЗ НТ, встановивши додаткові регулятори на лінії напору, проте така модернізація системи може призвести до автоколивальних режимів і потребує детальних розрахунків.

Підвищити ефективність системи аварійного охолодження активної зони можна завдяки можливості регулювання подачі охолоджуючої рідини до першого контуру реакторної установки [2]. Цього можна досягти завдяки використанню запірно-регулюючого клапану, що дозволить контролювати запас до температури насичення на виході з активної зони і для підтримки необхідного тиску в першому контурі. Це дозволить підвищити надійність і ефективність керування витратою систем аварійного охолодження активної зони високого і низького тиску. Для того, щоб такі регулюючі клапани ефективно виконували свої функції, необхідно проводити їх налаштування, враховуючи швидкість переміщення такого клапану на напірній лінії системи аварійного охолодження високого тиску.

Для систем аварійного охолодження активної зони проводилась порівняльна імовірнісна оцінка надійності [3]. Порівнювались активні частини системи аварійного охолодження високого і низького тисків. За допомогою цього порівняння розглядалися надійності систем, враховуючи що система аварійного охолодження низького тиску використовується як багатофункціональна. При цьому було запропоновано залучати ці системи до нормальної експлуатації. Порівняльна оцінка дозволила зрозуміти, що використання цих систем при нормальній експлуатації не має серйозного впливу на надійність і дозволяє помітити приховані відмови елементів систем аварійного охолодження активної зони, які можуть виникнути в режимі очікування.

Підвищити безпеку експлуатації систем аварійного охолодження активної зони можна завдяки проектним змінам і модернізації обладнання для автоматизованого управління підживленням першого контуру. Розхолоджувати реакторну установку при перехідних процесах можна завдяки послідовному відключенні чи переведенні на рециркуляцію насосів системи аварійного охолодження активної зони високого тиску, при цьому буде створюватись запас до температури насичення над активною зоною. Регулювання параметрів може здійснюватися одночасно для декількох працюючих насосів, завдяки цьому буде забезпечуватись плавність регулювання.

Для системи аварійного охолодження активної зони енергоблоків Хмельницької атомної електричної станції не передбачено алгоритмом управління системою можливості керування витратою на напорі насосів аварійного охолодження низького тиску при роботі системи на перший контур. Через це доводиться використовувати запірну арматуру, що

встановлена на напорі насосів у герметичному об'ємі. Це може бути причиною помилкових дій персоналу, оскільки використання запірної арматури у якості регулюючої не допускається. Також розміщення такої арматури в герметичному об'ємі ускладнює частий доступ до неї у випадках теч першого контуру. Для того аби мати можливість керувати витратою при роботі насосу аварійного розхолодження на перший контур при роботі насосу аварійного розхолодження системи аварійного охолодження активної зони при роботі насосів на перший контур на першому, другому і третьому каналах САОЗ НТ енергоблоку №2 ВП ХАЕС були встановлені клапани типу «Диск». Такі клапани встановлюються на напірних трубопроводах насосів аварійного розхолодження в приміщеннях поза гермооб'ємом для вільного доступу до них. Такими клапанами можна здійснювати дистанційно з блочного щита управління і резервного щита управління.

Модернізацію системи необхідно виконувати відповідно до вимог нормативних документів, що діяли на момент розробки проекту і задовольняє вимоги нормативних документів, які діють на даний час. При проведенні такої модернізації в усіх випадках здійснюватиметься подача охолодженої води в активну зону з необхідними витратами. При цьому система залишається працездатною як під час аварійних ситуацій, так і в післяаварійний період, тобто протягом усього часу доки паливо знаходиться в активній зоні. Система аварійного охолодження активної зони низького тиску з встановленими клапанами типу «Диск» при зниженні тиску в першому контурі до 21 кгс/см^2 дозволяє подати воду в перший контур за час, що не перевищує 40 секунд.

Важливим елементом надійності системи є можливість виводу в ремонт елементів одного з каналів при роботі енергоблоку на потужності і можливість періодичного випробування окремих елементів системи не порушуючи умов нормальної експлуатації.

Також при зниженні тиску в першому контурі до 21 кгс/см^2 система аварійного охолодження активної зони низького тиску дозволяє забезпечувати подачу $230 \text{ м}^3/\text{год}$, а при тиску в першому контурі нижче 1 кгс/см^2 забезпечувати подачу не менше $750 \text{ м}^3/\text{год}$.

Установка таких клапанів у ВП РАЕС мала позитивний досвід експлуатації, тому встановлення таких клапанів у ВП ХАЕС дозволить мати можливість керувати витратою на напорі при роботі насосів на перший контур. В персоналу, у разі необхідності, буде можливість ефективно управляти напірними характеристиками системи аварійного охолодження активної зони і тиском першого контуру. При цьому підвищиться надійність виконання функцій безпеки каналами системи аварійного охолодження активної зони низького тиску.

Перелік посилань:

1. А. А. Ключников, В. И. Скалозубов, А. В. Шавлаков. Коментарі до комплексної програми підвищення безпеки енергоблоків АЕС України.

URL: <http://dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/112899/06-Klychnykov.pdf?sequence=1>.

2. . Комаров Ю.А. Узагальнений ризик-орієнтований підхід для підвищення безпеки і ефективності експлуатації атомних електростанцій//Universum: Технічні науки: електрон. Наук. Журн. 2014. №4(5). URL: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/1260>.

3. Михаличева Е. А. 1, Сафонов П. В. 1, Лукашевич Ю. А. Порівняльна імовірнісна оцінка надійності систем охолодження активної зони високого і низького тиску. Збірник тез доповідей 15-ї Міжнародної науково-практичної конференції з атомної енергетики. 2019. С. 20–22.

4. Балакан Г. Стратегія керування витратами від насосів САОЗ ВД при аварійному підживленні першого контура РУ ВВЕР. URL: <https://.linkedin.com/pulse/стратегія-керування-витратами-від-насосів-саоз-вт-георгій-балакан>.

5. Хмельницька АЕС. Енергоблок №2. Модернізація САОЗ НТ для забезпечення можливості керування витратою при роботі насосу системи на перший контур. Установка регулюючих клапанів.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПІДХОДІВ ДО КВАЛІФІКАЦІЇ ОБЛАДНАННЯ АЕС, ЩО МОЖЕ БУТИ ЗАЛУЧЕНЕ ДО УПРАВЛІННЯ ВАЖКИМИ АВАРІЯМИ

Згідно з рекомендаціями Міжнародного агентства з атомної енергії (МАГАТЕ) процес кваліфікації обладнання (КО) є складовою загальної системи забезпечення безпеки діючих АЕС. КО енергоблоків АЕС є регулюючою вимогою для підтвердження спроможності систем та елементів, важливих для безпеки, виконувати свої функції як за нормальної експлуатації, так і у разі сейсмічних впливів та «жорстких» умов навколишнього середовища (ЖУ) під час можливих перехідних процесів і аварійних ситуацій із урахуванням погіршення стану обладнання внаслідок старіння. Необхідність виконання КО енергоблоків АЕС України встановлена у затвердженій Кабінетом Міністрів України «Комплексній (зведеній) програмі підвищення рівня безпеки енергоблоків атомних електростанцій» (К(з)ППБ). Організаційно-технічні заходи К(з)ППБ охоплюють як виконання робіт з КО на умови проектних аварій (заходи №№ 10101, 20101, 30101), так і необхідність оцінки стану КО на ЖУ, які можуть мати місце в процесі та після важких аварій (заходи №№ 10102, 20102, 30102).

В роботі проводиться дослідження прийнятих в Україні підходів та вимог, що регламентують діяльність щодо КО енергоблоків АЕС, важливого для безпеки, на умови аварій, включно з важкими. Розглянуто затверджені в Україні нормативно-правові акти (НПА), а також програмні, методичні документи та стандарти експлуатуючої організації з метою поглибленого аналізу наявних регулюючих вимог та методологічних підходів щодо КО АЕС України на ЖУ (включно з важкими).

Виконаний аналіз показав, що наразі діючі в Україні норми, правила і стандарти з ядерної та радіаційної безпеки (ЯРБ) містять лише загальні вимоги стосовно КО на ЖУ проектних аварій. Наявні вимоги до діяльності з КО енергоблоків АЕС на ЖУ проектних аварій у нормативній базі України з ЯРБ обмежуються лише окремими положеннями, які загалом указують на необхідність її організації. Методологічний підхід щодо встановлення КО на ЖУ рівня проектних аварій в Україні регламентується на рівні керівних документів експлуатуючої організації. Водночас стосовно установа/підвищення КО на ЖУ рівня запроектованих (зокрема – важких) аварій регулюючі вимоги норм, правил і стандартів з ЯРБ, а також програмні, методичні документи і стандарти експлуатуючої організації щодо виконання необхідних організаційно-технічних заходів наразі відсутні. Питання КО на умови аварій вище проектного рівня у наявних в Україні нормативних, програмних та методичних документах не розглядається.

Також в роботі наводяться результати аналізу поточного стану робіт з КО на енергоблоках АЕС України. Так, практичні заходи з КО на ЖУ проектних аварій виконуються на енергоблоках АЕС України відповідно до чинних у галузі програмних і методичних документів та вимог норм і правил стандартів з ЯРБ відповідно зі строками Плану-Графіка виконання заходів №№ 10101, 20101, 30101 К(з)ППБ. На сьогоднішній день для 14 з 15 енергоблоків діючих АЕС завершені роботи з КО на ЖУ, що можуть виникнути під час та після проектних аварій. Для енергоблока № 6 Запорізької АЕС ці роботи в стадії виконання. Також на сьогоднішній день в Україні розпочато діяльність з КО на ЖУ для умов важких аварій. В межах цих робіт експлуатуючою організацією розроблено та погоджено з Держатомрегулюванням галузеве Концептуальне рішення, яке визначає підходи та обсяг діяльності з КО, а також типовий Перелік обладнання, що потребує кваліфікації на умови ВА важких аварій. Під час розробки цього Переліку враховані роботи з реалізації процедур FLEX та заходів К(з)ППБ, які передбачають розробку і впровадження низки додаткових систем для збереження цілісності захисної оболонки системи

герметичного огороження реакторної установки під час важких аварій. Втім, зазначене вище Концептуальне рішення містить лише загальні підходи до КО на ЖУ важких аварій. Методичні та процедурні аспекти щодо встановлення КО на ЖУ рівня важких аварій у Концептуальному рішенні відсутні, що стримує проведення експлуатуючою організацією подальшої діяльності з КО на ЖУ важких аварій.

З огляду на це, розробка детальних методологічних підходів, які б охоплювали організаційно-технічні та процедурні аспекти з питань КО енергоблоків АЕС України на ЖУ запроектованих (включно з важкими) аварій, є актуальним завданням. Фундаментом таких підходів мають стати наявні результати сучасних наукових досліджень, досвід та практика діяльності з КО передових країн світу та рекомендації провідних міжнародних організацій, зокрема – МАГАТЕ.

Перелік посилань:

1. Комплексній (зведеній) програмі підвищення рівня безпеки енергоблоків атомних електростанцій» (К(з)ППБ).
2. НП 306.1.02/1-034 "Загальні положення забезпечення безпеки атомних станцій".

ЗНЯТТЯ З ЕКСПЛУАТАЦІЇ АЕС УКРАЇНИ. ПРОГНОЗНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ТИПІВ І КІЛЬКОСТІ РАВ НА ОКРЕМИХ ЕТАПАХ ЗНЯТТЯ З ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Радіоактивність – це природне явище, яке не виключає наявності в навколишньому середовищі природних джерел випромінювання. Іонізуюче випромінювання і радіоактивні речовини з користю використовуються в великій кількості сфер діяльності людини – від генерації енергії до використання в медицині, промисловості і сільському господарстві. В результаті їх використання існує негативний вплив на працівників, населення і навколишнє середовище. Отож, оцінка радіаційних ризиків важлива і повинна у випадку необхідності підлягати до періодичного контролю. Тому такі види діяльності, як експлуатація ядерних установок, виробництво, перевезення і використання радіоактивних матеріалів (РМ) та поводження із радіоактивними відходами (РАВ), медичне та промислове використання радіації повинні здійснюватись відповідно до норм безпеки.

Регулюванням питань безпеки займаються країни-власники установок із вмістом РМ, глобальний же режим ядерної безпеки постійно вдосконалюється та регулюється МАГАТЕ. Головну роль в глобальному режимі грають норми безпеки МАГАТЕ [1], які підтримують здійснення наявних міжнародних договірно-правових документів і функціонування національних інфраструктур безпеки.

Зняття з експлуатації (ЗЕ) є останнім етапом управління життєвим циклом ядерної установки (ЯУ). На сьогодні або в найближчому майбутньому буде виведено велику кількість об'єктів, у тому числі атомні електричні станції (АЕС). ЗЕ цих об'єктів потребує адекватної оцінки безпеки відповідно до чинних вимог [2] із застосуванням критеріїв безпеки.

Вимоги [3,4] вказують на необхідність розгляду процесу ЗЕ ще на стадії проектування АЕС. Кінцевим етапом ЗЕ АЕС є демонтаж при якому відбувається руйнування захисних бар'єрів реакторної установки (РУ). Без прийняття відповідних заходів безпеки [5] цей процес може призвести до опромінення персоналу, який проводить демонтажні роботи, а також до виходу радіоактивних продуктів поділу ядерного палива у вигляді радіоактивних відходів (РАВ) за межі майданчика АЕС з небажаними наслідками для навколишнього середовища.

Звідси у даній роботі пропонується до розгляду прогнозне визначення типів і кількості РАВ на окремих етапах ЗЕ. Це дозволить заздалегідь визначити обсяги робіт із ЗЕ, необхідні організаційні та технічні заходи, кількість обладнання й працівників та що найголовніше – певну кількість і типи РАВ, які будуть сформовані при ЗЕ для кінцевого захоронення та переробки.

Загальна кількість відходів при ЗЕ енергоблоку залежить від кінцевого стану установки, яку знімають з експлуатації (повне знесення споруд і конструкцій, демонтаж тільки обладнання реакторного відділення), варіанту виведення (негайний або відкладений демонтаж). У випадку повного знесення споруд і конструкцій блоків АЕС можуть утворюватися сотні тисяч тон відходів різних матеріалів.

РАВ що утворюються при ЗЕ блоку мають суттєві відмінності від РАВ що утворюються при нормальній експлуатації станції. Основні відмінності полягають в наступному: значна кількість відходів що утворюється за короткий проміжок час; нова масова й ізотопна структура РАВ, яка виникла внаслідок активації конструкційних і будівельних матеріалів; наявність радіонуклідів з дуже великим періодом напіврозпаду; наявність значної кількості низько енергетичних бета- і рентгенівських випромінювань; наявність великої долі матеріалів, активність яких припускає можливість їх необмеженого повторного використання після дезактивації.

Визначення кількості та типів РАВ планується проводити на базі майданчика

Рівненської АЕС, оскільки згідно [6] вичерпання терміну ліцензії на експлуатацію очікує енергоблок №1 із РУ ВВЕР-440/213 наприкінці 2030 року.

Проведення дослідження полягає у розгляді ЗЕ системи САОЗ низького тиску, яка на пряму контактує із теплоносієм першого контуру, залученням при розхолодженні РУ з наступним довготривалим відведенням залишкових тепловиділень від активної зони при планових або аварійних зупинках енергоблоку. Основною перевагою саме такого вибору являється вміст її технологічного обладнання, що дасть змогу отримати найбільш представницькі результати в плані різноманітності типів РАВ на виході.

Розрахунок базуватиметься на вже відомих принципах утворення та переробки РАВ, які реалізовані на майданчику РАЕС [7]. Знаючи характеристики обладнання системи, ефективність виробничих потужностей по переробці РАВ та типів і приблизної кількості РАВ на кожному етапі ЗЕ, можна спрогнозувати їх утворення.

Такого плану роботи проводитимуться вперше, на що вказує аналіз наявного законодавства із діяльності ЗЕ [6]. Тому, актуальність даної теми полягає у завчасному визначенні обсягів створення РАВ для подальшого планування діяльності по захороненню і витримці РАВ (визначення площі й кількості спеціалізованих сховищ), розрахунках необхідного матеріального забезпечення та кількості залученого персоналу.

Перелік посилань:

1. IAEA, Safety Fundamentals No. SF-1, Fundamental Safety Principles
2. IAEA, Safety Standards Series No. GSR Part 6, Decommissioning of Facilities
3. IAEA, Safety Guide №WS-G-5.2, Safety Assessment for the Decommissioning of Facilities Using Radioactive Material
4. Про затвердження Загальних положень безпеки зняття з експлуатації ядерних установок”: наказ Державної інспекції ядерного регулювання України від 28.10.2020 N 440
5. Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку: Закон України від 01.01.2022 р. 39/95-ВР
6. Про затвердження Концепції зняття з експлуатації діючих атомних електростанцій України: наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 10.12.2015 р. N 798
7. Міністерство енергетики і вугільної промисловості України Державне підприємство «Національна атомна енергогенеруюча компанія «Енергоатом», Поводження з радіоактивними відходами при експлуатації АЕС ДП «НАЕК «Енергоатом» від 31.12.2018 р.

ПРОЦЕДУРА АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИБОРУ ПРЕДСТАВНИЦЬКИХ СЦЕНАРІЇВ ДЛЯ ДЕТАЛЬНОГО АНАЛІЗУ МІЦНОСТІ

В даному додатку наведені основні відомості щодо алгоритму вибору представницьких аварійних сценаріїв для подальшого аналізу на міцність відповідних елементів обладнання. Основною метою розробки даної процедури є уникнення впливу «експертної» невизначеності при аналізі теплогідрравлічних параметрів. Реалізована гнучкість налаштувань дає можливість суттєво оптимізувати аналіз масиву даних (раніше вибір відбувався здебільшого у графічному представленні), а також об'єктивно визначити достатній набір режимів для конкретної групи із переліку аварійних сценаріїв. Додаткові реалізовані опції, а також закладений потенціал процедури дозволить суттєво спростити взаємодії між спеціалістами теплогідрравлічного та міцнісного профілю.

Розрахункова процедура складається із декількох модулів: розрахункова частина, модуль пре/пост процесінгу. Все це поєднано в простому користувацькому інтерфейсі, який дозволяє комбінувати різні параметри, які можуть бути визначальними при аналізі теплогідрравлічних даних. Схематизація розрахункової процедури наведена на Рис. 1.

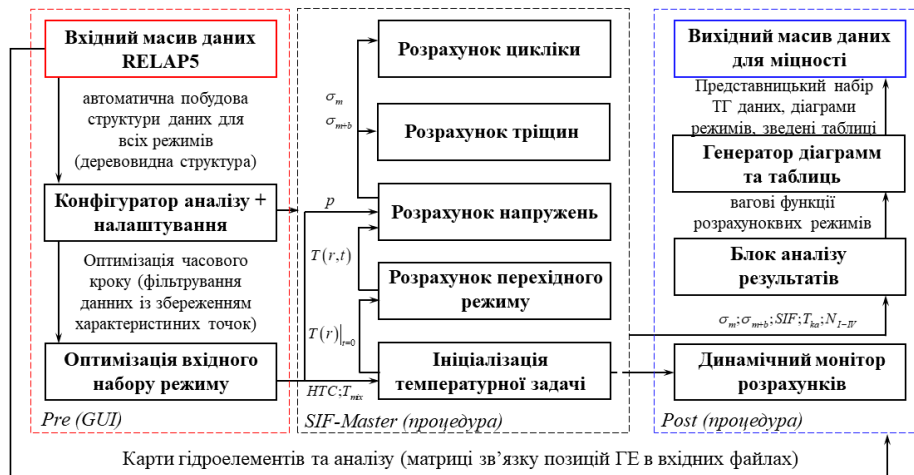


Рисунок. 1 – Схематизація розрахункової процедури

Розрахунковий модуль складається з двох частин – теплової задачі та оцінки характеристик міцності, а саме параметрів напруженого стану, параметрів розрахунку на опір крихкому руйнуванню, а також характеристики для циклічної міцності. Самі по собі температури та напруження є лише вихідними даними для різних типів розрахунків. Оскільки ключовою метою процедури є визначення найбільш характерних режимів для певного типу розрахунку, необхідно звести розраховані температури та напруження до критеріїв, за якими об'єктивним чином можна визначити представницьку вибірку сценаріїв, що аналізуються. Оскільки процедура призначена для вибору найбільш характерних режимів при оцінці статичної, циклічної міцності та опору крихкому руйнуванню, тому цілком логічним є використання у якості критеріїв, параметрів розрахунок яких вимагається відповідними нормами [1]. Параметри, досяжність мінімальних або максимальних значень яких є орієнтиром для прийняття рішення щодо вибору режиму зведено до Табл.1. Фактично наведені в Табл. 1. параметри є основними результатами, які отримуються на виході із розрахункового модулю для подальшої постобробки. Для визначення достатньої кількості режимів для подальшого аналізу міцності реалізований наступний підхід.

Таблиця 1 - Критерії міцності

Тип розрахунку	Параметр	Позначення
Статична міцність	Приведені напруження	σ_m та σ_{m+b}
Циклічна міцність	Допустима кількість циклів	N_0
Опір крихкому руйнуванню	КІН та допустима температура крихкості	T_{Ka} та K_I

У першому наближенні кількість представницьких режимів обирається на основі простого «вагового» співвідношення, яке базується на лінійному аналізі (1). Запропонований спосіб означає, що сума «вагів» представницьких режимів є не меншою ніж та, яка відкидається і регулюється параметром ω , який не залежить від значення **Par** і приймається константою в межах від 0.0 (не включно) до 1.0.

$$\int_1^{N_d} Par(n) \cdot dn \cong \omega \cdot \int_1^N Par(n) \cdot dn \quad (1)$$

де, N – загальна кількість режимів, які аналізуються для даної групи та елементів обладнання (Рис.2).

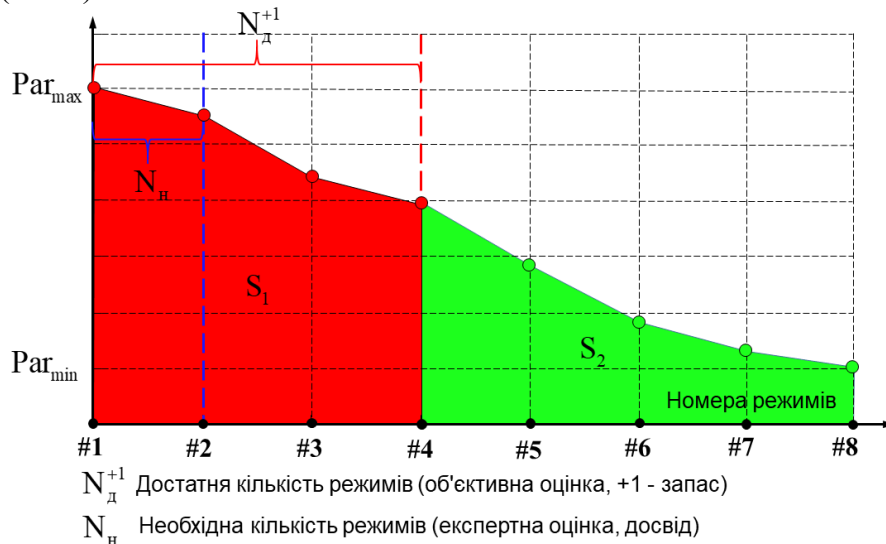


Рисунок. 2 – Відсортовані результати розрахунку для конкретної групи режимів

Для того, щоб гарантовано виконувалася умова (1) до отриманої достатньої кількості режимів N_d додається один режим з права, який є граничним. Таким чином на основі цільових параметрів вдається оцінити верхню межу (достатню кількість) кількості режимів, які є представницькими для даного типу аналізу та елементу обладнання. На основі отриманих результатів, інженер має змогу опираючись на свій досвід обрати необхідну кількість режимів N_n із сформованого представницького списку N_d^{+1} , які аналізуються в подальшому при аналізі міцності. За результатами розрахунків процедура генерує графічну інформацію в якій представлені об'єктивні критерії вибору, а також передбачені можливості безпосередньої автоматичної підготовки вхідних наборів для подальшого аналізу міцності (в переважній більшості для простих елементів обладнання, такі як ПГ поки що не уніфіковані в рамках процедури). В цілому потенціал, який закладений в процедуру дозволить суттєво розширити можливості її використання для РУ в цілому (в даному випадку лише для першого контуру) шляхом введення додаткових інструментів та врахування досвіду застосування, включаючи державні експертизи.

Перелік посилань:

1. ПНАЭ Г 7-002-86 Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. 1989.

ОЦІНКА РЕАКТИВНОГО ВПЛИВУ ПІД ЧАС РОЗРИВУ ДІЛЯНКИ ГЦТ ПОВНИМ ПЕРЕРІЗОМ

За останні п'ятдесят років експлуатації енергоблоків з легководними реакторами великої встановленої потужності було накопичено значний промисловий досвід, що виявив різні чинники і механізми, які призводять до руйнування трубопроводів під високим тиском. Згідно з [1] до таких відносять трубопровідні системи, що перебувають за нормальних умов експлуатації під тиском понад 2МПа і температурою середовища вище 100°C.

Ймовірне руйнування таких трубопроводів і наслідки таких відмов для суміжних систем враховуються під час проєктування всіх сучасних ядерних енергетичних установок з водою під тиском [2]. При цьому, одним із важливих аспектів такого аналізу є оцінка сили реакції або віддачі струменя, що створюється в результаті надшвидкого витікання теплоносія [3]. Як представницьке завдання, в роботі було виконано оцінку реактивної сили, що виникає під час розриву повним перерізом трубопроводу гарячої нитки ядерного реактора ВВЕР-1000 на номінальному рівні потужності.

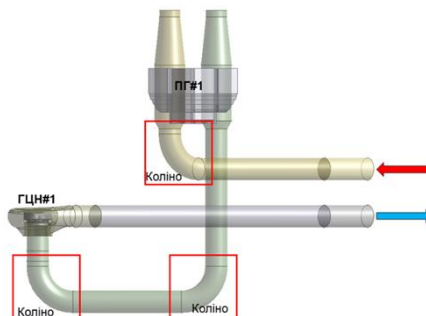


Рисунок 1 - Схема циркуляційної петлі ВВЕР-1000 (схематизація без прив'язки до конкретної серії)

Для обраної ділянки нитки було підготовлено еквівалентну гідравлічну схему, за якою складено детальну нодалізацію для представлення набором вхідних даних для системного коду RELAP 5 MOD3.3. Потім виконувався розрахунок перехідного режиму для двох варіантів початкового напрямку руху середовища відносно прийнятого місця розриву - «в течію» та «від течії» та заданих різних початкових і граничних умов, де величина і характеристика реактивної сили визначалася аналітично на кожному ітераційному кроці.

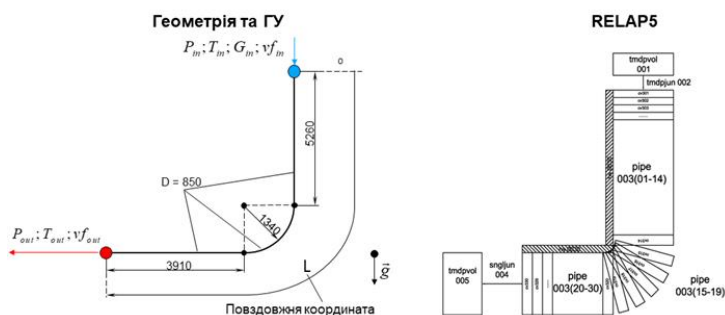


Рисунок 2 - Еквівалентна ТГ і нодалізаційна схема для системного коду.

Інженерна оцінка зводилася до обчислення повної динамічної сили $F_r(L)$ і відповідного коефіцієнта $K[F_r(L)]$. Перша являє собою суму реактивної та статичної складових:

$$F_r(L) = G \times \max[w_f(L); w_g(L)] + (P(L) - P_{env}) \times A,$$

а коефіцієнт
$$K_d[F_r(L)] \approx \frac{F_r(L)}{(P_{in} - P_{env}) \times A}$$

Застосування параметру K_d є досить універсальним, оскільки в першому наближенні дозволяє позбутися явної залежності від тиску, тим самим охопити більшу кількість початкових станів, або режимних параметрів. Зміна динамічного коефіцієнту у часі наведена на рисунку нижче

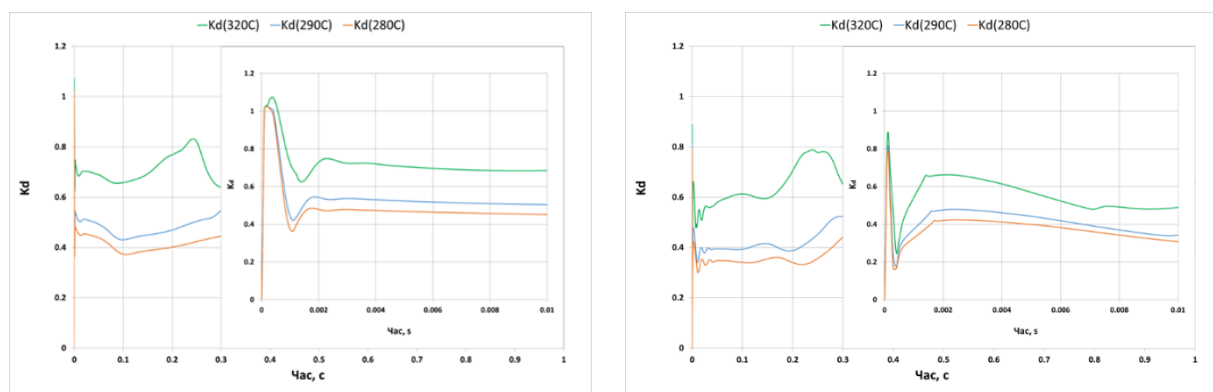


Рисунок 3 - Зміна коефіцієнту динамічної сили у часі в залежності від опорної температури та початкового напрямку руху теплоносія: «в течію» (ліворуч) та «від течії» (праворуч).

Максимальна безрозмірна величина динамічної сили склала 1.074 при температурі гарячої нитки 320°C, що пояснюється більшою величиною перегріву теплоносія, що продукує більш інтенсивну нуклеацію та пароутворення. Тиск запирання, який встановлюється на кінець 1 секунди складає приблизно 5.132 МПа.

Автори згодні, що прийнятий тип і характер руйнування трубопроводу (безінерційний розрив повного діаметру), є зручним припущенням, що призводить до консервативного сценарію. Але це потрібно для розгляду саме динамічного ефекту, з подальшою можливістю аналізу амплітуди параметрів при зміні часу розриву. Для представлення результатів картини аналізу, крім зазначених, було підготовлено графіки таких величин у вихідному перерізі: тиску, масової витрати, об'ємної частки пари, швидкості парової/рідинної фази, швидкості звуку.

Перелік посилань:

1. Design Basis for Protection of Light Water Nuclear Power Plants Against the Effects of Postulated Pipe Rupture, ANSI/ANS-58.2, 1988
2. Standard Review Plan for the Review of SAR for NPP: LWR Edition, Chapter 5, NUREG-0800
3. Two-Phase Jet Loads, NUREG/CR-2913, 1983
4. Improved Basis and Requirements for Break Location Postulation, EPRI, FTR 1022873, 2011

ПРОЦЕДУРА РОЗРАХУНКУ ПОЛЯ "ХОЛОДНОГО ЯЗИКА" В ОПУСКНІЙ ЧАСТИНІ РЕАКТОРА KWU-1300 З ВИОКРЕМЛЕННЯМ ДОМІНАНТНИХ ПРОЦЕСІВ

В доповіді детально описано підхід, який насамперед орієнтований на інженерну практику оцінки температурної задачі для визначення температури тріщиностійкості корпусу реактора. Розглядається базовий сценарій для реактора KWU-1300 [1], що моделюється на спрощеній геометрії. Розрахунок перехідного режиму організований шляхом оригінальної процедури, яка дозволяє відділити другорядні за впливом фізичні процеси. Перехідний процес описується серією невеликих за тривалістю перехідних режимів з постійним тиском, а також і «м'якими» граничними умови на виході. Такий підхід (Рис. 1а) дозволив виділити домінантні фізичні процеси, такі як неізотермічне змішання та фазовий перехід. При цьому процес декомпресії визначає зміну теплофізичних властивостей теплоносія, тобто не враховується вплив хвильової частини рівнянь транспорту середовища. Для демонстрації підходу, запропонованого в рамках міжнародного проекту APAL, була побудована розрахункова модель, яка геометрично обмежена опускною ділянкою. Домен теплоносія розділений на зони, що дозволяє задавати різні моделі турбулентності (Рис 1б). Двофазна постановка, яка розглядається в даному випадку є гетерогенною по полю швидкості та температури з морфологією у вигляді сферичного монорозмірної бульбашки. Вважається, що парова фаза знаходиться на лінії насичення. Для відстеження поверхні розділу фаз використовується метод VOF. Загалом у першому наближенні вдається враховувати навіть процеси контактного фазового переходу, а врахування підйомної сили – стратифікацію температурного поля теплоносія.

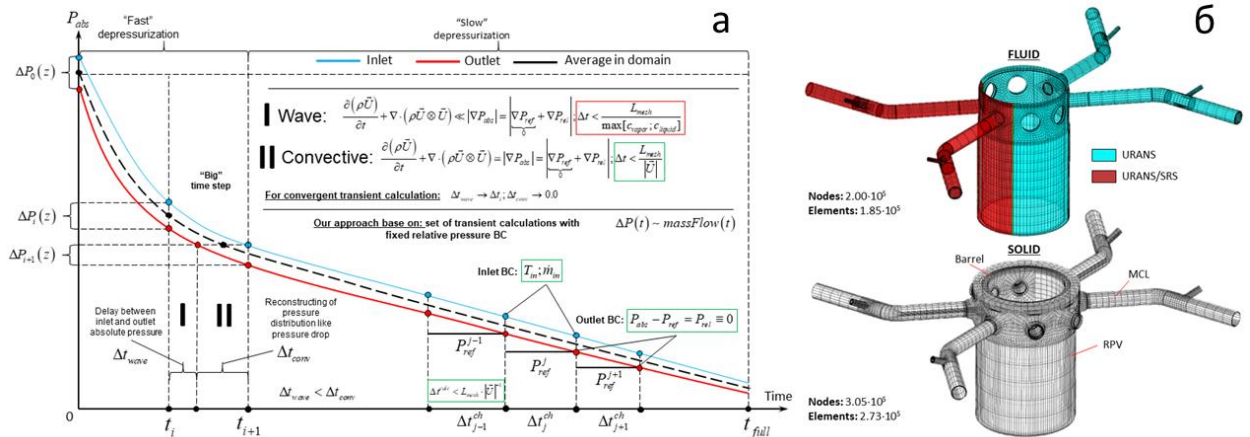


Рисунок 1 – Концепція розрахунку процесу деприсуризації для неізотермічного змішування потоку теплоносія в опускній ділянці KWU-1300 в режимі LOCA (100 мм)

Запропонований спосіб виокремлення деприсуризації зажадав створення спеціальної керуючої процедури, в якій реалізовано зворотний зв'язок за конвергенцією та контрольними параметрами (характеристична температура, швидкість та інше) за принципом «коефіцієнтів, що запізнюються». Загалом побудований підхід дозволив суттєво економити обчислювальні ресурси та на порядок (більше ніж 10 разів) знизити необхідний розрахунковий час для моделювання перехідного процесу, обмежуючись навіть персональним комп'ютером.

Отримані результати в цілому демонструють фізичну коректність як за рівнем теплоносія, так і температури. Розглянуті варіанти з різним застосуванням моделей турбулентності очікувано впливають як на таймінги перехідного процесу (час відновлення рівня рідини), так і на інтенсивність охолодження, що пояснюється різним ступенем неізотермічного змішування (дифузійні члени).

Отримані результати є менш консервативними порівняно з аналогічними оцінками за допомогою кодів змішування KWU-MIX, а рівень температури виявляється вищим при використанні двофазного підходу, ніж при однофазній оцінці з температурою суміші в граничних умовах. При цьому варто зауважити, що у вище описаному випадку наплавка не моделювалася явно, а враховувалася як термічний безінерційний опір. Таким чином, безпосередньо температурне поле в основному металі не є представницьким для аналізу міцності, оскільки градієнт на внутрішньому діаметрі моделі відтворюватися не коректно (недооцінка градієнта температури може становити 10-20K). Подібного роду розрахунок прийнятний для формування еквівалентних ГУ третього роду, аналогічно як у кодах змішування.

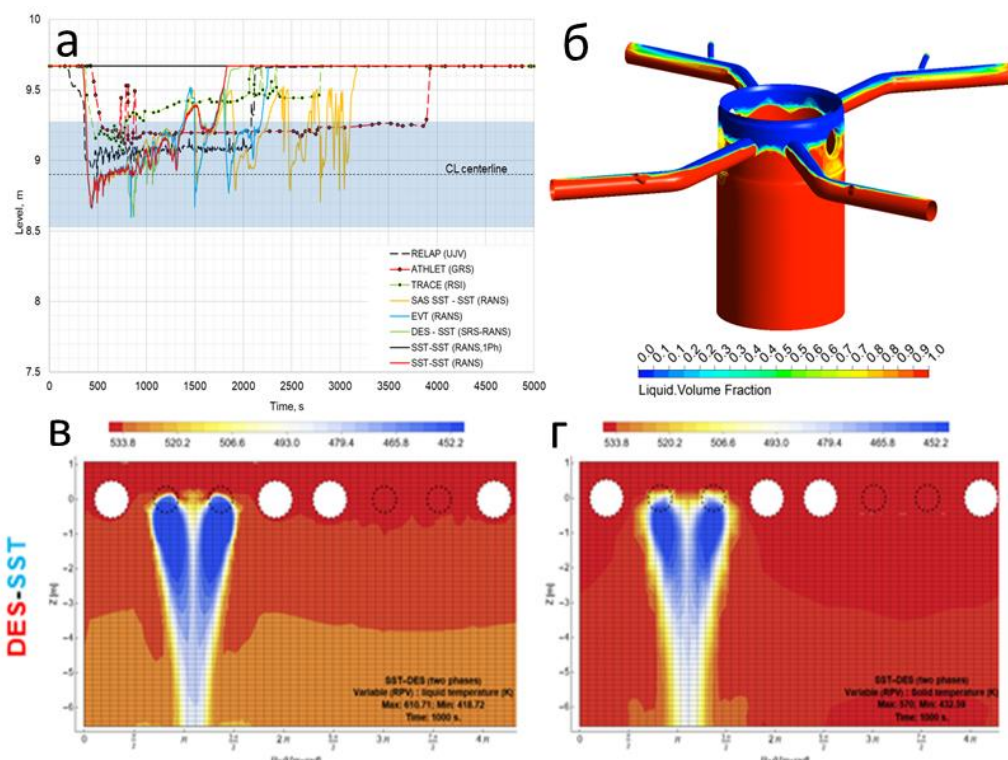


Рисунок 2 – Фрагменти результату розрахунку перехідного режиму (а – зміна рівня теплоносія в опускній ділянці; б – миттєве поле рівня об'ємної доли; розгортка температурного поля: в – поверхні корпусу, г – поверхні шахти)

В цілому ж, рекомендувати підхід для інженерної практики можна, але необхідно звернути увагу на такі невизначеності як: геометрична повнота розрахункового простору, достатність дискретизації розрахункової області, допустимий градієнт зміни опорного тиску, потенційний спосіб адаптації моделей турбулентності та пристінкових функцій для неізотермічного змішування (для зменшення дискретизації). В подальшому всі ці аспекти будуть розглянуті детальніше.

Перелік посилань:

1. Richard Trewin, Pavel Kral and Vladislav Pistora /Evaluation of uncertainties in TH analysis related to computer code models, plant parameters, and human factors/ The research leading to these results has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 945253.

ОЦІНКА ЛОКАЛЬНОГО ТЕПЛОВОГО СТАНУ ОБ'ЄМУ ПАРОГЕНЕРАТОРА ПРИ ПОДАЧІ АВАРІЙНОЇ ЖИВИЛЬНОЇ ВОДИ

Для оцінки технічного стану ВКП ПГ, а саме трубчатки при аварійній подачі живильної води з мінімальною температурою, необхідно оперувати локальними характеристиками температурного поля. В якості вихідної події аварії розглядається - «Повне знеструмлення енергоблоку». Відновлення подачі живильної води відбувається в момент часу 2500 секунд, що відповідає зниженню рівня котлової води в ПГ до 1.3 м, або ж в момент часу 9000 секунд (практично повному осушенню ПГ).

Для врахування локальних особливостей температурної динаміки (локалізація зони з мінімальною температурою) попередньо розрахункову модель в ВВЕР-1000 в кодї RELAP5 mod 3.2 було доопрацьовано (модель ПГ) [1], які призводять до уточнення величини температурних градієнтів не більше ніж на 2%, що є на рівні похибки розрахунків (нечутливості).

Таким чином, на основі даних RELAP необхідно сформувати вхідні данні для подальшого аналізу міцності трубчатки ПГ разом з колекторами. Оскільки результати, які отримані в RELAP повинні бути інтерпретовані на реальну геометрію, була створена спеціальна процедура «розгортки» цих даних, безпосередньо для трубчатки та колекторів.

Індивідуальність кожної трубчатки трубного блоку (Рис. 1) з урахуванням наявності металу, враховувати в універсальному системному кодї (типу RELAP) досить складно (хоча цілком можливо) у контексті подальших міцнісних розрахунків. Використовувати CFD методи у класичній постановці (детальна геометрія з повною просторовою дискретизацією) є досить недоцільним з точки зору розрахункових ресурсів, особливо коли йде мова про перехідні процеси (тривалість перехідного режиму $\sim 5 \cdot 10^3$ секунд) на наборі однотипної геометрії. Дискретизація у цьому випадку (з урахуванням лінійного поперечного $\sim 10^{-4}$ - 10^{-3} м, та лінійного повздовжнього масштабу $\sim 10^1$ м) оцінюється не менше ніж 10^7 - 10^8 контрольних об'ємів.

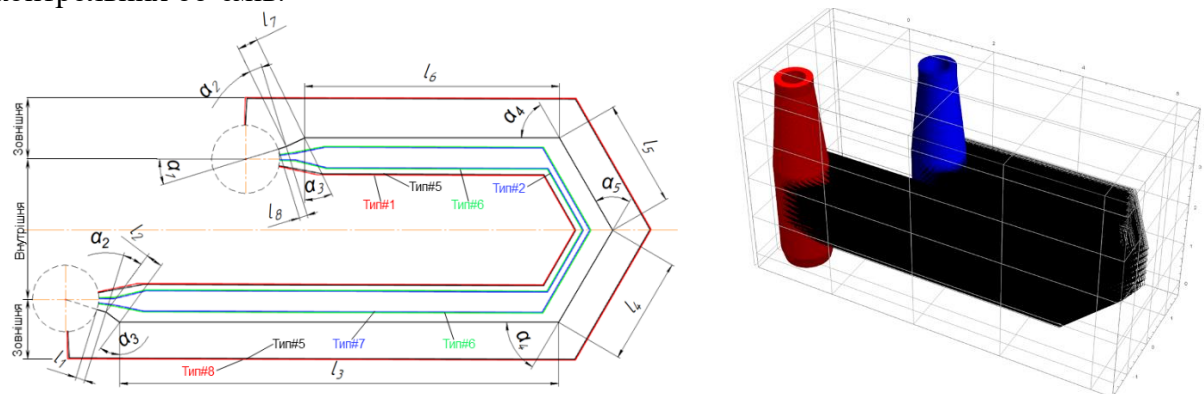


Рисунок 1. - Параметризація та градація за типами трубчатки парогенератора

Для раціоналізації постановки, була розроблена спеціальна процедура, яка враховує особливості гідравлічної та теплової задачі, а саме:

- Можливість враховувати кожну трубку ПГ індивідуально.
- Враховувати наявність теплової інерції у металі трубок, в особливості при низьких витратах теплоносія (при природній циркуляції в контурі). Мати можливість оперувати з температурним полем, принаймні в r-z геометрії.

Враховувати вплив колектора (на витрату теплоносія через трубку, а також спряження по температурному полю).

- Можливість локалізувати подачу холодної води, базуючись на усереднених по контрольному об'єму даних із RELAP5.

Рационалізацію розрахункового аналізу вдається отримати завдяки спряженій концепції 1D-2D-3D, що означає 1D – теплогідравліка по першому контуру; 2D – температурне поле в металі трубок; 3D – температурне поле в колекторах.

Для цього було побудовано оригінальну розрахункову процедуру, в якій були реалізовані наступні складові задачі (детально представлено в доповіді):

- Автоматична генерація геометрії трубчатки на основі параметричних карт. Кластеризація поперечного перерізу теплообмінної поверхні (групування подібних трубок).

- Напіваналітичний розв'язок системи диференціальних рівнянь, які описують рух теплоносія. Процедура спряження по тепловому потоку з металом колектора та трубчатки (Рис. 2).

- Інерційний параметричний генератор «холодної» зони при подачі АЖВ, який базується на середньоентальпійних даних із RELAP (Рис. 3). Передбачена можливість

- Солвер та постпроцесор із спеціальною підготовкою вхідного набору даних (Рис.3).

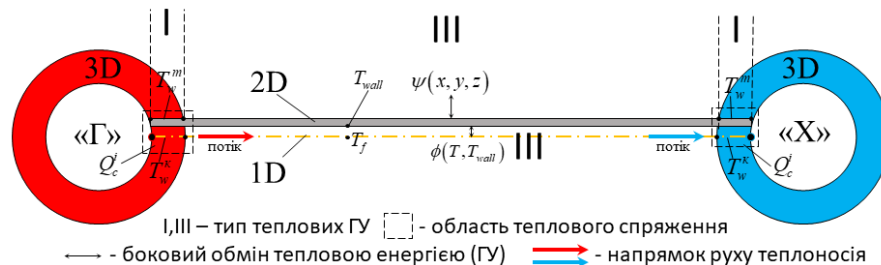


Рисунок 2 - Принципова концепція теплового спряження розрахункової процедури трубчатка ПГ («Г» - гарячий колектор, «Х» - холодний колектор)

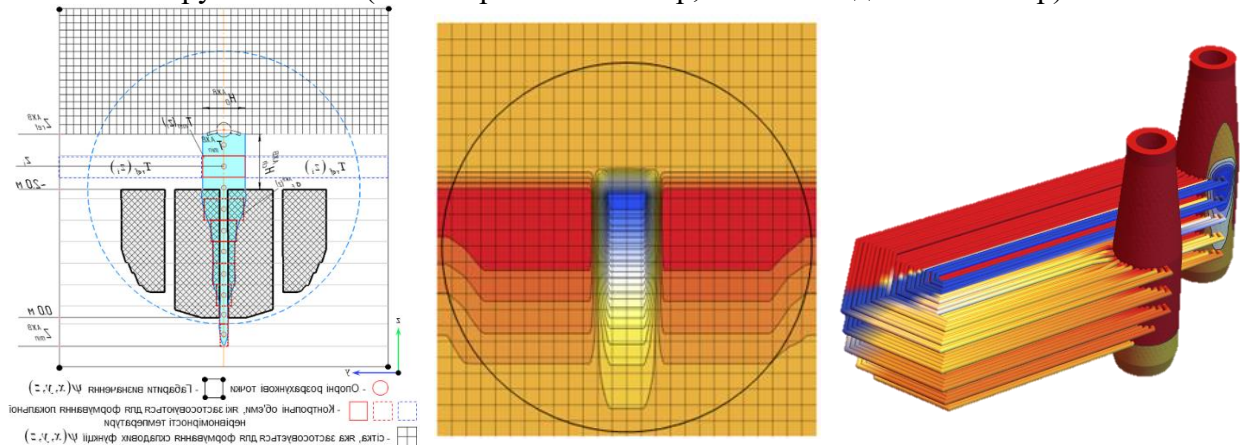


Рисунок 3 – Схематизація генератора «холодного язика» та розподіл розрахункових значень температури (наведена нерівномірність)

Основна мета розробки спеціальної розрахункової процедури базується фізичній «розпаковці» даних RELAP таким чином, щоб отримати локалізацію холодної зони в ПГ, тим самим в подальшому оцінити гіпотетичні критичні вузли ПГ.

Перелік посилань:

1. Проект оценки прочности внутрикорпусных элементов парогенератора ПГВ-1000, типового энергоблока АЭС с реакторной установкой В-320. Фаза 0. Отчет. Выполнение постановки задачи анализа и представительных расчетных сценариев. Киев 2020.

ДЕТАЛІЗАЦІЯ ПРОСТОРОВОЇ НЕРІВНОМІРНОСТІ НЕІЗОТЕРМІЧНОГО ЗМІШУВАННЯ ОДНОФАЗНОГО ПОТОКУ

Змішувальний трубопровідний елемент типу «трійник» є типовим та поширеним вузлом у теплогідролічних системах енергетичних установок. Режим змішування теплоносія та його інтенсивність – чинники які впливають на виникнення термічних напружень, що при значних величинах або знакозмінному характеру призводять до термічної втоми матеріалу з'єднання.

При виконанні оцінок залишкового ресурсу об'єктивним цільовим параметром є набір характеристик міцності. Саме ці параметри (наприклад напруження, коефіцієнт інтенсивності напружень, кількість циклів) є узагальнюючими, які характеризують стан системи, та у сукупності із контролем металу дають справжню цілісну картину щодо надійності та безпеки. Сенс «узагальнюючого» полягає в тому, що цільові параметри вміщують у собі всі невизначеності, спрощення та припущення, а також найголовніше «незнання» минулих кроків до яких відноситься нейтронофізичний та/або теплогідролічний аналіз. З практичної точки зору це означає, що результати кожного кроку повинні відображати реальні фізичні особливості та бути надійними не лише в контексті консерватизму (здебільшого це компенсація «незнань»), а й з точки зору кількісної та якісної достовірності. Також не менш важливим є і застосування інструментарію аналізу, який здатен відтворювати (моделювати) відповідний фізичний процес. В галузі (здебільшого у спеціалізованій вищій освіті) зустрічаються випадки, коли розрахунковий код (особливо при системному аналізі) наділяють такими можливостями, які строго кажучи не відповідають області визначення програмного продукту.

У випадку застосування універсальних пакетів (таких як CFD) постає необхідність у підтвердженні здатності виконувати прогнози певного феномену/процесу на основі порівняння з референтними натурними дослідженнями. Фактично це дозволяє стверджувати про придатність способу моделювання, а параметричний аналіз на основі цільової змінної може дати розуміння щодо задовільності виконуваних оцінок з точки зору якості-розрахунковий час. В даній роботі представлені результати аналізу феноменологічної частини задачі неізотермічного змішування однофазного середовища, яка має місце при аварійних процесах з подачею «холодної» води в перший контур. Найбільш чутливими елементами обладнання є безпосередньо трійники де відбувається безпосередньо впорскування, та опускна ділянка реактора.

Феноменологію змішування однофазного середовища з різною температурою можна розділити на наступні:

- Впорскування «гарячого» середовища в «холодний» основний потік.
- Впорскування «холодного» середовища в «гарячий» основний потік [1].
- Феномен зворотного току.
- Феномен «мертвої зони».

Також для кожного із цих випадків характерна повна або часткова температурна стратифікація, яка може призводити до суттєвих поперечних градієнтів напружень особливо у випадку відхилення форми поперечного перерізу.

Для моделювання неізотермічного перемішування важливим є спосіб розрахунку підйомної сили, який у цьому випадку формалізується через опорну густину. Причому в деяких особливих випадках необхідно також враховувати генерацію/дисипацію турбулентності за рахунок архімедової сили (при необхідності відтворення форми сліду змішування).

Комбінація вище зазначених феноменів практично повністю покривають всі можливі випадки, які можуть зустрічатися при перехідних режимах на енергоблоці. Тому логічним аналіз, та відповідно валідація опорного розрахункового інструментарію, а також визначення особливостей конфігурування математичних моделей переносу, а також відповідних числових схем. Всі ці особливості є визначальними з точки зору гідродинаміки, проте безпосередньо їхній вплив на кінцевий результат (цільовий параметр) строго кажучи є невизначеним.

Для інженерної практики найбільш оптимальним з точки зору розрахункового часу є застосування RANS/URANS підходу для опису гідродинамічних процесів, проте феномени типу неізотермічного змішування досить опосередковано моделюються таким наближенням в першу чергу із-за числової в'язкості, яка притаманна класу схем дискретизації дифузійних членів типу «проти потоку». В цьому випадку при розрахунках відбувається суттєве «змазування» області змішування, що може призводити зниження температурного ефекту на метал трубопроводу/корпусу.

У випадку, коли цікавить усталена картина неізотермічного змішування, яка кількісно і якісно відповідає експериментальним дослідженням дуже плідним виявився спосіб у якому застосовуються SRS методи (для оптимізації розрахунків наприкінці 2010 років був запропонований принцип зональної дії) [2]. Безпосередньо стабілізована картина неізотермічного сліду формується шляхом розрахунку перехідного процесу з постійними ГУ SRS методами, а ініціалізація відбувається стаціонарним полем, яке отримане за допомогою RANS. Стабілізоване розрахункове поле отримується шляхом арифметичного усереднення для кожного із миттєвих розподілів, починаючи із початкового, на яке накладається пульсаційна складова через генератор синтетичної турбулентності. На Рис.1 показані результати розрахунків для феномена вливу «холодного» середовища в «гарячий» основний потік (параметри режиму: швидкість основного потоку 1.46 м/с, приску – 1.0 м/с; температура 48/33 °C відповідно; робочий тиск – 1 атм.).

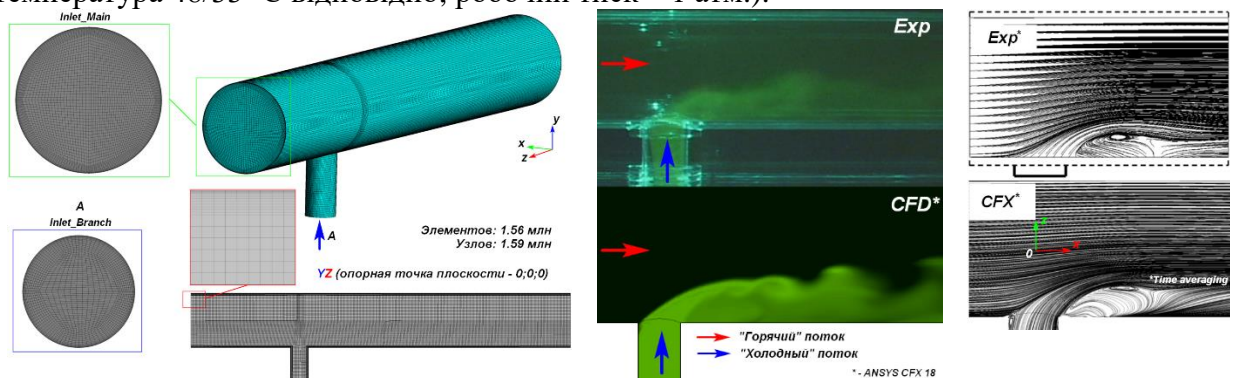


Рисунок 1 – Співставлення полів пасивного скаляра та ліній течії між експериментом (люмінесцентна візуалізація [3]) і розрахунком.

В доповіді наведені результати валідації для кожного із феноменів неізотермічного змішування, а також параметричний аналіз впливу на цільовий параметр міцності різних моделей турбулентності. Наведені методологічні відомості щодо застосування CFD для такого роду задач, яка буде корисна для інженерної практики.

Перелік посилань:

1. Shaoxiang Qian. High-accuracy CFD prediction methods for fluid and structure temperature fluctuations at T-junction for thermal fatigue evaluation / Shaoxiang Qian, Shinichiro Kanamaru, Naoto Kasahara. // Nuclear Engineering and Design. – 2015. – С. 98–109.
2. Investigation of the thermal mixing in a t-junction flow with different srs approaches / M. S.Gritskevich, A. V. Garbaruk, T. Frank, F. R. Menter.
3. Study on mixing behavior in a tee piping and numerical analyses for evaluation of thermal striping / Н. Kamide, М. Igarashi, S. Kawashima та ін.]. // Nuclear Engineering and Design. – 2008. – С. 58–67.

СЕКЦІЯ №2

**Ядерна захищеність
та
нерозповсюдження**

БЕЗПЛОТНІ ЛІТАЛЬНІ АПАРАТИ - ЗАГРОЗА ДЛЯ ФІЗИЧНОЇ ЯДЕРНОЇ БЕЗПЕКИ АЕС УКРАЇНИ

Сучасний світ швидко змінюється одночасно із розвитком нових технологій, які збільшують свою присутність у повсякденному житті людей. Але одночасно із значними перевагами, існує багато способів використання таких технологій у зловмисних цілях, і безпілотні літальні апарати (БПЛА) не є винятком.

Останнім часом спостерігається тенденція до збільшення випадків несанкціонованого використання БПЛА поблизу ядерних об'єктів, уразливих у терористичному відношенні. Такі випадки, у поєднанні із стрімким розвитком технологій БПЛА та їх неконтрольованим використанням, спонукають до більш детального вивчення проблематики протидії загрозам ядерній та радіаційній безпеці з повітряного простору над ядерною установкою.

Зростання популярності серед цивільного населення у поєднанні із розширенням технічних можливостей викликає багато запитань з точки зору досконалості українського законодавства в частині регулювання використання БПЛА поблизу об'єктів підвищеної небезпеки.

І в першу чергу стурбованість викликає саме можливий негативний вплив БПЛА на рівень фізичної ядерної безпеки атомних електростанцій оскільки ця технологія може використовуватись у протиправних цілях з метою проникнення на ядерну установку, викрадення радіоактивних матеріалів або скоєння терористичного акту.

Зокрема, на відміну від широкодоступних електронних географічних карт, за допомогою БПЛА можна детально проаналізувати систему охорони ядерного об'єкту або встановити місце знаходження ядерного матеріалу у реальному часі з метою його подальшої крадіжки. Існує загроза використання БПЛА для вивчення процедур патрулювання периметру атомної електростанції для визначення найсприятливішого часу для скоєння диверсії. У свою чергу невеличкі БПЛА (або так звані дрони) дозволяють безперешкодно уникати виявлення радарми. При цьому, напад на ядерну установку із використанням декількох або групою дронів стане катастрофою у випадку відсутності відповідних засобів захисту.

Успішна протидія вище переліченим загрозам можлива за умови визначення на законодавчому рівні повноважень експлуатуючої організації у випадку несанкціонованого або незаконного використання БПЛА поблизу ядерного об'єкту, а також вивчення потенційних загроз ядерній та радіаційній безпеці від протиправного використання БПЛА та подальшого врахування цих загроз при побудові системи фізичного захисту.

На сьогоднішній день питання використання БПЛА в нашій державі регулюється Повітряним кодексом України, Положенням про використання повітряного простору України та Правилами використання повітряного простору України. І якщо реалізація державної політики з оборонних питань, що пов'язані з використанням повітряного простору України та захистом суверенітету держави, належить до компетенції Міністерства оборони України, яке має всі необхідні для цього повноваження, то із цивільною авіацією все трохи складніше.

Наприклад, дрони максимальною вагою до 20 кг можуть використовуватись для розваг або спортивної діяльності взагалі без реєстрації та отримання спеціальних дозволів за умови виконання польотів в межах прямої видимості та не перевищення встановленої швидкості [1]. При цьому залишається незрозумілим, яким чином правоохоронні органи мають оцінювати відповідність необхідним критеріям об'єкту, що знаходиться високо у

небі.

Звичайно, ще є зони заборони та обмежень, представлені на сайті Державної авіаційної служби України у вигляді окремої карти, легенда якої містить інформацію щодо кожної з наведених зон. Наявність таких зон мала б захистити ядерні об'єкти від численних бажаних спостерігати за ними з повітря. Але проаналізувавши цю карту можна зробити висновок, що під заборону для польотів БПЛА підпадає лише 5 кілометрова зона навколо ядерної установки, що навряд є достатнім для оперативного реагування на порушення.

Недосконалою є також система покарання за використання повітряного простору над атомними електростанціями. Так, Положенням про використання повітряного простору України передбачено відповідальність за виконання польоту в зоні з особливим режимом використання повітряного простору України [2].

Звернувшись до відповідних положень адміністративного та кримінального права стає зрозумілим, що порушення меж зон заборони польотів над атомними станціями карається лише штрафом, а кримінальна відповідальність у вигляді обмеження волі настає виключно у разі створення небезпеки для життя людей або настання тяжких наслідків внаслідок порушення правил повітряних польотів.

Більш того, одночасно із поширенням використання дронів набувають все більшої популярності засоби боротьби з ними – так звані «глушилки», що випромінюють радіочастоти. Але, у разі виявлення незаконного використання «глушилки», її користувач також може бути притягнутий до адміністративної або кримінальної відповідальності [3].

Послаблення на законодавчому рівні в частині використання БПЛА малої ваги, відсутність чіткої процедури реагування та м'якість покарання за порушення правил використання повітряного простору над атомними електростанціями, а також позбавлення експлуатуючих організацій права знешкоджувати дрони створюють передумови для поширення їх використання поблизу ядерних установок, у тому числі у незаконних цілях.

При цьому, у розвинених країнах світу починають розуміти небезпеку від використання БПЛА у неправомірних цілях, запроваджуючи додаткові заходи контролю. Зокрема, у ЄС з 1-го липня 2020 року вступають у силу нові правила використання дронів, згідно з якими підлягають реєстрації всі БПЛА вагою більше 250 г та неіграшкові дрони вагою менше 250 г, а оператори повинні зареєструватися в країні ЄС, де вони проживають або мають основну роботу та скласти відповідні тести.

Такий підхід має стати прикладом і для України. З огляду на багатоманітність способів застосування БПЛА з метою нанесення шкоди ядерним об'єктам атомної енергетики, по-перше, необхідно розробити правовий механізм наділення експлуатуючих організацій правом виявлення, затримки та реагування на небезпеку використання БПЛА у незаконних цілях із використанням відповідних технічних засобів.

По-друге, необхідно здійснити аналіз потенційної шкоди ядерній та радіаційній безпеці, завданої із використання БПЛА ядерній установці, з метою подальшого врахування цих загроз при розробці вимог до побудови фізичного захисту. В основу такого аналізу можуть лягти результати проведення цільової переоцінки безпеки («стрес-тести») енергоблоків українських атомних електростанцій, в яких міститься інформація про загрози ядерній та радіаційній безпеці від впливу зовнішніх негативних факторів та явищ.

Перелік посилань:

1. Повітряний кодекс України від 07.08.2020 № 3393-VI.
2. Положення про використання повітряного простору України. Постанова Кабінету Міністрів України від 06.12.2017 № 954.

МЕТОДИКА ОТРИМАННЯ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ОСНОВІ ЕФЕКТУ ГАЛЬМІВНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Основною проблемою зняття з експлуатації ядерних установок (ЯУ) є переробка або захоронення радіоактивних відходів. Основним методом є захоронення радіоактивних відходів (РАВ) у спеціальних контейнерах з охолодженням, які потребують постійного нагляду та обслуговування. Як результат маємо велику площу з РАВ яку потрібно утримувати, захищати та обслуговувати. Альтернативою є переробка відходів задля зменшення їх габаритів та, можливо, повторного використання. Skorиставшись явищем гальмівного випромінювання можна отримати випромінювання з визначеним енергетичним спектром. Це можливо дозволить іонізувати атоми визначеного ізотопу, що в свою чергу дозволить скористатись взаємодією іонізованих частинок з магнітним полем. Магнітне поле зможе перемістити іонізовані частинки тим самим відділивши їх від неіонізованих.

Вже існує багато типів прискорювачів заряджених частинок які використовуються для дослідів. Наприклад генератор Ван де Граафа, проста конструкція для показовості наявності явища гальмівного випромінювання. Але при детальному вивченні установки виявилось що є суттєвий недолік, енергія пучка електронів має нерівномірний спектр, коливання наскільки значні що отримати строго визначений перевипромінених хвиль буде неможливо.

Наступний генератор це бетатрон. Досить гарна установка в якості спектру регулювання і точності, але габаритна, має велику вагу, а також розгін електронів займає досить великий період часу. Дороговартісна установка у виготовленні.

Найбільш гарним варіантом для випробувань в роботі буде лінійний прискорювач. Малогабаритний, швидкий, може робити пучок електронів дуже точного спектру.

Проаналізувавши багато літератури та користуючись досвідом, зроблено припущення що бомбардування високоенергетичними електронами мішені з металу можливо отримати рентгенівське поле.

Коли заряджена частинка рухається в речовині – відбувається її розсіяння в електростатичних полях атомних ядер і електронів. В результаті виникає гальмівне випромінювання що пропорційне квадрату, прискорення а частинки

$$E=2e^2a^2/3c^2, \quad (1)$$

Де, E – енергія що випромінюється зарядом e , c – швидкість світла. Гальмівне випромінювання лежить в основі рентгенівського випромінювання в рентген апаратах за рахунок емісії.

Емісія електронів – випромінювання електронів з катода під дією зовнішнього електричного поля. Також є поняття вторинної електронної емісії – це явище вибивання електронів із твердого тіла пучками швидких заряджених частинок.

Принцип дії рентгенівських трубок зав'язаний на використанні гальмівного випромінювання. Рентгенівські промені виникають при сильному прискоренні заряджених частинок, або при високоенергетичних переходах у електронних оболонках атомів або молекул. Обидва ефекти використовуються в рентгенівських трубках [1].

Кожен електричний прилад неодмінно споживає струм з різними характеристиками. Для живлення ПН потрібен постійний струм батарейки або ШІМ сигнал.

За основу взято блок живлення перевірки SMD компонентів електросхем з параметрами 5 вольт та 1 ампер на виході та переобладнав його з модулем регулювання

напруги та іншим трансформатором [2].

Для отримання високоенергетичного електрона можна використовувати різні методи, генератор Ван Де Граафа, батарея конденсаторів, бетатрон тощо. Найліпшими за простоту обравно ГВДГ та каскади з діодів та конденсаторів.

Каскадний генератор – прискорювач прямої дії, заряджені частинки в даному приборі прискорюються безпосередньо за рахунок великої різниці потенціалів. В каскадних генераторах високу постійну напругу отримують з низької перемінної напруги за допомоги помножувачів напруги [3].

Коли на вході від'ємна напівхвиля змінної напруги, перший діод відкритий і перший конденсатор заряджається до максимального значення вхідної напруги. При зміні полярності перший діод закривається, а другий навпаки відкривається, таким чином заряджаючи другий конденсатор. При кожній зміні вхідної полярності напруги – заряд емностей послідовно сумується. Таким чином вихідна напруга – подвоєна вхідна напруга помножена на кількість каскадів.

При проведенні дослідів наявний прискорювач вийшов з ладу через високу для нього напругу, один з конденсаторів надувся та перестав тримати емність. Він був замінений та досліди продовжились. Але все ж після останнього експерименту заради отримання максимального розряду прискорювач знову був виведений з ладу високою напругою. Заявлена напруга прискорювача була 3 МВ, але фактична була значно меншою 3 кВ. Фактичну було вираховано вже після першої поломки і розбору обладнання на компоненти, тож після першої поломки було збільшено кількість каскадів в тричі [4].

Упаковка з рентген плівкою відкривалась у темному приміщенні, освітленому світлодіодним ліхтарем потужністю 1,5 Вт, на відстані 2 метрів, що є допустимими параметрами. Такі умови гарантують запобігання виникнення артефактів на плівці.

Обробка проводилась при температурі розчину 20 градусів по цельсію 8 хвилин. Промивка відбувалась за температури 25 градусів С на протязі 30 секунд. Через 30 секунд після промивання проводилась процедура фіксації. Фіксування проводилось при температурі 20 градусів на протязі 10 хвилин і знову плівка промивалась. Після плівка сушилась в спеціальній пічці до повного висихання, це зайняло не більше 15 хвилин. Проявник використовувався ХімРей.

Перелік посилань:

1. Ядерна фізика в інтернеті [Електронний ресурс]/ <http://nuclphys.sinp.msu.ru/>
2. Отрященко Ю. М. — 1978 г. Энциклопедическая книга о кибернетике.
3. Аматорська автоматика. <http://geekmatic.in.ua/>
4. Фрауэнфельдер Г., Хенли Э. Субатомная физика, 1979. — 736 с.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕРЕБІЙНОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМ ФІЗИЧНОГО ЗАХИСТУ В УМОВАХ АВАРІЙНИХ ВІДКЛЮЧЕНЬ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Питання забезпечення безперебійного функціонування систем безпеки фізичного захисту дуже важливе і особливо актуальне в умовах війни. Завдаючи ударів по енергетичним об'єктам, ворог може скористатися вразливістю певних систем безпеки, що будуть знаходитися у знеструмленому стані, а це в свою чергу може призвести до неприйнятних наслідків – диверсії, крадіжки, теракту тощо.

Відповідно до ЗУ «Про фізичний захист ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання» [1], система фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання – 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.

Згідно з визначенням, до системи фізичного захисту відносять і інженерно – технічні заходи. Вони слугують для завчасного виявлення та ідентифікації правопорушника ще на підступах до об'єкту, що охороняється, а також для унеможливлення потрапляння та/або ускладнення шляхів потрапляння правопорушника на об'єкт шляхом установки засобів виявлення, спостереження, або ж установкою різноманітних фізичних бар'єрів на імовірному маршруті правопорушника. До таких засобів входить велика кількість пристроїв, які потребують надійного електропостачання. Наприклад, різноманітні пульти керування, сервери, переговорні пристрої, комутаційні апарати, засоби відеоспостереження, датчики, турнікети на прохідних, електроприводи воріт тощо.

Для забезпечення безперебійного функціонування таких відповідальних систем необхідно знати нормативну базу, а також вимоги щодо роботи системи в умовах аварійного чи планового відключення основного електроживлення, а також роботи в умовах перехідних процесів, спровокованих таким відключенням. Разом з тим, треба бути знайомим з усією номенклатурою обладнання, що працює в цій системі та його характеристиками в різних режимах роботи, зокрема: робочою напругою, струмом споживання, електричною потужністю, пусковими струмами (наприклад, блоків живлення чи електродвигунів), можливістю роботи в більш економному режимі чи можливістю вимкнення певного пристрою на деякий інтервал часу. Знаючи це все, можемо порахувати сумарну потужність електроспоживачів, відштовхуючись від якої, зможемо розрахувати необхідну потужність резервного джерела живлення, наприклад, генераторної установки чи альтернативного джерела живлення. При підборі генераторної установки варто подбати про запас палива та об'єм додаткових паливних баків, що в сумі правильно підібраним робочим циклом зможуть задовольнити вимоги щодо автономної роботи системи. А при підборі альтернативних джерел електроенергії варто продумати сценарії роботи з обладнанням, чи це буде додаток до генератора, чи окреме самостійне джерело або ж джерело, що зможе забезпечити електроенергією тільки деякі типи обладнання. Для функціонування системи в перехідних процесах (під час перемикання з одного вводу на інший, або час розгортання та виходу на режим генераторної установки) необхідно забезпечити систему аварійним джерелом живлення. Це може бути як централізована система, наприклад, потужний інвертор та акумуляторна станція, так і локальні джерела безперебійного живлення з акумуляторних батарей. Цю систему також можна доповнити альтернативним джерелом,

як варіант для зарядки акумуляторів. Також, для загальної енергоефективності, варто розглянути заживлення певних пристроїв, або певної частини системи повністю від альтернативних джерел електроенергії (наприклад, сонячні панелі). Разом з тим, для функціонування системи чи для зниження її енергоспоживання варто переглянути режими роботи деякого обладнання. Для прикладу, турнікети пропуску персоналу на час відключення можна переводити в режим тільки ідентифікації. Або ж деякі функції системи може перейняти на себе людина. Наприклад, в системі телевізійного спостереження, на час відключення живлення, можна вимикати певну кількість камер на певних ділянках, а їх задачу буде чудово виконувати патруль, який буде обходити територію, на якій тимчасово не працює обладнання. Ну і варто приділити увагу охороні праці, адже електробезпека – дуже важлива річ, особливо, коли мова йде про дуже велику кількість електрообладнання різних напруг,

Тому, зважаючи на актуальність даного питання вважаю доцільним розробити або актуалізувати сценарії роботи системи безпеки під час аварійних відключень, або блекауту в даній роботі. Також раціонально навести приклади та визначити шляхи вирішення проблем з електроенергією під час аварійних відключень, запропонувати надійну систему, яка би змогла вирішити дане питання з врахуванням всіх вимог до даного обладнання. Варто проаналізувати наявну інформацію з приводу функціонування реальних систем в теперішніх реаліях, адже від своєчасного виявлення правопорушника починається не тільки безпека об'єкту, а й безпека країни в цілому.

Перелік посилань:

1. Про фізичний захист ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання : Закон України від 19.10.2000 р. № 2064-III. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2064-14#Text>.

АНАЛОГОВІ ТА ЦИФРОВІ КАМЕРИ ВІДЕОСПОСТЕРЕЖЕННЯ

Сьогодні відеокамери, які використовуються в захисних цілях, стають все більш модернізованими, багатозадачними і практичними. Вже нікого не здивуєш гарною якістю картинки - уже зовсім не новими вважаються HD, Full HD і навіть UltraHD. У наш час особливо цінується техніка з широким кутом огляду - це дає можливість охопити максимально велику територію. Також картинка навіть в нічний час повинна бути чіткою.

В основному камери поділяють за технологією, за допомогою якої і створюється вся система. Види камер відеоспостереження бувають:

- аналогові;
- цифрові.

Аналогова камера відеоспостереження – це відеокамера, яка передає сигнал по коаксіальному кабелю до одного центру для моніторингу, запису та аналізу відео. Хоча останнім часом спостерігається тенденція до вибору і встановлення цифрових камер, аналогові камери відеоспостереження все ще широко використовуються і пропонують економічно ефективну модель відеоспостереження. Ця технологія виникла близько в 1940-ві роки, і стала основним гравцем в індустрії безпеки з 1970 р. Технологія хороша і перевірена, моделі аналогових відеокамер безпеки існують практично для будь-якої системи спостереження.

Є багато переваг використання такої техніки:

- сигнал подається на значні відстані;
- економічність;
- простота настройки такої системи;
- можна без проблем поєднувати елементи в системі безпеки від різних виробників.

Але слід відмітити і недоліки: велика вартість кабелю – для великомасштабних систем відеоспостереження, аналогові камери вимагають складних схем кабелів, які можуть бути досить дорогими, а також мають довгу установку, а також обмежені можливості. Багато передових функцій доступні тільки IP-камерам (наприклад: мегапіксельне розширення, цифровий зум і відеоаналітика)

IP-камера (англ. IP camera, Internet protocol camera) — цифрова відеокамера для відеоспостереження, особливістю якої є передача відеопотоку в цифровому форматі у мережі Ethernet і Token Ring, що використовує IP протокол.

IP-камери застосовуються для виконання наступних завдань:

- системи відеоспостереження;
- віддалене управління проектами;
- віддалений моніторинг за технологічними процесами;
- візуальна верифікація нештатних ситуацій;
- просування в мережі туристичних та інших послуг.

Цифрова апаратура може застосовувати два види систем:

HD-SDI.

Прийшла з телеіндустрії. Передає картинку на дистанцію до трьохстах метрах. Монтаж в даному випадку простий. Недоліками вважається висока ціна, коротка дальність відображення сигналу і серйозні вимоги до якості дроту. Саме тому вони швидко перестали користуватися попитом;

IP.

Її головна перевага - масштабування системи, що важливо при великих масштабах проекту. До того ж технологія є мережевий, а тому не потрібні допоміжні пристосування для передачі сигналу і збереження даних. Але є і серйозні недоліки. Так, передача сигналу без додаткового обладнання становить всього 100 метрів. Якщо в мережі будуть перевантаження, почнуться затримки.

Вибираючи камери відеоспостереження для вашого будинку чи бізнесу, ви почуєте багато розмов про відмінності між аналоговими і IP камерами. Обидва типи камер підходять як для домашнього використання, так і для систем безпеки в бізнесі. Аналогові камери передають зображення безпосередньо на відеореєстратор або екран відеодомофона. IP камери (мережеві камери) передають зображення безпосередньо на веб-сервер. Аналогові камери забезпечують якісне зображення при різних типах освітлення. IP камери забезпечують більш високу якість зображення в умовах гарної освітленості.

Аналогові камери забезпечують хорошу яскравість, але зображення втрачає чіткість зі збільшенням відстані до об'єкта зйомки. IP камери зберігають чіткість зображення при більш значних відстанях, тому вони краще підходять для забезпечення безпеки великих територій, таких як автостоянки або склади. Однак, з точки зору чутливості до руху, аналогові камери набагато стабільніші. Можливо, дані камери і не забезпечують чітке зображення на великих відстанях, але вони менш чутливі до трясіння від сильного вітру або навіть від землетрусу, в порівнянні з IP камерами. Зображення буде якіснішим на тремтячій аналоговій камері, ніж на тремтячій IP камері.

Аналогові камери відеоспостереження передають зображення безпосередньо на записуючий пристрій. Такий спосіб передачі відеоданих вразливий, будь-яка людина може отримати доступ до вашого відео.

IP камери відеоспостереження кодують відеодані перед відправкою їх на мережевий сервер. Це робиться з кількох причин, в числі яких стиснення і захист інформації при передачі через Інтернет. Тому, якщо вас турбує безпека відеоданих, то ви ймовірно будете почувати себе більш комфортно, використовуючи IP систему відеоспостереження.

Перелік посилань:

1. <https://worldvision.com.ua/articles/chem-otlichayutsya-analogovie-i-ip-videokameri-nablyudeniya>
2. https://secur.ua/articles/ua_jaki-vidi-kamer-videosposterezhennja-buvajut.html?utm_campaign=DSA_%D0%92%D1%96%D0%B4%D0%B5%D0%BE%D0%BD%D0%B0%D0%B3%D0%BB%D1%8F%D0%B4_Kyiv&utm_term=&utm_source=google&utm_medium=cpc&gclid=Cj0KCQjwtsCgBhDEARIsAE7RYh1PQuy9toRMpYBvgD2plTskOS6yfpfcKX_tjLLvALtgn525FC9ZdZYaAiGJEALw_wcB
3. <https://vs.cv.ua/statti-po-bezpetsi/analogovi-kameri/>
4. <https://uk.wikipedia.org/wiki/IP-%D0%BA%D0%B0%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%B0>

СЕКЦІЯ №3

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

ВІЗУАЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ПОЧАТКУ ФУНКЦІОНУВАННЯ ПЛОСКОЇ ГРАВІТАЦІЙНОЇ ТЕПЛОВОЇ ТРУБИ ПРИ ЗМІННІЙ ОРІЄНТАЦІЇ В ПРОСТОРИ.

Зростання потужності електронних компонентів призвела до розвитку систем забезпечення нормального теплового режиму електронних компонентів. В більшості випадків такі системи в основі мають двофазні теплопередавальні пристрої – теплові труби чи термосифони. Для покращення методик розрахунку та подальшого виготовлення більш ефективних пристроїв проводяться дослідження подібних систем [1–4].

Краще розуміння процесів пароутворення та конденсації в двофазних теплопередавальних пристроях може дати візуалізація цих процесів з одночасним експериментальним визначенням теплових характеристик, що дозволяє отримувати якісну і кількісну картину протікаючих процесів.

Важливим етапом при функціонуванні теплових труб є початок їх роботи. Стартові характеристики плоских гравітаційних теплових труб (ПГРТТ) є досить важливим параметром, адже в таких умовах при викиді значної кількості маси теплоносія паровими бульбашками може осушуватись зона нагріву. В певних випадках це може призвести до зупинки функціонування подібних систем.

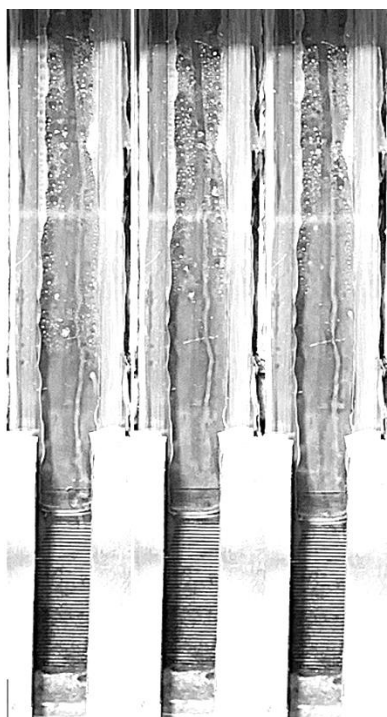


Рисунок 1 – Зміна висоти теплоносія при зміні теплового потоку: а) – 5 Вт, б) – 10 Вт, в) – 15 Вт.

В наведеному дослідженні експериментальний зразок ПГРТТ мав довжину 250 мм, ширину 14.5 мм, висоту 4 мм, товщину стінки 1 мм. При цьому, в нижній частині заготовки циліндричної теплової труби до її формування в плоску теплову трубу на всю довжину зони нагріву було нарізано різьбу з дрібним кроком M11x0.5x45. Теплоносій – етанол.

У верхній плоскій основі ПГРТТ методом фрезерування було виконано прямокутний паз, на який зверху було герметично змонтовано оглядове скло на всю довжину теплової труби. Відведення теплоти було організовано за допомогою радіатора довжиною 200 мм, шириною 42 мм, висотою 26 мм. Охолодження радіатора відбувалось вимушеною конвекцією оточуючого повітря за допомогою двох вентиляторів типу Gembird D40SM-12A з об'ємною витратою повітря 5,2 м³/год. На рисунку 1 показано етап функціонування ПГРТТ в режимі активного випаровування без переходу до кипіння. На рисунку 2 показано зміну картини гідродинамічних процесів в режимі кипіння при зміні орієнтації теплової труби в просторі. Видно, що при зменшенні кута нахилу зменшується відстань виносу теплоносія із зони нагріву. Відбувається це через збільшення

прохідного перетину для виходу парової бульбашки. При куті 15° теплоносій майже не виноситься бульбашками за межі зони нагріву, тому що при такій орієнтації майже повністю оголюється верхня стінка труби і вихід пари відбувається в паровий простір одразу в зону нагріву.

Таким чином, зміна орієнтації ПГРТТ в просторі суттєво змінює картину протікаючих теплогідродинамічних процесів в тепловій трубі, вивчення яких дозволяє завчасно визначати слабкі місця в роботі теплопередавального пристрою, враховуючи його положення в просторі в умовах експлуатації.

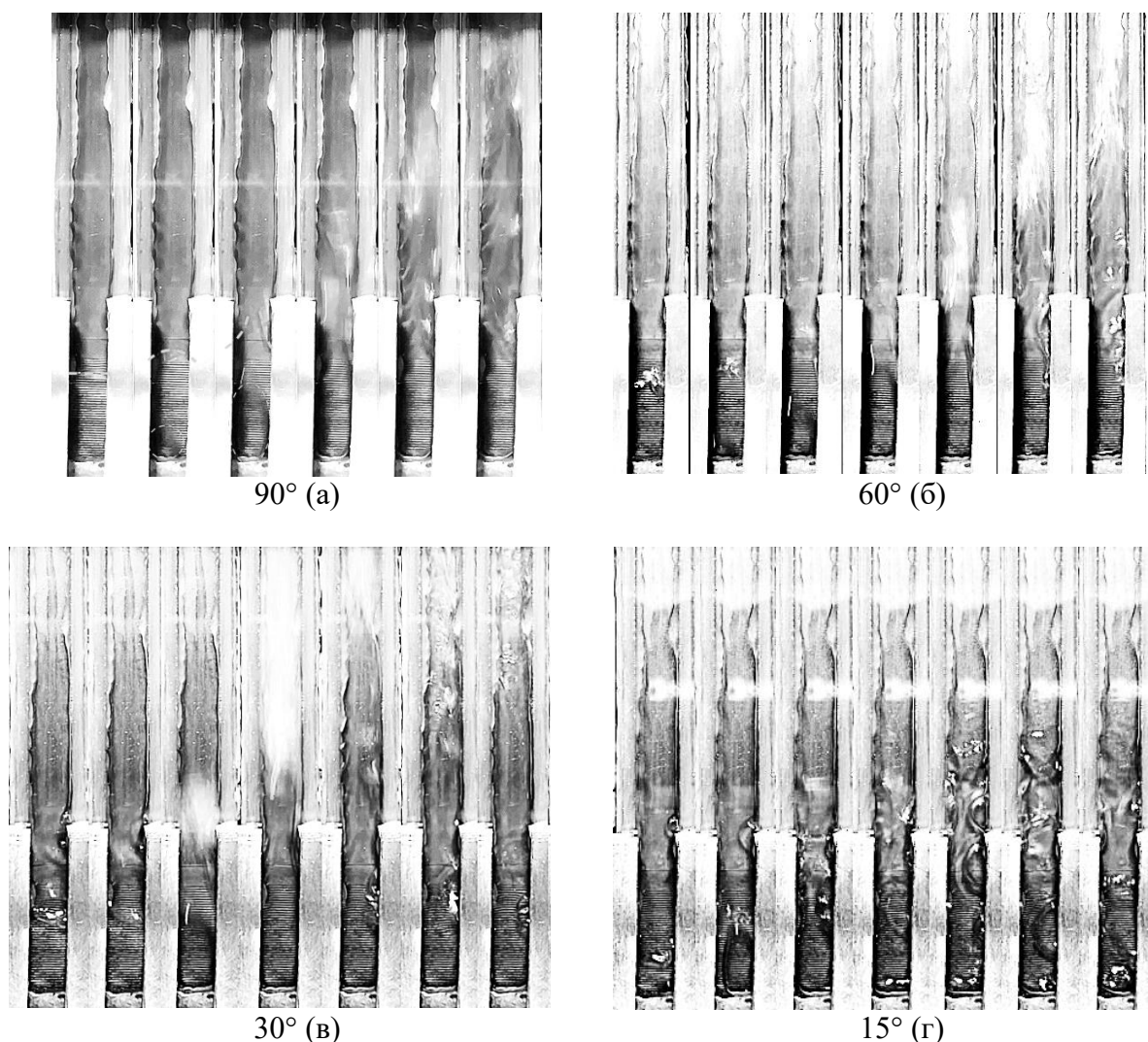


Рисунок 2 – Вплив орієнтації в просторі на процеси, що протікають в ПГРТТ при значенні теплового потоку 20 Вт та представлені з періодом 8 мс.

Перелік посилань:

1. Guichet V., Almahmoud S., Jouhara H. Nucleate Pool Boiling Heat Transfer in Wickless Heat Pipes (Two-Phase Closed Thermosiphon): A Critical Review of Correlations, *Ther. Sci. Eng. Prog.*, 2019, Vol. 13. Art. No. 100384.
2. Guichet V., Jouhara H. Condensation, Evaporation and Boiling of Falling Films in Wickless Heat Pipes (Two-Phase Closed Thermosyphons): A Critical Review of Correlations, *Int. J. Thermofluids.*, 2020, Vol.1–2. Art. No. 100001.
3. Rifert V., Sereda V., Solomakha A. Heat transfer during film condensation inside plain tubes. Review of theoretical research, *Heat and Mass Transfer* 2019, Vol.55(5).P. 3041–3051.
4. Rifert V., Sereda V., Gorin V., Barabash P., Solomakha A. Heat transfer during film condensation inside plain tubes. Review of experimental research, *Heat Mass Transfer* 2020, Vol.56.P. 691–713

Робота виконана за підтримки Національного фонду досліджень України, проєкт № 2020.02/0357, та Міністерства освіти і науки України, тема 2603п.

ВПЛИВ КУТА НАХИЛУ ГРАВІТАЦІЙНОЇ ТЕПЛОВОЇ ТРУБИ З НАРІЗНИМ ВИПАРНИКОМ, ЗАПРАВЛЕНОЇ ФРЕОНОМ 141В, НА ЇЇ ТЕРМІЧНИЙ ОПІР

Із ростом швидкості та потужності роботи електронних пристроїв виникає необхідність у більш ефективному охолодженні, щоб забезпечити стабільну та безперебійну роботу. З цією метою використовують різні системи охолодження: повітряні, рідинні, комбіновані, на основі двофазних теплопередавальних пристроїв тощо.

Одним з більш простих та технологічних перспективних рішень підвищення ефективності систем охолодження на основі двофазних теплопередавальних пристроїв є використання в системах охолодження гравітаційних теплових труб (ТТ). Гравітаційні ТТ відрізняються від традиційних гладкостінних термосифонів наявністю щонайменше в зоні випаровування інтенсифікатора теплообміну. А повернення сконденсованого теплоносія до зони випаровування здійснюється, як і у термосифоні, лише за рахунок сили гравітації.

В складі системи охолодження гравітаційні теплові труби використовуються для відведення теплоти від потужних електронних компонентів до охолоджуючого середовища. Вони працюють на основі випарно-конденсаційного циклу, де тепловий потік переноситься від нагрітої зони (випарника) до холодної зони (конденсатора) за допомогою фазових переходів, а далі – відводиться у навколишнє середовище вільною або вимушеною конвекцією повітря.

Системи охолодження на основі гравітаційних ТТ мають декілька переваг у порівнянні з іншими системами охолодження, такими як повітряні вентиляторні системи або рідинне охолодження. Гравітаційні ТТ працюють без жодних рухомих деталей, що знижує ризик виходу з ладу та зменшує шумове навантаження. Крім того, вони можуть бути використані в умовах відсутності доступу до електроенергії або при експлуатації в умовах механічних впливів. Гравітаційні теплові труби також забезпечують ефективне відведення теплоти від герметичних зон електронних пристроїв, де вентиляторні системи є малоефективними або взагалі неможливими через обмежену доступність простору.

Таким чином використання гравітаційних теплових труб в системах охолодження електроніки є актуальним завданням, оскільки воно спрямовано на забезпечення ефективного та безперебійного охолодження в різних умовах експлуатації, що дозволяє підтримувати надійну та стабільну роботу електронних пристроїв.

Для підвищення теплопередавальних характеристик гравітаційних ТТ використовують різні методи інтенсифікації теплообміну в зоні випаровування ТТ. Наприклад, в [1] запропоновано виконання методом електроерозійного різання інтенсифікаторів теплообміну у вигляді осьових поздовжніх канавок, в [2] для інтенсифікації теплообміну автори на поверхню поздовжніх канавок термосифону наносили окисне покриття. Але технологічні процеси виготовлення таких інтенсифікаторів теплообміну є досить складними та дорогими. Більш технологічними є інтенсифікатори теплообміну у вигляді різьбових канавок, виконаних в зоні випаровування ТТ [3].

Метою даної роботи є експериментальне вивчення впливу зміни кута нахилу гравітаційної ТТ з нарізним випарником на термічний опір в широкому діапазоні зміни теплової потужності (від 5 до 80 Вт) при двох значеннях кута нахилу ТТ до горизонту: 90° та 15°, які найчастіше можуть зустрічатися на практиці.

Експериментальний зразок мідної гравітаційної ТТ циліндричної форми з інтенсифікатором теплообміну у вигляді різьбових канавок в зоні випаровування мав зовнішній діаметр 12 мм і довжину 255 мм. При цьому зона нагріву ТТ складала 40 мм, зона транспорту – 15 мм, зона охолодження – 200 мм. Як теплоносієм використовувався фреон R141b із коефіцієнтом заповнення 0,54. Коефіцієнт заповнення визначався як відношення

об'єму теплоносія до об'єму внутрішнього простору ТТ в зоні випаровування. Внутрішній діаметр ТТ становив 10 мм.

За результатами експериментальних досліджень було отримано графічні залежності термічного опору R мідної гравітаційної ТТ з інтенсифікатором теплообміну в зоні випаровування у вигляді спіральної різьби з дрібним кроком – 0,5 мм від теплового потоку Q (рис.1). Аналіз наведених графічних залежностей показує, що з підвищенням теплового навантаження Q термічний опір ТТ R зменшується.

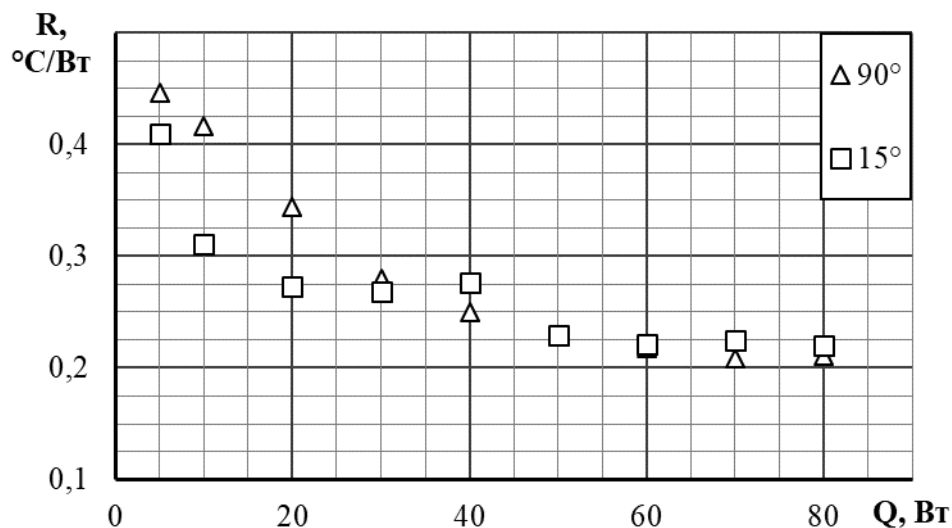


Рисунок 1 – Залежність термічного опору гравітаційної ТТ з фреоном 141b від теплового навантаження при кутах нахилу ТТ до горизонту 90° та 15° .

Падіння термічного опору досягається за рахунок інтенсифікації процесів теплообміну в зонах випаровування та конденсації при збільшенні теплового потоку.

Результати досліджень теплових характеристик циліндричної гравітаційної ТТ з різьбовим випарником показують, що такі теплопередавальні пристрої можуть бути використані для ефективного охолодження тепловантажених електронних компонентів електронної та комп'ютерної техніки в умовах вимушеної конвекції при орієнтації у просторі за силами тяжіння. Наприклад, дана циліндрична гравітаційна ТТ може бути використана для виготовлення плоскої ТТ для системи охолодження потужного підсилювача приймально-передавального модуля РЛС.

Перелік посилань:

1. Reji A.K., Kumaresan G., Kaushik N., Karthi V.S.N., Naveen M.K. Thermal analysis of grooved heat pipe with eco-friendly refrigerant for low heat loads in comparison to an ordinary thermosyphon. *Materials Today: Proceedings*, 2022, vol. 66, pp.878-882.

2. Sudhan A.L.S., Solomon A.B., Immanuel I.D. Comparative study on the heat transfer performance of micro- grooved anodized thermosyphon with R134a, R600a and R717 for lowtemperature applications. *Journal of Mechanical Science and Technology*. 2021, vol. 35, is. 11, pp. 5213-5223.

3. Гравітаційна тепла труба: пат. 109840, Україна. № 201602421; заявл. 14.03.2016; опубл. 12.09.2016, Бюл. № 17. 7 с.

Робота виконана за підтримки Національного фонду досліджень України, проєкт № 2020.02/0357, та Міністерства освіти і науки України, тема 2603п.

INFLUENCE OF HEATING ZONE LENGTH ON THERMAL PERFORMANCE OF PULSATING HEAT PIPE

A pulsating heat pipe (PHP) is a promising type of a heat pipe because of combination of simple design and high heat transfer characteristics. However PHP thermal performance depends on a significant number of factors which can be divided into three categories: physical, geometrical and regime. Length of a heating zone is one of important geometric factors influencing heat transfer characteristics of PHP. For example, authors [1] based on their experimental investigations have concluded that increasing of the heating zone length leads to increasing of PHP thermal resistance. According to results presented in [2] there is some optimal length of the heating zone at which PHP has the lowest thermal resistance. This optimal value depends on heat carrier and filling ratio (FR). A comprehensive study was performed on flat plate solar collectors in combination with pulsating heat pipes [3]. It was observed that the larger length of the heating zone the better thermal performance of PHP. As it can be seen, all results presented in [1-3] are in contradiction with each other. Moreover, influence of small values of the heating zone length (less than 50 mm which can be actual for modern electronics cooling) on PHP thermal performance at different inclination angles is studied insufficient. Experimental investigation described in this paper was performed to fulfill this gap.

Experimental sample of PHP was made of copper capillary tube and had parameters: internal/outer diameter – 1,1/2,1 mm; number of turns – 5; heating zone length – 10, 30, 50 mm; condensing zone length – 100 mm; overall PHP length remained constant at all heating zone lengths; heat carrier – water; FR - 50±0,5%.

The PHP together with an ohmic heater placed on the heating zone and a cooler placed on the condensing zone was installed on a metal plate. The metal plate was equipped with leveling screws by means of which necessary inclination angle was set. Investigation was performed at such inclination angles: +90° (vertical position with bottom heating), +45°, 0° (horizontal position), -45°, -90° (vertical position with top heating). Supplying of the heater was provided with a DC power supply. Electric power of the heater was controlled by means of a digital wattmeter. The cooler was connected to a thermostat which provided constant temperature and flow rate of cooling water. Temperature of cooling water was set to 22°C. Ten T-type thermocouples were installed on the outer surface of the PHP to measure temperature distribution along the PHP. Three of them were installed in the heating zone, five – in the condensing zone and position of the rest two thermocouples depended on the heating zone length – they were located at the heating zone if its length was equal to 50 mm and in an adiabatic zone in other cases. Data from all thermocouples was collected by multichannel data acquisition module. This module was connected to a personal computer (PC) through an interface converter. Special software installed on the PC allowed observation of thermocouples measurements changes in real time and saving them for further processing.

Results of the investigation in form of dependence between PHP thermal resistance and input power are depicted in fig. 1.

As it can be seen from fig. 1, the same trend is observed at all inclination angles: PHP thermal resistance increasing with decreasing of the heating zone length. This result can be explained in such way. When the length of the heating zone is less than 50 mm the adiabatic zone appears between the heating and the condensing zone. Its length increases with decreasing of the heating zone length. It acts like additional hydraulic resistance for movement of heat carrier from the heating to the condensing zone. This leads to deterioration of mass and heat transfer between these zones.

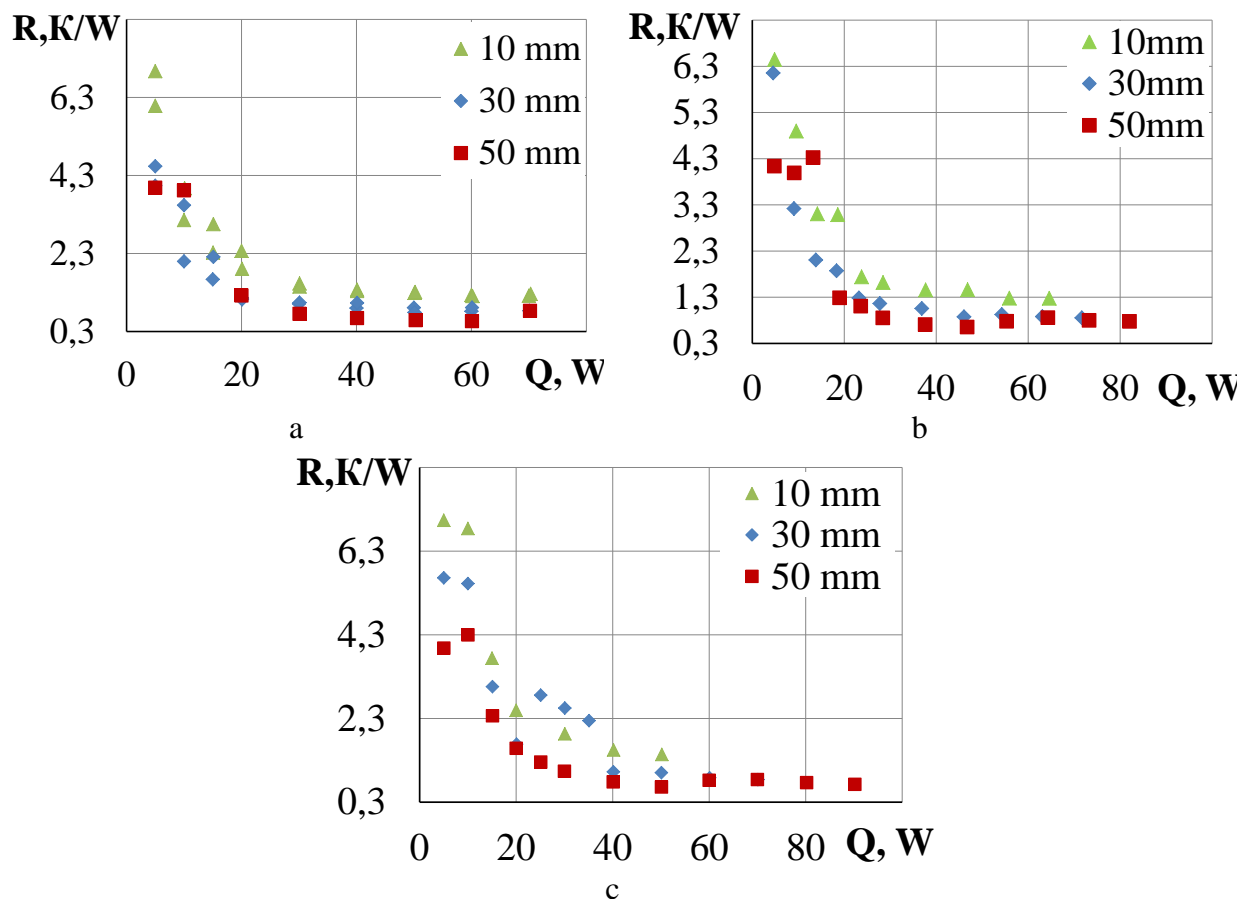


Figure 1 – Influence of the heating zone length on thermal resistance at inclination angles: $+90^\circ$ (a), $+45^\circ$ (b), 0° (c)

PHP didn't start to work at inclination angles -45° and -90° .

But from the other side, according to obtained experimental data the smaller the length of the heating zone the smaller input power is necessary to start PHP working in its main working mode – pulsating regime. For example, PHP with the heating zone length 10 mm starts to work at power 20 W at inclination angle $+90^\circ$, $+45^\circ$, 0° and for the length 30 and 50 mm this value was 30-40 W. This can be explained by decreasing of heat transfer surface area in the heating zone with decreasing of length of this zone. It leads to increasing of heat flux density at constant input power. Increasing of heat flux density provokes the beginning of boiling process in the heating zone at lower power and, as a result, start of PHP working.

Thereby it can be recommended to apply PHP with the heating zone more than 30 mm when it is necessary to provide low thermal resistance. But in case when decreasing of start-up power is more important it is better to use PHP with small length of the heating zone, for example, 10 mm.

References:

1. Charoensawan P., Terdtoon P. Thermal performance of horizontal closed-loop oscillating heat pipes. *Appl. Therm. Eng.*, 2008. Vol. 28. No. 5–6. P. 460–466.
2. Jian Qu, Qian Wang Experimental study on the thermal performance of vertical closed-loop oscillating heat pipes and correlation modeling. *Applied Energy*, 2013. Vol. 112. P. 1154-1160.
3. Kargarsharifabad H., Mamouri S.J., Shafii M.B., Rahni M.T. Experimental investigation of the effect of using closed-loop pulsating heat pipe on the performance of a flat plate solar collector. *J. Renew. Sustain. Energy*, 2013. Vol. 5. Iss. 1. Art. No. 013106.

ВИКОРИСТАННЯ НАНОРІДИН НА БАЗІ СИНТЕТИЧНОГО АЛМАЗУ В ЯКОСТІ ТЕПЛОНОСІЯ ДЛЯ МІНІАТЮРНИХ ЗАКРИТИХ ДВОФАЗНИХ ТЕРМОСИФОНІВ

Проблеми охолодження мікроелектронних пристроїв стають все більш нагальними і комплексними. Це відбувається через збільшення густин теплового потоку, що виділяє пристрій і одночасне зменшення масо-габаритних характеристик. Останні 50 років характер цих змін носить експоненційний характер.

В якості систем охолодження широко використовуються двофазні системи, робота яких базується на випарно-конденсаційних циклах, але і вони мають обмежені теплопередавальні характеристики. Використання нанорідин в якості теплоносія може призвести до покращення теплопередавальних характеристик, а саме до збільшення максимального теплового потоку, що передається, інтенсифікації теплообміну [1], зменшення термічного опору [2].

Давно відомо, що алмаз характеризується аномально високою теплопровідністю (до 2200 Вт/м·К при кімнатній температурі), і останні роки набирає все більшу популярність його використання в системах охолодження (наприклад, наразі багато вчених займаються дослідженням технології «CVD diamond heat spreader»). Проте постає питання, чи буде ефективним і корисним використання теплоносія на основі водної базової рідини та наночастинок алмазу для двофазних систем охолодження.

В якості досліджуваних зразків було виготовлено мініатюрні закриті двофазні термосифони (МЗДТ) ($l_{total}=700\text{мм}$; $l_{evap}=50..200\text{ мм}$, $l_{cond}=200\text{ мм}$, $d_{in}=5\text{мм}$) з нанорідиною на базі синтетичного алмазу в якості теплоносія (НР), та з водою для порівняння.

Отримані результати залежності загального термічного опору від теплового потоку, що передаються МЗДТ (рис.1), показують, що за рахунок використання НР в порівнянні з аналогічним водним теплоносієм, можна отримати зменшення мінімального термічного опору на 18% (для коефіцієнту заповнення $K_3=0,44$). Одночасно з цим спостерігається значне збільшення максимального теплового потоку, що може передати МЗДТ ($Q_{max\text{ НР}}=1,9$ $Q_{max\text{ вода}}$) при використанні НР.

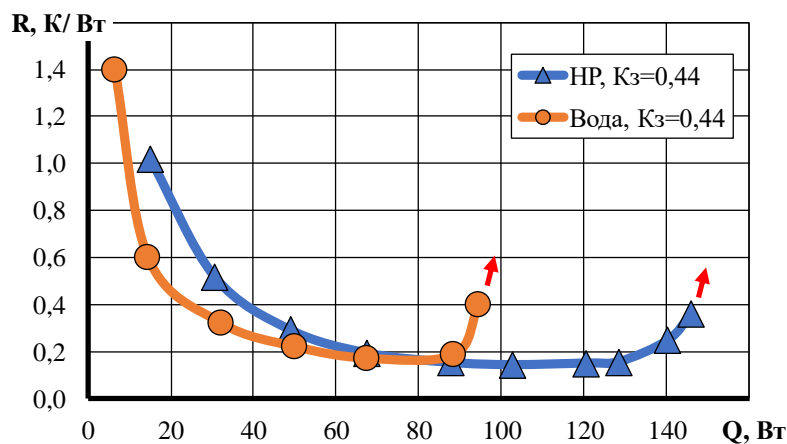


Рисунок 1- Залежність термічного опору від теплового потоку, що передається ($K_3=0,44$)

Дослідження максимальних теплових потоків, що передаються МЗДТ з НР в порівнянні в водним теплоносієм було доповнено діапазоном коефіцієнтів заповнення 0,44...1,66 (рис.2). Для всього діапазону досліджень спостерігалось збільшення Q_{max} в

1,9...2,1 рази.

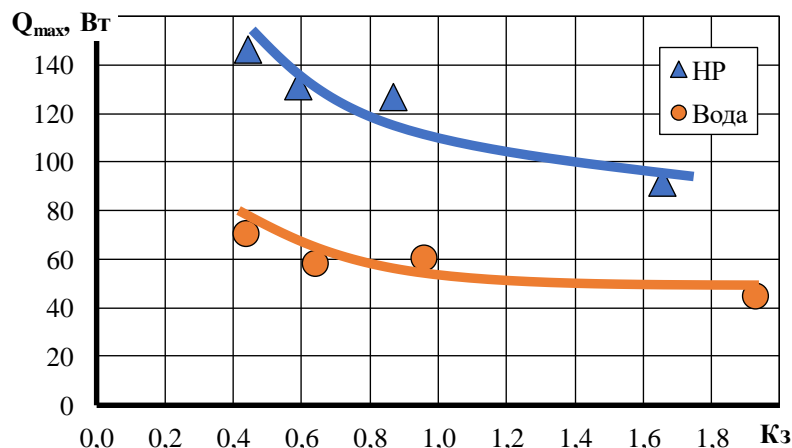


Рисунок 2 – Залежність максимального теплового потоку, що передається від коефіцієнту заповнення

Відомо, що при використанні в якості теплоносія багатокомпонентних систем, в тому числі для НР, особливу увагу потрібно приділяти наявності деградації теплопередавальних характеристик з плином часу. З метою перевірки цього аспекту було проведено багаторічний дослід (4 роки) в режимі «збереження», по результатам якого деградації не було виявлено (рис.3).

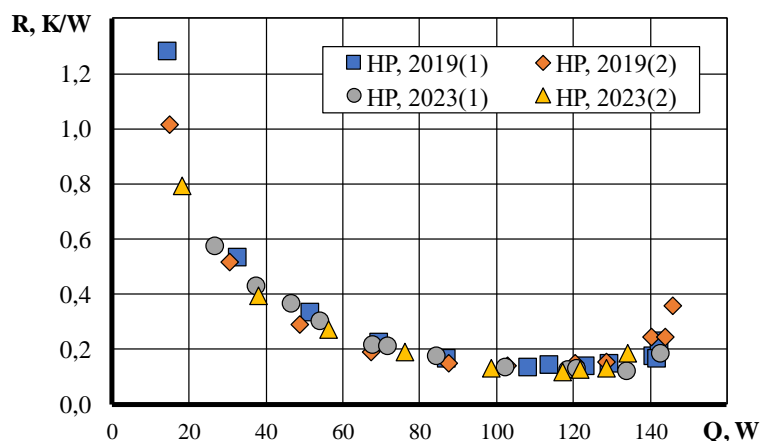


Рисунок 3 – Ресурсні випробування в режимі «збереження»: залежність термічного опору від теплового потоку, що передається

Таким чином, вище наведені результати досліджень підтверджують доцільність використання НР на базі синтетичного алмазу в якості теплоносія для МЗДТ. Завдяки їх використанню можна досягнути зменшення термічного опору, та збільшення Q_{max} (в 1.9-2.1 разів) в порівнянні з аналогічними системами з водним теплоносієм.

Перелік посилань:

1. Yu, S.-P.; Lue, Y.-F.; Teng, T.-P.; Hsieh, H.-K.; Huang, C.-C. Enhanced Heat Transfer Performance of the Tube Heat Exchangers Using Carbon-Based Nanofluids. *Appl. Sci.* 2021, *11*, 8139. <https://doi.org/10.3390/app11178139>
2. Choi, D.; Jun, G.; Hwang, W.; Lee, K.-Y. Heat Transfer Enhancement of Small-Diameter Two-Phase Closed Thermosyphon Using Cellulose Nanofiber and Hydrophilic Surface Modification. *Nanomaterials* 2021, *11*, 647. <https://doi.org/10.3390/nano11030647>

ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ ТЕПЛООБМІНУ І АЕРОДИНАМІЧНОГО
ОПОРУ ВСЕРЕДИНІ ПЛОСКООВАЛЬНОЇ ТРУБИ

Проблеми енергозбереження та ефективного використання ресурсів, зменшення масогабаритних характеристик теплообмінного обладнання є найбільш актуальними на сучасному етапі розвитку різних галузей промисловості (енергетика, нафтопереробна, хімічна і т.д.) [1].

Для підвищення енергоефективності обладнання виділяють, як правило, два основних підходи: 1) турбулізація потоку за рахунок оптимізації прохідного перерізу, підвищення швидкості, різноманітних вставок (стрічки, пружини, кільця); 2) використання розвинених трубчастих або пластинчастих поверхонь, зазвичай, шляхом високого ступеня їх оребрення.

В КПІ ім. Ігоря Сікорського [2] досліджено та запропоновано новий тип поверхні у вигляді труб плоскоовального профілю з неповним поперечним зовнішнім оребренням. Доцільність використання даних труб обґрунтовано тим, що без зміни теплопередавальної здатності зменшується аеродинамічний опір і маса оребреної труби.

Однак, дослідженню внутрішньої задачі даних труб приділяється недостатня увага. Тому, дана робота присвячена визначенню теплообміну і аеродинамічного опору всередині плоскоовальної труби.

Експерименти виконані в проточній аеродинамічній трубі внутрішнім діаметром 36 мм, що працює за відкритою розімкненою схемою. Дослідна ділянка – труба плоскоовального профілю 30x15 мм, товщиною стінки 2 мм і довжиною 320 мм. В якості робочого середовища використовується повітря, що всмоктується з лабораторного приміщення [3]. Апроксимація отриманих експериментальних даних проводилася за методикою, що наведена в [3].

На рисунку 1 приведені розрахунки інтенсивності теплообміну і аеродинамічного опору в залежності від швидкості повітря при однакових периметрах прохідного перерізу плоскоовальної і круглої труби. Таким чином, діаметр круглої труби 21 мм який одночасно є і її еквівалентним діаметром. Еквівалентний діаметр плоскоовальної труби при даних геометричних параметрах становить 16,1 мм.

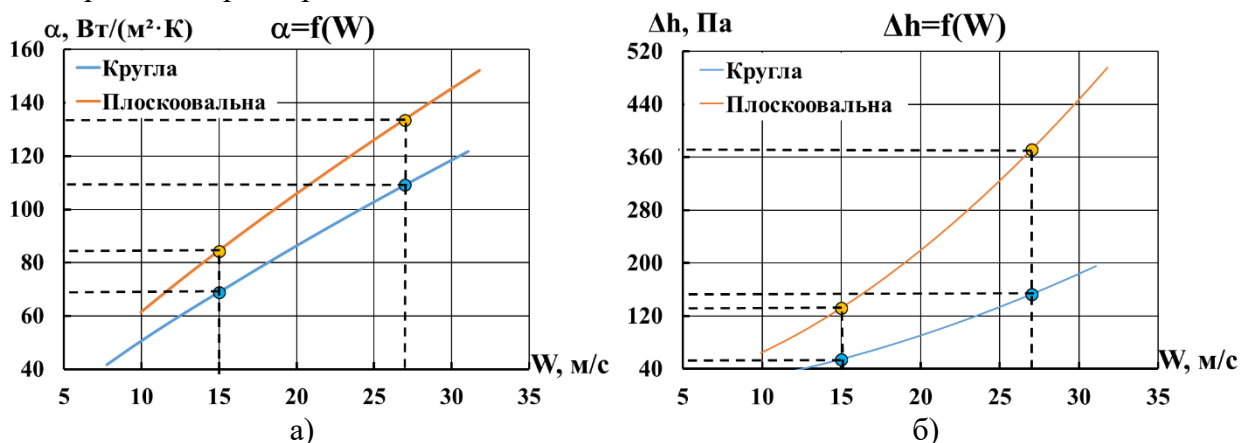


Рисунок 1 – Інтенсивності тепловіддачі (а) і аеродинамічного опору від швидкості повітря

Інтенсивність тепловіддачі у плоскоовальної труби в порівнянні із круглою більша, однак це супроводжується суттєвим зростанням аеродинамічного опору у всьому діапазоні швидкостей.

Результати дослідження теплообміну представлені в логарифмічних координатах Nu

– Re (рис.2). В числах подібності визначальним геометричним розміром приймається еквівалентний діаметр труб.

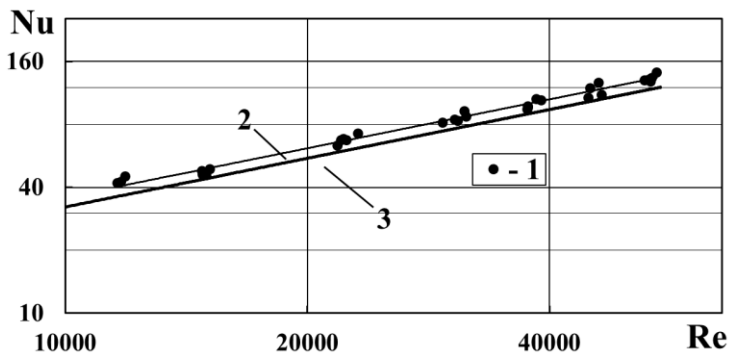


Рисунок 2 – Узагальнення дослідних даних з теплообміну в плоскоовальній трубі: 1 – експериментальні дані; 2 – апроксимаційна лінія; 3 – розрахункова лінія для круглої труби

$$Nu = 0,027 \cdot Re_{de}^{0,78} \quad (2)$$

Порівняльний аналіз показав, що інтенсивність тепловіддачі в плоскоовальній в 1,1 – 1,2 рази вище, ніж для гладкої труби круглого профілю.

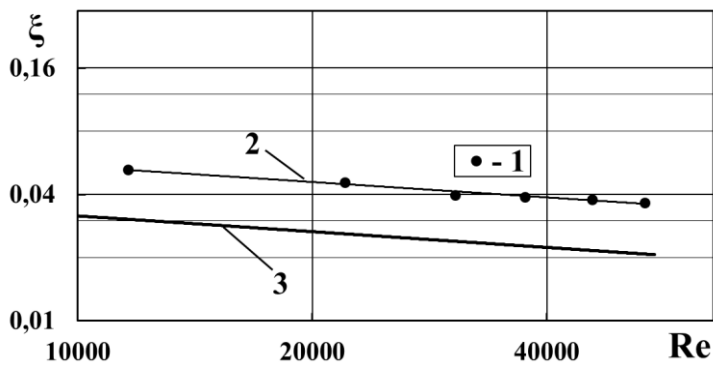


Рисунок 3 – Узагальнення дослідних даних з аеродинамічного опору в плоскій трубі: 1 – експериментальні дані; 2 – апроксимаційна лінія; 3 – розрахункова лінія для круглої труби за формулою Blasius (3).

Порівняльний аналіз показав, що коефіцієнт аеродинамічного опору плоскоовальної труби в 1,4 – 1,7 рази вище, ніж для гладкої труби круглого профілю.

Перелік посилань

1. Ефективні теплообмінні апарати. ГАНЗА. URL: <http://nvfganza.com.ua/> (дата звернення: 10.03.2023).

2. Pis'mennyi E. N. Ways for improving the tubular heaters used in gas turbine units. Thermal Engineering. 2012. Vol. 59, No. 6. P. 485–490.

3. Кулинич В.С., Рогачов В.А., Терех О.М. Методика експериментального дослідження теплообміну та аеродинамічного опору в плоскоовальному каналі з інтенсифікаторами. *Теплова енергетика: шляхи реновації та розвитку*: зб. наук. праць XVIII міжнар. наук.-практ. конф. Київ, 2022 С.239 – 243.

При турбулентному режимі для круглої труби середня інтенсивність тепловіддачі повітря (лінія 3) описується формулою [3]:

$$Nu = 0,018 \cdot Re^{0,8} \cdot \varepsilon_l, \quad (1)$$

де ε_l – поправка на початкову ділянку труби, $\varepsilon_l = f(l/d, Re)$. В даних дослідження поправка змінюється в діапазоні (1,13 – 1,08).

Експериментальні дані для плоскоовальної труби апроксимовані формулою з похибкою 5 %:

Результати дослідження аеродинамічного опору представлені в логарифмічних координатах $\xi - Re$ (рис.3).

Емпірична формула Blasius для круглих труб при турбулентному режимі течії справедлива до $Re = 10^5$ і на графіку відповідає лінії 3:

$$\xi = 0,316 \cdot Re^{-0,25} \quad (3)$$

Експериментальні дані з аеродинамічного опору для плоскоовальної труби апроксимовані формулою:

$$\xi = 0,512 Re_{de}^{-0,244} \quad (4)$$

ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ ТЕРМОСИФОНІВ З НАНОРІДИНАМИ

Проблеми, пов'язані з охолодженням електронного обладнання, на сьогоднішній день є актуальними. Всі системи охолодження можна розділити на дві категорії: активні та пасивні. Основною перевагою пасивних систем охолодження (СО), що випливає з назви, є відсутність споживання електроенергії. Такі системи, крім усього, відрізняються своєю простотою, і як наслідок підвищеною надійністю та ресурсом.

Окремим видом пасивних систем охолодження є двофазні системи, які знайшли застосування як у наземних умовах, так і в космосі, як в діапазоні низьких температур (крію), так і при високих (теплоносій - рідкий метал). Представниками цієї категорії є теплові труби (ТТ), термосифони, контурні ТТ, газорегульовані, діодні та ін. У випадках, коли має бути вертикальне розташування СО, таким чином, що підведення теплоти знаходиться нижче зони відведення теплоти, найбільш раціональним є використання термосифонів (ТТ без капілярної структури).

Останні роки все більше робіт пов'язані з поліпшенням теплопередаючих характеристик двофазних термосифонів за допомогою використання в якості теплоносія нанорідин (НР). Нанорідина являє собою теплоносій, який складається з базової речовини (води, етиленгліколю, спиртів, ін.) та наночастинок (часток, характерний розмір яких знаходиться в нанодіапазоні). Результати робіт авторів цих тез, як і результати світової наукової спільноти, демонструють, що при правильному застосуванні наночастинок можна отримати значний вииграш у максимальному тепловому потоці, що передається, при тих же порядках термічних опорів [1].

Основними теплопередавальними характеристиками таких двофазних системи є максимально переданий тепловий потік (Q_{max}), мінімальний термічний опір (R_{min}), еквівалентна теплопровідність, коефіцієнти тепловіддачі в зонах нагріву (ЗН), і конденсації (ЗК). Поряд із цими характеристиками, в іноземній спільноті закріпився і періодично використовується такий параметр, як ефективність роботи.

Фактично, дана величина є аналогом коефіцієнта корисної дії для випарно-конденсаційних систем і є співвідношенням переданої теплоти, до теплоти, яку було підведено до СО.

При нашій схемі і постановці експерименту, коли потужність, що підводиться, імітується ніхромовим нагрівачем, і фіксується за допомогою ватметра, а відведення теплоти відбувається за допомогою теплообмінника за типом труба в трубі, з фіксацією вхідних і вихідних температур охолоджуючої рідини (води), а також її витрати, ефективність роботи досліджуваного термосифона може бути обчислена таким чином:

$$e = \frac{G C_p (t_{вх} - t_{вих})}{P},$$

де G - витрата охолоджуючої рідини, кг/с; C_p - теплоємність рідини, Дж/(кг·К); $t_{вх}$, $t_{вих}$ - вхідна та вихідна температура охолоджуючої рідини, °С; P - потужність, що підведена нагрівачем, Вт.

У якості дослідних зразків виступали термосифони наступної конфігурації: $L_{ТС}=700$ мм (200/300/200 мм), $d=6$ мм, коефіцієнт заповнення 0,44. Теплоносії: водна НР на базі природної суміші алюмосилікатів монтморилоніту та атапульгіту (ТС №1), водна НР на базі атапульгіту (ТС №2), водна НР на основі суміші вуглецевих нанотрубок та атапульгіту (ТС №3), водна НР на базі вуглецевих нанотрубок (ТС №4), водна НР на основі синтетичного алмазу (ТС №5), водна НР на основі аморфного вуглецю (ТС №6), вода (ТС №7).

Отримані експериментальні результати наведено на рис. 1.

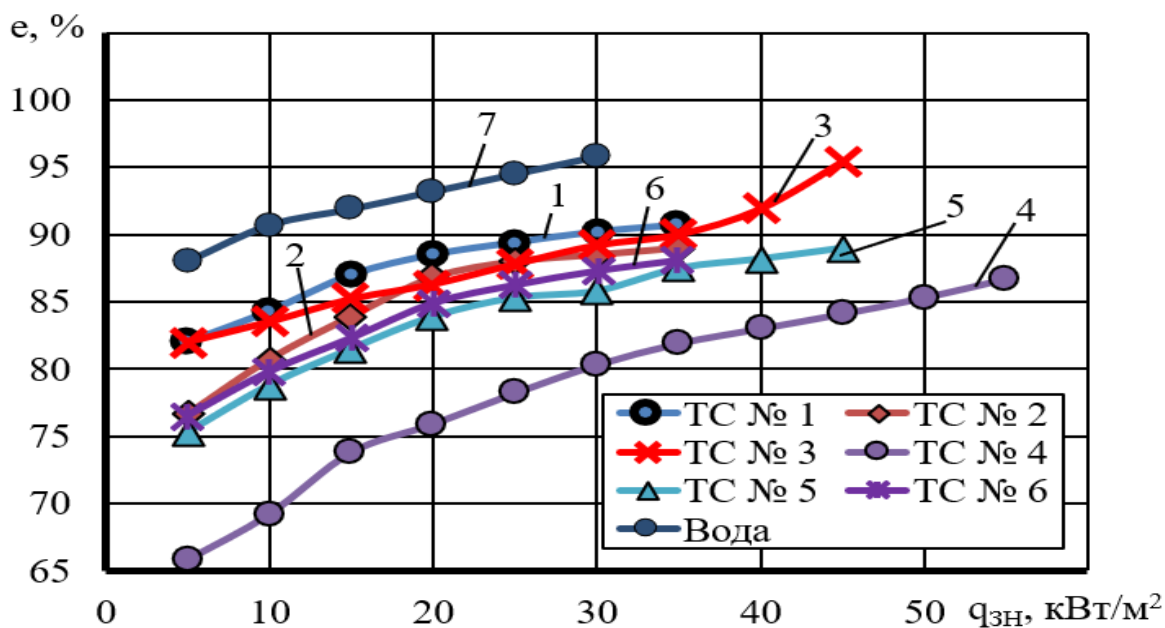


Рисунок 1 – Залежність ефективності роботи термосифона від густини теплового потоку

Як можна побачити з рис. 1, зі збільшенням теплового потоку простежується збільшення ефективності роботи термосифона. Це пояснюється збільшенням температурного перепаду між ЗН і ЗК, що призводить до збільшення інтенсивності передачі тепла.

Ефективність роботи ТС з водою у вузькому діапазоні густин теплового потоку показує результати вище, ніж ефективність представлених ТС з НР. Однак, варто звернути увагу на те, що незважаючи на високі показники ефективності для зразка ТС №7 (вода) – критична густина теплового потоку для нього становила лише близько 30 кВт/м², після чого сталась криза. На відміну від ТС №7(вода), густина теплового потоку для зразка ТС №4 (вуглецеві нанотрубки) досягла 55 кВт/м² (що на 83% більше).

Величина ефективності для двофазних систем набула достатньої популярності у закордонних роботах [1, 2], але при цьому досить рідко має використання у вітчизняних учених. Це можна пояснити низькою точністю (великою похибкою) її вимірювань, що пов'язано з втратами теплоти в навколишнє середовище.

Таким чином, можна зробити висновок, що даний показник краще використовуватися для загального (наприклад, залежність ефективності термосифона від теплового потоку, що передається), а не порівняльного аналізу. А для точного порівняльного аналізу можна рекомендувати, базуючись на експериментальних даних, використовувати вже звичні максимальний тепловий потік, що передається, термічний опір, коефіцієнти тепловіддачі і теплопровідності.

Перелік посилань:

1. Naphon P., Assadamongkol P., Borirak T. Experimental investigation of titanium nanofluids on the heat pipe thermal efficiency. International Communications in Heat and Mass Transfer. 2008. Vol .35. P. 1316–1319.

2. Naphon P., Thongkum D., Assadamongkol P. Heat pipe efficiency enhancement with refrigerant–nanoparticles mixtures. Energy Conversion and Management. 2009. Vol. 50. P. 772–776.

Аспірант Кулинич В.С.
Доц., к.т.н. Рогачов В.А.

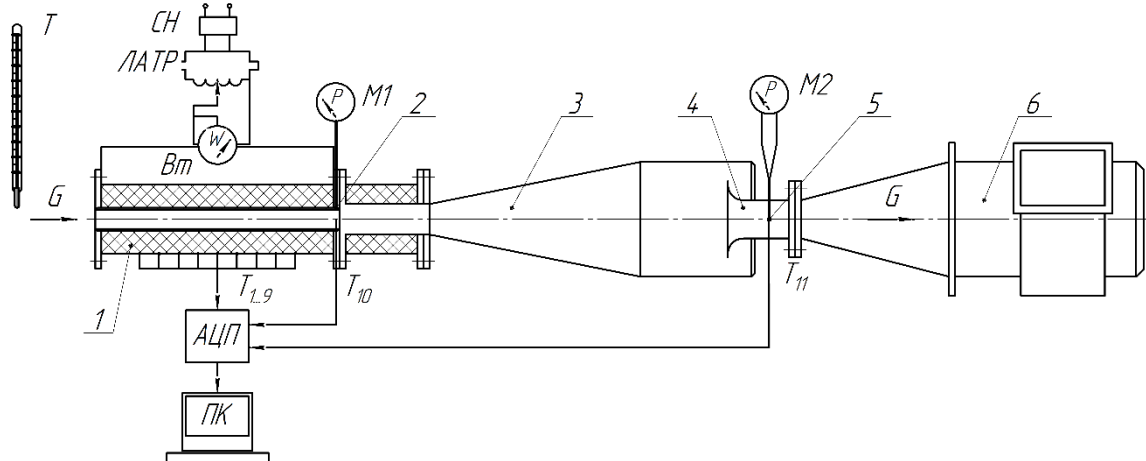
ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ТЕПЛООБМІНУ ВСЕРЕДИНІ ПЛОСКОЇ ТРУБИ

Пошук раціональних способів інтенсифікації процесів передачі тепла є головним напрямом удосконалення теплообмінних апаратів. Одним із таких методів підвищення ефективності теплообміну являється штучна турбулізація за допомогою вставок у вигляді пружин, кілець, стрічок, спіралей і т. д.

Багато дослідників проводили дослідження впливу різних конструктивних способів посилення теплопередачі на підвищення теплової продуктивності в системі теплообмінника, як експериментальними, так і числовими методами. Певна кількість досліджень теплової поведінки використання турбулізаторів вставлених у круглі труби широко представлені в літературі, наприклад, дротяні котушки [1-3] різних форм і конфігурацій. Як от, спіральний дріт з поперечним трикутним перерізом [1], гладкі дротяні котушки з ребрами та канавками [2], дріт квадратного профілю [3] і визначали вплив відносного кроку дроту на теплову ефективність.

Однак, перспективним трубам зручнообтічної форми, вчасності плоскій трубі, приділяється недостатньо уваги. Тому перед нами постала задача визначення впливу відносного кроку дроту на теплообмін і аеродинамічний опір.

Для вирішення цієї задачі розроблено експериментальна установка (рис. 1).



1 – робоча ділянка; 2 – штуцер відбору статичного тиску; 3 – дифузор; 4 – сопло; 5 трубка Піто; 6 – вентилятор; АЦП – аналого-цифровий перетворювач; М1, М2 – мікроманометри; ПК – персональний комп'ютер; Т – термометр; Вт – ватметр; ЛАТР – лабораторний автотрансформатор; СН – стабілізатор напруги

Рисунок 1 – Схема експериментальної установки

Робоча ділянка 1 у вигляді плоскої труби з довжиною 320 мм, розмірами перерізу 30x15 мм і товщиною стінки 2 мм під'єднується до всмоктуючого входу труби через фланець патрубку. Повітря всмоктується з лабораторного приміщення і рухається через робочу ділянку, проточну частину та дифузор 3, до якого приєднується витратомірювальний блок, що складається з сопла 4, спрофільованого за лемніскатою діаметром $d_c = 0,036$ м, на виході з якого в одному перетині з дренажним отвором на стінці сопла встановлювалась трубка Піто 5. Це дає можливість визначати динамічний напір на виході з труби. До витратомірного блоку через гофровану трубу приєднується відцентровий вентилятор типу ДВ – 1КМ з максимальними параметрами: витрати $G = 0,16$ м³/с та напором $P = 5000$ Па.

До складу експериментальної установки входять такі вимірювальні прилади:

- Ватметр типу Д5066 класу точності 0,5 використовуються для виміру потужності, які подаються на електронагрівач.
- Мікроманометр типу ММН-240(5)-1,0 класом точності $k = 1,0$ для визначення динамічного та статичного напорів.
- Барометр-анероїд типу БАММ класу точності 1,0, за допомогою якого визначається тиск навколишнього середовища.
- Ртутний термометр з ціною поділки 0,1 °С для вимірів температури повітря на вході в аеродинамічну трубу.
- Мідь-константанові термопари діаметром дроту 0,2 мм в кількості 11 штук для вимірювання вхідної та вихідної температури теплоносія і температурного поля стінки дослідної ділянки.
- Інформаційно-вимірювальний комплекс складався з двох аналого-цифрових перетворювачів АЦП типу ІСР CON І-7018 і одного перетворювача інтерфейсів типу ІСР CON І-7561 з виходом на персональний комп'ютер (ПК).

В якості інтенсифікаторів використовуються плоскі пружинки (рис. 2), що намотані із мідного дроту товщиною 1 мм з наступними геометричними параметрами (рис. 3).

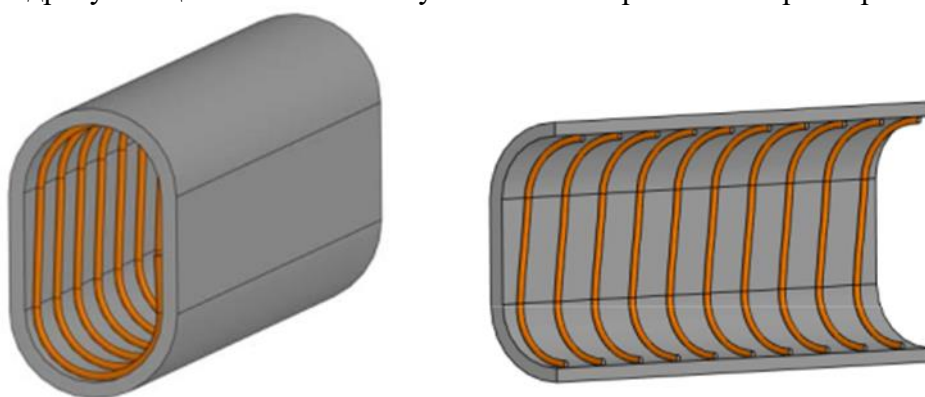
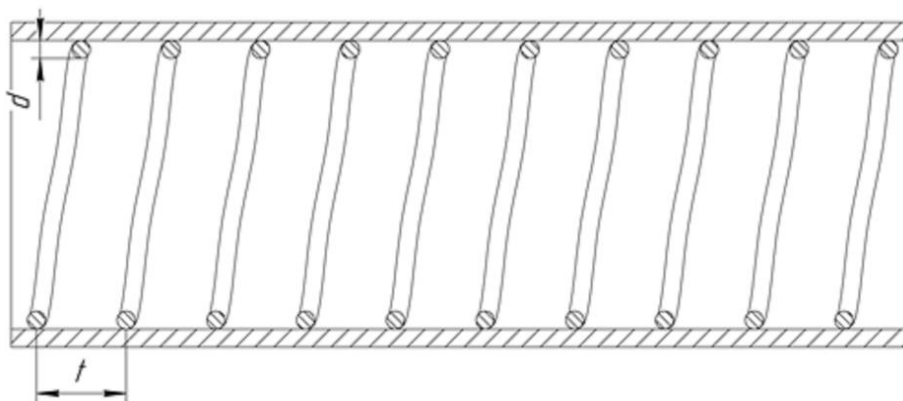


Рисунок 2 – Пружинні вставки всередині труби



t	t/d
10	10
20	20
32	32
40	40
60	60
80	80

Рисунок 3 – Геометричні розміри плоскої пружини

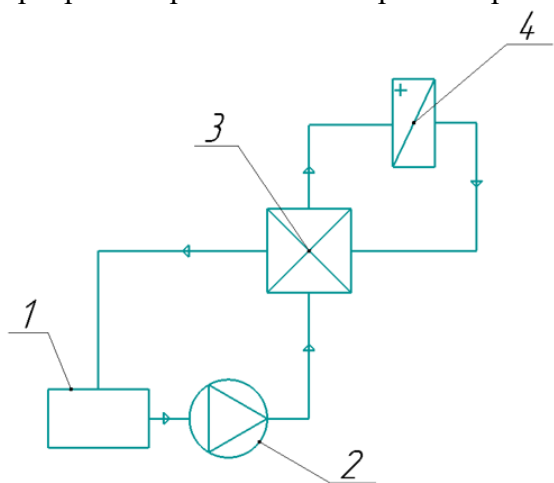
Перелік посилань:

1. Keklikcioglu O., Ozceyhan V. Experimental investigation on heat transfer enhancement in a circular tube with equilateral triangle cross sectioned coiled-wire inserts. *Applied Thermal Engineering*. 2018, 25 February. Vol.131, P. 686–695.
2. Chang, S.W., Jing Yan Gao, J.Y., Shih H.L. Thermal performances of turbulent tubular flows enhanced by ribbed and grooved wire coils. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2015, November. Vol.90, P. 1109–1124.
3. Promvonge P. Thermal performance in circular tube fitted with coiled square wires. *Energy Conversion Management*. 2008, May. Vol. 49, Iss. 5. P. 980–987.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ В ПОЛІМЕРНОМУ ПЕРЕХРЕСНО-ПРОТОЧНОМУ ТЕПЛООБМІННИКУ

Сучасною тенденцією організації роботи енергетичного обладнання та створення промислових теплотехнологій є максимально повна утилізація теплоти відпрацьованих теплових потоків для подальшого її корисного використання. Ці задачі ефективно вирішуються включенням в технологічні лінії теплообмінників різних конструкцій. В умовах постійного зростання цін на метали особливо високотеплопровідні, для утилізації теплоти відносно невисокого потенціалу актуальною задачею є залучення полімерних матеріалів для виготовлення поверхонь теплообміну. Полімерні теплообмінники зазвичай є пластинчастими перехресно-проточного типу [1]. Пластини виготовляють методом штампування або вакуумного формування з певним типом оребрення, яке при складанні теплообмінника утворює канали певної конфігурації з достатньо розвинутою площею теплообміну. При цьому зменшується вага апарату.

Щоб оцінити ефективність роботи таких утилізаторів теплоти в залежності від режимних параметрів гарячого і холодного теплоносіїв, в ІТТФ НАНУ створено лабораторну дослідну установку, принципова схема і загальний вид якої представлені на (рис. 1, 2). Робочим елементом установки є самостійно сконструйований рекуперативний перехресно-проточний повітря-повітряний полімерний теплообмінник ППТО.



1-приміщення; 2-вентилятор; 3- ППТО;
4-електронагрівач
Рисинок 1 - Принципова схема дослідної установки

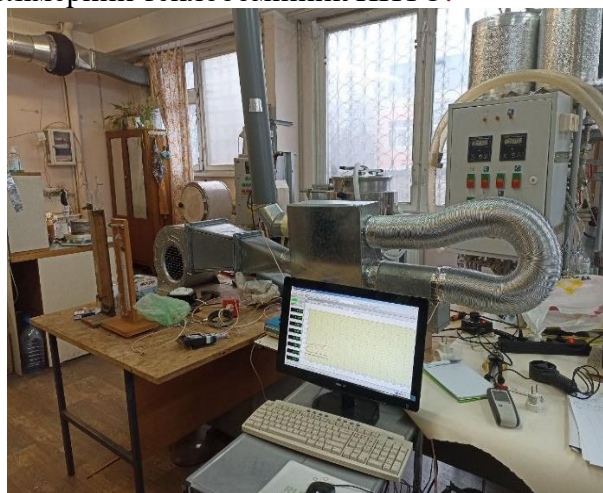


Рисунок 2 - Загальний вид дослідної лабораторної установки



Рисунок 3 - Лист сотового полікарбонату

Теплообмінні ППТО поверхні виготовлено з сотового полікарбонату з осередками перетином 4 мм і товщиною стінки 0,15 мм (рис.3). Даний матеріал витримує температуру 130 °С. Лист полікарбонату розпускався навпіл, утворюючи дві оребрені стінки розмірами 250x250 мм та висотою ребра 2 мм. Ці стінки склали під кутом 90° відносно повздовжніх осей сот в пакет висотою 150 мм з перехресними каналами 4x2 мм.

Вентилятор спрямовує потік холодного повітря з приміщення лабораторії в канали холодної частини теплообмінника, після проходження яких в гнучкій частині

трубопроводу здійснюється нагрівання повітря, моделюючи потік відпрацьованого теплоносія, наприклад з сушарної камери і потім подається в канали теплої частини теплообмінника. Таким чином забезпечується постійна витрата гарячого і холодного теплоносіїв.

Було проведено серію експериментів в діапазоні швидкостей теплоносіїв від 2,2 до 9 м/с. Температура гарячого і холодного теплоносіїв на вході і виході каналів ППТО фіксувалась за допомогою хромель-копелевих термопар і виводилась на екран монітора. Розроблено методику обробки вимірюваних даних. Проведено тестові розрахунки, які показали, що термічний опір полікарбонатних поверхонь майже не впливає на величину коефіцієнта теплопередачі в ППТО. Розраховано теплові потоки, коефіцієнти теплопередачі, втрати тиску та ефективність в залежності від швидкості руху теплоносіїв. Залежність ефективності ППТО від швидкості руху теплоносіїв представлена на рис. 4.

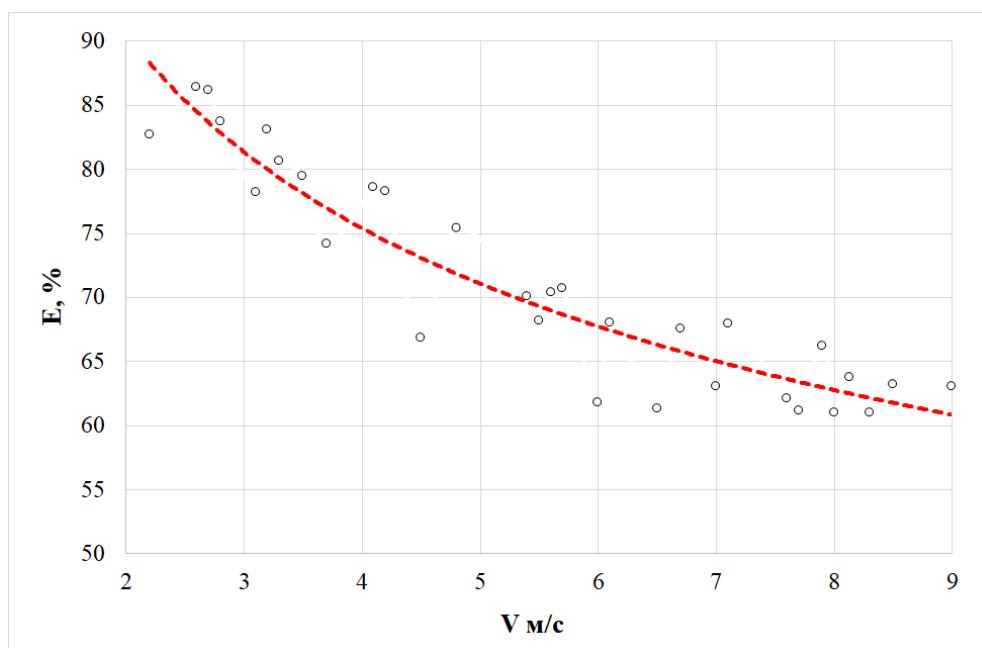


Рисунок 4 - Залежність ефективності роботи теплообмінника від швидкості теплоносіїв

При невисоких швидкостях теплоносіїв (2,2 м/с), характерних для систем вентиляції повітря, ефективність полімерного перехресно-проточного теплообмінника досягає 87 %. Підвищення швидкості теплоносіїв знижує ефективність роботи ППТО за рахунок зростання потужності витяжного вентилятора. Так, при зростанні швидкості до 9 м/с, ефективність роботи ППТО знижується майже до 60 % .

Перелік посилань:

1. Каталог виробника вентиляційного обладнання Blauberg Group AG (Люксембург). Код доступу https://zern-engineering.com/device_type/plate-cross-flow-heat-exchangers/ (дата звернення: 15.04.2022)

ПРО ЗМІНУ РЕЖИМІВ КОНДЕНСАЦІЇ НА ТЕПЛООБМІННИХ ПОВЕРХНЯХ ІЗ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ.

Технічне застосування конденсаційного теплообміну є цікавим питанням, оскільки може передаватися велика кількість теплоти, під час фазового переходу від парової до рідкої фази. Механізм конденсації пов'язаний із властивістю змочуваності робочої поверхні. В свою чергу, цей механізм визначається співвідношенням поверхневої енергії твердого тіла та конденсату. Суттєвий вплив на нього має шорсткість поверхні твердого тіла. Більшість поверхонь конденсаторів виготовлені з різноманітних металів та сплавів. Якщо не обробляти такі поверхні певним чином, то в більшості випадків буде отримана плівкова конденсація. Конденсатні утворення будуть змочувати робочі поверхні. Застосування технологій отримання гідро- та ліофобних поверхонь дозволяє змінити режим конденсації на краплинний. При цьому значно покращуються теплообмінні характеристики. З'являється можливість регулювання механізму процесу конденсації. Підвищення коефіцієнта тепловіддачі з боку конденсату впливає і на загальний коефіцієнт теплопередачі теплообмінника. При цьому покращуються і масогабаритні характеристики обладнання, зменшується розмір промислових конденсаторів. Це також зменшує інвестиційні та експлуатаційні витрати. Відомі різні підходи для організації і підтримання краплинної конденсації на металевих поверхнях. До цього часу немає єдиного універсального підходу з цього питання. Існує також проблема довготривалого промислового застосування такого високо інтенсивного процесу теплообміну.

Одним із методів реалізації режиму краплинної конденсації є нанесення на теплообмінну поверхню тонкого шару масла, жиру, нафтопродуктів, тощо. При цьому бажано, щоб теплообмінна поверхня була добре відполірована. Недоліком такого підходу є термічний опір, надійність зчеплення з поверхнею і стабільність водо відштовхуючого покриття. Застосування сучасних поверхнево-активних речовин дозволяє мінімізувати товщину покриття до моно-, бі-, три- або полі молекулярного рівня. При цьому зберігається висока інтенсивність теплообміну. Залишається питання тривалості надійної роботи покриття в часі.

Ще одним методом зміни режимів конденсації є іонна імплантація атомів неметалів в металеву поверхню. Така технологія є достатньо затратною, вимагає особливих умов застосування, і не завжди може призвести до бажаного результату. Залишається питання оптимізації технології іонної імплантації для використання її у промисловому масштабі. Є певні успіхи в досягненні стабільної краплинної конденсації для нержавіючої сталі та хромованої міді.

Алюмінієві сплави часто використовуються в авіаційній техніці, оскільки вони мають високу теплопровідність та низьку вагу. Із метою зниження витрат на паливо та оптимізації експлуатаційних характеристик перспективних напрямком постає зміна режимів конденсації в системі кондиціонування повітря літаків. Дотепер існує позитивний досвід отримання режиму краплинної конденсації на сплаві AlCuMgPb F38, наведений в роботі [1]. Але, з плином часу значно посилилась дія корозійно-ерозійних поверхневих процесів, що призвело до поступової зміни режимів конденсації з краплинної, на перехідний, і, в решті-решт, на плівковий.

Тим не менше, реальне створення і підтримання вискоефективної конденсації на алюмінієвих сплавах типу Al 3003 та Al 6951, які широко використовуються в авіаційній техніці, дало свій позитивний ефект в подальших дослідженнях цього процесу. Використання дисків з алюмінієвого сплаву підпорядковувалось систематичному варіюванню методу імплантації та його параметрів, таких як доза іонів та енергія

імплантації. Це дозволяє досягти якісної краплинної конденсації на Al 6951, хоча і на нетривалий час – близько п'яти тижнів, і переважно змішаного режиму для Al 3003. Задача досягнення якісної краплинної конденсації для алюмінієвих сплавів остаточно не вирішена, а подальші дослідження полягають в поєднанні різноманітних методів, а не тільки застосування іонної імплантації.

В КПІ ім. Ігоря Сікорського було проведено дослідження зразків поверхонь на основі алюмінієвих сплавів типу АЦ і ДЦ. Застосовувалась комплексна обробка на основі сучасних поверхнево-активних речовин. Окрім цього, була проведена порівняльна серія експериментів для мідь містких сплавів, мельхіору та нержавіючої сталі. За теплообмінними показниками найкращий результат був досягнутий для мідь містких сплавів, потім йшли алюмінієві сплави, мельхіор, і, нарешті, нержавіючі сталь.

Аналогічні дослідження і отримані результати, які були наведені в роботі [1], при іонній імплантації показали якісно однакову картину процесу. Для нержавіючої сталі з дозою іонів 10^{16} см⁻² та енергією імплантації 20 кеВ інтенсивність теплообміну була значно нижча, ніж для алюмінієвих сплавів з енергією імплантації приблизно 4–8 кеВ. Було встановлено, що алюмінієві сплави дуже чутливі до параметрів імплантації. Треба звертати особливу увагу на глибину проникнення і ступінь обробки поверхні з урахуванням характеристик конкретного сплаву.

Навіть невелика зміна складу сплаву і чистоти обробки поверхні може призвести до значної зміни отриманих результатів. За умови оптимального поєднання методу обробки поверхні і режимних параметрів процесу реальним є підтримання стійкої якісної краплинної конденсації до 8 місяців для різноманітних сплавів на основі алюмінію. Застосування іонної імплантації саме по собі не є універсальною технологією, тому пошук альтернативних варіантів залишається актуальним.

Поліпшення характеристик процесу конденсації на поверхнях із алюмінієвих сплавів є довготривалою нетривіальною задачею. Це може бути корисно для розробки ефективніших теплообмінних систем із використанням конденсаторів в різноманітних галузях промисловості. Однак, необхідно пильно контролювати стабільність та відтворюваність характеристик процесу конденсації.

Перелік посилань:

1. Alfred Leipertz. Dropwise condensation heat transfer on ion implanted aluminum surfaces / L. A., P. F. A., H. R. M., 2008. – 1070 с.

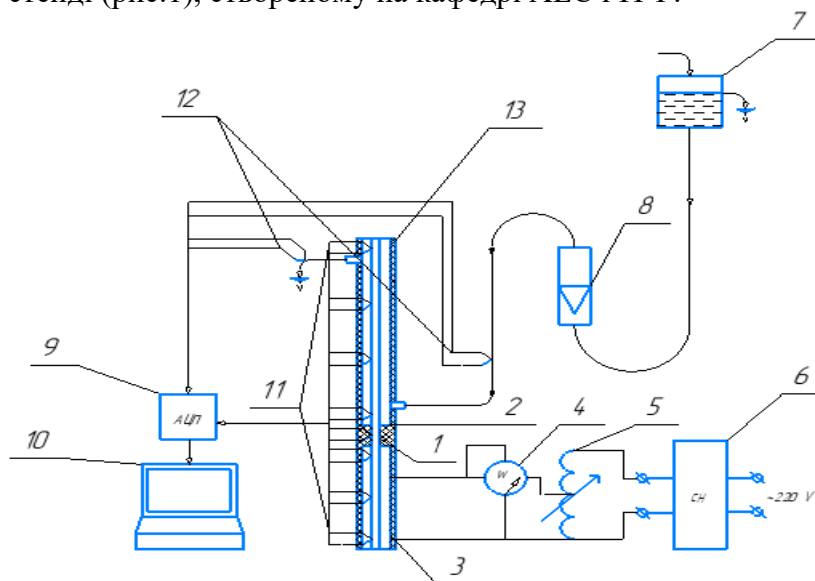
ВПЛИВ ПОЛЯ ГРАВІТАЦІЇ НА ТЕПЛОПЕРЕДАЮЧІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛОВОЇ ТРУБИ З МЕТАЛОВОЛОКНИСТОЮ ПОРИСТОЮ СТРУКТУРОЮ

Теплові труби (ТТ) представляють теплопередавальні системи, в основі роботи яких лежать теплові ефекти фазових перетворень. Вони знаходять застосування у багатьох технічних приладах, де необхідно здійснювати інтенсивну термостабілізацію шляхом відведення значних теплових потоків при невисоких градієнтах температури з оточуючим середовищем. ТТ довели свою універсальність, а в деяких випадках просто незамінність. За останні півсторіччя в українській та світовій науці виконано значний обсяг досліджень, на основі яких сформульовано теорію ТТ [1-5], принципи їх конструювання та технології виготовлення із залученням фундаментальних законів термодинаміки, теплопередачі, механіки рідини, матеріалознавства, Розроблено методики розрахунку характеристик, конструкцій та умов експлуатації ТТ.

Серед теплопередаючих пристроїв на фазових перетвореннях найпоширенішими є двофазні термосифони, де повернення конденсату в зону кипіння здійснюється під дією сил тяжіння, та теплові труби, в яких внутрішня поверхня оснащена шаром капілярно-пористого матеріалу і рух теплоносія здійснюється під дією капілярних сил. В залежності від умов експлуатації ТТ та розміру капілярів пористого шару на капілярний рух теплоносія може помітно накладатись вплив гравітаційних сил. Дослідженню впливу останніх на теплопередавальні властивості ТТ для окремих випадків приділена увага в [5].

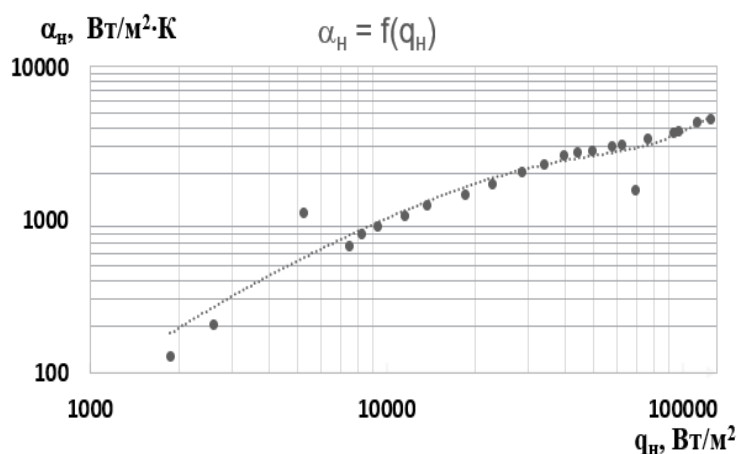
Розширення кола досліджень по вивченню теплофізичних характеристик ТТ з урахуванням впливу гравітаційного поля на рух теплоносія дозволить розширити можливості їх застосування у різних теплопередаючих та термостабілізуючих системах.

Для проведення досліджень було вибрано ТТ з наступними характеристиками: довжина 0,3 м; довжина зони нагріву 0,1 м; зовнішній і внутрішній діаметри 0,006 м і 0,005 м; товщина пористого шару 0,001 м, пористість $\Pi = 0,85$; діаметр і довжина волокна $70 \cdot 10^{-6}$ м і $7 \cdot 10^{-3}$ м; матеріал – мідь; теплоносій – вода; маса 32,26 г. Експерименти проводились на лабораторному стенді (рис.1), створеному на кафедрі АЕС і ІТФ.

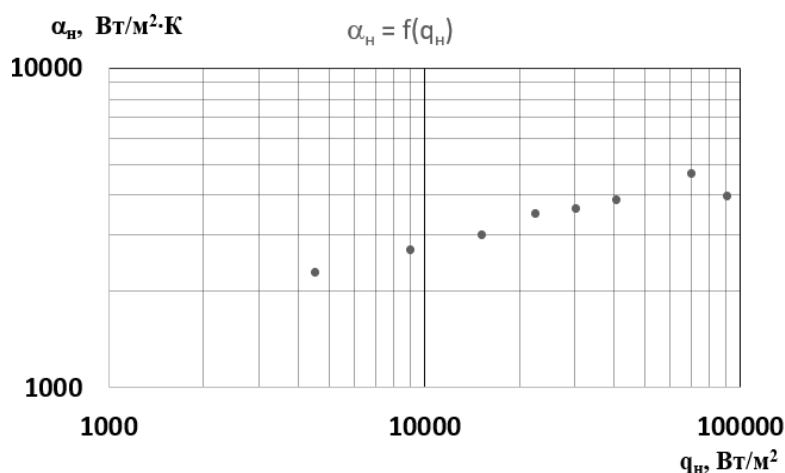


1 – ТТ, 2 – ТО конденсатор, 3 – нагрівач, 4 – вольтметр, 5 – ЛАТР, 6 – стабілізатор напруги, 7 – бак напірний, 8 – ротаметр, 9 – АЦП, 10 – комп'ютер, 11 – термопари, 12 – термопари для контролю температури охолоджувальної води, 13 – базальтоне волокно

Рисунок 1 - Експериментальна установка для дослідження теплообміну в ТТ.



а) вертикальне положення ТТ



б) горизонтальне положення ТТ

Рисунок 2 - Вплив гравітаційних сил на коефіцієнти тепловіддачі в зоні нагріву α_n в залежності від густини теплового потоку, що підводиться.

Установка включає пристрій для зміни орієнтації ТТ у просторі. Теплопідведення в зоні нагріву здійснювалось за допомогою ніхромового електронагрівача, параметри якого було розраховано для ТТ з вибраними характеристиками.

Вимірювання температури по довжині ТТ і визначення моменту настання кризи теплообміну в зоні нагріву проводилось за допомогою мідь-константових термопар, які підключались через АЦП типу ICP CON I - 7018 [6] до ПЕВМ. Розглянуто вертикальне і горизонтальне положення ТТ.

Результати обробки дослідних даних для зони нагріву представлено на рис. 2 і узагальнено залежностями: $\alpha_n (\Psi = 90^\circ) = 0,4 \cdot q_n^{0,31}$ та $\alpha_n (\Psi = 0^\circ) = 3 \cdot q_n^{0,13}$. Вони свідчать про істотний вплив сил гравітації на теплопередавальні властивості ТТ. Аналогічні залежності отримано і для зони конденсації.

Коефіцієнти тепловіддачі для зони нагріву $\alpha_n = f(q_n)$ і для зони конденсації $\alpha_k = f(q_k)$ при вертикальному положенні ТТ майже в усьому діапазоні q мають менші значення, ніж при горизонтальному розташуванні ТТ.

Перелік посилань:

1. Дан П. Д., Рей Д. А. Тепловые трубы. Пер. з англ. М.: Энергия, 1979. 272 с.
2. Чи С. Тепловые трубы: теория и практика. Пер. с англ. 1981. 207 с.
3. Николаєнко Ю.С. Засоби теплозабезпечення теплових режимів на основі теплових труб для пристроїв обчислювальної техніки та керування: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук.: 05.14.06. Київ, 2009. 36 с.
4. Кравец В.Ю., Алексеик Е.С. Влияние количества витков на теплопередающие характеристики пульсационных тепловых труб. *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. 2010. №6/7, т.48. С. 59–63.
5. Кравец В.Ю. Процеси теплообміну у мініатюрних випарно-конденсаційних системах охолодження. Х.: ФОП Бровін О.В., 2018. – 288 с.
6. I-7017, I-7018, I-7019, M-7017, M-7018 and M-7019 Series User Manual. URL: http://ftp.icpdas.com/pub/cd/8000cd/napdos/7000/manual/7017-18-19_english.pdf (дата звернення: 15.10.2021)

УДК 536.24

Студент 4 курсу, гр. ТФ-81 Федорець Д.С.; студент 4 курсу, гр. ТФ- 91 Ремінний М.П.

Доц., к.т.н. Гавриш А.С.

ПРЕСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН В ТЕПЛОБМІННИКАХ.

За останні 20 років значно зріс інтерес до застосування новітніх поверхнево-активних речовин (ПАР) в теплообмінних апаратах різного призначення. ПАР дозволяють варіювати режими конденсації за рахунок зміни механізму процесу конденсації утворень. Одночасно з покращенням теплообмінних характеристик, такі речовини дозволяють надійно захистити теплообмінні поверхні від впливу корозійно-ерозійних процесів. При цьому приймаються до уваги також режимні параметри і діапазони застосування ПАР і техніко-економічні показники обладнання, включаючи питання „ціна-якість”.

З моменту перших робіт досліджень конденсації В. Нуссельтом, В.П. Ісаченком і Д.В. Роузом [1-2] дослідники наблизились в притул до отримання супер гідрофобних і супер гідрофільних поверхонь з явищами наднезмочуваності і повного змочування. Порівняльна візуальна картина краплинної конденсації для супергідрофобного і гідрофобного покриттів наведено на Рисунку 1.



Рисунок 1 - Краплинна конденсація на супергідрофобній та гідрофобній поверхні.

Такий підхід став можливим завдячуючи новітнім ПАР до яких відносять, наприклад, лінійки речовин Нанопротек і Гідроефект. Окрім цього, розглядають різні способи нанесення ПАР на робочі поверхні теплообмінних апаратів. Сучасні технології також дозволяють здійснювати іонну імплантацію атомів не металів в металевій поверхні.

Такі дослідження були проведені починаючи з 2007 року німецьким вченим, професором, д.т.н. Альфредом Ляйпертцом (Alfred Leipertz) [1]. В його дослідях спостерігалась довгострокова стабільна краплинна конденсація при насиченні поверхні металу мінімальною дозою іонів 1×10^{15} іонів/см². Були визначені теплообмінні характеристики, залежно від дози іонів. Базові робочі поверхні із нержавіючої сталі і хромованої міді застосовувались в спеціальних конденсаторах і перевірялись на довгострокову картину краплинної конденсації з високими значеннями коефіцієнтів тепловіддачі.

При отриманні великогабаритних гідрофобних поверхонь необхідно звертати увагу, на глибину проникнення іонів неметалів в металеву поверхню. Довготривалий режим краплинної конденсації може бути отриманий і за достатньо невеликої концентрації іонів стимулятора. При цьому залежність впливу дози іонів на інтенсивність теплообміну остаточно не визначена. Розглянута німецьким вченим технологія гідрофобізації поверхні має як значні переваги, так і певні недоліки. До недоліків можна віднести складність процесу імплантації іонів неметалів в метал, і значні кошторисні показники. Мала глибина проникнення іонів з плином часу скорочує термін дії такого покриття. Альтернативою

дороговартісних способів обробки поверхні є застосування ПАР, які широко використовуються в різних галузях народного господарства.

Речовини лінійок Гідроефект-Нанопротек мають, так звані, комплементарні властивості, які дозволяють створювати надійне покриття поверхні, як при безпосередньому нанесенні, так і в процесі експлуатації обладнання. Надійне захисне покриття створюється на мономолекулярному рівні з мінімальним термічним опором. При цьому покращуються експлуатаційні характеристики робочих поверхонь і може здійснюватись варіативний вплив на механізм процесу конденсації.

Сучасні поверхнево-активні речовини мають різновиди за хімічним складом, кількістю компонентів, фізико-хімічними характеристиками. Наприклад, відомо, що покриття на основі фтор містких сполук наділені високою гідрофобністю і хімічною стійкістю. Однак, такі покриття не мають достатньої міцності. Для поліпшення водовідштовхувальних властивостей і, врешті-решт, отримання явища супер гідрофобності, створюються нано структуровані поверхні, які повинні оброблятися комплексно із застосуванням різних методів. Наприклад, структуровані поверхні можуть отримуватись комбінативно: обробкою плазмою і хімічним протравленням.

Отже, використання сучасних поверхнево-активних речовин в конденсаторах дозволяє із мінімальними затратами значно покращити теплообмінні характеристики, подовжити термін безперервної дії між необхідними регламентними роботами, посилити захист від корозійно-ерозійних процесів і забезпечити ефект самоочищення – так званий, ефект Лотоса.

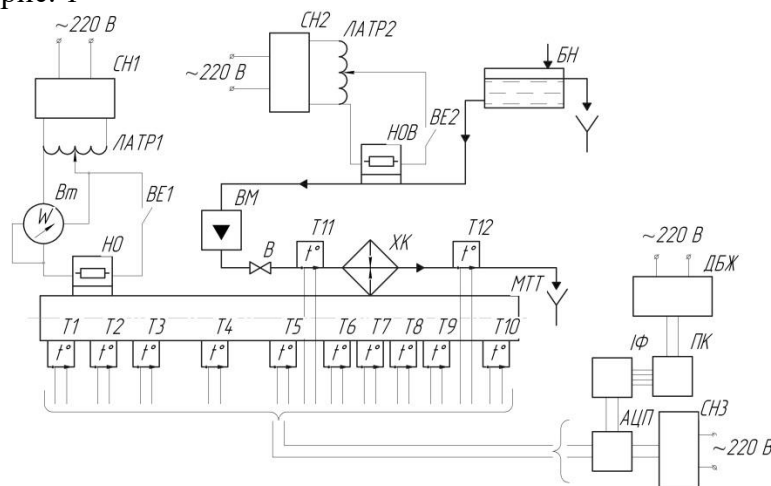
Перелік посилань:

1. Alfred Leipertz Tropfendensation auf ionenim plantierten metaloberflächen, Universität Erlanger//*Lehrstuhl für technische thermodynamik* – 2007.
2. E. Strepparola, G. Caporiccio, patent EP №215,492 (C1 C 04 B 41/48), 8.05.1991.

ВПЛИВ ДІАМЕТРА ПАРОВОГО ПРОСТОРУ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ МІНІАТЮРНИХ ТЕПЛОВИХ ТРУБ

З активним розвитком індустрії мікроелектроніки з'явилася велика кількість різновидів напівпровідникових приладів, таких як радіочастотні системи, потужні світлодіоди (LED) і твердотільні лазерні джерела світла, а також високотехнологічні пристрої: IoT і 5G [1]. Електронні системи загалом демонструють тенденцію до мініатюризації та інтеграції, щільність упакованих компонентів значно зросла, в зв'язку з чим значно зросла кількість енергії, що споживається. Це призводить до різкого збільшення густини теплового потоку мікроелектронної системи, а організація відведення тепла в обмеженому просторі стає складною задачею. Перевищення температури мікроелектронних пристроїв погіршує їх працездатність і стає одним з основних факторів їх передчасного виходу з ладу, що серйозно загрожує надійності компонентів системи. Дослідження показали, що середній час відмови мікроелектронних пристроїв можна подвоїти, знизивши робочу температуру мікроелектронних пристроїв на 10 K [2]. У той же час нерівномірний розподіл розсіювання великих потужностей робить різницю температур елементів обладнання більшою, що знижує стабільність електронної системи [3]. Тому проблема перегріву стала тією важливою проблемою, що обмежує збільшення терміну служби мікроелектронних пристроїв і перешкоджає подальшому розвитку їх мініатюризації. Для охолодження таких компонентів активно використовуються мініатюрні теплові труби, через ряд суттєвих переваг. Для проектування систем охолодження на основі мініатюрних теплових труб необхідно мати можливість прогнозувати їх характеристики, що є досить складною задачею через значну кількість факторів, що впливають на процеси перенесення теплоти і масообмін всередині труби. Одними з основних впливаючих факторів є геометричні розміри самої труби. В роботі досліджувався вплив діаметру парового простору теплової труби на її теплопередавальні характеристики.

Дослідження проводилися експериментальним методом. Схема дослідного стенду представлена на рис. 1



МТТ – мініатюрна теплова труба; Т1-12 – термопари; НО – нагрівач опору; Вт – ватметр,

ЛАТР1, 2 – лабораторний автотрансформатор; СН1-3 - стабілізатор напруги; НОВ – нагрівач води; ВМ – витратомір, ХК – холодильник; БН – напірний бак; АЦП – аналого-цифровий перетворювач; ІФ – інтерфейс, ПК – персональний комп'ютер; ДБЖ – джерело

безперебійного живлення

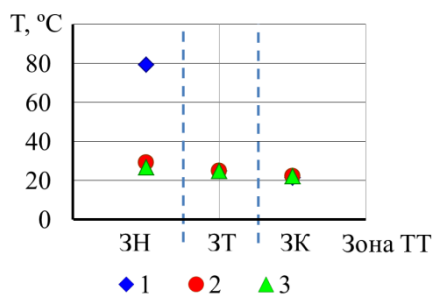
Рисунок 1 – Схема дослідного стенду

Схема складалася з трьох основних систем:

- системи нагрівання, представленої нагрівачем НО, ватметром Вт та лабораторним автотрансформатором ЛАТР1;
- системи охолодження, що містила холодильник ХК, витратомір ВМ, напірний бак БН та систему вимірювання температур охолоджуючої рідини Т11, Т12;
- автоматизованої системи вимірювання температур, що містила десять термопар Т1-Т10, аналого-цифровий перетворювач АЦП і інтерфейс ІФ. Запис даних проводився на комп'ютері ПК.

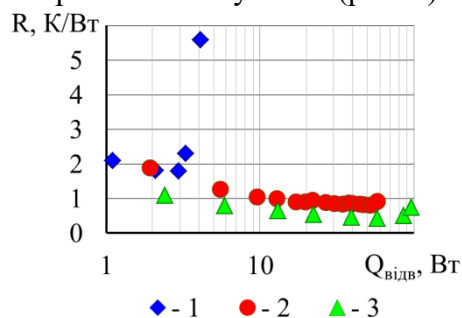
Досліджувалися мідні теплові труби з метало-волокнистою капілярною структурою з такими характеристиками: зовнішній діаметр корпусу 3, 4 та 6 мм, діаметр парового каналу, відповідно 1,2, 2 та 4 мм. Довжини труб від 150 до 300 мм. Пористість структури 75-90%.

Після аналізу даних, отриманих в результаті проведених досліджень можна відмітити, що зменшення діаметру парового каналу від 4 до 1,2 мм призвело до зростання середньої температури у зоні нагріву мініатюрної теплової труби на 20-40 градусів в залежності від величини теплового потоку, що передавався. В той же час зростання температури у зонах транспорту не перевищувало 10 градусів, а температура зони конденсації лишалася на одному температурному рівні (див. рис. 2). Крім того, було встановлено, що чим більшим був діаметр парового простору у мініатюрній тепловій трубі, тим меншого значення набував її термічний опір. Так, для труб діаметром 1,2 мм термічний опір був в 3,5 рази вищим, ніж для труб з діаметром парового каналу 4 мм. (рис. 3)



Діаметр парового каналу теплової труби 1 - 1,2 мм; 2 - 2 мм; 3 - 4 мм

Рисунок 2 – Температурне поле МТТ при потужності 5 Вт



Діаметр парового каналу теплової труби 1 - 1,2 мм; 2 - 2 мм; 3 - 4 мм

Рисунок 3 – Термічний опір МТТ

Проведені дослідження також показали, що збільшення діаметра парового каналу мініатюрної теплової труби дозволяє розширити робочий діапазон потужностей, що пов'язано зі зміною швидкості руху парової фази теплоносія.

Таким чином, необхідно враховувати вплив геометричних факторів на теплопередавальні характеристики, особливо при проектуванні систем із тепловими трубами малого розміру.

Перелік посилань:

1. Naquiddin N.H., Saw L.H., Ming C.Y., et al. Overview of micro-channel design for high heat flux application. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018. No. 82. P. 901-914.
2. Chang F.L., Hung Y.M. The coupled effects of working fluid and solid wall on thermal performance of micro heat pipes. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2014. No. 73. P. 76-87.
3. Lin Z., Wang S., Huo J., et al. Heat transfer characteristics and LED heat sink application of aluminum plate oscillating heat pipes. *Applied Thermal Engineering*. 2011. No. 31. P. 2221-2229.

СЕКЦІЯ №4

**Теплогідравлічні
процеси в тепло- і
парогенеруючих
установках**

ЗАМІЩЕННЯ МАЗУТУ В ПАРОВОМУ КОТЛІ НА АЛЬТЕРНАТИВНЕ ГАЗОВЕ ПАЛИВО

Для України, особливо в умовах воєнного стану, все більшого інтересу отримують технології отримання енергії з біомаси, які набувають все більшого поширення не лише в сільській місцевості, але й на промислових електростанціях. Газифікація є одним з таких процесів, де можна виробляти горючий паливний газ, використовуючи широкий спектр біоресурсів як сировину, і в свою чергу, використовувати паливний газ для виробництва електроенергії. Крім того зростає занепокоєння щодо викидів парникових газів та енергетичної безпеки, а також амбітні цілі щодо відновлюваних джерел енергії, обумовлює інтерес до біоенергетики сьогодні, як в енергетичному, так і в транспортному секторі.

Незважаючи на те, що біомаса є відновлюваним ресурсом і має потенціал для зменшення викидів CO₂, вона є обмеженим ресурсом, що робить ощадливе використання ресурсів вкрай важливим. З метою максимального скорочення викидів CO₂, як правило, економічно вигідніше використовувати біомасу для опалення або комбінованого виробництва теплової та електричної енергії ніж для виробництва біопалива для транспорту. Однак, щодо припущення про системи, що оточують процес перетворення біомаси, наприклад, щодо стану технології поглинання вуглецю мають значний вплив на економічну ефективність різних способів використання біомаси для скорочення викидів CO₂.

Для отримання паливного газу з біомаси використовують термохімічну газифікацію, яка має певні переваги у порівнянні з прямим спалюванням, зокрема основною перевагою є більш високий потенціал електричної ефективності при використанні для попередньої обробки біомаси, що використовується для виробництва електроенергії, а також можливість подальшого перетворення виробленого газу в продукти з вищою вартістю для транспортування, приклад, транспортне паливо. Вважається, що інтеграція великомасштабної газифікації біомаси в системи централізованого тепlopостачання показує, що тепло від газифікації біомаси та біопалива на може бути конкурентоспроможним у майбутньому в системах централізованого тепlopостачання, а викиди CO₂ можна зменшити шляхом інтеграції газифікації біомаси з централізованим тепlopостачанням. Також газифікація біомаси також може бути інтегрована в промислові процеси.

В моїй бакалаврській роботі в якості спецпитання обрано завдання заміщення мазуту на альтернативне газове паливо отримане в газогенераторі. Відповідні розрахунки витрати палива вимагають відповідного перерахунку, який відповідно до [1] виконується наступним чином: розрахунок умовно ведеться на не на 1 кг паливної суміші, а на 1 кг рідкого палива з врахуванням кількості газоподібного палива, x , м³, яка приходить на 1 кг рідкого палива. При цьому умовна теплота згоряння розраховується із рівняння:

$$Q^f = Q^l + x \cdot Q^g, \quad (1)$$

де, Q^f – теплотворна здатність сумішевого палива, кДж/кг; Q^l – теплотворна здатність мазуту, кДж/кг; Q^g – теплотворна здатність газу, кДж/м³; x – кількість газоподібного палива, яка приходить на 1 кг рідкого палива, м³/кг.

Якщо суміш задається по тепловиділенню кожного палива (доля рідкого палива в сумарному тепловиділенні q' , а доля газу $1 - q'$, то кількість газу, яка приходить на 1 кг рідкого палива складає:

$$x = \frac{1 - q'}{q'} \cdot \frac{Q'}{Q^s} \quad (2)$$

Таким чином можна розрахувати теплотворну здатність сумішевого палива з основного палива – мазуту та альтернативного газового палива для його заміщення.

Стосовно реалізації системи заміщення основного палива мазуту, то в даному випадку необхідно створення відповідної системи газогенератор-паровий котел.

В якості прикладу роботи такої системи можна представити газогенератор потужністю 2 МВт для робот на котлі ДЕ-25-14 ПАТ «Малинська паперова фабрика Вайдманн» [2]. Відповідний газогенератор представлено на рис. 1.



Рисунок 1 – Газогенератор експлуатаційною потужністю 2 МВт (Малинська паперова фабрика) [2].

Для проведення відповідних теплотехнічних розрахунків можна використовувати дані по складам генераторних газів [2] згідно таблиці 1.

Таблиця 1 - Склад продуктів газифікації твердих палив [2]

Параметр	Тверде паливо, що газифікувалось					
	Тріска (вологість 15%)	Лузга рису	Пелети з		Лігніт	Буре вугілля
			лузги соняшнику	дере- вини		
Склад генераторного газу, % об.						
H ₂	13.35	11.36	16.86	11.3	12.24	20.01
N ₂	48.83	54.8	44.92	49.45	55.24	49.27
CO	16.03	15.69	19.51	12.59	11.88	14.10
CH ₄	5.57	4.72	5.81	6.71	4.24	3.32
CO ₂	12.49	10.55	9.15	15.84	12.87	11.14
C ₂ H ₄	0.77	0.55	0.71	0.95	0.98	0.13
C ₂ H ₂	0.16	0.02	0.0	0.34	0.0	0.0
C ₂ H ₆	0.11	0.07	0.18	0.21	0.0	0.11
C ₃ H ₈	0.07	0.03	0.1	0.13	0.0	0.04
H ₂ O	2.62	2.21	2.69	2.49	2.34	1.88
Σ	100	100	100	100	100	100
Показники заміщення та енергетичні показники						
Теплота згоряння нижча, МДж/м ³	6,12	5,23	6,95	6,75	4,9	5,3
Кількість тв. палива для заміщення 1 м ³ природного газу, кг	3.7	3.3	2.5	2.6	3.2	2.8

Перелік посилань:

1. Тепловой расчет котлов. Нормативный метод, узд 3-е. С. – П., 1998. –258 с.
2. Розвиток наукових засад теплотехнологій заміщення природного газу альтернативними видами палива: автореф. дис.д-ра техн. наук : 05.14.06 / П'яних Костянтин Євгенович ; НАН України, Ін-т газу. - Київ, 2017.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ВТОРИННИХ ВИПРОМІНЮВАЧІВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ТЕПЛООБМІНУ В ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОМУ РЕКУПЕРАТОРІ

Проблема ефективного використання газового палива та економії природного газу в теперішній час є найактуальнішою для України. Основними напрямками її вирішення є створення систем раціонального спалювання та інтенсифікації процесів переносу в топках, а також утилізація теплоти викидних продуктів згоряння.

Скорочення частки природного газу при його заміщенні технологічними газами, альтернативними місцевими паливами або біогазом, як правило, використовується для низько– та середньотемпературних процесів в різноманітних технологіях металургії, нафтохімії, промисловості будівельних матеріалів, з метою забезпечення децентралізованого опалення приміщень, а також в когенераційних установках при комбінованому енерговикористанні палива.

Разом з тим велика доля палива споживається у високотемпературних агрегатах: нагрівальних печах прокатного виробництва в металургії, печах виробництва вогнетривів, скловарних плавильних агрегатах та ін., які є установками значної теплової потужності. Через низькі температури горіння, вміст агресивних складових та технологічні особливості поширені альтернативні палива, низькокалорійні та технологічні гази (доменний та коксовий гази, коксо-доменні суміші) в даний час не можуть бути широко використані у високотемпературних процесах без створення спеціального теплоутилізаційного обладнання.

Завдання інтенсифікації внутрішнього теплообміну в трубах високотемпературних теплообмінників (рекуператорів) полягає в максимальному зближенні температур потоків повітря (або горючого газу), що нагріваються, і стінок труб. З цією метою пропонуються ефективні високотемпературні трубчасті рекуператори, що характеризуються наявністю в трубах внутрішніх вставок, які виконують функцію вторинних (проміжних) випромінювачів. Вони виступають як адіабатні приймачі випромінювання від поверхні теплообмінних труб, і в свою чергу, являють собою додаткові поверхні теплообміну конвекцією з потоком діатермічного (променевопрозорого) газу, зазвичай – повітря.

На основі математичного та комп'ютерного (CFD) моделювання виконано комплекс розрахунково-теоретичних досліджень впливу геометрії вторинного випромінювача (числа радіальних ребер N_{ribs}) на теплотехнічні та теплогідравлічні характеристики каналів з вторинними випромінювачами. Зазначені розрахунки проводилися у програмі «ANSYS FLUENT».

У табл. 1 представлено результати CFD-розрахунків основних характеристик нагріву повітряного потоку в трубі $\varnothing 89 \times 4,5$ мм на ділянці довжиною 1 м, яка поперечно обтікається потоком продуктів згоряння з $T_{fl} = 1223$ К. Порівнювались варіанти гладкотрубного каналу (конструкція BD) та схем при встановленні вставок – вторинних випромінювачів в формі системи N_{ribs} радіальних ребер (конструкція MD) при варіюванні числа N_{ribs} від 2 до 8. Найважливіші температурні характеристики теплообмінних труб та рекуперативних секцій: $T_{a,en}$, $T_{a,ex}$ – повітряного потоку на вході і виході; $T_{w,max}$, \bar{T}_w – стінок труби, максимальна та середня. Гідравлічна характеристика представлена втратами напору по повітряному тракту Δp_a , а теплогідравлічна – відносною величиною $e = \Delta t_a / \Delta p_a = (T_{a,ex} - T_{a,en}) / \Delta p_a$.

У результаті аналізу даних комп'ютерного (CFD) моделювання встановлено: використання вторинних випромінювачів в порівнянні з гладкою трубою призводить до зростання температури підігріву повітря горіння на $\delta T_{a,ex} = 40...102$ К ($T_{a,en} = 300$ К, $\dot{m}_a = 0,0802$ кг/с), вона підвищується по мірі збільшення поверхні вставок (числа ребер N_{ribs}), при супутньому зменшенні максимальної температури стінки труби на $\delta T_{w,max} = 24...100$ К. Підвищення $T_{a,en}$ до 900 К викликає зменшення цих переваг до $\delta T_{a,ex} = 16...44$ К, $\delta T_{w,max} = 9...34$ К. При збільшенні навантаження на рекуператор (зростає в 2,5 рази) $\delta T_{a,ex} = 20...33$ К (9...19 К); $\delta T_{w,max} = 42...108$ К (13...45 К) при $T_{a,en} = 300$ К (900 К) – відповідно (табл. 1).

Встановлення вторинних випромінювачів всередині труб поряд зі збільшенням теплосприйняття повітря, призводить до зростання втрат напору потоку Δp_a . У випадку використання хрестоподібної вставки для інтенсифікації теплообміну, абсолютне збільшення опору повітряних каналів становило 2,0...2,34 рази за результатами математичного моделювання, при цьому збільшення навантаження (масового потоку) – складало 2,5 рази.

Таблиця 1 - Основні температурні та гідравлічні характеристики теплообміну в трубі $\varnothing 89 \times 4,5$ мм довжиною 1 м за відсутності та наявності вставок

\dot{m}_a , кг/с	0,0802					0,2				
\dot{V}_a , м ³ /год	245					612				
Конструкція	BD		MD			BD		MD		
N_{ribs}	-	2	4	6	8	-	2	4	6	8
$T_{a,en}$, К	300					300				
$T_{a,ex}$, К	380	420	451	470	482	361	381	390	393	394
$T_{w,max}$, К	1165	1141	1109	1083	1065	1099	1058	1018	999	991
\bar{T}_w , К	1140	1096	1059	1035	1019	1054	987	954	940	935
$T_{int,max}$, К	-	1067	999	931	863	-	859	745	667	616
\bar{T}_{int} , К	-	972	872	778	689	-	691	570	497	453
$\Delta T_{w,a} = T_{w,max} - T_{a,ex}$, К	785	721	658	613	583	738	677	628	606	597
Δp_a , Па	88	144	203	260	320	435	667	873	1083	1305
$e = \Delta t_a / \Delta p_a$, К/Па	0,91	0,83	0,75	0,65	0,57	0,14	0,12	0,10	0,09	0,07
$\tilde{e} = e_{MD} / e_{BD}$	1,00	0,91	0,81	0,71	0,62	1,00	0,87	0,73	0,61	0,51

Теплогідравлічна характеристика рекуператора $e = (T_{a,ex} - T_{a,en})/\Delta p_a$ зменшується по мірі інтенсифікації теплообміну, яка зумовлена зростанням числа радіальних ребер (поверхні вторинних випромінювачів).

Як показує аналіз зміни приведенного коефіцієнта тепловіддачі від стінки труби α_w , по мірі підвищення температури в системі роль непрямой тепловіддачі (через внутрішньотрубне випромінювання) зростає. Так при нагріванні холодного потоку ($T_{a,en} = 300$ К) добавка $\Delta \alpha_w$ може скласти 30...31 Вт/(м²К), а при $T_{a,en} = 900$ К приріст тепловіддачі $\Delta \alpha_w = 44...58$ Вт/(м²К), причому приріст результуючого теплосприйняття при цьому зменшується через зменшення температурного напору.

ТЕХНОЛОГІЇ ГАЗИФІКАЦІЇ ВУГІЛЛЯ

В час, коли екологічні проблеми стають гострою темою і шукають нові альтернативи палив для видобутку енергії, газифікація вугілля є актуальним методом отримання палива з точки зору вартості та екології. В даній статті приведені методи і технології газифікації вугілля.

Газифікація вугілля – високотемпературний процес взаємодії вуглецю вугільного палива з окисниками, який здійснюється з метою одержання суміші горючих газів (H_2 , CO , CH_4). Окисниками (газифікуючі агенти) застосовують кисень, водяну пару та ін.

Загальні методи газифікації вугілля класифікують за:

- Видом дуття: повітряна, повітряно-киснева, паро-повітряна, паро-киснева;
- За тиском: при атмосферному тиску (0,1-0,3 МПа), середньому (до 2-3 МПа), високому (понад 3 МПа);
- За розміром вихідного палива: газифікація грудкового, дрібнодисперсного та пилоподібного вугілля;
- За конструктивними особливостями реакційної зони: у щільному шарі палива, в псевдозрідженому шарі, в пиловугільному факелі;
- За способами виділення смоли;
- За способами підводу тепла: автотермічна (за рахунок внутр. джерел), алотермічна;
- За теплотою згоряння одержуваного газу (в МДж/м³): низької (до 6-7); середньої (12—18) та високої (30—35) теплоти згоряння;
- За призначенням газів: для енергетичних і технологічних цілей (синтезу, виробництва водню, технічного вуглецю);
- За температурою газифікації: низькотемпературна (до 800 °С), середньотемпературна (800—1300 °С), високотемпературна (1300 °С).

Існують два основних методи газифікації вугілля- промислове і підземне.

Промислові методи газифікації, де технології використовуються на газоспоживаючих підприємствах :

Процес Вінклера - газифікація вугілля водяною парою з повітрям або киснем у киплячому шарі за нормального тиску, такий метод є одним з найпростіших методів отримання, оскільки допускається використання палива з наявністю дуже дрібних фракцій, то, як правило, достатньо звичайного подрібнення.

Технологія Копперс–Тотцека - це робота на парокисневому дутті при температурі 1500—1600 °С з рідким шлаковидаленням, буре вугілля подрібнюють до крупності менше 0,1 мм, і використовують як пилоподібне паливо. Він є одним з найпопулярніших методів переробки вугілля в газ через його велику ефективність.

Метод Лургі - газифікація вугілля під тиском у стаціонарному шарі на парокисневому дутті, процес здійснюється під тиском в 30 бар з використанням парокисневої суміші.

Існують технології газифікації з використанням попередньо нагрітих проміжних теплоносіїв. Наприклад, технологія Kellog передбачає використання розплаву карбонату натрію: у шар розплаву вводять вугільний пил і водяну пару, при цьому протікають реакції газифікації з утворенням CO , H_2 і CH_4 . Привабливі перспективи газифікації із застосуванням газоподібного теплоносія відкриває спосіб, заснований на використанні тепла ядерного реактора. Такий варіант дає змогу повністю перетворити органічну масу вугілля на газоподібні продукти.

Метод Oxyfuel - це процес спалювання палива з використанням чистого кисню або

суміші кисню та рециркуляційного димового газу замість повітря. В даний час проводяться дослідження щодо спалювання електростанцій, які працюють на викопному паливі, газовою сумішшю, збагаченою киснем, замість повітря. Майже весь азот видаляється з вхідного повітря, утворюючи потік, який приблизно на 95% складається з кисню [2].

Метод Precombustion – це видалення CO₂ з викопного палива до завершення спалювання. Наприклад, у процесах газифікації вихідна сировина (така як вугілля) частково окислюється паром та киснем/повітрям під високою температурою та тиском з утворенням синтез-газу [2].

Газифікація вугільного пилу з використанням низькотемпературної плазми (3000-3500 °C). У цьому разі отримують горючий газ із високим вмістом CO і H₂ і малим вмістом діоксиду вуглецю, метану й азоту (водяна пара в цьому процесі використовується як плазموутворювальний газ. [2].

Підземні методи газифікації:

«Піземна газифікація вугілля»- це фізико-хімічний геотехнічний процес. Включає буріння свердловин для подачі повітряного або парокиснево-повітряного дуття та відводу газу, що утворюється, створенням в пласті між свердловинами реакційних каналів, в яких вугілля взаємодіє з потоками газу. Ці канали використовуються шляхом збійки свердловин. Через бурові свердловини до пластів вугілля постійно подають повітря, рідше-його суміш з киснем: відбувається взаємодія оксидів вуглецю і водяної пари, що утворилися в зоні спалювання вугілля, з вуглецем стінок пласта. Одержані горючі гази використовують як паливо, іноді – як технологічну сировину [1].

Переваги: невеликий обсяг підземних робіт, малий вплив на довкілля, мала собівартість одержуваного палива.

Недоліки: невелика теплота згоряння газу (3,3 МДж/м³ для бурого і до 5 МДж/м³ для кам'яного вугілля), труднощі контролю розповсюдження фронту газифікації вугілля.

Хімічний склад продуктів газифікації вище згаданих методів газифікації в таблиці 3.

Таблиця 3 – Хімічний склад продуктів газифікації отриманих різними методами мирного

Газ	Технологія газифікації, склад газу, %				
	Вінклера	Копперса-Тотцека	Лургі	Низькотемпературна плазма водяного пару	На базі тепла АЕС
CO ₂	19	12	27	2	1
CO	38	56	22	42	4
H ₂	40	29	40	55	63
CH ₄	2	1	10	-	32
N ₂	1	2	1	1	-

Висновки: газифікація з вугілля є екологічно безпечний, різноманітний і позбавляє від залежності в природньому газі, великою перевагою цього видобутку газового палива є велика кількість копалини з якою ми і добуваємо нашу сировину для подальшої експлуатації в різних цілях, від здобування електроенергії до металургічних цехів.

Наразі у світі найчастіше використовуються дві нові технології: "Oxyfuel" і "Precombustion", що покращують спалювання вугілля (особливо бурого) в котлах ТЕС і зменшують викид CO₂ за шляхом утилізації останнього [2].

Перелік посилань:

1. Мала гірнича енциклопедія : у 3 т. / за ред. В. С. Білецького. — Д. : Донбас, 2004. — Т. 1 : А — К. — 640 с.

2. Frome the journal: Energy & Environmental Science «Carbon capture and storage (CCS): the way forward» issue 5, 2018

УДК 674.047

Студент 4 курсу, гр. ТК-91 Кикоть В.В.

Доц., к.т.н. Воробйов М.В.

РОЗРОБКА ТА ВПРОВАДЖЕННЯ СОНЯЧНОЇ СУШАРКИ ДЛЯ ДЕРЕВНОЇ БІОМАСИ "СУХОДРОВ"

Розробка та використання альтернативних джерел енергії, таких як сонячна енергія, є надзвичайно важливим завданням для суспільства; особливо, враховуючи реалії сьогодення та дефіцит викопних вуглеводневих палив, особливо в умовах військового стану в Україні. Одним з рішень для отримання корисної роботи від сонячного проміння є використання "Суходров" – спеціальних сонячних сушарок для тріски та дров.

В громадах нашої країни періодично проводяться заходи по санітарній обрізці дерев. Проблематичним моментом є те, що деревина після обрізки, а в подальшому тріска, не є придатною для опалення, оскільки має великий відсоток вологи. Сушка деревини та тріски в звичайних умовах не вирішує проблеми, оскільки тріска та деревина пріє (виникає ураження грибком), втрачаючи свої паливні якості. Використання звичайних систем сушіння не припустимо збільшує собівартість паливної деревини, оскільки витрачаються додаткові енергоресурси. Саме тому новий метод підготовки палива є економічно вигідною розробкою.

Сушарка складається з металевого теплоізованого контейнера об'ємом 25 м³. Одна з бічних поверхонь контейнера виконана з матеріалу, що добре поглинає світло, такого як чорний метал або спеціальний сонячний абсорбер. Для забезпечення концентрації сонячної енергії на цій поверхні використовується система дзеркал. Вони складають поле розміром 6х6 метрів і можуть дати до 36 кВт теплової енергії. Процес сушіння деревини починається вже при досягненні в середині 60 °С. За цією температурою припиняється розвиток грибкових спор – зупиняється зіп'явання деревини. Навіть разове прогрівання усього змісту сушарки на температуру більше 100 °С вже гарантує висушування деревини. Сушарка є теплоізованою з усіх сторін окрім світло абсорбуючої, конструкція дає можливість зберігати тепло декілька діб. «Суходров» може бути використаний для сушіння різноманітних матеріалів, таких як деревина, зерно, фрукти та овочі. Крім того, вони можуть бути використані для виробництва енергії, яку можна використовувати для опалення будівель, підігріву води та виробництва електрики.

Сушарка "Суходров" має наступні технічні характеристики:

1. Об'єм сушильної камери: 22,6 м³.
2. Площа світло поглинаючої поверхні: 10,8 м².
3. Площа фокусуєчих дзеркал: 24 м².
4. Теплова потужність (max): 30 кВт.
5. Корисне навантаження: 6 тон.
6. Час сушіння деревини: 5 діб.
- 7 Час сушіння тріски (щепи): 3 доби.

Загальний вигляд установки представлено на рис. 1.

Перевагою використання "Суходров" є їх відносна простота та низька вартість виробництва. Сушарку не потрібно підтримувати, що знижує витрати на їх експлуатацію. Крім того, вона не потребує палива, що знижує витрати на енергію та не мають викидів CO₂ в атмосферу, що зменшує вплив на довкілля.

Облаштування фундаменту для установки одного "Суходров", з урахуванням матеріалів коштуватиме близько 45 тис.грн і може окупитись вже за один рік експлуатації.

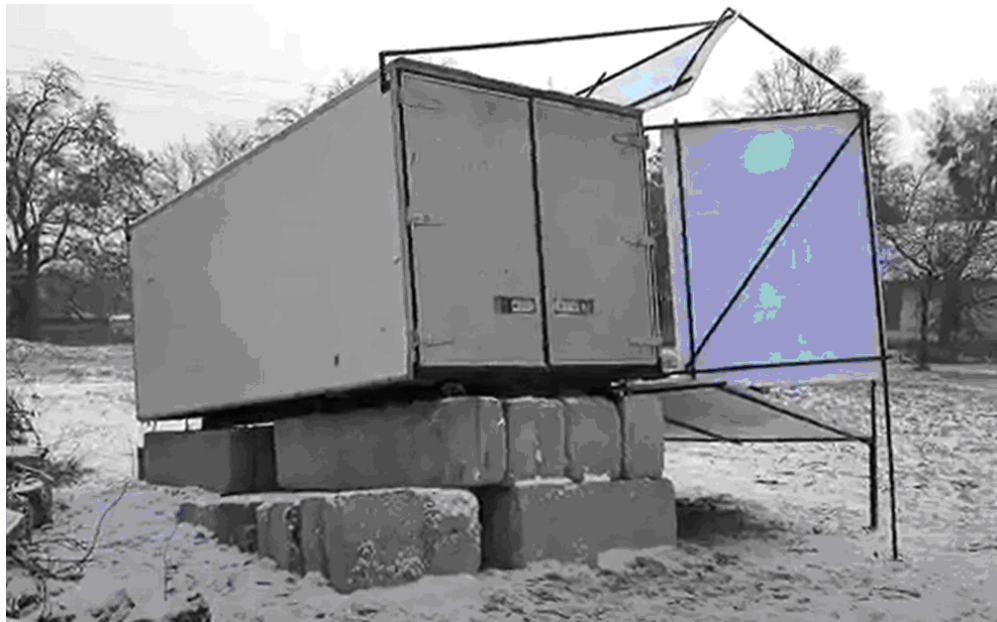


Рисунок 1 – Сонячна сушарки для деревної біомаси «Суходров

Таким чином, використання пристрою є перспективним напрямком для забезпечення енергетичних потреб і зменшення впливу на довкілля. Вони можуть бути використані для сушіння не тільки деревини, а й продуктів харчування в цілому, що значно розширює перспективи заготівлі та залишає сталими витрати на установку та її виробництво.

**ГРАНИЧНИЙ РЕЖИМ ПОРУШЕННЯ СТІЙКОСТІ ПЛІВКИ. ВТОРИННИЙ
ВИНОС КРАПЕЛЬ РІДИНИ.**

Погіршення умов роботи останніх ступенів ЦНТ і зниження техніко-економічних характеристик роботи турбіни пов'язано, в значній мірі, з процесами, які відбуваються в СПП. Ефективність роботи СПП, в значній мірі, залежить від процесів відділення крапельної рідини від вологої пари, яке відбувається в сепараційних блоках і залежить від багатьох факторів. Найбільш вагомими є нерівномірність розподілу вологої пари по окремим жалюзійним пакетам, яке оцінюється величиною гідравлічної розвірки вхідної камери і вхідного колектора, і процесом уловлювання крапель у гофрованих каналах.

Уловлена в процесі сепарації рідина утворює на поверхні каналу плівку рідини. Параметри плівки: її товщина і режим течії, залежить від величини кількості уловленої рідини, поверхневого натягу і крайового кута змочування, а також від балансу сил. Опис гідродинаміки процесу руху потоку пари і плівки рідини складається з диференціальних рівнянь руху і нерозривності для рідкої і парової фаз. Дотична і нормальна складові напружень з боку пари на поверхні плівки рідини можуть бути виражені залежністю через відхилення поверхні розділу фаз від площини $\delta = \delta_0$, що відповідає поверхні незбуреної хвилями плівки рідини.

Режимом, в якому відбувається порушення стійкості течії двофазного потоку при визначеній товщині плівки рідини і при збільшенні швидкості парового або газового потоку, є режим, який характеризується початком крапельного виносу. В процесі утворення крапель в результаті зриву рідини з гребенів поверхні плівки, яка утворюється на стінках жалюзі в результаті осадження під дією сил інерції, важливою проблемою є достовірність результатів фізичного експерименту, а саме, визначення режиму порушення стійкості плівкової течії. Для ідентифікації таких режимів на практиці застосовувались дві методики.

При визначенні граничних режимів Р. Нігматулін [1] на вході у вимірювальну секцію визначив температуру, тиск і витрати складових пароводяної або повітроводяної суміші:

$$D = D_{\text{п}} + D_{\text{кр}},$$

де D – загальна масова витрата пароводяної суміші, кг/с; $D_{\text{п}}$ – масова витрата вологої пари, кг/с; $D_{\text{кр}}$ – масова витрата крапельної рідини, кг/с.

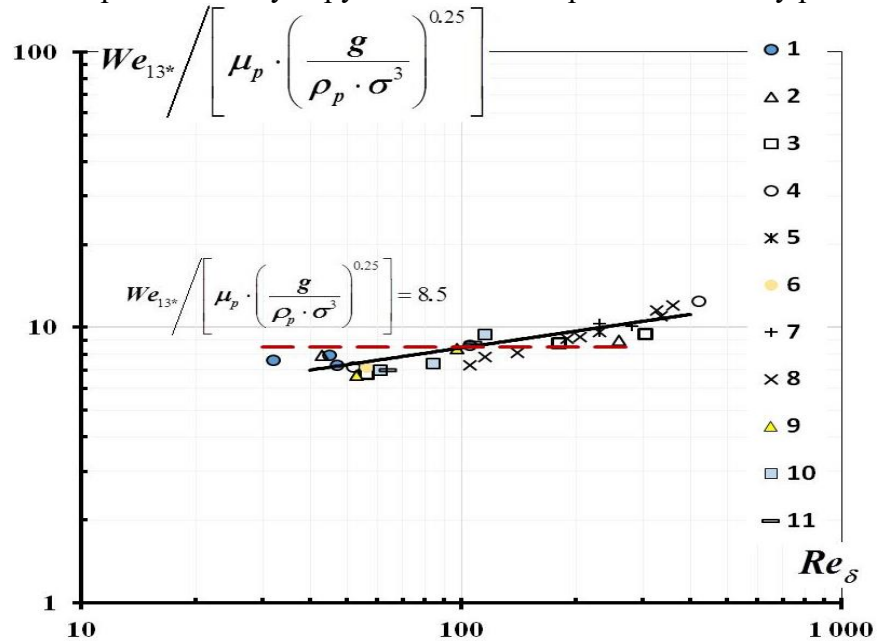
На відміну від тепломасообмінних апаратів, в яких парорідинний потік може рухатись вертикально протитоково або в одному напрямку, в каналах жалюзійних сепараторів на генеровану плівку рідини діє сила тяжіння, тертя і дотичне напруження, яке викликане рухом потоку вологої пари. В результаті, рідина в плівці рухається по складній траєкторії: зверху до низу і від входу в канал жалюзі і до його виходу. Значна витрата плівки потрапляє в дренажний колектор і евакуюється з СПП, але частина її збирається на вихідній кромці пластини каналу у вигляді веретеноподібного струмка.

Процес динамічного виносу крапель характеризується взаємодією пульсацій, сил поверхневого натягу, в'язкості і сил інерції. Фізичний експеримент дозволив визначити, що винесення крапель відбувається тільки з гребенів великих за розмірами хвиль. При відносно невеликих швидкостях потоку пари відбувається деформація і руйнування хвиль з наступним виносом з гребенів крапель рідини.

Умови руйнування плівки або динамічного зриву крапель визначаються процесами, пов'язаними з нестабільністю Кельвіна–Гельмгольца. Можливо зробити висновок, що

аналітично подібні задачі не вирішуються, а результати експериментальних робіт не завжди дають повні відповіді для конкретних задач. Крім капілярних, динамічних і сил в'язкості на рідину діють сила тяжіння, яка суттєво впливає на умови початку динамічного виносу крапель з плівки.

На рис. 1 представлено експериментальні значення безрозмірних параметрів на момент початку динамічного виносу. Були отримані відповідні кореляції для ламінарної плівки ($Re_\delta \leq 290$). Враховуючи вологість пари, яка поступає в СПП, кількість, геометричні розміри жалюзійних пакетів і витратні параметри на поверхні буде утворюватись плівка рідини яка буде рухатись в ламінарно-хвильовому режимі.



1 – $p=0.28$ МПа, $D = 9.5$ мм, повітря-вода, підйомний рух; 2 – 5 – $p=0.49\dots 4.41$ МПа, $D = 25$ мм, пара-вода, низхідний рух; 6 – $p=2.9$ МПа, $D = 13$ мм, пара-вода, підйомний рух; 7 – $p=0.1$ МПа, $D = 26$ мм, повітря-вода, горизонтальний потік; 8 – 11 – $p=0.1\dots 0.45$ МПа, $D = 13$ та $31,5$ мм, повітря-вода, висхідний потік

Рисунок – 1 Результати обробки експериментальних даних по початку динамічного виносу

Основними чинниками, які впливають на процес сепарації, це відсутність контакту з поверхнею жалюзі при русі в потоці вологої пари крапель малого розміру. В значній мірі, цей процес залежить від фізико-хімічних властивостей вологої пари, дисперсності і параметрів руху двофазного середовища, змочуваності і геометрії каналу.

Проаналізовані фізичні особливості руху двофазного середовища у криволінійних каналах. Проведено моделювання процесу сепарації крапельної рідини з вологої пари і виконано узагальнення результатів досліджень, була отримана кореляція. Розглянуто процес руху краплі під дією сили гравітації. Спільне рішення рівнянь наведеної моделі дозволить визначити траєкторію руху краплі рідини у криволінійному каналі гофри жалюзійного пакету сепаратора-пароперегрівача і виконати оптимізацію її конструкції.

Визначені основні умови руйнування плівки і динамічного зриву крапель, які пов'язані з нестабільністю Кельвіна – Гельмгольца. Крім капілярних, динамічних і сил в'язкості на рідину діє сила тяжіння, яка суттєво впливає на умови початку динамічного виносу крапель з плівки.

Перелік посилань:

1. Нигматулин, Р. (1987). Динамика многофазных сред. Ч.2.

УДК 621.184.24:621.182.2

Аспірант Логвинюк М.О.
Доц., к.т.н. Новаківський Є.В.

МОДЕЛЮВАННЯ ТОПКОВИХ ПРОЦЕСІВ КОТЛА ГМ-50-14 ПРИ РІЗНИХ НАВАНТАЖЕННЯХ

Моделювання топкових процесів на ранніх стадіях проектування дозволяє не тільки візуалізувати об'єкт але і бачити заздалегідь основні характеристики експлуатації. Для вирішення поставленої задачі було застосовано програмне забезпечення Fluent на прикладі топкової камери котла ГМ-50-14. Дані котли використовуються як пуско-резервні котли на ТЕС та АЕС і як правило експлуатуються на газомазутному паливі. Було проаналізовано геометрію топкової камери, конфігурацію розташування пальників та розроблено 3D модель топки. На рисунку 1 зображено ескіз конфігурації пальникових пристроїв котла ГМ-50-14 [1,3,5]. За допомогою чисельного моделювання було визначено основні характеристики топки, спираючись на тепловий розрахунок котла [2], та порівняння даних чисельного та теплового розрахунків. На рисунках 2-5 зображено частину результатів моделювання топки при різних навантаженнях котла .

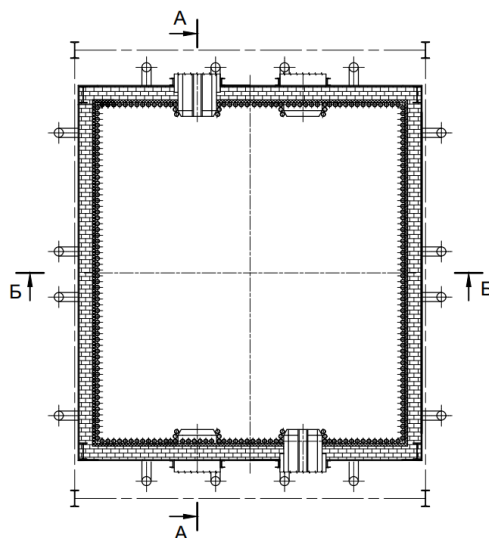


Рисунок 1 – Конфігурація пальникових пристроїв котла ГМ-50-14

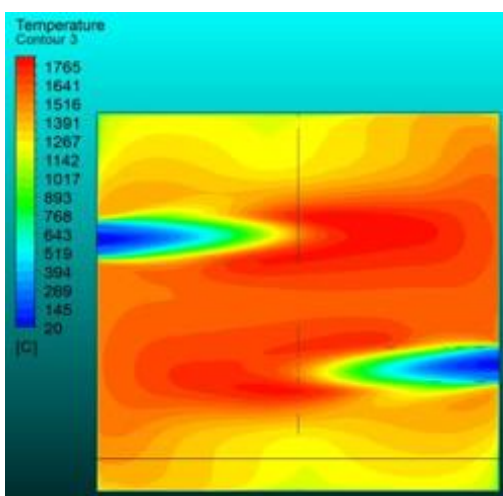


Рисунок 2 – Температура при навантаженні котла 100%

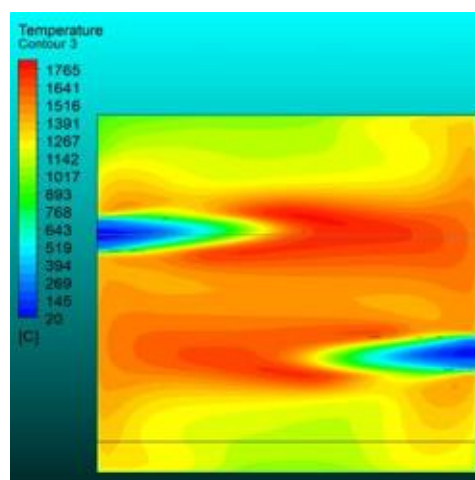


Рисунок 3 – Температура при навантаженні котла 80%

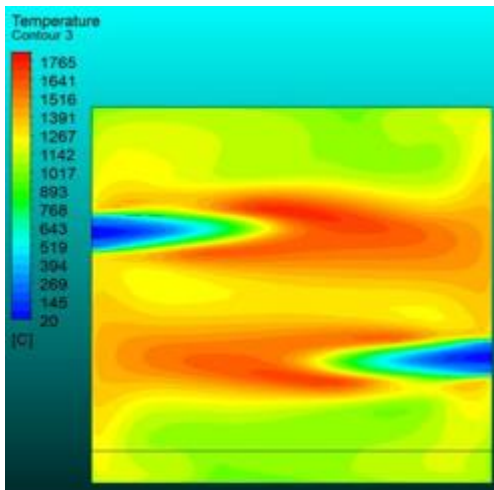


Рисунок 4 – Температура при навантаженні котла 60%

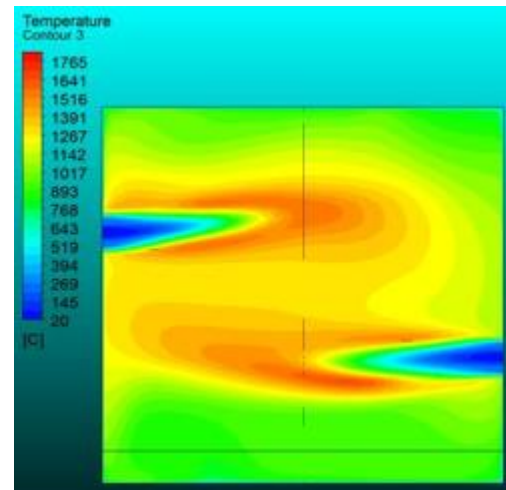


Рисунок 5 – Температура при навантаженні котла 40%

Підсумки результатів засобами Ansys Fluent, теплового результатів занесено до таблиці 1. Аналізуючи отримані дані можна зробити висновки, що модель горіння коректна. Похибка температури на виході з топки між тепловим розрахунком та чисельним моделюванням складає близько 3% в свою чергу похибка утворення оксидів азоту складає близько 2%. При порівнянні експериментальних досліджень з чисельним моделюванням похибка утворення оксидів азоту складає 8-9% в залежності від навантаження котла.

Таблиця 1 – Порівняння вихідних значень при тепловому розрахунку, чисельному моделюванні та експериментальних даних

Fluent				Тепловий розрахунок	Експериментальні дані
Вр, %	Температура на виході з топки [2], °С	Концентрація повітря на виході з топки [4], %	NO _x , мг/м ³	NO _x [3], мг/м ³	NO _x [3], мг/м ³
40	776	5	241	236	220
60	815	5	359	350	338
80	885	5	445	430	424
100	1096	5	583	589	562

Перелік посилань:

1. Логвинюк М. О., Новаківський Є.В. Підвищення надійності роботи котла, шляхом розподілення теплового навантаження по висоті топки. Науковий журнал «Енергетика: економіка, технології, екологія» – 2019. – №4. – с. 42–47.
2. Тепловой расчет котлов (нормативный метод) 2 изд. / [Н.В. Кузнецов, В.В. Митор, И.Е. Дубовский и другие]. – 1973. – 296 с.
3. Логвинюк М. О., Новаківський Є.В. Зменшення викидів No_x, шляхом ступеневого спалювання палива. «Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси та устаткування» – 2021. – №4. – с. 42–47.
4. Шатиль А. А. Расчетное исследование топочных устройств / А. А. Шатиль: ОАО "НПО", 2003. – 153 с.

МЕТОДИ ПОКРАЩЕННЯ КОТЛА ПІСЛЯ РЕКОНСТРУКЦІЇ

На сьогоднішній день в енергетичній галузі України експлуатується обладнання, яке вичерпало свій заводський ресурс і з кожним роком потребує часткової заміни елементів основного обладнання або повністю заміни його на новітні агрегати, в тому числі парові та водогрійні котли ТЕЦ [1].

До методів покращення роботи котлів після їх реконструкції відносять:

1. Зниження локальних температур в топці парогенератора [2-3].
2. Підвищення ККД котла основному, шляхом встановлення сучасного економайзерного обладнання [3].
3. Використання методів когенерації, під час реконструкції промислових об'єктів України [3].
4. Впровадження сучасних методів спалювання та покращення екологічних показників котла [4].
5. Модернізація систем автоматики та регулювання подачі палива та повітря в пальникові пристрої котла.

Одним з методів, який використовується закордоном, є зниження оксидів азоту та зменшення локальних точок перегріву екранних труб котла, шляхом реконструкції топкового пристрою. Досвід комерційного впровадження при реконструкції котлів ОП-230 «Alstom», які експлуатуються на ТЕЦ Фінляндії, Бельгії, Австрії та інших країнах Європи [5]. В роботі [5] наведено CFD-моделювання реконструкції котла ОП-230, шляхом заміни пальників на малотоксичні та стадійної подачі повітря, що призвело до зменшення викидів NO_x на 32 та 38% відповідно. Результати моделювання показали, що без використання технології ступінчатого спалювання палива є обмеження в екологічних показниках котла, відповідно до директиви ЄС [6].

В даній роботі проведено моделювання роботи котла при встановленні декількох ярусів пальників та організації стадійного спалювання палива. На рисунку 1 наведено розбиття топки котла ГМ-50-14 на зони горіння в залежності від кількості ярусів пальників. На рисунку 2 наведено питоме теплове навантаження від кількості ярусів пальників [2-3].

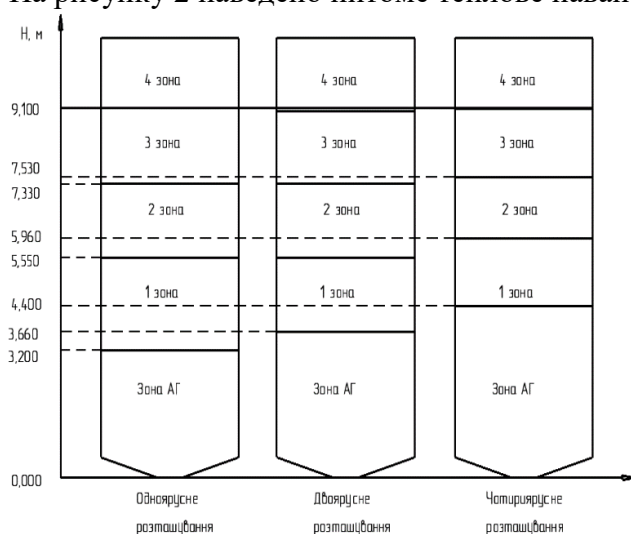


Рисунок 1 – Розбиття топки на зони горіння

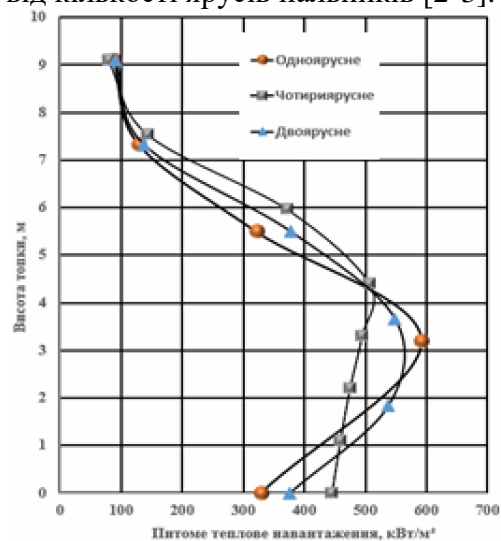


Рисунок 2 – Питоме теплове навантаження

В таблиці 1 наведено результати моделювання утворення NO_x та порівняння з початковим варіантом до модернізації котла. Після реконструкції сумарна кількість викидів NO_x забезпечують екологічні норми директиви ЄС [4].

Таблиця 1 - Порівняння сумарної кількості NO_x та потужність котла при яких котел експлуатується забезпечуючи екологічні норми

№	Стандартне розташування пальників (двоюрисне)			
	40	60	80	100
В _p , %				
NO _x сумарне, г/м ³	0,286	0,398	0,505	0,61
	Оптимальні значення при стадійному спалюванні			
NO _x сумарне, г/м ³	0,19	0,217	0,249	0,284
Зниження викидів NO _x , %	34	45	50	53

Висновки:

Ступеневе спалювання при стадійній подачі повітря призводить до зменшення кількості викидів NO_x від 34% до 53% в залежності від навантаження котла.

Перелік посилань:

1. Перспективи впровадження чистих вугільних технологій в енергетику України / [І. Вольчин, Н. Дунаєвська, Л. Гапонич та ін.]. – Київ: ГНОЗІС, 2013. – 308 с. – (ГНОЗІС).

2. 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.

3. INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF BOILER AND HEATER INSTALLATIONS. Language selection - Natural Resources Canada / Sélection de la langue - Ressources naturelles Canada. URL: <https://www.nrcan.gc.ca/energy/publications/efficiency/industrial/cipec/6699> (date of access: 17.05.2022).

4. Логвинюк М. О., Новаківський Є.В. Зменшення викидів NO_x, шляхом ступеневого спалювання палива. «Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси та устаткування» – 2021. – №4. – с. 18–23.

5. Motyl P., Łach J. Numerical modelling of retrofitting an industrial boiler type OP-230 for predicting NO_x reduction. MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 240. P. 05021. URL: <https://doi.org/10.1051/matecconf/201824005021> (date of access: 17.05.2022).

6. 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

ЗМЕНШЕННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ БАСЕЙНІВ ВИТРИМКИ ЯДЕРНОГО ПАЛИВА

В даній статті розглянуто роботу та шляхи зменшення енергоспоживання та енергозалежності від системи басейну витримки (БВ).

Басейн витримки призначений для зберігання відпрацьованих тепловиділяючих збірок з метою спаду їхньої активності та залишкових тепловиділень, перевантаження витриманих тепловиділяюча збірка (ТВС) із БВ у транспортний контейнер, перевантаження свіжих ТВС з чохла до басейну витримки чи реактор, перевантаження відпрацьованих ТВС із активної зони реактора у стелажі БВ, перевантаження нових ТВС зі стелажів БВ в реактор.

Максимальна температура води в БВ не повинно перевищувати 70°C при повному вивантаженні ВТВЗ у басейн витримки з активної зони реактора. Відведення залишкових тепловиділень від ТВС, що у БВ, здійснюється примусовою циркуляцією води у відсіках БВ. Працюючий насос розхолодження БВ створює циркуляцію води по замкнутому контуру. Насос подає воду в напірний трубопровід, звідки вона потрапляє в напірний колектор, яким надходить у відсіки басейну витримки. З БВ вода потрапляє у зливальний трубопровід і надходить у теплообмінник. Проходячи міжтрубного простору з багаторазовим поперечним обтіканням трубного пучка, вода охолоджується до температури $\leq 45^{\circ}\text{C}$, і циркуляція її по контуру охолодження БВ повторюється.

Теплообмінник являє собою горизонтальний, кожухотрубчастий, протиточний двоходовий апарат по стороні трубного простору з багатократним поперечним обтіканням трубного пучка по стороні міжтрубного простору. Теплообмін з навколишнім середовищем відбувається через градирню.

Для перекачки теплоносія використовують три насоси(рис. 1, п. 4). Наявність трьох насосів дозволяє один з них тримати в робочому стані, інший в резерві, а третій може ремонтуватися.

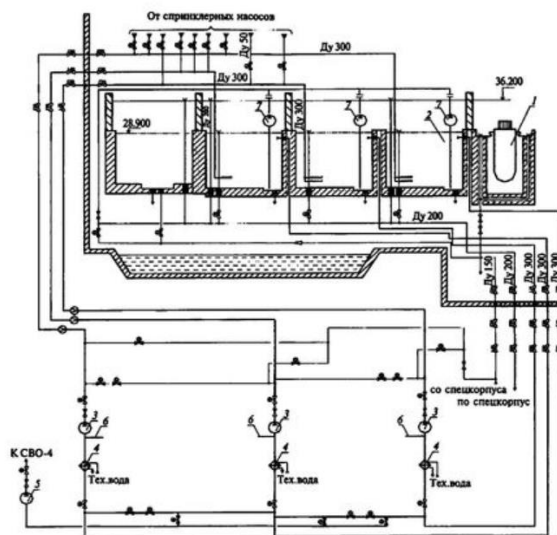


Рисунок 1 - Схема контуру охолодження басейну витримки

Аналогічне відношення й до теплообмінників. Також ще застосовуються насос подачі води на систему спецводоочищення (СВО-4) (рис. 1, п. 5) й переносний занурювальний насос(рис. 1, п. 7).

Щоб розрахувати витрату води, необхідну для підтримки постійної температури води в басейні витримки, необхідно знати кількість теплоти, що виділяється від ВЯП. Використаємо формула Вея-Вігнера:

$$w = W \cdot 0,002 \cdot (t^{-0,2} - (t + T)^{-0,2}),$$

де w , кВт – теплова потужність касет після припинення реакції розподілу в активній зоні реактора; W , кВт – теплова потужність касет в активній зоні реактора; t , років – час витримки касет після припинення реакції поділу в активній зоні реактора; T , років – час роботи касет в активній зоні реактора.

У водо-водяному енергетичному реакторі з номінальною потужністю 1000 МВт (ВВЕР-1000) в активній зоні знаходиться 163 тепловиділяючі касети. Їхня сумарна теплова потужність становить 3000 МВт. Кожна касета знаходиться в реакторі 3 роки і щороку відбувається заміна 54, 55 касет (третина реактора). Відповідно їх теплова потужність дорівнюватиме 1000 МВт. У таблиці 1 представлена залежність залишкового тепловиділення від часу.

Таблиця 1 - Залежність залишкового тепловиділення всіх ТВС від часу.

t , років	0	0,5	1	1,5	2	3	5	8	15	30	50
w , кВт	1000	740,7	484,3	363,8	291,5	207,8	130,1	81,4	41,7	19,1	10,6

Основні методи зменшення споживання енергії в басейні відпрацьованого ядерного палива:

Збільшення води в басейні. Типовий басейн витримки відпрацьованого палива ВВЕР-1000 має об'єм приблизно 8 000-10 000 кубічних метрів. Збільшення цього об'єму призведе до меншої кількості циклів проходження води по контуру, що в свою чергу зменшить навантаження на насоси.

Альтернативні джерела енергії. Використання альтернативних джерел енергії зменшать залежність від зовнішніх джерел, що особливо важливо в аварійних ситуаціях.

Використання абсорбційного теплового насосу. Абсорбційний тепловий насос може відводити тепло від басейну відпрацьованого палива до теплоносія вторинного контуру з підвищеною температурою для зменшення енерговитрат відкачування теплоносія, й відповідно зменшення енерговитрат насосу і градирні. В якості тепла високого потенціалу застосовується окремий контур з ТВС що знаходяться під тиском з підвищеною температурою. Робоче тіло теплового насосу відводить теплоту до теплоносія другого контуру, яка скидається на градирні навколишнього середовища.

Використання частотних перетворювачів на насосах або насоси меншої потужності для зменшення енергоспоживання під час коливання тепловиділення в міжперевантажувачий період.

Вище перелічені методи мають підвищувати надійність та зменшення енергоспоживання басейнів витримки відпрацьованого ядерного палива.

Перелік посилань:

1. Андрушечко С. А. АЭС с реактором типа ВВЭР-1000. А.М. Афров, Б.Ю. Васильев, К.Б. Косоуров, Ю.М. Семеченков, В.Ф. Украинцев, - 2010. - С.235-237
2. Бакластов А. М. Проектирование, монтаж и эксплуатация тепломассообменных установок: Учеб. пособие для вузов / А.М. Бакластов, В. А. Горбенко, П. Г. Удыма; Под ред. А.М. Бакластова, 1981. – 336 с., ил.
3. Романюк В. Н., Бобич А. А., Муслина Д.Б., Коломыцкая Н. А., Мальков С. В., Бубырь Т. В. Абсорбционные тепловые насосы в тепловой схеме ТЭЦ для повышения её энергетической эффективности // Энергия и Менеджмент. — 2013. — № 1. — С. 14-19.

ТЕПЛООБМІН ПРИ ПЛІВКОВІЙ КОНДЕНСАЦІЇ В КОНДЕНСАЦІЙНИХ ЕКОНОМАЙЗЕРАХ

В даній роботі розглянуто метод розрахунку коефіцієнта тепловіддачі при плівковій конденсації в умовах присутності газів, що не конденсуються для теплоутилізаційних установок енергетичних котлів, що працюють на природному газі в залежності від навантаження енергетичного котла.

Коефіцієнт тепловіддачі для конденсаційних економайзерів в присутності газів, які не конденсуються, залежить від багатьох факторів, таких як температура та тиск газів, швидкість потоку газів, площі теплообмінної поверхні економайзера та хімічного складу продуктів згорання. Фізичні та геометричні обмеження наведені в роботі [1].

Конденсація водяної пари з димових газів – це основний процес теплообміну в конденсаційному теплообміннику парового енергетичного котла. Коефіцієнт тепловіддачі при конденсації водяної пари з димових газів має нижчі значення ніж при умові конденсації чистої пари через присутність газів, які не конденсуються (CO_x та NO_x). Моделі, які описують конденсацію пари в присутності газів, що не конденсуються, вимагають трудомістких чисельних розрахунків, які виходять за рамки теорії плівки Нуссельта, а також експериментального підтвердження таких розрахунків для підтвердження їх життєздатності. На даному етапі кількість робіт, в яких представлені прості та ефективні формули для точного розрахунку досить невелика. При цьому в таких роботах розглянуті формули тільки для конкретної експериментальної установки, при зміні концентрації газів, що не конденсуються, швидкості, а також геометричних характеристик установки – залежності значно змінюються.

Для визначення коефіцієнта тепловіддачі необхідно використати критеріальне рівняння [2], отримане на підставі наближених до конденсаційного обмінника [1] має вигляд:

$$Nu_D = a_1 \cdot Re^{0.5} \Pi_g^{-1/3} \varepsilon_2^{-0.6}, \quad (1)$$

де Nu_D - дифузійний критерій Нюсельта;

a_1 - постійний множник: при $Re \geq 350$ $a_1 = 0,82$, при $Re < 75$ $a_1 = 0,52$.

Re - Критерій Рейнольдса:

$$Re = w \cdot \frac{\rho}{g} \cdot \mu,$$

(складові рівняння використовуються для суміші димових газів)

Π_g – параметр, який враховує вплив поперечного потоку маси на поле парціальних тисків:

$$\Pi_g = \frac{(p_n - p_{pф})}{p}, \text{ де}$$

$p_{pф}$ – парціальний тиск водяної пари на границі розділу фаз;

p_n – парціальний тиск водяної пари;

p – тиск суміші.

В такому випадку густина теплового потоку розраховується за формою:

$$q = \beta_p \cdot \Delta i (p_n - p_{pф}) = \alpha_{nl} \cdot \Delta t_{nc} = \frac{t_{cm} - t_e}{\frac{1}{\alpha_g + R_{cm} + R_z}}, \quad (2)$$

де Δi – теплота фазового переходу з врахуванням перегріву пари,
 $\Delta i = r + Cp_n (t_{сум} - t_s)$;

$\Delta t_{тс}$ – температурний напір «пара-стінка»;

α – коефіцієнт тепловіддачі від стінки до робочого тіла;

$R_{ст}, R_3$ – термічний опір стінки та забруднень відповідно.

За результатом вирішення рівняння (2) було отримано залежності [3]:

$$q = C_1 (p_n - p_{рф})^{\frac{2}{3}}; \quad (3)$$

$$q = C_2 (t_{рф} - t_г); \quad (4)$$

$$\Delta t_{nc} = C \cdot q^{8.7}. \quad (5)$$

В цих рівняннях C_1 та C_2 – постійні коефіцієнти, отримані в результаті вирішення рівнянь (2-5); C – допоміжний комплекс, який представлений у графічному та аналітичному видах [3].

Оскільки температура стінки невідома, то її слід визначати методом послідовного наближення. Таким чином послідовно можна визначити коефіцієнт тепловіддачі та густину теплового потоку.

Основним недоліком описаного такого методу розрахунку є те, що цей метод базується на обмеженому експериментальному матеріалі і за інших умов теплообміну може бути використаний тільки для наближених розрахунків. Крім того при створенні математичної моделі для розрахунків за цим методом необхідно додаткове представлення графічних матеріалів у вигляді систем поліномів, розрахунок є досить громіздкими і незручними в розрізі операції з визначення комплексу C та парціальних тисків. При цьому даний метод розрахунку надає приближений результат, для адаптації цього методу для проектування конденсаційних теплообмінників необхідні експериментальні дослідження.

Перелік посилань:

1. Неділько А. В. Застосування конденсаційних економайзерів на газових енергетичних та водогрійних котлах / А. В. Неділько, Є. В. Новаківський. // Науковий журнал «Енергетика: економіка, технології, екологія». – 2021. – №4. – С. 31–36.

2. Современные технологии глубокого охлаждения продуктов сгорания топлива в котельных установках, их проблемы и пути решения / А. В.Ефимов, А. Л. Гончаренко, Л. В. Гончаренко, Т. А. Есипенко. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2017. – 409 с. – (Наукове видання).

3. Берман Л.Д. Расчет поверхностных теплообменных аппаратов для конденсации пара из паровоздушной смеси / Л.Д. Берман, С.Н. Фукс – 1959. – С.74 – 84.

УТИЛІЗАЦІЯ ТЕПЛОТИ ДИМОВИХ ГАЗІВ

В умовах постійного зростання дефіциту і вартості природного газу, становище з впровадженням високоефективних теплоутилізаційних технологій повинне зменшити залежність від такого палива. Зарубіжна європейська практика [1, 2] підтверджує необхідність та ефективність даних установок.

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, а також води для технологічних потреб промислових підприємств, мережевої 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 теплопостачання 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].

В результаті різноманітних підходів та методів утилізації тепла ККД системи може підвищуватися від 3 до 15% [2,4].

Конденсаційні економайзери мають багато конструктивних особливостей, серед яких можна відзначити основні, такі як контактні, поверхневі та поверхнево-контактні [3]. Поверхневі конденсаційні економайзери мають теплообмінники, які можуть бути виконані пластинчастими, мати теплообмінники з оребреними трубами або виконані на основі теплових труб і термосифонів [4].

Для підвищення надійності конструкцій конденсаційних теплообмінних апаратів, а також збільшення коефіцієнту теплопровідності їх виготовляють з корозійностійких матеріалів: чавуну, сплавів алюмінію, нержавіючої сталі, кераміки або здійснюють різні покриття поверхонь [4]. Дуже часто в ТА використовуються біметалічні труби, що застосовуються в калориферах, в яких основу становить сталева труба, а ребра виготовляються шляхом накатки з алюмінію [5].

В даній роботі розглядається конденсаційний економайзер на базі енергетичного газомазутного котла ТГМ – 96А. Попередньо виконаний конструктивний та тепловий розрахунок котла [6]. Конденсаційний економайзер виконаний із оребрених біметалевих труб та використовує у якості робочого тіла аміак, який використовується для вироблення електричної енергії турбіною на ORC турбіні. Робоче тіло подається з температурою 20 °С, яка відповідає температурі робочого тіла на вході в конденсаторі турбіни. В даному методі утилізація тепла використовується для отримання електричної енергії [7].

В статті проведено математичне моделювання роботи конденсаційного економайзера в залежності від навантаження котла.

Основні результати розрахунків [7] представлені в таблиці 1 для блоку ТГМ – 96А в діапазоні потужності від 50 до 100%.

В результаті застосування конденсаційного економайзера, що живить турбіну можна отримати додаткову теплову енергію до 5 МДж/м³, що складає 8,4-8,7% теплової потужності котельного агрегату або 2,66-4,12 МВт електричної енергії, що становить відповідно 2,66-4,12% від електричного навантаження блоку в залежності від навантаження. Також слід враховувати що зі зменшенням потужності котла, температура конденсації водяних парів буде зменшуватися, оскільки з падінням потужності котла зростає коефіцієнт надлишку повітря а відповідно знижується парціальний тиск водяних парів. Слід зазначити, що дані параметри КПД конденсаційного економайзера та ORC

турбіни прийняті при температурі охолоджуючої води на вході в конденсатор 20 °С влітку, а взимку, при зниженні відповідної температури, доля відібраної теплоти, і як наслідок потужність системи буде вища.

Таблиця 1– Ключові параметри

Величина	Розмірність	Значення						
		50	58	66	75	83	91	100
Навантаження блоку	%	50	58	66	75	83	91	100
Потенціал димових газів	кВт	16009	18151	20007	22199	24502	26816	28802
Надлишок повітря за котлом (за РВП)	-	1,95	1,79	1,69	1,62	1,58	1,54	1,52
Температура продуктів згорання на виході з котла	°С	107	110	113	115	118	121	124
на виході з КЕ		27,13	28,87	30,06	30,96	31,49	32,03	32,31
Після підмішування		47,13	48,87	50,06	50,96	51,49	52,03	52,31
Відсоток підмішування ДГ	%	18,69	18,18	17,70	17,39	16,95	16,53	16,13
Доля теплоти корисно використаної в КЕ від загальної теплоти в котлі		8,77	8,62	8,55	8,47	8,44	8,42	8,43
Доля електроенергії виробленої в ОРС турбіні від загальної електричної потужності блоку		2,66	2,53	2,81	3,13	3,47	3,82	4,12

Перелік посилань:

1. Grinman M.I. Prospects for the use of low-power power plants with low-boiling working bodies /M. I. Grinman, V. A. Fomin // Power Engineering, 2006. - No 1. - P. 63–69.
2. G.I. Zhikhar Boiler plants of thermal power plants / Higher School, Minsk, 2015, 517.
3. DeFrees, J., Stuckey, R. and Foote, J. (2007). Condensing economizers. American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc. (ASHRAE)
4. Сучасні технології глибокого охолодження продуктів згорання палива в котельних установках, їх проблеми і шляхи вирішення А.В. Єфімов, А.Л. Гончаренко, Л.В. Гончаренко, Т.А. Єсипенко – Харків: НТУ «ХП», 2017, – 233 с
5. Интенсификация теплообмена при конденсации водяных паров из уходящих дымовых газов / Ю.А. Кузма-Китча, Д.Ю. Бухонов, Ю.В. Борисов – 2007 – С.39 – 42.
6. Тепловой расчет котлов (нормативный метод) изд.3 / ВТИ и ЦКТИ – НПО ЦКТИ, СПб, 1998. – 256 с.
7. Неділько А.В., Новаківський Є.В. Застосування конденсаційних економайзерів на газових енергетичних та водогрійних котлах. Науковий журнал «Енергетика: економіка, технології, екологія» 2021. № 35. С. 48-55.

РОЗРАХУНОК ШВИДКОСТІ ГОРІННЯ ВОДЕНЬ-ВМІСТКИХ ГАЗОВИХ ПАЛИВ

У зв'язку з обмеженістю запасів та регіонального видобутку мінеральних палив (fossil fuels), а також виникненням проблеми декарбонізації навколишнього середовища як складової попередження глобальних змін клімату планети спостерігається перегляд номенклатури газових палив з поступовим скороченням долі вуглецьмістких палив до 2030 – 2050рр., перш за все в Європі [1].

Видатний вчений в галузі аеродинаміки, процесів горіння та ракетної техніки Т. Карман, а також інші фундатори цієї науки визначають процес та теорію горіння як “аеротермохімію” [2].

Основні сучасні теорії горіння базуються на відповідному підході, тобто сполучають опис процесів переносу маси та енергії з урахуванням процесів горіння як сукупності окремих хімічних реакцій. Одним з центральних питань розвитку теорії горіння є розрахунок швидкості ламінарного горіння S_L газових палив довільного складу, який визначається якісною залежністю:

$$S_L \sim (a/\tau)^{0.5}; \quad \tau \sim W_r^{-1} : \exp(E/RT),$$

де a – коефіцієнт температуропровідності реакційної суміші, τ – характерний час реакції, W_r – швидкість (брутто) реакції горіння, яка визначається сукупністю фізичних та хімічних властивостей палива.

Саме фізична та хімічна складові теорії горіння розвинуті в наших дослідженнях та знайшли практичне застосування.

Для подальшого аналізу використано модель горіння в потоці Я.Б. Зельдовича та Д.А. Франк-Каменецького [2], причому розрахунок обох основних параметрів визначення швидкості горіння S_L – a та τ – удосконалений в рамках нашої роботи. Теплофізичні характеристики, обчислені через коефіцієнт температуропровідності a , потребують розрахунку не через властивості локального «замороженого (frozen) складу» горючої суміші, а мають бути враховані через хімічний склад газо-окислювальної суміші, що змінюється в процесі реакцій – через “термодинамічно рівноважні (equilibrium) значення”.

З цією метою розвинено перехід до використання повної (хімічної) ентальпії як узагальнюючого параметру переносу енергії в полуменю – в обох зонах перебігу реакцій у фронті ламінарного горіння, в межах підігріву газо-окислювальної суміші до запалювання та власне зони реакції.

Хімізм перебігу горіння в рамках наших розробок рекомендовано визначати через використання механізму горіння для GRI-Mech 3.0, в який включені кінетичні рівняння для 53 компонент та з урахуванням 325 складових реакцій.

Незважаючи на те, що механізм **GRI Mech 3.0** розроблений для визначення S_L за умов спалювання природного газу як палива [3], зроблена спроба поширення такого підходу на альтернативні палива, перш за все – водень та метановодневі суміші.

Результати верифікації зазначених розрахунків дозволяють стверджувати достатню надійність **GRI Mech 3.0** навіть для аналізу процесів горіння, пов'язаних з таким далеким від природного газу паливом, як водень: відхилення дослідних S_L від теоретичних значень в середньому не перевищують $\pm (11 - 13)\%$.

Порівняння залежностей швидкості ламінарного горіння S_L від складу паливо-повітряних сумішей для CH_4 та H_2 як палив вказує на широкий, більший за порядок значень $S_L = f(\lambda)$ діапазон можливостей розрахунку S_L з використанням **GRI Mech 3.0** (рис. 1).

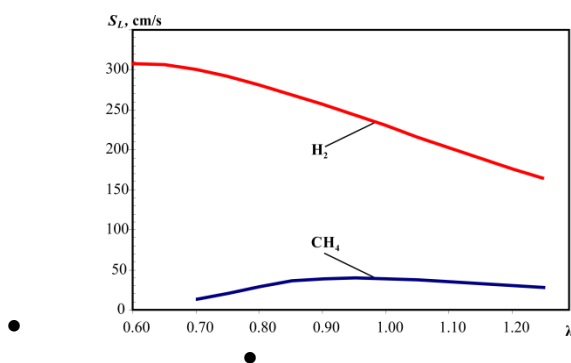


Рисунок 1 - Залежність ламінарної швидкості горіння S_L водню та метану з повітрям від коефіцієнту надлишку повітря λ . Розрахунки з використанням GRI-Mech 3.0 при $p=1$ атм, $T_0=298K$.

Слід мати на увазі, що S_L дає вичерпну оцінку горючих та безпекових (з огляду пожежо-вибухонебезпечності) характеристик газового палива на відміну від інших практично важливих, але менш інформативних ознак паливо-окислювальних сумішей.

Так, в якості вичерпної характеристики безпеки транспортування та схову (зберігання) газового палива розглядаються межі поширення полум'я: 4 - 77% (об.) - для воднево-повітряних сумішей проти 4 - 16% (об.) – для природного газу з повітрям [5], що дає підстави автору [5] зробити висновки щодо підвищеної небезпеки операцій з воднем. Вважаємо запропоновану характеристику (межі горіння) менш обґрунтованою, ніж значення швидкості S_L , оскільки перехід від нормального горіння до детонації може бути притаманний для палив у вузькому діапазоні співвідношень «паливо : окислювач».

Висновки. Удосконалено існуючу теорію горіння газових палив за рахунок включення в розрахункову систему рівняння збереження повної ентальпії реакційної суміші, а також залучення кінетичного механізму горіння GRI-Mech 3.0. На цій основі проведені розрахунки та верифікація їхніх результатів для швидкості S_L при спалюванні водню та інших альтернативних палив.

Перелік посилань

1. Huber, A. (2021) impact of hydrogen and mixtures of hydrogen and natural gas on forced draught gas burners. // Heat processing. 2021. no. 1. P.27–32.
2. Warnatz J., Maas U., Dibble R.W. Combustion. Physical and Chemical Fundamentals, Modeling and Simulations, Experiments, Pollutant Formation. – Springer 2001.
3. Gregory P. Smith, David M. Golden, Michael Frenklach, Nigel W. Moriarty, Boris Eiteneer, Mikhail Goldenberg, C. Thomas Bowman, Ronald K. Hanson, Soonho Song, William C. Gardiner, Jr., Vitali V. Lissianski, and Zhiwei Qin http://www.me.berkeley.edu/gri_mech/
4. Hermanns, R. T. E. (2007). Laminar burning velocities of methane-hydrogen-air mixtures. Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven. <https://doi.org/10.6100/IR630126>
5. Ellerton T. Hydrogen: An opportunity to reduce industrial CO₂ emissions // Heat processing 2021, no.4, P24-26.

ТЕПЛОГІДРАВЛІЧНІ ПРОЦЕСИ В ПАНЕЛІ НИЖНЬОЇ РАДІАЦІЙНОЇ ЧАСТИНИ КОТЛА ТПП-210А

Для оцінки надійності роботи елементів при надкритичних тисках, що мають багатозначні гідродинамічні характеристики, слід враховувати вплив величини теплового навантаження та нерівномірність обігріву окремих труб в елементі та інших збурюючих факторів. До таких збурень відносяться: зміна теплового навантаження по елементу в цілому і окремих його труб, зміна масової швидкості, короточасне припинення подачі живильної води.

Котел типу ТПП-210А – прямотоковий двохкорпусний П-подібного компонування, розрахований для роботи в дубль-блоці, за схемою з однократним проміжним перегрівом пари. Топка призматична та розділена пережимом на камеру горіння і догорання. Екрани передтопки, що утворюють камеру горіння, ошиповані вкриті вогнетривкою обмурівкою. Гідравлічна схема котла зображена на рис. 1.

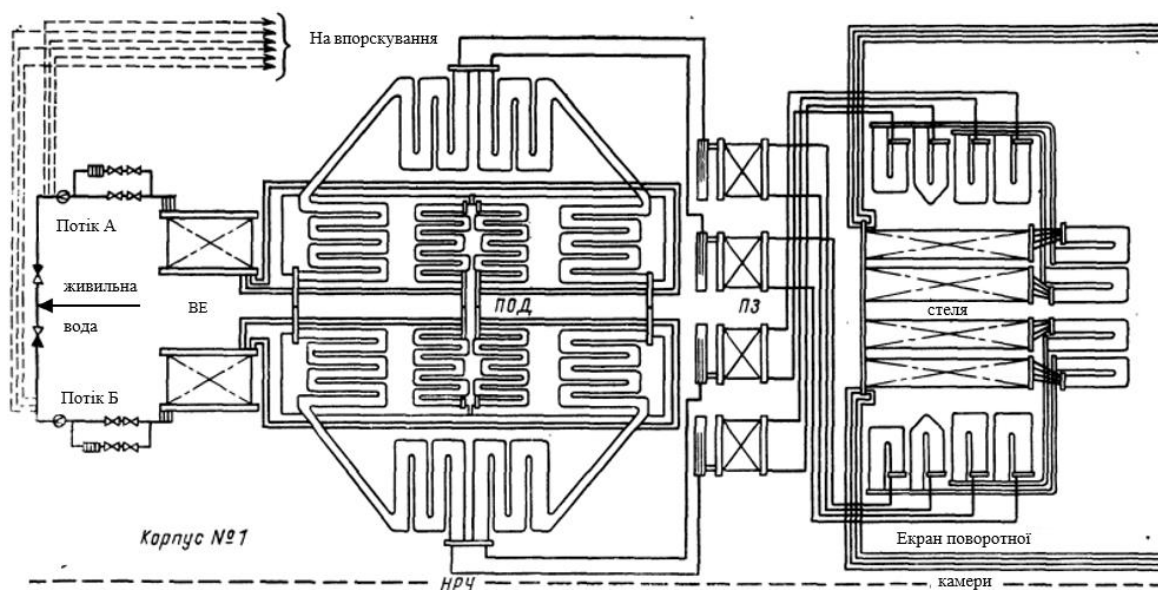


Рисунок 1 – Гідравлічна схема котла ТПП-210А

Аналіз гідродинамічних характеристик змійовиків показує, що на положення робочої характеристики істотно впливають величини вхідних ентальпій і теплового навантаження [1]. Збільшення вхідної ентальпії середовища зміщує початок однозначності у бік менших масових швидкостей. Враховуючи це, слід особливо уважно підходити до вибору режимів розтопки, які проводяться при знижених масових швидкостях і нерідко зі зниженими ентальпіями води на вході. Тому при розпалюванні слід прагнути до зниження теплових навантажень в області НРЧ за рахунок підвищення її у ВРЧ. Слід дуже уважно підходити до вибору режиму розпалювання, тому що, як показує практика, найбільша кількість пошкоджень поверхонь нагріву відбувається під час розпалювання. З іншого боку, це вказує на те, що в нестійку область виходитимуть труби з максимальним тепловим навантаженням при нерівномірному обігріві елемента, що підтверджено експериментальними дослідженнями ВТІ [2].

При значних нерівномірностях теплосприйняття одним із засобів вирівнювання гідродинамічних характеристик є шайбування, за допомогою якого можна знизити нерівномірності як між окремими підпотоками (при розподілі всього потоку на підтоки з різними умовами теплообміну), так і окремих труб в елементі.

Істотну роль при теплогідрравлічних розвірках відіграє підвищення ентальпії в елементі. У випадку, коли розрахунки розвірочної характеристики показують незадовільну розвірку, одним із радикальних заходів є поділ елемента на дві частини, при цьому має бути передбачене ретельне перемішування середовища у перерізі. За відсутності належного перемішування ефект від поділу елемента проміжними колекторами істотно знижується.

Для отримання реальних теплогідрравлічних характеристик екранів НРЧ необхідно виконати тепловий та позонний розрахунок топкової камери. За результатами теплового розрахунку були отримані: температура відхідних газів на виході з топки, що склала 1190,15 °С, адіабатичну температуру горіння палива - 2090 °С, витрату палива, що складає $B_p = 17,8 \text{ кг/с}$ та теплове напруження топкового об'єму – 146 кВт/кг.

При розгляді тільки головних факторів, що обумовлюють надійність роботи поверхней нагріву, видно, що створення надійно працюючого прямооточного котла є непростю задачею. При рішенні її топкові і гідродинамічні процеси повинні бути тісно пов'язані між собою.

Перелік посилань:

1. Гидравлический расчет котельных агрегатов (Нормативный метод) под. ред. С. И. Мочан – М.: Энергия, 1988. – 256 с.
2. Лебедев И. К. Гидродинамика паровых котлов / И. К. Лебедев. – М.: 1987. – 240 с.

РЕКОНСТРУКЦІЯ ПОВІТРОПІДГРІВНИКА КОТЛА СЕРЕДНЬОЇ ПОТУЖНОСТІ

Актуальною проблемою для України на сьогодні є незадовільний стан енергетичної галузі, зокрема ТЕЦ, який продовжує погіршуватися внаслідок технічного старіння основних фондів, більша частина яких вже відпрацювали свій ресурс та потребують негайної модернізації або заміни. Практичної необхідності набуває покращення техніко-технологічного стану теплоенергетичних підприємств, яке можна забезпечити через модернізацію та реконструкцію теплоенергетичного обладнання.

Метою магістерської дисертації є заміна круглих труб в типовому повітропідігрівнику котла ТП-35У на плоскі труби і розроблення методики теплоаеродинамічного розрахунку повітропідігрівника з плоских труб.

Об'єкт дослідження – науково-технічне розроблення котельного рекуперативного повітропідігрівника на плоских трубах.

Предмет дослідження – створення методик теплового та аеродинамічного розрахунків на базі отриманих результатів досліджень теплообміну і аеродинаміки плоских труб, проектування котельного повітропідігрівника.

Повітропідігрівник – обов'язкова і одна з найважливіших поверхонь нагріву сучасних парових котлів [1]. По суті це поверхня теплообміну, яка використовується для підвищення вхідної температури повітря за рахунок використання теплоти димових газів. На рис. 1 приведений загальний вид повітропідігрівника з пакетів плоских труб.

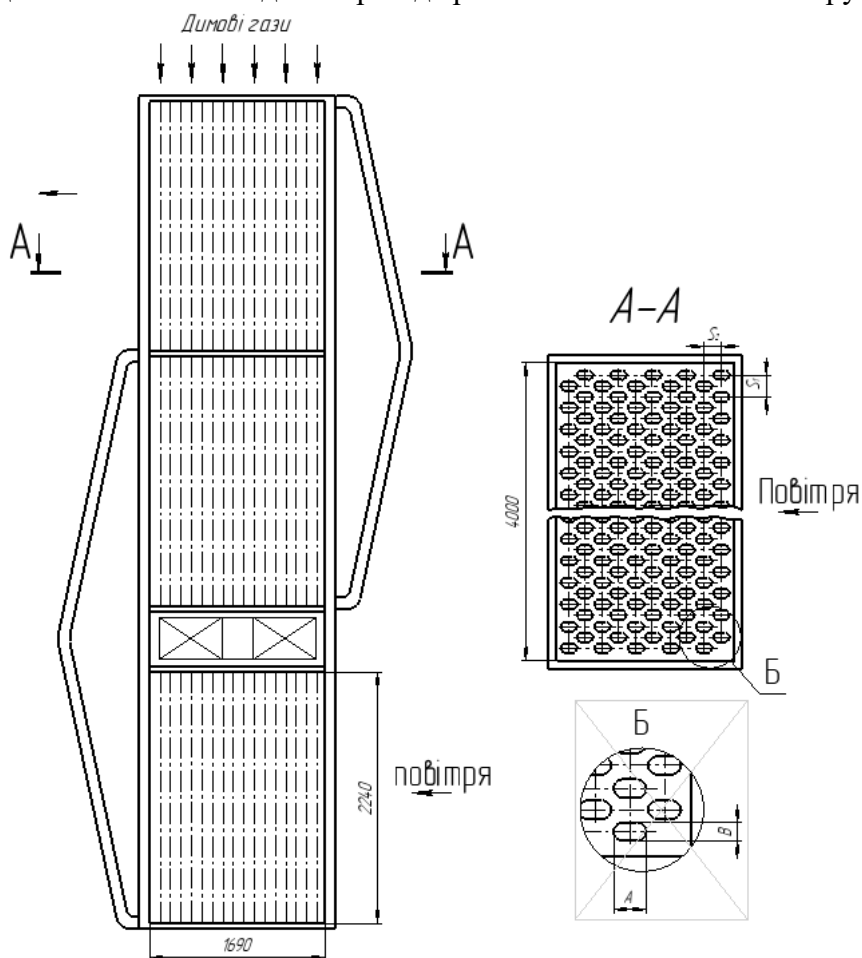


Рисунок 1 – Повітропідігрівник котла ТП-35У з пакетів плоских труб.

Котельні рекуперативні повітропідігрівники, як правило, представляють собою трубчасті теплообмінники, котрі виготовляються з круглих труб діаметром 30-40 мм і товщиною стінки 1,2-1,5 мм. Димові гази рухаються всередині труб зі швидкістю (10 – 14) м/с, а повітря, яке нагрівається – у міжтрубчастому просторі зі швидкістю (6 – 8) м/с. Одним з недоліків такого типу повітропідігрівника є його відносно великі металосміність і габарити, а також його низька теплоаеродинамічна ефективність. Підвищення температури повітря збільшує ККД котла і інтенсифікує процес горіння.

Після реконструкції повітропідігрівника очікується, що повітропідігрівник на плоских трубах порівняно зі стандартним на круглих трубах буде мати з боку повітря в (1,5 – 2) рази менший аеродинамічний опір та у (1,2 – 1,3) рази вищу інтенсивність тепловіддачі з боку газів, що у сукупності підвищить теплоаеродинамічну ефективність такого повітропідігрівника [2].

Перелік посилань:

1. Повітропідігрівники

URL:https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fbteg/stepanov_kotelniustanov/p6-4.html (дата звернення 09.03.2023).

2. V.Kondratyuk, A.Terekh, V.Rogachev, A.Baranyuk, A.Rudenko. Analysis and generalization of the experimental data on heat transfer in the staggered bundles of flat-oval pipes. International Journal of Energy for a Clean Environment 2017, V.18, N3, P.189-202.

СЕКЦІЯ №5

Сучасні технології в тепловій енергетиці

КІЛЬКІСНІ ПОКАЗНИКИ ШКІДЛИВИХ ВИКИДІВ ПРИ СПАЛЮВАННІ ОРГАНІЧНОГО ПАЛИВА

Кислотні дощі, забруднення річок та водоймищ, руйнування озонового шару, вимирання багатьох видів тварин, танення льодовиків – це лише невеличкий перелік наслідків антропогенного впливу людини на навколишнє середовище. Протягом останніх 50 років через діяльність людини в атмосферу було викинуто більше вуглекислого газу ніж на всю попередню сучасну історію людства. Загроза все сильнішого парникового для всієї планети та підняття середньої температури постає все сильніше. Якщо ці побоювання підтвердяться, людству в не такому вже віддаленому майбутньому доведеться різко обмежити споживання вуглецевмісних палив.

Крім викидів CO₂, паливоспалювальні та теплоенергетичні установки продукують теплові (викиди нагрітої води і газів) і хімічні (оксиди сірки та азоту) забруднення, золу і сажу, які зі збільшенням масштабу виробництва також створюють серйозні проблеми. Виключити ці викиди або хоча б звести до мінімуму можна тільки на основі глибокого розуміння процесів перетворення енергії на всіх етапах ланцюга "джерело – споживач", починаючи з видобутку первинних енергоресурсів і закінчуючи використанням енергії в її кінцевому вигляді. Фактично екологія поставила людство перед необхідністю переходу до "безвідходного" енерговиробництва.

Забруднення повітря є результатом викидів в атмосферу чужорідних крапель, парів, газів, часток, підвищенням концентрації деяких звичайних компонентів (вуглекислого газу, твердих часток), що зумовлено роботою підприємств, спалюванням палива в різних енергетичних системах, господарсько-побутовою діяльністю населення тощо. Основні інгредієнти забруднень – зважені частинки, оксиди вуглецю, азоту, сірки, фотохімічні окислювачі. Забруднення ґрунту має антропогенне походження – залучення людиною різних забруднювачів (накопичення пестицидів, незасвоєних добрив, відходів тваринництва, бджільництва, промисловості, енергетики, забруднення нафтопродуктами тощо). Як правило, ґрунтові забруднювачі вбираються рослинами і тваринами в харчові ланцюги і таким шляхом доходять до людини.

Нині спалюють щорічно близько 2 млрд.т. вугілля. Цей процес супроводжується викидами в атмосферу мільярдів тонн діоксиду вуглецю та інших шкідливих речовин. Наземна рослинність і фітопланктон океанів уже не встигають споживати таку кількість діоксиду вуглецю. В атмосферу планети в період з 1860 р. по 1990 р., внаслідок спалювання органічного палива, надійшло близько 200 млрд.т. діоксиду вуглецю. Його вміст зріс на 30%, з них 10% – за останні 30 років.

Одним із найбільших чинників негативного впливу на природу є енергетичний сектор. Потреби людства в енергоресурсах завжди будуть зростати – це ж стосується і енергетики. Наразі через наслідки від пандемії корона вірусу та через війну росії проти України спостерігається, принаймні у Європі, більш стрімкий перехід від невідновлювальних джерел енергії (вугілля, мазуту, газу) до менш шкідливих (скраплений газ, атомна енергетика) і до відновлювальних (вітрова, сонячна, біоенергетика і т.д.).

Однак навіть через ці фактори викопні енергоресурси становлять найбільшу частину серед інших. Теплова енергетика – це галузь енергетики, яка спирається саме на використання таких видів палива.

Використовуючи хімічну енергію палива виробляється тепла або електрична енергія. Саме теплоенергетика є однією із найменш екологічних галузей. Тому вона в першу чергу потребує модернізації та покращення технологій аби зменшити її шкоду та покращити показники.

Основним викидами з теплових електростанцій є:

- діоксиди сірки (SO_2) та вуглецю (CO_2);
- оксиди азоту (NO_x);
- тверді частинки: сажа, зола і тд;
- ртуть та інші важкі метали.

Основними екологічними станціями є наступні величини:

- E_j – валовий викид j -ї забруднюваної речовини, що потрапляє в атмосферу з димовими газами від енергетичної установки, вимірюється за певний період часу (наприклад, т/рік);
- k_{mv} – показник емісії речовини – палива (її твердих частинок), в грамах відносно кількості теплоти, що виділяється при його спалюванні, г/ГДж;
- A' – масовий вміст золи в паливі на робочу масу, %;
- α_{un} – частка золи, яка виходить з котла у вигляді золи.

Ключовими методами зменшення цих шкідливих викидів є:

- встановлення фільтрів та технологій для уловлення очистки димових газів (електрофільтри, рукавні фільтри, скрубери, циклони і т.д.);
- покращення підготовки палива;
- зміна конструкції котла;
- зміна процесу горіння та нові методи спалювання.

При спалюванні викопних видів палива його мінеральна частина (неорганічні домішки) перетворюються на золу і частково виходять із котла у вигляді легкої золи з димовими газами. Частинки в димових газах, наприклад летюча зола, надходять в обладнання для контролю твердих частинок. Характеристики та кількість легкої золи залежать від палива, наприклад, від мінерального складу вугілля та типу спалювання.

На продуктивність обладнання з контролю частинок впливають зміни питомого опору та когезійна здатність золи, які залежать від мінералогії вугілля, як палива, та кількості вуглецю, що не згорів, у складі легкої золи.

Тип спалювання впливає на розподіл частинок за розміром у складі легкої золи і таким чином впливає на викид частинок. Речовина дрібних частинок може містити вищі концентрації важких металів, ніж великі частинки. Це пов'язано з тим, що дрібні частинки мають велику поверхню, доступну для конденсації мікроелементів (важких металів), таких як ртуть.

Можна підсумувати, що усі методи боротьби зі шкідливими методами є необхідними, однак кожен з них окремо не дасть великого виграшу. Ця проблема комплексна, тому всі перелічені вгорі методи мають бути скомбіновані. Звісно, що впровадження більш новітніх та складніших технологій потребує більше фінансів та матеріальних ресурсів. Проте економія в цій області не призведе до процвітання та розвитку людства. Ми живемо на одній планеті, де все взаємопов'язане і вже зараз її мешканці відчувають наслідки антропогенної діяльності людини. Питання лише в тому коли ці наслідки стануть настільки помітними аби зробити життя на Землі нестерпним? Залежить лише від людини.

Перелік посилань:

1. Маляренко В.А., Введение в инженерную экологию энергетики. Учебное пособие. Второе издание. – Х.: Издательство САГА, 2008. – 185 с. з ил.

2. Абдулін М.З., Шелешей Т.В., Беднарська І.С., Будя Ю.С., Юрчук В.С. Науковий журнал «Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки». Покращення екологічних показників котлоагрегатів квгм-100 шляхом модернізації пальникових пристроїв. Том 33 (72) 2022. № 5. – с. 130–135.

РАЦІОНАЛІЗАЦІЯ ПРИТИСКНИХ ЗУСИЛЬ У ФЛАНЦЯХ ЦИЛІНДРІВ ТУРБІН ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ РОБОТИ

Теплові електричні станції є важливими елементами електроенергетики в Об'єднаній енергетичній системі України, але їх ефективність поступово зменшується за рахунок старінням обладнання. Побудова нових потужностей було б чудовим рішенням, але воно потребує значних капіталовкладень. Набутий досвід в експлуатації однотипного устаткування на різних електростанціях дозволяє виконувати продовження допустимого терміну роботи турбінного обладнання понад парковий ресурс [1]. Корпусні елементи циліндра високого тиску (ЦВТ) є дорогими елементами турбін, а їх довговічність обмежена різними факторами, включаючи затяжку шпильок у фланцях горизонтального роз'єму [2]. Через що детальне дослідження впливу затяжки шпильок на ресурсні показники корпусів парових турбін є актуальним і необхідним питанням для України на даний момент.

Дослідження притискних зусиль проводилося на прикладі циліндра високого тиску турбіни К-800-240-2. Це двостінна лита турбіна з високолегованої сталі, що складається з двох частин, з'єднаних фланцями. Дослідження теплового і напружено-деформованого стану корпусних елементів ЦВТ турбіни виконано з використанням сучасних методів математичного моделювання. Вони базуються на основних положеннях теорії стаціонарної теплопровідності та механіки твердого тіла. Також використовувалися чисельні методи розв'язання задач математичної фізики та обчислювальні методи інженерного аналізу на основі методу скінченних елементів. Чисельне дослідження температурного стану було виконано для усіх характерних режимів експлуатації, включаючи пуски з гарячого, неостиглого та холодного станів, а також номінальний режим роботи [3]. Для дослідження була створена тривимірна модель через відсутність осесиметричної геометрії, наявності горизонтальних з'єднувальних фланців, труб підведення або відведення пари та інших конструктивних ускладнень.

Парова щільність корпусів у горизонтальній площині забезпечується притискними зусиллями шпильок фланцевого з'єднання. Для парових турбін минулого зразка з початковим тиском пари 23,6 МПа, притаманне поточне зусилля шпильок близько 3-4 МН, що збільшує значення інтенсивності на 14–16%, а безпосередньо в самому фланцевому з'єднанні, через появу контактних напружень – інтенсивність зросла майже на 80%. Саме тому необхідність вирівнювання величини інтенсивності напружень через несиметричне зусилля затягування штифтів, що призводить до прискореного накопичення статичного руйнування металу корпусу, спонукає нас до розрахунку мінімально необхідного зусилля затягування групи штифтів. Їх можна розрахувати за формулою:

$$Q_{\min} = 0,5 p d l [1+3c / (2a-b)] \quad (1)$$

де p - тиск пари в зоні розташування групи пальців; d - внутрішній діаметр корпусу в зоні розташування групи пальців; l – середня відстань між сусідніми пальцями; a , b , c – геометричні параметри, що характеризують положення пальця у фланці.

На початкових етапах експлуатації штифти зазнають найсильнішої релаксації матеріалу, що також необхідно враховувати. По мірі роботи вузла деформація буде продовжуватися, а значить, інтенсивність релаксації буде зменшуватися. Середня релаксація напружень для штифта зазвичай становить менше 30 % [4]. Враховуючи цю обставину і приймаючи коефіцієнт запасу міцності для даного типу деталей $n=1,2$, приймається поточне зусилля затягування штифтової групи:

$$Q_z = 1,5 Q_{\min} \quad (2)$$

Розрахункові значення зусиль затягу для груп шпильок корпусу ЦВТ турбіни К-800-

240-2 наведено на рис. 1.

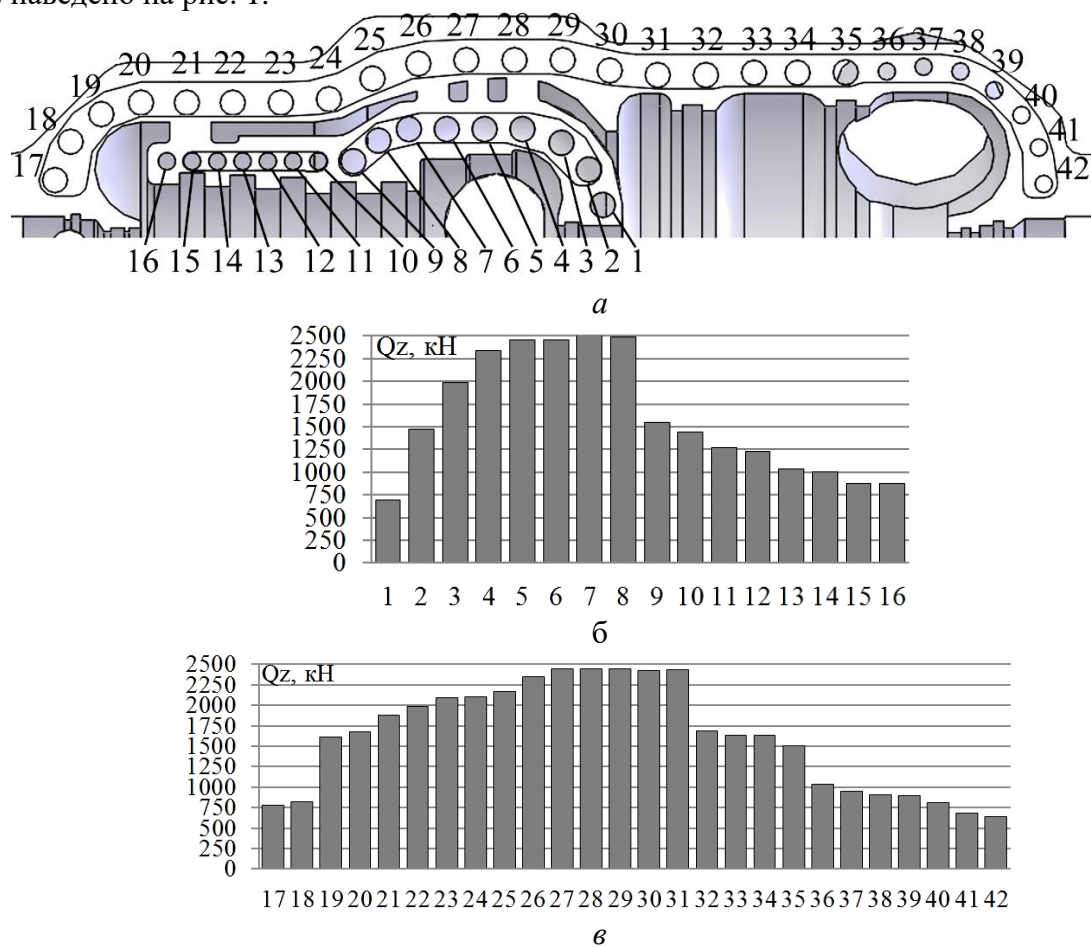


Рисунок 1 – Розрахункові поточні зусилля затяжки груп шпильок:
а – нумерація груп шпильок; *б* – поточні зусилля для внутрішнього корпусу;
в – для зовнішнього

На першому етапі роботи було досліджено, що найбільших напружень, близько 2.5 мН зазнають шпильки внутрішнього корпусу 5–8 та зовнішнього корпусу 27–31. Продовжуючи наукову роботу стоїть ціль дослідити вплив цих самих зусиль на напружено-деформований стан корпусу ЦВТ та оцінити її ресурсні показники за різних зусиль затяжки групи шпильок.

Перелік посилань:

1. Черноусенко, О. Ю. Вплив роботи енергоблоків ТЕС в маневреному режимі на вичерпання ресурсу енергетичного обладнання / О. Ю. Черноусенко, В. А. Пешко // Вісник НТУ «ХП». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Харків : НТУ «ХП», 2016. – № 10(1182). – С. 6–16.
2. Wang, R., Wei, J., Hu, D. (2013) Investigation on experimental load spectrum for high and low cycle combined fatigue test. Propulsion and Power Research, № 2(4), 235–242.
3. Peshko, V., Chernousenko, O., Nikulenkova, T., Nikulenkov, A. (2016). Comprehensive rotor service life study for high & intermediate pressure cylinders of high power steam turbines. Propulsion and Power Research, Volume 5, Issue 4, 302–309.
4. РД 26.01.122-89. Фланцеві з'єднання посудин і апаратів на тиск понад 10 до 100 МПа (понад 100 до 1000 кгс/см²). Методика розрахунку режимів затягування шпильок. – М., 1989. – 24 с.

АМОНІАК ЯК ПАЛИВО: ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ

Відновлювані джерела енергії відіграють важливу роль у вирішенні деяких проблем, з якими стикається сучасне глобальне суспільство, таких як вартість енергії, енергетична безпека та зміна клімату. Накопичення енергії має вирішальне значення для подолання властивої переривчастості відновлюваних ресурсів і збільшення їх частки генеруючої потужності [1].

Таким чином, енергетичні системи майбутнього вимагають ефективних, доступних методів зберігання енергії.

Єдиним досить гнучким механізмом, який дозволяє накопичувати велику кількість енергії протягом тривалих періодів часу в будь-якому місці, є хімічне накопичення енергії.

Хімічне накопичення енергії можна розглядати за допомогою водню або вуглецевих нейтральних похідних водню. Одним із таких прикладів є аміак, який було визначено як екологічно чисте паливо. Нижче буде розглянуто переваги та недоліки амоніаку як палива [1, 2].

Недоліки

Токсичність: Аміак класифікується як небезпечний матеріал, і вплив високих концентрацій може бути небезпечним для здоров'я людини. Адміністрація з охорони праці та здоров'я (OSHA) встановила допустиму межу впливу аміаку в 50 частин на мільйон (ppm) протягом 8-годинного робочого дня. Вплив концентрацій, що перевищують цю межу, може спричинити проблеми з диханням, подразнення шкіри та інші проблеми зі здоров'ям.

Корозійна активність: Аміак має високу хімічну активність і може викликати корозію багатьох матеріалів, включаючи мідь, латунь і алюміній. Це може обмежити типи матеріалів, які можна використовувати для зберігання і транспортування аміаку, що може збільшити витрати і обмежити його практичність як палива.

Інфраструктура: Наразі інфраструктура для виробництва, зберігання та транспортування аміаку як палива є обмеженою. Це означає, що значні інвестиції будуть потрібні для розвитку необхідної інфраструктури, включаючи об'єкти для виробництва та розподілу аміаку, а також транспортні засоби та обладнання, здатні використовувати його як паливо.

Викиди парникових газів: Аміак вважається низьковуглецевим паливом, але його виробництво, як правило, вимагає великої кількості викопного палива, зокрема природного газу. На виробництво аміаку припадає близько 1% світових викидів парникових газів, в основному через використання природного газу як сировини та джерела енергії. Однак аміак можна виробляти з використанням відновлюваних джерел енергії, таких як вітрова та сонячна енергія, що може значно зменшити його вуглецевий слід [1, 3].

Аміак як паливо має певні переваги, такі як низький вуглецевий слід і потенційне використання відновлюваних джерел енергії, він також має кілька недоліків, які необхідно враховувати.

Переваги

Низькі викиди вуглецю: Аміак є низьковуглецевим паливом, яке може значно скоротити викиди парникових газів у порівнянні з традиційними викопними видами палива. При використанні в паливних елементах аміак утворює лише воду та азот як побічні продукти, які не сприяють викидам парникових газів. Згідно з дослідженням Міжнародного енергетичного агентства, використання аміаку в якості палива може скоротити викиди CO₂ на 50% порівняно зі звичайним бензином і дизельним паливом [3].

Висока енергетична щільність: Хоча аміак має нижчу енергетичну щільність порівняно з викопними видами палива, він має вищу енергетичну щільність порівняно з

іншими альтернативними видами палива, такими як водень і метанол. Енергетична щільність аміаку становить 11,5 МДж/л, тоді як енергетична щільність водню – лише 2,8 МДж/л. Це означає, що для виробництва тієї ж кількості енергії потрібно менше аміаку, що може зробити зберігання і транспортування більш доцільним.

Аміак можна виробляти з різних джерел, включаючи відновлювані джерела, такі як вітрова та сонячна енергія. Виробництво аміаку з використанням відновлюваних джерел може значно скоротити викиди парникових газів. Наприклад, використання відновлюваної електроенергії для виробництва аміаку може скоротити викиди CO₂ на 90% порівняно з традиційними методами виробництва.

Аміак є їдким і може бути шкідливим у високих концентраціях, але він не токсичний у низьких концентраціях. Це робить його відносно безпечнішим у поводженні та транспортуванні порівняно з деякими іншими видами палива. Крім того, аміак біологічно розкладається і не зберігається в навколишньому середовищі, що знижує ризик довгострокового забруднення.

Широко доступний: Аміак широко використовується в хімічній промисловості, а це означає, що вже існує налагоджена інфраструктура для його виробництва і транспортування. Це може зробити використання аміаку в якості палива більш простим і економічно вигідним порівняно з іншими альтернативними видами палива, які потребують значних інвестицій у нову інфраструктуру. Крім того, аміак широко доступний у всьому світі, що може підвищити енергетичну безпеку та зменшити залежність від імпортованої нафти [1, 2, 4].

Загалом, переваги аміаку як палива роблять його перспективною альтернативою традиційним викопним видам палива. Низький рівень викидів вуглецю, висока енергетична щільність порівняно з іншими альтернативними видами палива, простота виробництва та наявна інфраструктура роблять його привабливим варіантом для використання в якості палива.

Перелік посилань:

1. A. Valera-Medina et al. «Ammonia for power», Progress in Energy and Combustion Science Volume 69, November 2018, Pages 63-102
2. Вольчин І., Мокрецький В. Перспективи каталітичного спалювання зеленого амоніаку, матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Європейський вектор модернізації інженерної та економіко-управлінської освіти в умовах сталого розвитку промислового регіону» Секція 2, 27-28 травня 2021 РОКУ м. Запоріжжя, 2021, ст. 67-70
3. Antonio Sánchez , Elena Castellano , Mariano Martín, Pastora Vega, «Evaluating ammonia as green fuel for power generation: A thermo-chemical perspective», Applied Energy Volume 293, 1 July 2021, 116956.
4. C. Zamfirescu, I. Dincer, «Using ammonia as a sustainable fuel», Journal of Power Sources 185 (2008) 459–465

ГАЗОГЕНЕРАТОРИ: ЕФЕКТИВНЕ ТА ЕКОЛОГІЧНЕ РІШЕННЯ В УМОВАХ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ КРИЗИ

Зараз, в умовах зростаючої кількості населення та енергетичної кризи, розвиток технологій, що дозволяють забезпечувати потреби у енергії без використання викопних вуглеводнів, є дуже важливим завданням. Процес синтезу газу є одним з можливих рішень для забезпечення енергетичної безпеки в майбутньому. Окрім того, синтез газу може бути використаний у зоні війни для забезпечення енергією населення. За допомогою процесу синтезу газу можна виробляти енергію без залежності від імпортованих палив, що забезпечить більшу енергетичну незалежність у зоні війни.

Синтез газ - це суміш газів, що утворюється в результаті реакції вуглеводнів (або інших органічних речовин) з паром водню або воднем при високих температурах та тиску. Така реакція називається газифікацією. Головні складові синтез-газу – це водень (H_2) та вуглекислий газ (CO_2), а також вуглеводні, такі як метан (CH_4) та оксид вуглецю (CO). Один з основних методів виробництва синтез-газу - це газифікація вугілля або біомаси. Під час газифікації сировини високою температурою відбувається її розклад та утворення газів. Вуглеводні, які містяться у вихідній сировині, прореагують з паром водню та/або киснем, утворюючи синтез-газ.

Газогенератори є популярною темою в зарубіжних статтях, особливо в контексті використання синтезованого газу в енергетиці та транспорті. Як приклад, можна розглянути статтю «Recent trends in gasification based waste-to-energy», де описується використання газогенераторів для перетворення органічних відходів на енергію [1].

В науковій роботі «Comparison of waste-to-energy technologies of gasification and incineration using life cycle assessment: Case studies in Finland, France and China», досить широко розкриваються та порівнюються різні технології перетворення відходів на енергію, такі як газифікація, пряме спалювання відходів на механічній решітці та спалювання в зрідженому киплячому шарі, а також наводяться дані про екологічний вплив вказаних технологій на навколишнє середовище [2].

Базуючись на проведеному огляді наукових робіт присвячених технологіям отримання синтез газу, слід звернути особливу увагу на технологію газифікації що, базується на методі термохімічного перетворення твердих побутових відходів (ТПВ) та інших вуглецевмісних відходів з великим вмістом смоли в синтез-газ за допомогою двостадійного процесу піролізу та подальшого повільного псевдозрідження. Висхідна газифікація вуглецевмісного залишку в повітряно-газовому потоці здійснюється з використанням висхідного процесу газифікації повільно киплячого шару вихідної сировини. У зв'язку з цим її відносять до двоступеневої технології піролізу та газифікації, що реалізована в одно- або двоконтейнерному технологічному виконанні [3].

До переваг запропонованої технології слід віднести: хорошу масштабованість технології, що дозволяє переробляти до 1000 т. ТПВ на добу; для процесу термохімічного перетворення побутових відходів у синтез-газ використовується тільки тепло екзотермічних реакцій самого процесу газифікації; дана технологія дозволяє здійснювати термохімічну конверсію ТПВ різного складу, фракцій та високої вологості, конверсію різноманітних матеріалів, що раніше було неможливо.

Крім того, істотно знижуються витрати на очищення синтез-газу за рахунок того, що основна очистка синтез-газу відбувається в процесі газифікації.

Варто відмітити значні екологічні переваги: ефективне використання побутових відходів як джерела відновлюваної енергії для виробництва екологічно чистої

електроенергії; немає необхідності використовувати будь-яке зовнішнє паливо, оскільки процес використовує тепло екзотермічних реакцій, що утворюється лише під час газифікації; запобігання утворенню NO_x, NH₃, SO₂, H₂S завдяки особливостям технології та конструкції обладнання; відновлений синтез-газ не містить сполук ароматичних вуглеводнів, летких органічних сполук або смол, оскільки вони руйнуються в ході термохімічного процесу, а це значно спрощує систему очищення газів і гарантує відсутність їх викидів у навколишнє середовище.

Основний процес газогенерації за наведеною технологією можна подати у вигляді наступної послідовності (рис. 1):

Підготовка вихідної сировини: до газогенератора потрібно подати сировину в певному форматі (зазвичай дрібні деревні чи вугільні частки), яка буде піддаватися термохімічному розкладу (зона 1).

Реакційна зона: в газогенераторі відбувається термохімічний розклад сировини за наявності кисню або повітря при високій температурі (від 700 до 1400 °C) і відсутності доступу до повітря (зона 2).

Зона додаткового горіння: вихідні гази з реакційної зони проходять у зону додаткового горіння, де вони змішуються з додатковим киснем або повітрям для забезпечення повного окислювання газів (зона 3).

Очистка газу: після проходження реакційної та додаткової зон очистка газу відбувається за допомогою фільтрів, щоб видалити будь-які залишкові частки, які можуть бути утворені в результаті розкладу сировини.

Зберігання та використання газу: після очистки газу він може бути збережений та використаний для різних цілей, наприклад, як паливо для електрогенераторів або транспортних засобів.

ККД газогенераторної установки може залежати від різних факторів, таких як вихідна сировина, режим роботи та умови експлуатації. Однак, загалом можна сказати, що ефективність газогенераторів може сягати від 60% до 80%.

Таким чином, розробка та розвиток технологій синтезу газу є актуальним завданням в сучасних умовах енергетичної кризи та може бути використаний для забезпечення енергетичної безпеки у зоні війни, зменшення викидів шкідливих речовин та зменшення залежності від імпортованих палив.

Перелік посилань:

1. Saghir M., Rehan M., Nizami A. S. Recent trends in gasification based waste-to-energy //Gasification for low-grade feedstock. – 2018. – С. 97-113.
2. Dong J. et al. Comparison of waste-to-energy technologies of gasification and incineration using life cycle assessment: Case studies in Finland, France and China //Journal of Cleaner Production. – 2018. – Т. 203. – С. 287-300.
3. Method of conversion of municipal solid and other carbon-containing waste into synthesis gas and the equipment based on this method: WO 2018/044252 A1, 08.05.2018 (08.03.2018)

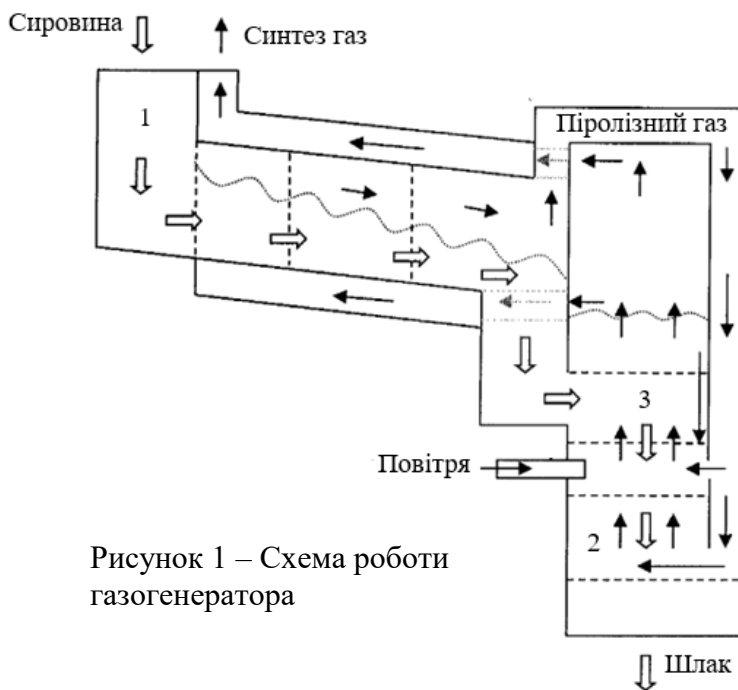


Рисунок 1 – Схема роботи газогенератора

ТЕПЛОВИЙ РЕЖИМ ПРИМІЩЕНЬ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ПІДЛОГОВОГО ОПАЛЕННЯ

Основною метою даної роботи було числове дослідження теплового режиму приміщення із низькотемпературним водяним підлоговим опаленням різних конструкцій. Розрахункова модель типового приміщення (рис. 1) представляє собою паралелепіпед з розмірами 5,9×3,0×3,0 м, що складається з двох зон: повітря 3 і елементів системи підлогового опалення 4.

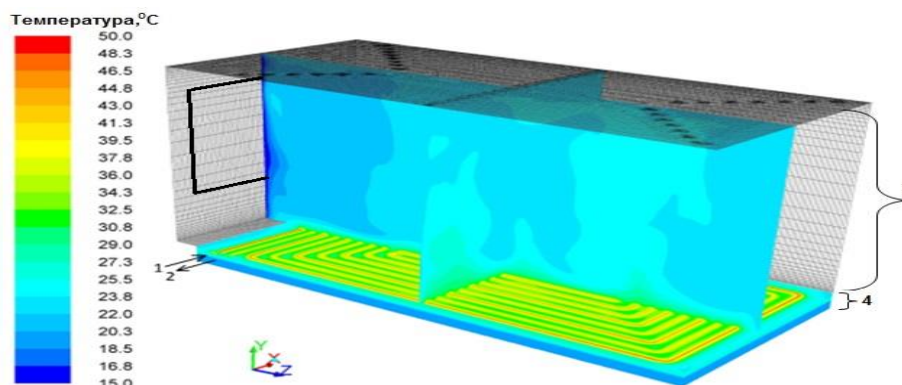


Рисунок 1 – Схема моделі теплового режиму приміщення із системою водяного підлогового опалення:

- 1 – вхід теплоносія, 2 – вихід теплоносія; 3 – повітря в приміщенні;
4 – система водяного підлогового опалення

Система підлогового опалення складається з таких шарів: поверхневий фінішний шар (керамічна плитка) товщиною 8 мм; монолітна нагрівальна плита (панель) (бетон із домішкою пластифікатора) 50 мм, всередині якої розташований опалювальний контур у вигляді біфілярної спіралі (металопластикові труба $\varnothing 16 \times 3$ мм), теплоізоляція (екструдований пінополістирол) 50 мм, основа підлоги (бетон) 150 мм.

Математично змодельовані чотири різних конструкції системи підлогового опалення із кроками укладання опалювального контуру 0,125; 0,150; 0,175; 0,200 м.

Розрахунок виконаний для стаціонарного режиму роботи системи опалення. Числове моделювання проводилось при ламінарному режимі течії теплоносія (води) в трубці.

Рівняння нерозривності в загальному вигляді представляє собою залежність:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0. \quad (1)$$

Рівняння збереження кількості руху:

$$\left. \begin{aligned} \rho \left(\frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial uv}{\partial y} + \frac{\partial uw}{\partial z} \right) &= -\frac{\partial p}{\partial x} + 2 \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \frac{\partial u}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right], \\ \rho \left(\frac{\partial vu}{\partial x} + \frac{\partial v^2}{\partial y} + \frac{\partial vw}{\partial z} \right) &= -\rho g - \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right] + 2 \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \frac{\partial v}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right], \\ \rho \left(\frac{\partial wu}{\partial x} + \frac{\partial wv}{\partial y} + \frac{\partial w^2}{\partial z} \right) &= -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(\frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right) \right] + 2 \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \frac{\partial w}{\partial z} \right]. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Рівняння збереження енергії для повітря в приміщенні і теплоносія:

$$c_p \rho \left(\frac{\partial uT}{\partial x} + \frac{\partial vT}{\partial y} + \frac{\partial wT}{\partial z} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right). \quad (3)$$

Рівняння теплопровідності для i -го шару системи опалення:

$$\frac{\partial^2 T_i}{\partial x_i^2} + \frac{\partial^2 T_i}{\partial y_i^2} + \frac{\partial^2 T_i}{\partial z_i^2} = 0. \quad (4)$$

Умова сполучення параметрів шарів підлоги $-\lambda_i \frac{\partial T_i}{\partial x} = -\lambda_{i+1} \frac{\partial T_{i+1}}{\partial x}$, де $i, i + 1$ – сусідні шари.

На поверхні підлоги умова сполучення параметрів $-\lambda_i \frac{\partial T}{\partial n} = -\lambda_{\text{пов}} \frac{\partial T}{\partial n} + q_{\text{рад}}$, де n – нормаль до поверхні; $q_{\text{рад}}$ – радіаційний тепловий потік (за законом Стефана - Больцмана).

На поверхнях стін, стелі і в шарах підлоги приміщення задавалися граничні умови першого роду, сталі середні значення яких визначені експериментальним шляхом за допомогою пірометра Testo 845, термометрів опору ТСМ-205 та цифрових вторинних приладів УКТ38. На вході до опалювального контуру 1 (рис. 1) масова витрата теплоносія (води) приймалась 0,03 кг/с, а температура теплоносія $t_T = 30; 35; 40; 45; 55$ °С.

Зміна густини повітря в приміщенні в залежності від температури визначалась за формулою $\rho = \rho_0(1 - \beta \Delta T)$ у наближенні Бусінеска-Обербека. Густина води приймалась постійною, що дорівнює $\rho = 998$ кг/м³. Теплофізичні властивості повітря і матеріалів шарів підлоги, що застосовувались при моделюванні, відповідали таким, що використані в експериментальних дослідженнях (довідникові значення). Представлена система диференціальних рівнянь, із зазначеними граничними умовами, була розв'язана числовим способом із використанням методу контрольованого об'єму. При розв'язанні системи рівнянь (1)–(4) визначались поля значень швидкості і температури. Верифікація даної моделі проводилась за допомогою експериментальних даних, що отримані на установці в ІТТФ НАН України для кроку укладання труби 0,175 м.

Зіставлення результатів моделювання з експериментальними даними приведені на рис. 2 і 3. Як видно з графіків результати розрахунків і експериментів задовільно узгоджуються. Зниження температури поблизу поверхні підлоги спостерігається із-за природної конвекції повітря в приміщенні, що обумовлено збільшенням швидкості повітря (для наочності знехтувано причинно-наслідковим зв'язком фізичних величин, значення яких відкладені по осях графіків). Такий розподіл температури і швидкості повітря спостерігається на відстані приблизно до двох метрів від зовнішньої (холодної) стіни приміщення (рис. 1).

В шарах системи водяного підлогового опалення також отримане задовільне узгодження (рис. 3). Відмінність розрахункових і експериментальних даних не перевищує 1,0°С, що пояснюється загальною похибкою експерименту. На кривій 4 розрахунковий температурний максимум (34,7 °С) відповідає визначеній фактичній температурі теплоносія в трубі.

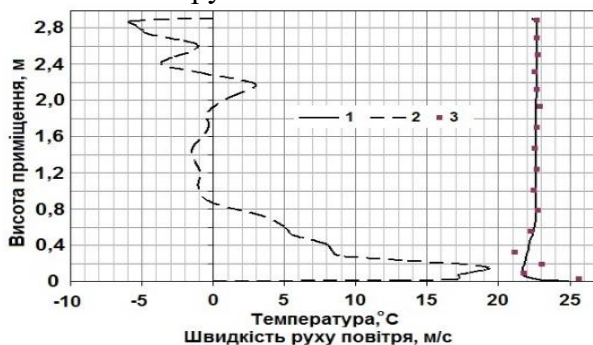


Рисунок 2 – Розподіли температури і швидкості по висоті приміщення:

1, 2 – розрахункові, відповідно, температура і швидкість руху повітря; 3 – експериментальні значення температури повітря

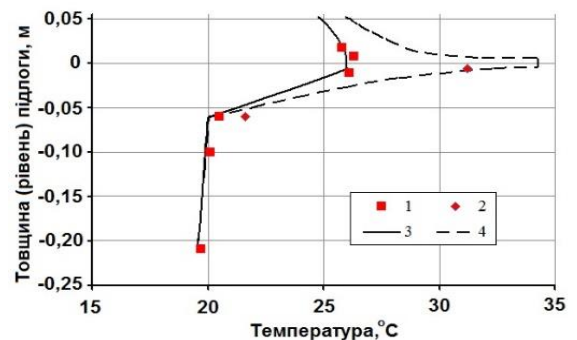


Рисунок 3 – Розподіл температури по товщині підлоги: 1, 2 – експериментальні значення, відповідно, посередині поміж трубами і по осі труби; 3, 4 – розрахункові значення поміж трубами і по осі труби

З математичного моделювання теплового режиму приміщення із водяним підлоговим опаленням визначені середні по площі коефіцієнти тепловіддачі з поверхні підлоги, що залежать від її температури, і знаходяться в діапазоні від 3,7 до 6,1 Вт/(м²·К).

ТЕХНОЛОГІЇ ТА МЕТОДИ СПАЛЮВАННЯ АМІАЧНОГО ПАЛИВА

У всьому світі в якості джерела енергії повсюдно продовжує використовуватися викопне паливо, забруднення від продуктів спалювання якого, залишається однією з головних екологічних проблем. Це змушує вчених і інженерів задуматися про можливість використання альтернативних видів палива: більш економічних, екологічних і ефективних. Вони виробляються з невичерпних запасів і створюють менше викидів в атмосферу.

Один з варіантів таких палив є аміак. Він має високу енергетичну цільність, низькі викиди вуглецю, широко доступний, його легко виробляти, він не токсичний у низьких концентраціях та біологічно розкладається в навколишньому середовищі. Ці переваги аміаку роблять його одним з варіантів для заміни викопним видам палива.

Дослідники ХХ століття дійшли висновку, що для того, щоб зробити аміак життєздатним паливом для ДВЗ, аміак потрібно змішувати з іншими видами палива як стимуляторами горіння через низьку швидкість розповсюдження полум'я аміаку та високу стійкість до самозаймання. Також була зроблена спроба заміни дизеля сумішшю дизель/аміак, що показало багатообіцяючі результати з модифікацією поточних дизельних двигунів. Деякі з результатів продемонстрували, що максимального крутного моменту двигуна можна досягти, використовуючи різні комбінації дизельного палива та аміаку, з монотонним зниженням викидів CO_2 за однакового крутного моменту. Також були спроби використовувати такі комбінації, як бензин/аміак і етанол/аміак, нітрат амонію/аміак і навіть чистий кисень із використанням 100% аміаку, показавши, що ці паливні суміші можуть забезпечувати підвищену вихідну потужність при стабільних умовах [1]. Однією з найцікавіших нових концепцій технології двигунів, що працюють на аміаку, є двигун розроблений Корейським інститутом енергетичних досліджень (KIER), який передбачає перетворення існуючих парків транспортних засобів на транспортні засоби, що працюють на 70% NH_3 та 30% бензину [2]. Розробники переобладнали бензиновий агрегат, додавши систему керування та видаливши корозійні метали, що містять мідь, зокрема так званий «жовтий метал» латунь з високим вмістом цинку. Установка такої системи на 20% автомобілів у Кореї допомогла б знизити викиди CO_2 на 10 мільйонів тонн на рік.

Особливий інтерес представляє використання водню в аміачних сумішах, оскільки молекулу можна відновити шляхом розщеплення аміаку, із зазначеними раніше покращеннями ефективності згорання. Рідкий аміак містить водню в 1,7 рази більше, ніж сам рідкий водень [3]. Таким чином, дослідження показали, що резервуар для аміаку містить у 2,5 рази більше енергії, ніж резервуар для водню за об'ємом, тобто водневий резервуар об'ємом 770 л можна замінити на ємність для аміаку 315 л. Подальший аналіз систем зберігання ємності продемонстрував найкращу продуктивність ємності зберігання аміаку для транспортування.

Газова турбіна є ще одним генеруючим пристроєм, який пропонує потенційні переваги завдяки використанню аміаку, описаному раніше. Таким чином, газова турбіна, яка спалює комбінацію NH_3 та інших видів палива з контрольованими викидами та характеристиками згорання, є дуже бажаною. Ранні дослідження щодо розробки газових турбін, що працюють на аміаку, проводилися в 1960-х роках [1]. Ці дослідження показали, що енергія запалювання аміаку була значно вищою порівняно з викопним паливом через низьку реакційну здатність аміаку. Однак було також виявлено, що дисоціація аміаку призводить до швидшого займання полум'я, яке може досягти властивостей, подібних до деяких вуглеводнів. Таким чином, було зроблено висновок, що 28% дисоційований NH_3 можна використовувати як альтернативне паливо в системах згорання газових турбін,

призначених для вуглеводневого палива. Спочатку впорскування аміаку в 2,35 рази більше, ніж вуглеводнів, забезпечувало нижчу температуру на вході в турбіну за аналогічної потужності. Однак, коли температури на вході турбіни були рівні з температурами вуглеводнів, аміак забезпечував приріст потужності на 10–20% з високими ККД.

Аміак можна розглядати також як варіант заміни викопних палив на заводах та енергетичних станціях. Подібним чином багатонаціональні компанії, такі як Siemens, створили дорожні карти досліджень і розробок (рисунок 1), щоб позиціонувати екологічно чистий аміак і водень, вироблені з відновлюваних джерел енергії, як енергетичні вектори майбутнього, використовуючи хімічну речовину або в транспорті, і в процесах, або у великій генерації електроенергії.

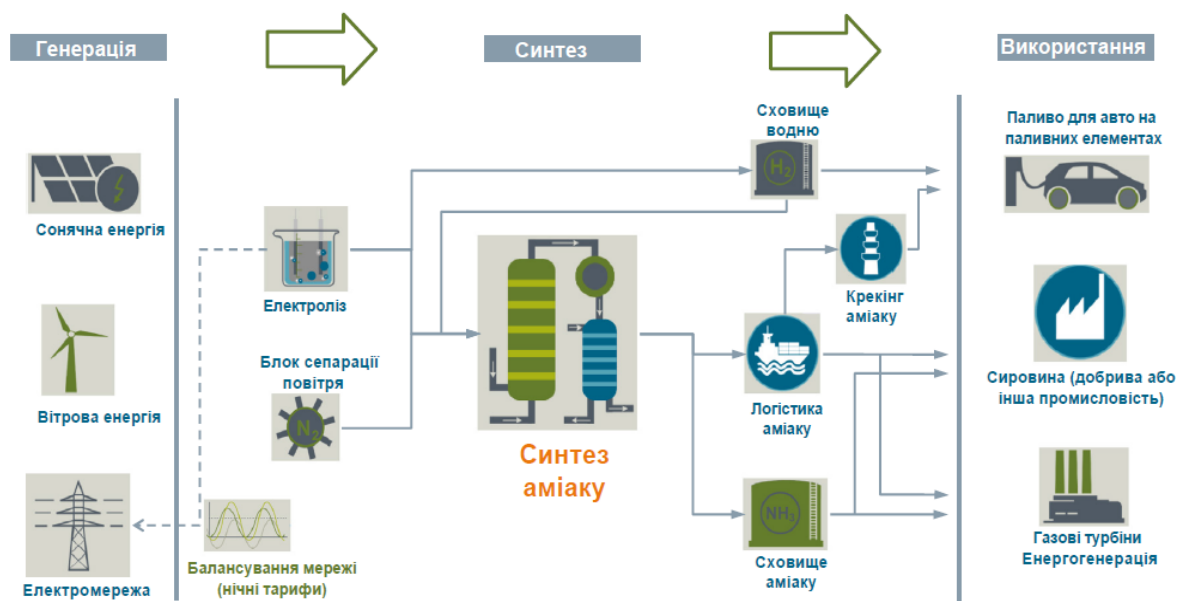


Рисунок 1 – Схема генеративного циклу «зеленого» аміаку

Японська компанія провела низку випробувань на своїй електростанції Мідзусіма в липні 2017 року, де аміак додавався на вугільну електростанцію. Дослідження підтвердили, що додавання аміаку не призвело до зниження енергоефективності заводу. Виходячи з енергетичного вмісту, доданий аміак становив 0,6–0,8% від загального обсягу палива. При цьому співвідношенні спостерігалось зниження викидів вуглекислого газу. Демонстрація в Чугоку стала першою в Японії, де спалювали аміак на комерційній електростанції. Дослідження щодо використання аміаку для виробництва великої електроенергії для підтримки декарбонізації процесів з високим вмістом вуглецю все ще тривають. Особливий інтерес представляють погано визначені кінетичні процеси, які відбуваються при високій потужності з використанням різних сумішей аміаку з такими газами, як метан і водень.

Незважаючи на те, що ця технологія багатообіцяюча, літератури та досліджень на цю тему все ще мало, що відкриває можливості для подальших досліджень систем, які використовують аміак. Певний інтерес представляють технічні аспекти реалізації процесу горіння на базі розроблених в КПП технологій спалювання.

Перелік посилань:

1. A. Valera-Medina et al. «Ammonia for power», Progress in Energy and Combustion Science Volume 69, November 2018, Pages 63–102.
2. Brown T. The AmVeh – an ammonia fuelled car from South Korea. NH₃ Fuel Association; 2013.
3. Frigo S, Gentili R, De Angelis F. Further insight into the possibility to fuel a SI engine with ammonia plus hydrogen. In: SAE/JSAE 20th annual small engine technology conference and exhibition, Pisa; 2014.

ЕКОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ ВОДОГРІЙНИХ ТА ПАРОВИХ КОТЛІВ МАЛОЇ ПОТУЖНОСТІ

На сьогоднішній день для прогресивного розвитку енергосистеми нашої країни необхідно забезпечити доступ до надійного енергопостачання та спрямувати сили на покращення енергетичної ефективності. На жаль є безліч перепон для розвитку енергетики – це стрімке зростання негативного впливу на довкілля, зменшення запасів традиційних джерел енергії, зростання вартості енергетичних ресурсів.

У нинішній час особливим попитом користуються парові та водогрійні котлоагрегати. Найчастіше їх використовують представники підприємств харчової промисловості, торгові склади, фермери, олієпереробні підприємства тощо.

Паровий котел малої потужності – технологічний пристрій, призначаються для генерації пари, шляхом перетворення води на пару. Дану пару можна використовувати для обігріву приміщень або для обертання турбомашин. Перевага котлів малої та середньої продуктивності полягає в тому, що вони здатні спалювати всі види органічного палива, такі як природний газ, відходи різного походження та вугілля.

Водогрійний котел малої потужності призначається для опалення будівель, які стоять окремо. Дані котли оснащені насосами для примусової циркуляції і, зазвичай, працюють під наддувом. До основного палива таких котлів відноситься природний газ та рідке паливо. В цей же час у топках цих котлів може відбуватися спалювання нетрадиційних видів палива, таких як відходи сільськогосподарської промисловості, дрова.

Одним з обов'язкових елементів всіх парових та водогрійних котлоагрегатів (окрім електричних) є пальники. Окрім палива в пальник надходить повітря, що зазвичай містить 20,9% кисню. Кількість необхідного повітря для спалювання 1 м³ палива, називається коефіцієнтом витрати повітря, в теорії рівний одиниці. Однак в практичному застосуванні для забезпечення певної швидкості горіння на фінальному етапі горіння, доводиться подавати більший об'єм повітря через пальник. Так як швидкість горіння залежить від концентрації повітря в зоні горіння, то за умови рівності кількості повітря теоретично необхідному в кінці топкового процесу швидкість горіння буде неприпустимо низькою. Тому, в основному, коефіцієнт надлишку повітря становить більше одиниці. Всі пальникові пристрої поділяються на два типи: дутьові газові пальники із закритою камерою згорання та атмосферні газові пальники.

Орієнтовні розрахунки демонструють, що кожен рік в атмосферу надходять мільйони тон шкідливих викидів та пилу від димових газів ТЕС, промислових підприємств та котелень. Всі види промисловості де переважають процеси горіння являються найбільшими джерелами антропогенного забруднення атмосфери. Забруднення навколишнього середовища є однією з найбільш глобальних екологічних проблем для здоров'я людини. Всім відомо, що принцип роботи будь-якого твердопаливного котла полягає у спалюванні палива, під час даного процесу виділяється чадний газ та безліч інших шкідливих речовин. Саме тому наукові напрацювання по всьому світу направляються саме на зменшення кількості шкідливих викидів і досягненню максимальної енергоефективності котлоагрегатів.

Зола, окисли азоту NO та NO₂, частинки незгорілого палива, сажа, продукти неповного згорання CO, CmHn, H₂ та решта є шкідливими викидами в атмосферу під час спалювання палива.

За статистичними даними, забруднення атмосфери окислами сірки та азоту, які пов'язані виключно з діяльністю людини, становлять лише 7% та 50% відповідно від загальної їх кількості, але особливість штучних викидів полягає в тому, що вони

характеризуються нерівномірністю розподілу, саме тому найбільші рівні забруднення атмосфери відповідають саме великі міста та промислові центри.

Для того аби зменшити кількість атмосферного кисню, який використовується в процесі горіння та чисельність викидів продуктів повного викидання має виконувати наступні умови:

- 1) Підвищити коефіцієнт корисної дії обладнання шляхом виробітку теплоти шляхом використання меншої кількості палива;
- 2) Зменшення габаритів та металоємкості обладнання, що призведе до економії палива в процесі виготовлення матеріалів та під час монтажооснащення;
- 3) Використовувати менш енергоємні матеріали для виготовлення устаткування та монтажних робіт.

Необхідною умовою для отримання сертифікату на всі види котлів або інших паливоспалюючих установок в Україні є проходження перевірки на відповідність екологічних показників, також неодмінно враховують концентрацію викидів NO_x та CO .

Загалом відомо про чотири першорядні способи зниження кількості шкідливих речовин:

- очищувати паливо та окислювач від елементів, які в подальшому утворюють шкідливі речовини;
- придушувати утворення шкідливих речовин;
- випалювати шкідливі речовини;
- очищувати димові гази, які були утворені в процесі спалювання палива, від шкідливих речовин.

Внаслідок спалювання палива, особливо біогазу та природного газу, в першу чергу виходять оксиди азоту NO_x ($\text{NO} + \text{NO}_2$). Виникнення «смогів» провокується саме наявністю в атмосфері NO_2 , який зменшує прозорість повітря, в наслідок чого, зменшується кількість ультрафіолетового випромінювання, що потрапляє на Землю. Окрім того, якщо є озон, то він окислюється до NO_3 і стає причиною «кислотних дощів».

Запропоновані заходи та програми для подальшого зменшення шкідливих викидів під час спалювання палива не являються збитковими. Так як забруднення атмосфери негативно впливає на стан здоров'я людей, є відчутним на продуктивності праці, зменшує плодючість та ефективність худоби та птиці, отруєє царство рослин, особливо фруктової групи та пришвидшує в 10...20 разів корозію металів. Кількість викидів енергетичних установок теплоелектроцентралей та котелень визначають в залежності від виду палива, яке використовується, та від режимів роботи всіх агрегатів. Під час процесу спалювання органічного палива утворюється водяна пара, CO , CO_2 . Але до атмосфери з ними потрапляють як домішки палива, так і продукти неповного згорання такі як: оксид вуглецю, бензапірен C_2OH_{12} , сажа, зола, свинцю, оксиди сірки, азоту та ін. До прикладу, на теплоелектроцентралі потужністю 2,5 млн кВт за добу спалюється близько 20 тис. тон вугілля та відбувається викид в атмосферу, близько 200 тонн твердих частинок (золи, сажі, пилу), 700 тон оксиду та діоксиду вуглецю, оксидів азоту.

Отже, опираючись на всі дані наведені вище, можна констатувати, що на сьогоднішній день проблема забруднення навколишнього середовища є досить глобальною і потребує всебічного розгляду та вирішення. Вчені всього світу розглядають та знаходять нові варіанти для зменшення кількості викидів та досягнення найбільшої енергоефективності котлоагрегатів. Дані заходи не тільки зможуть покращити якість повітря, але й призведуть до зменшення витрат палива, що впливає на ефективність і економічність.

Перелік посилань:

1. Кандидатська дисертація, за ред. М.З. Абдуліна. «Струменево-нішева система сумішоутворення та стабілізація полум'я»
2. Збірник «Показники емісії викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря» Друга редакція. Том 1–3. Донецьк–2008 р

ОЦІНКА ПЕРЕВИТРАТИ ПАЛИВА ПРИ РОБОТІ КОТЛА ТП-100 НА ПУСКОВИХ РЕЖИМАХ

Енергоблоки теплових електростанцій (ТЕС) є важливими потужностями, що забезпечують необхідний рівень генерації електричної енергії та надійність функціонування Об'єднаної енергетичної системи України. Ці потужності працюють в напівпікової-пікової частині графіку електричного навантаження забезпечуючи проходження ранкових та вечірніх максимумів споживання, а також розвантажуються до необхідного рівню при нічних провалах [1].

Відомо, що робота енергоблоків ТЕС в змінних режимах експлуатації супроводжується перевитратами палива. Величина цих втрат буде тим більшою, чим вищою є тривалість змінного режиму роботи та, чим сильніше він відрізняється від номінального [2].

Доцільною є розробка системи планування раціональних режимів експлуатації енергоблоків ТЕС, що здатна забезпечити мінімізацію перевитрат палива при роботі на змінних режимах. Даному питанню присвячено значну кількість наукових досліджень, зокрема в роботі [3] розглянуто ТЕС, що працює за органічним циклом Ренкіна. Авторами встановлено, що виконавши оптимізацію технологічних та режимних параметрів експлуатації ТЕС можливо досягти зменшення витрати палива на 28 %.

Першим етапом в розробці системи планування раціональних режимів експлуатації ТЕС має бути оцінка перевитрат палива при роботі на пускових режимах. Для цього пропонується розглянути енергоблок потужністю 200 МВт з енергетичним котлом ТП-100. В Україні експлуатується 37 енергоблоків даної потужності.

Особливістю розрахунку перевитрати палива при пуску енергоблоку є те, що окрім безпосередньо самої перевитрати натурального палива, також наявні втрати теплової та електричної енергії. В даній роботі пропонується привести ці втрати теплової і електричної енергії до аналогічної перевитрати натурального палива.

Таким чином, пускові втрати палива можуть бути розраховані за рівнянням:

$$\Delta B_i = \Delta B_i^T + \Delta B_i^P + \Delta B_i^E - \Delta B_i^{KOP} \quad (1)$$

де $\Delta B_i^T, \Delta B_i^P, \Delta B_i^E$ – використане на i -му етапі пуску або розхолодження тепло від стороннього джерела, паливо і електроенергія на власні потреби в паливному еквіваленті (т у.п.), ΔB_i^{KOP} – паливо, еквівалентне корисній електроенергії (виданій в мережу в процесі розхолодження, навантаження і стабілізації при пуску).

Для етапів пуску без ввімкненого в мережу турбогенератора $\Delta B_i^{KOP}=0$. Для режимів розхолодження, навантаження і стабілізації при пуску $\Delta B_i^E=0$, оскільки витрати електроенергії на власні потреби входять в величину ΔB_i^{KOP} .

Для визначення сумарних втрат умовного палива на зупинку енергоблоку, його розхолодження і наступний пуск після простою весь даний цикл розбивають на шість етапів: 1 – простій енергоблоку; 2 – етап підготовки до пуску; 3 – розтопка котла та робота до поштовху ротора; 4 – вихід валопроводу до холостого ходу турбіни; 5 – навантаження турбіни; 6 – стабілізація теплового стану.

Для етапів 1–4 при розрахунку втрат використовується методика розрахунку за коефіцієнтами втрат:

$$\Delta B_i^{1-4} = (K_i^P + K_i^E + K_i^T)\tau_i + K_i^{ЖЕН}\tau_i^{ЖЕН} + K_i^{ЖТН}\tau_i^{ЖТН} + K_i^{ТПД}\tau_i^{ТПД} + K_i^D\tau_i^D \quad (2)$$

де $K_i^P, K_i^E, K_i^T, K_i^{ЖЕН}, K_i^{ЖТН}, K_i^{ТПД}, K_i^D$ – коефіцієнти втрат по паливній складовій, електроенергії власних потреб, пари стороннього джерела, електроенергії на привід живильного електронасосу, пари на привід живильного турбонасосу, турбоповітродувки та деаерацію

живильної води відповідно.

Для навантаження та стабілізації (етапи 5 і 6) застосовується наступне рівняння для розрахунку втрат умовного палива:

$$\Delta B_i^{5-6} = K_i^{\text{нагр(стаб)}} \tau_i^{\text{нагр(стаб)}} \quad (3)$$

де $K_i^{\text{нагр(стаб)}}$ – коефіцієнти втрат палива через нестационарність режимів при навантаженні або стабілізації.

Типовий графік-завдання пуску енергоблоку 200 МВт з холодного стану (ХС) на ковзаючих параметрах пари представлено на рис. 1. Аналогічні графіки наявні і для режимів пуску з нестиглого (НС) та гарячого станів (ГС).

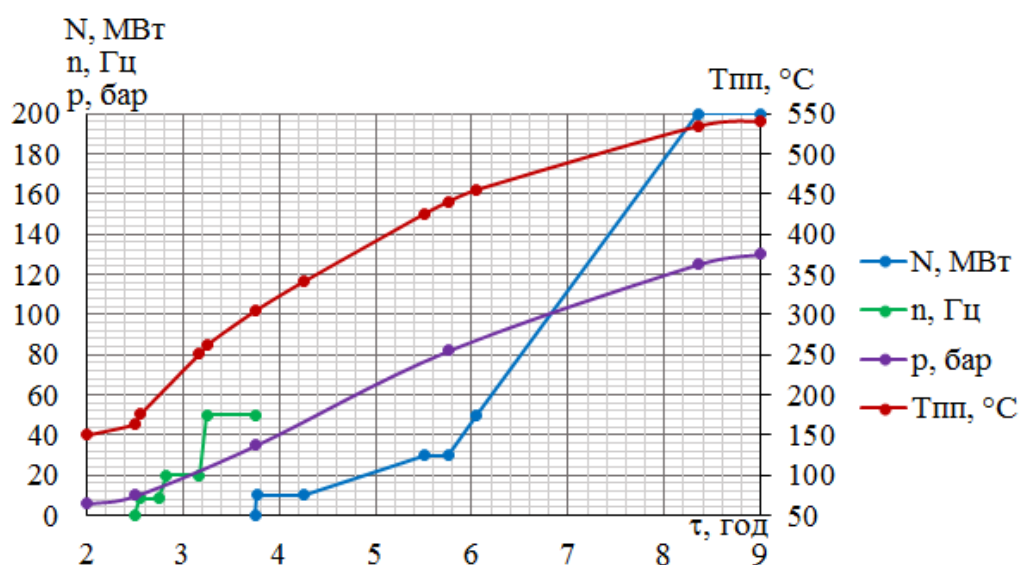


Рисунок 1 – Графік-завдання пуску енергоблоку 200 МВт з холодного стану металу

Використовуючи дані з режиму навантаження енергоблоку, а також представлену вище методику розрахунку витрати палива встановлено значення перевитрат умовного палива при пуску з різних теплових станів, які склали $\Delta B_{\text{ХС}}=90,2$ т у.п., $\Delta B_{\text{НС}}=77,2$ т у.п., $\Delta B_{\text{ГС}}=59,6$ т у.п. за весь пусковий цикл. Додатково, інтегруванням кривої потужності енергоблоку (крива синього кольору на рис. 1) було встановлено кількість електроенергії, що видається в мережу протягом відповідного пуску $E_{\text{ХС}}=326,9$ МВт·год, $E_{\text{НС}}=260,8$ МВт·год, $E_{\text{ГС}}=84,7$ МВт·год.

Отримані дані дозволять продовжити розробку системи планування раціональних режимів експлуатації енергоблоків ТЕС з метою мінімізації перевитрат палива.

Перелік посилань:

1. Національна енергетична компанія «Укренерго» [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Київ: НЕК «Укренерго», 2022. – Режим доступу: ua.energy (дата звернення 02.04.2022) – Назва з екрана.

2. Milovanović Z., Papić L.R., Milovanović S., Janičić V., Dumonjić S., Branković D. Planning Methods for Production Systems Development in the Energy Sector and Energy Efficiency. In: Ram M., Pham H. (eds.) Advances in Reliability Analysis and its Applications. Springer Series in Reliability Engineering. Springer, Cham (2020). https://doi.org/10.1007/978-3-030-31375-3_3

3. Pan M., Lu F., Zhu Y., Huang G., Yin J., Huang F., Chen G., Chen Z. Thermodynamic, exergoeconomic and multi-objective optimization analysis of new ORC and heat pump system for waste heat recovery in waste-to-energy combined heat and power plant. Energy Conversion and Management 222, 113200 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113200>

Аспірант Мітченко І.О.
Проф., д.т.н. Варламов Г.Б.

МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ЗДІЙСНЕННЯ ЕФЕКТИВНОЇ МОДЕРНІЗАЦІЇ ПАЛЬНИКОВИХ СИСТЕМ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК З ВИКОРИСТАННЯМ МТС-ТЕХНОЛОГІЇ

Особливістю мікрофакельної технології газоспалювання (МТС-технологія), яка розроблена вченими КПІ ім. Ігоря Сікорського [1], є можливість реалізації унікального аеродинамічного ефекту ефективного мимовільного «обгортання» газовими струменями центрального повітряного струменя, що призводить до утворення гомогенної повітря-паливної суміші [2]. За цим ефектом досягається низький аеродинамічний опір МТС-пальників, високоякісне попереднє і дифузійне сумішоутворення, ефективна внутрішня рециркуляція газових потоків у мікрофакелах та висока турбулізація суміші, що призводить до високої ефективності і екологічної чистоти спалювання газоподібних палив у т.ч. і водню H_2 , та їх сумішей.

Ці переваги МТС-пальників дозволяють отримати рівномірний розподіл концентрацій газу та повітря в суміші, забезпечити високий рівень рівномірності температурних полів і об'ємів у зоні спалювання, підвищити кількість передачі теплоти рівномірним по об'єму випромінюванням без локального перегрівання поверхонь нагріву топкових камер котлів, газових турбін, печей та теплогенераторів, досягти широкого від 10% до 100% робочого діапазону роботи установки на різних горючих газоподібних паливах у т.ч. водню H_2 [3] та гарантують досягнення суттєво низьких концентрацій CO , NO_x та інших шкідливих компонентів у продуктах згорання.

Модернізація теплоенергетичного обладнання з використанням МТС-пальників здійснюється за розробленою методологією, яка базується реалізації трьох етапів.

На першому етапі проводяться дослідження конструктивних та експлуатаційних характеристик штатної пальникової системи агрегату, здійснюються та аналізуються результати натурних випробувань теплоенергетичної установки з визначенням комплексу аеродинамічних, теплових та тепломасообмінних характеристик її експлуатації.

На другому етапі за розробленою аналітичною методикою [4] визначаються основні конструктивні характеристики МТС-пальників та моделюються у Програмному Середовищі Solid Works комплексні процеси з оптимізацією аеродинамічних, сумішоутворюючих та теплових характеристик цих процесів у топковій камері з врахуванням індивідуальних конструктивних та експлуатаційних особливостей агрегату.

Визначення конструктивних характеристик МТС-пальників у складі агрегату ґрунтується на забезпеченні оптимальної швидкості потоків та високої якості рівня гомогенності сумішоутворення у зоні спалювання та умов високоефективного тепло- і масообміну у топковому об'ємі агрегату. При цьому, вихідними параметрами для розрахунку є витрати повітря та газоподібного палива, діаметр існуючої штатної амбразури пальника. Результати моделювання у ПС Solid Works дозволяють розрахувати оптимальні значення швидкості повітря та газоподібного палива у зоні сумішоутворення та спалювання та за допомогою розробленої методики визначити кількість та діаметри повітряних трубок і паливних отворів за певною компоновкою амбразури (рис. 1) для швидкого встановлення МТС-пальників без зміни конструкції топки агрегату.

На третьому етапі виготовляються та монтуються у існуючі штатні амбразури конкретного агрегату МТС-пальники, проводяться пускові випробування та заключне налагодження режимів експлуатації агрегату із складанням режимної карти та атестаційні випробування Державним центром з випробування та впровадження обладнання із сертифікацією теплоенергетичної установки з МТС-пальниками.

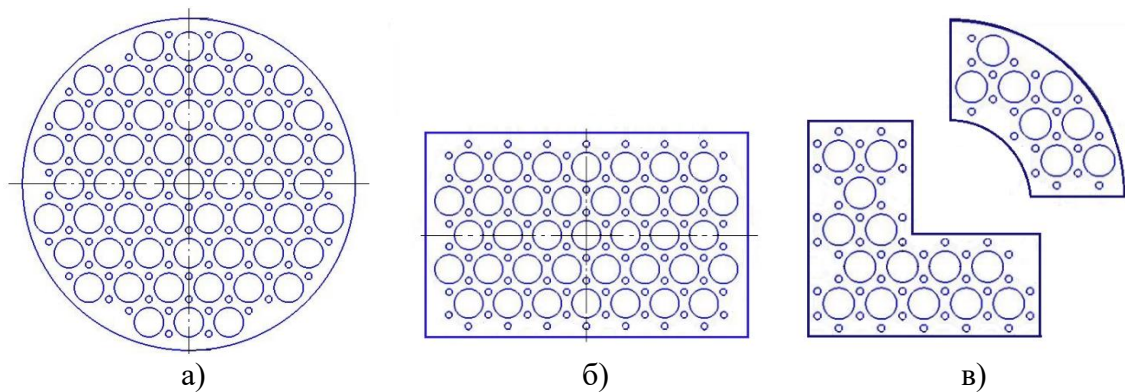


Рисунок 1 – Видгляд фронтальної поверхні МТС-пальника з прикладами компоновок для різних типів амбразур теплоенергетичних установок: а) кругла (котли, газові турбіни), б) прямокутна (печі, теплогенератори), в) секторальна (печі, інсінератори)

За даною методологією із застосуванням МТС-пальників проведено модернізацію паливних систем котлів типу КВГМ-10, КВГМ-20, КВГМ-30, КВГМ-100, ПТВМ-180, камер згоряння газотурбінних установок газоперекачувальних агрегатів типу ГТ-750-6, ГТК-10, ДН-80 та інших теплоенергетичних установок [4, 5].

Розроблена методологія проведення модернізації дозволяє її здійснити у теплоенергетичних установках з водневим паливом для котлів, ГТУ, теплогенераторів, печей, інсінераторів тощо. Так, наприклад, у контактних водневих теплогенераторах типу ТВАК ефективний ККД може досягати 106% на нижню теплотворну здатність водню [6].

Вищенаведена методологія застосування МТС-пальників дозволяє проводити не тільки високоефективну модернізацію паливних систем існуючих теплоенергетичних установок на природному газі і біопаливі, а й розробляти нове устаткування з використанням водневого палива [6].

Перелік посилань:

1. Варламов Г.Б., Любчик Г.М., Марченко Г.С., Макаренко В.О. Газовий пальник // Деклараційний патент на винахід № 50168А, м.п.кл. F23D14/02, F23D14/22, бюл. № 10.– 2002.– С.5.

2. Любчик Г.М. Емісійні характеристики пальників на базі трубчастих модулів / Г.М. Любчик, Г.С. Макаренко, Г.Б. Варламов та інші. – Экотехнологии и ресурсосбережение, 2004.– №1.– С.73–79.

3. Спосіб мікрофакельного спалювання водневого палива: пат 116540 Україна: МПК F23R3/34. № u201612385; заявл. 05.12.2016; опубл. 25.05.2017, Бюл. № 10. – 4 с.

4. Варламов Г.Б., Романова К.А., Мухин М.С., У Цзунянь. Технические решения по улучшению энерго-экологических показателей котлов с использованием микрофакельных горелок / Актуальные проблемы транспорта и энергетики: пути их инновационного решения: VIII Международная научно-практическая конференция, Нур-Султан, 20марта 2020 /Подгот. Г.Т. Мерзадинова, Т.Б. Сулейменов, Т.Т. Султанов–Нур-Султан, 2020.– С. 299–304.

5. Мітченко І.О., У Цзунянь, Варламов Г.Б. Особливості експлуатації водогрійного котла КВГМ-20 після модернізації паливної системи / Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики. У 2-х т. : Матеріали ХІХ 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. – С. 312–313.

6. Варламов Г.Б., Мітченко І.О., У Цзунянь, Чжан Вейцзе, Цзян Цзяньго. Основні економічні та екологічні особливості застосування водню у системах енерговиробництва // Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення: зб.статей ХVІІІ Міжнародної науково-практичної конференції (м. Харків, 15-16 вересня 2022р.)/ УКРНДІЕП, 2022. – С.46–56.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СПАЛЮВАННЯ ПЕЛЕТ ІЗ БІОМАСИ У ПОБУТОВОМУ КОТЛОАГРЕГАТІ

Біомаса, включаючи відходи деревини або аграрної промисловості, як відновлюваний енергетичний ресурс, може легко замінити традиційні енергоресурси, особливо в системах прямого спалювання твердого палива.

Однак через різноманітні композиції біопалива, воно стикається з суворими правилами щодо викидів шкідливих речовин. Сільськогосподарська залишкова біомаса, яка має високий потенціал для отримання енергії, часто не використовується значною мірою через її відмінності по відношенню до інших типів біомаси, наприклад, біомаси лісового походження. Одна з відмінностей пов'язана з характеристиками золи, що посилюють певні проблемні явища під час спалювання, серед яких спікання золи та осадження летючої золи. Ці питання експериментально досліджуються в [1] для чотирьох типів агропелет, виготовлених із залишків сільськогосподарської біомаси (обрізка виноградників та суміш трав'янистих компонентів – кукурудзяна або ячмінна солома), і гранул лісової деревини (використовуються як еталонні), оцінені за різних робочих умов у лабораторному реакторі з нерухомим шаром.

Проте серед забруднюючих речовин, пов'язаних з біомасою, оксиди азоту (NO_x) викликають найбільше занепокоєння, оскільки вони мають негативний вплив на навколишнє середовище та живих істот. NO_x , що викидається в атмосферу, може служити попередником фотохімічного смогу, викликати кислотні дощі та руйнування озонового шару.

Вибір геометричних і технологічних параметрів, які дозволять мінімізувати утворення забруднюючих речовин і забезпечать вищу теплову ефективність, можна здійснити за допомогою методу CFD-моделювання. Методи математичного моделювання складних явищ, які відбуваються в котлі на біомасі, можуть бути дуже корисними, якщо вони пропонують надійні та достатньо точні прогнози.

Метою представленого дослідження є порівняльний аналіз спалювання декількох видів пелет у котлоагрегаті невеликої потужності, шляхом співставлення отриманих даних із залученням ЕОМ і спеціалізованих програмних комплексів.

Об'єктом дослідження спалювання пелет став опалювальний твердопаливний котел Alter теплопродуктивністю 95 кВт з автоматичним пелетним пальником. Габаритні розміри котла дорівнюють 820×1990×1140 мм. Усі етапи моделювання здійснюються в програмному забезпеченні Ansys Fluent версії 2019 R3, зокрема створення геометричної моделі котла, розрахункової сітки на її основі, введення початкових і кінцевих граничних умов, власне розрахунок згорання палива та візуалізація отриманих результатів. У якості твердого біопалива використовуються пелети з пшеничної соломи, пелети з тріски ялини, пелети із суміші сільськогосподарських відходів (60% обрізки винограднику, 20% кукурудзяна солома і 20% ячмінна солома) та пелети з лушпиння соняшнику. Саме такі пелети було обрано внаслідок поширеної сировини на території України.

Аналіз властивостей досліджуваних пелет, які виготовлені з відходів деревообробної промисловості та сільськогосподарських залишків, здійснено у роботах [2, 3], [1] і [4].

Вхідні граничні умови записували через «масовий потік» і для палива, і для повітря, спираючись на паспортні дані котла. Витрату повітря вводили з урахуванням коефіцієнту надлишку повітря для горіння, який обирався з міркувань ефективного спалювання і найбільш придатних умов експлуатації обладнання та дорівнює 1,2.

За результатами розрахунків згорання чотирьох видів пелет, отримано значення температур, монооксиду і діоксиду вуглецю та оксиду азоту у поздовжньому осьовому перетині котлоагрегату. Дослідження проводились за однакових умов (постійний коефіцієнт надлишку повітря, постійна конструкція установки), тільки змінювалось паливо, для об'єктивного порівняння. Результати розрахунків процесу згорання пелет у котлі зведено у таблиці 1.

Як стверджувалось, NO_x викликають найбільше занепокоєння, що демонструють отримані результати. Серед досліджуваних палив пелети з тріски ялини володіють найнижчим рівнем емісій NO_x , що складає 42,6 ppm (табл. 1).

Таблиця 1 – Результати розрахунку спалювання біопалива в котлі

Параметр	Пелети з пшеничної соломи [2]	Пелети з тріски ялини [3]	Пелети з суміші с/г відходів [1]	Пелети з лушпиння соняшнику [4]
T_{max} в топці, °C	1735	1905	1781	1819
T_{max} на виході, °C	246	300	263	294
NO_x , ppm	73,9	42,6	105	119
CO, ppm	0,25	1,15	1,2	2,11
CO_2 , %	21,37	23,2	21,76	21,98

Основними параметрами порівняння результатів розрахунку стали оксиди азоту, вуглецю і температура горіння. Хоча розподіл температури в осьовому перетині котлоагрегату схожий у всіх пелетах, найвищу мають пелети з тріски ялини внаслідок їхніх властивостей, якими володіє деревина, і складає 1904 °C. Поряд з цим пелети з лушпиння соняшнику також мають достатньо високу температуру, що становить 1819 °C. Результати розрахунків вказують, що пелети з лушпиння соняшнику утворюють найбільшу кількість оксидів азоту (118,9 ppm), що пояснюється високим вмістом азоту в паливі (1,01%).

Не дивлячись на склад пелет, що виготовлені з суміші решток агропромисловості, де 60% виноградна лоза, вони володіють помірними значеннями температури факелу (1735<1781<1905 °C) і концентрацією забруднювачів в продуктах спалювання (NO_x 42,6<105<118,9 ppm; CO 1,15<1,2<2,11 ppm). Таким чином, агропелети можуть бути використані для спалювання в котлі, але ефективність їхнього спалювання може бути покращена, що слугує темою подальших досліджень.

Перелік посилань:

1. Experimental study on the ash behaviour in combustion of pelletized residual agricultural biomass / J. Royo та ін. Fuel. 2019. Т. 239. С. 991–1000. URL: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.11.054>.

2. Horvat I., Dović D., Filipović P. Numerical and experimental methods in development of the novel biomass combustion system concept for wood and agro pellets. Energy. 2021. Т. 231. С. 120929. URL: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120929>.

3. DEM/CFD modeling of the fuel conversion in a pellet stove / J. Wiese та ін. Fuel Processing Technology. 2016. Т. 152. С. 223–239. URL: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2016.06.005>.

4. Sirisomboon K., Charernporn P. Effects of air staging on emission characteristics in a conical fluidized-bed combustor firing with sunflower shells. Journal of the Energy Institute. 2017. Т. 90, № 2. С. 316–323. URL: <https://doi.org/10.1016/j.joei.2015.12.001>.

ВИБІР ПАРАМЕТРІВ ПАЛИВОРОЗПОДІЛУ СНС ПРИ СПАЛЮВАННІ МЕТАНО-ВОДНЕВИХ СУМІШЕЙ

У зв'язку з високою концентрацією промислових і комунальних об'єктів з застарілими енергоємними технологіями і зношеним устаткуванням в Україні виникає ряд проблем, що викликані дефіцитом вичерпних палив, їх подорожчанням, низькою ефективністю використання енергетичних ресурсів і міжнародними зобов'язаннями щодо екологічної безпеки. Екологічними чинниками обумовлені міжнародними зобов'язаннями, згідно Кіотського протоколу скорочення викидів парникових газів до 2030 року передбачається на рівні 25% [1].

Особлива увага приділяється відновлювальним джерелам енергії. Разом з цим, важливо і необхідно враховувати потенціал водневої енергетики [2]. Європейські країни вже набули досвіду використання домішок водню як процесу декарбонізації продуктів згоряння. Так, при проведенні теоретичних розрахунків процесу горіння природного газу з вмістом метану 96%, де в якості окисника обрано повітря, було встановлено, що у продуктах реакції зменшується кількість діоксиду вуглецю CO_2 майже на 40% при співрозмірному вмісті водню у суміші. Загальне зниження продуктів спалювання становить у середньому 30% [3].

Важливим аспектом використання викопних палив в промисловості є забезпечення необхідних діючих норм щодо концентрацій шкідливих викидів в оточуюче середовище. Слід зазначити, що місія шкідливих оксидів азоту NO_x при спалюванні органічних палив значно залежить від технології спалювання. Із точки зору канонічних принципів мінімізації концентрацій NO_x , таких як попереднє сумішеутворення, стадійне горіння і прямоточна аеродинамічна схема течії окиснювача, перспективними визнаються пальникові пристрої, розроблені у КПІ ім. Ігоря Сікорського, розроблені на базі струмінено-нішевої системи (СНС). Основні принципи, покладені в основу промислових пальників на основі СНС: раціональний розподіл палива в потоці окисника; стійка регульована структура течії палива, окисника і продуктів згоряння; саморегульованість складу паливної суміші в зоні стабілізації факелу у широкому діапазоні зміни швидкостей потоку палива і окисника, висока інтенсивність горіння, сталість й ефективність процесу у робочому діапазоні зміни теплової потужності [4].

Враховуючи вище згадані аспекти, зроблено висновок, що актуальним є аналіз особливостей процесів спалювання суміші метан-водень в струменево-нішевій системі стабілізації та спалювання палива шляхом CFD-моделювання досліджуваного явища в програмному середовищі Ansys Fluent. А саме: оцінка геометричних параметрів паливорозподілу СНС при додаванні до природного газу водню з точки зору реалізації процесу сталого горіння та забезпечення мінімально можливого рівня емісії шкідливих оксидів азоту.

Процес горіння моделювався на базі підходу Eddy dissipation. В якості граничних умов на непроникних стінках задавалося умова рівності нулю всіх компонентів вектора швидкості. Температура стінки також задавалася рівною нулю. На вході в розрахункову область задавалася масова витрата і температура, на виході – статичний тиск. З метою визначення впливу на процес горіння при обчисленні різних співвідношень концентрацій паливних компонентів за допомогою CFD-моделі змінювався коефіцієнт надлишку повітря α . Для візуалізації результатів досліджень процесу горіння використовувалися значення середніх швидкостей і температур суміші та розподілу окислів азоту. На рисунку 1 наведено розподіл NO_x по осьовому перетину дослідної ділянки при спалюванні суміші метан-водень

у співвідношенні 50/50%, $\alpha=1,1$ $s/d=4,3$ та $s/d=2,5$.

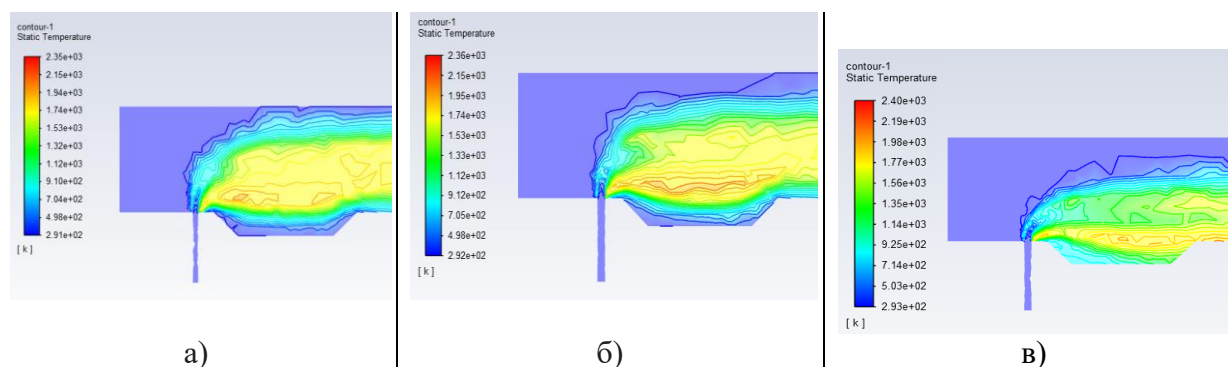


Рисунок 1 – Розподіл температур по осі дослідної ділянки та в ніші при спалюванні суміші метан-водень у співвідношенні 50% на 50%, при $\alpha=1,1$ в залежності від параметру s/d :

а) $s/d=5,0$, б) $s/d=4,3$, в) $s/d=2,5$

Як видно з рисунку, для випадку $s/d=2,5$ спостерігається суттєве зменшення NO_x приблизно на 40% (при тому, що за результатами розрахунків температури як для $s/d=4,3$, так і для $s/d=2,5$ майже на одному рівні). Слід враховувати, що заміщення метану на 50% по об'єму знижує теплотворну здатність суміші на третину, максимальні ж розрахункові температури горіння при цьому навіть дещо більші. З іншого боку, зниження калорійності суміші потребує уточнення схеми паливорозподілу з точки зору забезпечення горючих концентрацій в зоні стабілізації факелу і в цілому показників автотурбулентності при зміні витрат компонентів.

Отже, з використанням методів математичного моделювання, авторами було досліджено вплив геометричних параметрів паливорозподілу СНС при додаванні до природного газу водню. Дослідження проводилось за допомогою CFD-моделювання досліджуваного явища в програмному середовищі Ansys Fluent. Таким чином, зроблено висновок, що більш прийнятним з точки зору мінімізації емісії оксидів азоту є його зменшення в межах вказаного рекомендованого діапазону значень. Оцінка теплового балансу процесу горіння в зоні стабілізації факелу вказує також на необхідність зменшення кроку в порівнянні з рекомендованим значенням для метану. Так, при горінні збіднених сумішей слід зменшувати крок і навпаки збільшувати його при горінні збагачених сумішей (наприклад пропан). З іншого боку, нормальна швидкість розповсюдження полум'я для водню у 5 разів більша у порівнянні з метаном ($v_{\text{CH}_4}=0,28$ м/с) при стехіометричних концентраціях і не може не впливати на стабілізаційні якості СНС, тому вибір параметру s/d потребує комплексної оцінки усіх робочих аспектів стабілізатору полум'я з обов'язковим експериментальним підтвердженням результатів моделювання.

Перелік посилань:

1. Кіотський протокол [Електронний ресурс]: Вікіпедія. Вільна енциклопедія. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Кіотський_протокол (дата звернення: 28.02.2023).

2. International Journal of Hydrogen Energy [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/journal/international-journal-of-hydrogenenergy?dgcid> (дата звернення: 16.01.2023).

3. Спеціалізований ресурс про відновлювану енергетику в Україні та світі [Електронний ресурс]: <https://ecotown.com.ua/news/U-Britaini-vpershepochali-opal...> – Ecotown, 2020 (дата звернення: 02.03.2023).

4. Абдулін М.З., Сірий О.А. Дослідження гідродинамічного стабілізатора полум'я з поперечною подачею палива. Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики: матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції аспірантів, магістрантів і студентів (Київ, 21–24 червня 2014 р.) Київ, 2014 р. с. 101.

НДС ВАЛОПРОВОДУ ТА К-1000-60/3000 ПРИ КОРОТКОМУ ЗАМИКАННІ

Однією з головних завдань сучасної енергетики є забезпечення надійності та міцності сильнонавантажених елементів парових турбін та турбогенераторів при динамічних режимах експлуатації. Актуальність проблеми зростає в міру вичерпання ресурсу енергогенеруючого обладнання.

Для розрахунку залишкового ресурсу енергогенеруючого обладнання використовують численні експериментальні та математичні методи. При цьому оцінюють пошкодження, що виникли в матеріалі внаслідок малоциклової та багатоциклової втоми. В останні роки, виокремлюють ще одну вагому складову, що спричиняє пошкодження металу. Це крутильні коливання валопроводу. Вони виникають при різних перехідних та аварійних режимах роботи турбоустановки.

Появу небезпечних крутильних коливань валопроводу турбоагрегату може спричинити задівання обертовими частинами нерухомих, асинхронне включення електрогенератора в мережу та короткі замикання.

При електродинамічній дії, зі сторони генератора виникає потужний короткочасний сплеск реактивного крутного моменту. Цей момент називається реактивним, оскільки він діє в напрямку протилежному до обертання валопроводу. Численні дослідження показують, що найбільшу небезпеку становлять трифазні короткі замикання. При цьому на роторі електрогенератора виникає реактивний обертовий момент, що може перевищувати номінальний в 3–12 разів.

Метою даної роботи є дослідження напружено-деформованого стану (НДС) валопроводу турбоагрегату К-1000-60/3000 на ділянці валопроводу між паровою турбіною та електрогенератором при трьохфазному короткому замиканні.

В загальному випадку, сплеск реактивного крутного моменту на електрогенераторі характеризується трьома параметрами: формою, амплітудою та тривалістю. Досвід експлуатації паротурбінних установок показує, що тривалість короткого замикання має випадковий характер і може тривати від декількох сотих до десятих долей секунд. Величина реактивного моменту, що виникає на електрогенераторі може перевищувати номінальний в 3–12 разів.

Реактивний крутний момент на генераторі при короткому замиканні розраховується за нижче наведеною формулою:

$$M_p = kMF(t), \quad (1)$$

де k – коефіцієнт, що залежить від типу короткого замикання, знаходиться в межах від 3 до 12.

Тривалість та форма сплеску в формулі (1) задається функцією $F(t)$. В даному дослідженні прийнята бігармонічна форма сплеску, яка розраховується за формулою:

$$F(t) = \alpha_0 + \alpha_1 \sin(\omega t) + \alpha_2 \sin(2\omega t), \quad (2)$$

де ω – частота коливань, при частоті струму в електромережі 50 Гц, становить 314 рад/с; α_0 , α_1 , α_2 – безрозмірні коефіцієнти, величина яких залежать від типу короткого замикання та типу електрогенератора; t – час дії короткого замикання. У випадку трьохфазного короткого замикання безрозмірний коефіцієнт α_2 дорівнює 0.

Моделювання поведінки валопроводу при аварійній ситуації здійснювалося в програмному комплексі Ansys. Геометрична модель виконана на основі креслень та технічної документації заводу-виготовлювача. Оскільки робочі лопатки парової турбіни являються собою тонкостінні елементи, то з метою раціоналізації обчислень їх вирішено замінити розподіленими масами, що прикладаються до відповідного ступеня.

На рис.1 зображено максимальні еквівалентні напруження в металі валопроводу по

фон Мізесу при трьохфазному короткому замиканні тривалістю реактивного сплеску 0,02 с між паровою турбіною та електрогенератором. Свого максимуму на даній ділянці валопроводу напруження досягають вже при першому ж коливанні (312,41 МПа, 0,016 с).

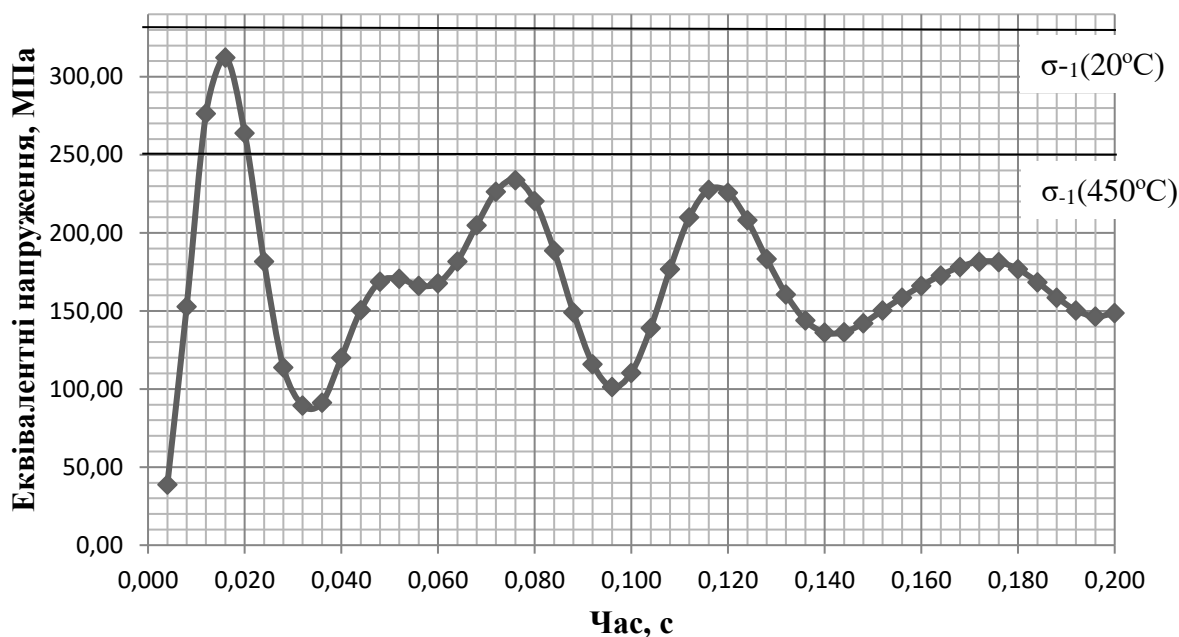


Рисунок 1 – Еквівалентне напруження валопроводу турбоагрегату К-1000/60-3000 між ЦНТ-4 та генератором

Завдяки демпфіруючим властивостям металу, коливання поступово згасають, а значення напружень поступово стають такими як при стаціонарному режимі експлуатації. Тому ступінь циклічного пошкодження металу валопроводу залежить також і від рівня демпфірування. Він визначає темп затухання вільних коливань валопроводу після припинення дії сплеску реактивного крутного моменту, що виник внаслідок аварійної ситуації. Чим більший рівень демпфірування в механічній системі, тим менша кількість пошкоджуваних циклів відбудеться.

Дане дослідження показало, що реактивний обертовий момент, який виникає внаслідок трьохфазного короткого замикання з трьохкратним перевищенням номінального крутного моменту призводить до появи крутильних коливань валопроводу турбоагрегату. Напруження в металі роторів, що виникають при цьому не призводять до крихкого руйнування валопроводу, оскільки вони не перевищують межу міцності металу, з якого він виготовлений. Проте перше коливання дещо перевищує межу втоми (σ_{-1}) при робочих температурах матеріалу. Багаторазове досягнення небезпечних напружень призводить до накопичення циклічного пошкодження та зародження тріщин.

Перелік посилань:

1. Динамика системы роторов турбоагрегата мощностью 1100 мВт / Н. Н. Гришин [и др.] // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Сер. : Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування = Bulletin of the National Technical University "KhPI". Ser. : Power and Heat Engineering Processes and Equipment : зб. наук. пр. – Харків : НТУ "ХПІ", 2019. – № 3 (1328). – С. 55-60.
2. Bovsunovskii, A.P., Chernousenko, O.Yu., Shtefan, E.V., Bashta, D.A.: Fatigue damage and failure of steam turbine rotors by torsional vibrations. Strength Mater. 42(1), 108–113 (2010)
3. РТМ 108.021.13-83 Расчет валопровода турбоагрегата на внезапное короткое замыкание. – Введ. 01.07.84

МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНОЇ СИСТЕМИ З ВНУТРІШНІМ ТЕПЛОВИДІЛЕННЯМ

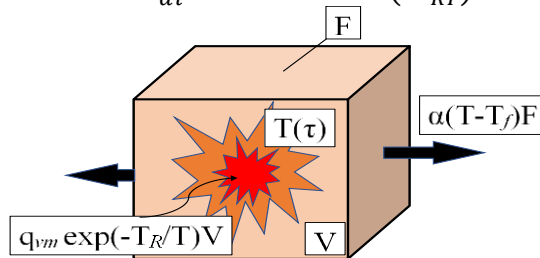
Внутрішнє тепловиділення в різноманітних об'єктах може виникати:

- в результаті перетворення ядерної енергії в теплову енергію;
- при екзотермічній хімічній реакції (окислення, горіння, вибух);
- при проходженні електричного струму (електрозварювання, мікросхеми комп'ютера) [1].

Функціонування систем такого роду може бути пов'язано з небезпекою неконтрольованого швидкого розігріву, перевищенням допустимої температури, розплавленням, самозайманням або вибухом. Можливість розвитку систем з тепловиділенням по таким катастрофічним сценаріям міститься в найпростішій динамічній моделі об'єкта, згідно з якою:

- потужність тепловиділення визначається швидкістю хімічної реакції, згідно закону Арреніуса;
 - теплообмін з навколишнім середовищем відбувається за законом Ньютона-Ріхмана.
- Тепловий баланс для тіла об'ємом V з внутрішніми джерелами теплоти, через поверхню F якої відводиться теплота в навколишнє середовище (рис. 1), записується в формі нелінійного диференціального рівняння відносно змінної стану – температури об'єкта T :

$$\rho c V \frac{d}{dt} T = q_{vm} V \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) - \alpha F (T - T_f) \quad (1.1)$$



При формулюванні цього рівняння припускалося, що всередині тіла має місце рівномірний розподіл температури завдяки перемішуванню або високій теплопровідності речовини.

Використовуючи в якості масштабів для температури і часу відповідно величини $T_R = E/R$ і $\tau_0 = \rho c T_R / q_{vm}$, перепишемо диференційне рівняння (1.1) в безрозмірному вигляді:

$$\frac{d}{dt} W = \exp\left(-\frac{1}{W}\right) - A(W - W_f) \quad (1.2)$$

В рівноважному стані внутрішнє тепловиділення врівноважується тепловідводом в навколишнє середовище, тобто ліва частина диференційного рівняння (1.2) перетворюється в нуль [2]:

$$0 = \exp\left(-\frac{1}{W}\right) - A(W - W_f) \quad (1.3)$$

Умови рівноваги системи, записані у формі співвідношення (1.3) можна розглядати як неявну форму функціональної залежності змінної стану, тобто рівноважною температурою системи W (або надлишкової температури dW), від керуючих параметрів – коефіцієнта тепловіддачі A і температури навколишнього середовища W_f : $dW = dW(A, W_f)$. Натурним представленням цієї залежності буде поверхня в тривимірному просторі як параметричний графік в MathCad (рис. 2) [3].

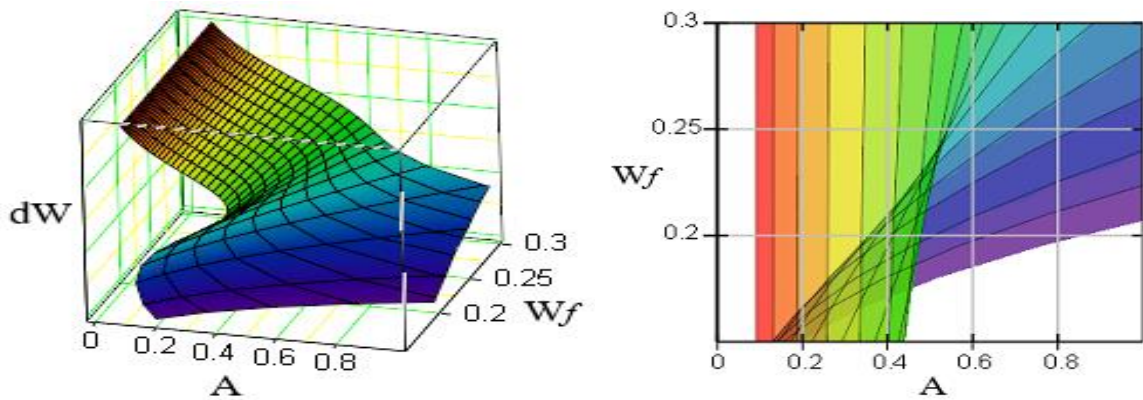


Рисунок 2 – Поверхня рівноваги станів

Зміни стану системи можна розглядати в двох аспектах:

- як тимчасову еволюцію з деякого початкового стану при заданих сталих значеннях керуючих параметрів;
- як перехід з одного рівноважного стану в інший при зміні керуючих параметрів.

Область зміни параметрів (A, W_f) ділиться біфуркаційною діаграмою на дві підобласті (рис. 3).

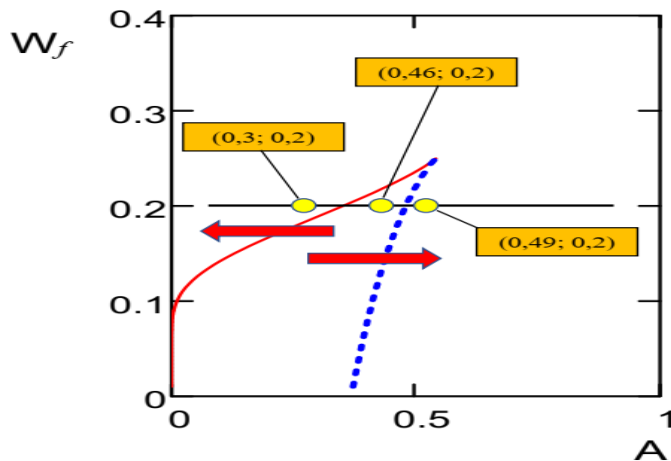


Рисунок 3 – Біфуркаційна діаграма

Всередині криволінійного клину кожній парі параметрів (A, W_f) відповідає три стаціонарних (рівноважних) стани: два стійких і один нестійкий. Поза клином кожній парі параметрів (A, W_f) відповідає єдиний стійкий стаціонарний стан. Такий поділ області керуючих параметрів призводить до особливої поведінки системи при переході через межу, а саме, плавна, безперервна зміна параметрів викликає стрибкоподібну, катастрофічну зміну змінної стану (температури об'єкту в модельній задачі). Стрілка, направлена з області клину направо, описує стрибкоподібне зменшення температури, якщо плавно збільшувати коефіцієнт тепловіддачі A .

Перелік посилань:

1. Sanns, Werner. Catastrophe Theory with Mathematica: A Geometric Approach. Germany: DAV, 2000.
2. Математичне моделювання теплових процесів в енергетиці та промисловості. Практикум [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. третього рівня вищої освіти (PhD) спеціальності 144 «Теплоенергетика» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Д.В. Риндюк, В.А. Пешко. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021.–75с.
3. Солодов А.П., Очков В.Ф MathCad /Диференціальні моделі - М.: видавництво MEI, 2002, – 239 с.

УДК 621.311

Студент 4 курсу, гр. ТП-91 Авілов С.В.
Ст.викл. Меренгер П.П.

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ТЕПЛОВІЙ ЕНЕРГЕТИЦІ

Сучасні технології в тепловій енергетиці мають великий потенціал для забезпечення ефективного використання ресурсів та зменшення впливу на навколишнє середовище. За останні десятиліття технології виробництва теплової енергії значно змінилися і знову входять у перехідну фазу з традиційних технологій до більш сучасних та екологічно чистих. Сьогодні багато країн світу активно розвивають технології відновлюваної енергії, такі як сонячна, вітрова, геотермальна та інші, а також шукають способи покращення традиційних технологій виробництва тепла. У цьому контексті, дослідження та впровадження новітніх технологій в тепловій енергетиці відіграють важливу роль у забезпеченні сталого розвитку та збереження природних ресурсів для майбутніх поколінь.

Сучасні технології в тепловій енергетиці надають великі можливості для підвищення ефективності виробництва електроенергії та забезпечення сталого розвитку. Останніми десятиліттями технології виробництва теплової енергії значно змінилися, переходячи від традиційних технологій до більш сучасних та екологічно чистих.

Одним з найбільш популярних способів виробництва електроенергії стає використання вітрової та сонячної енергії. За допомогою вітроенергетичних турбін та сонячних панелей можна виробляти електроенергію без використання вугілля, нафти та газу. Такі технології є надійними та екологічно чистими та сприяють зниженню викидів в атмосферу, але вимагають існування резерву в енергосистемі за рахунок ТЕС.

Окрім того, існує також можливість використання геотермальної енергії, яка використовує тепло землі для виробництва електроенергії. Цей спосіб виробництва енергії не потребує спалювання палива та є одним з найбільш чистих технологій виробництва електроенергії.

Застосування новітніх технологій у традиційній тепловій енергетиці може допомогти знизити викиди шкідливих речовин в атмосферу та покращити ефективність процесів виробництва електроенергії в цілому по країні.

Наприклад, сьогодні вже можливо встановлювати системи відновлювальної енергії, такі як сонячні панелі, на дахах будівель енергетичних підприємств та інших великих споруд, що дозволяє знизити витрати на енергоспоживання та забезпечувати часткову самодостатність в електропостачанні.

Крім того, розвиток технологій управління енергоефективністю також стає все більш актуальним. Завдяки цим технологіям можна знижувати витрати енергії та збільшувати її ефективність. Наприклад, системи "розумного" будівництва дозволяють знижувати споживання електроенергії за рахунок оптимізації роботи систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря.

Отже, сучасні технології в тепловій енергетиці дозволяють розвивати екологічно чисті методи виробництва електроенергії та забезпечувати сталий розвиток. Важливо продовжувати вдосконалювати технології традиційної теплової енергетики та стимулювати використання відновлювальних джерел енергії, щоб забезпечити наші потреби в енергії та зберегти навколишнє середовище для майбутніх поколінь.

Вибір технології для виробництва електроенергії має велике значення, оскільки він впливає на ефективність, безпеку та стійкість виробництва, а також на навколишнє середовище та здоров'я людей.

Один з можливих варіантів – сонячна енергетика, яка базується на використанні сонячних батарей для перетворення сонячної енергії в електричну.

На рис. 1 зображено схему роботи сонячної електростанції, де на великій площі

встановлені сонячні батареї, які збирають сонячну енергію. Ця технологія дозволяє зменшити викиди шкідливих речовин та зберігати природні ресурси, а також забезпечити стійке та ефективне виробництво електроенергії. Однак, при використанні сонячної енергетики необхідно враховувати регіональні особливості та можливості, такі як наявність сонячного світла та відкритих просторів для встановлення батарей.

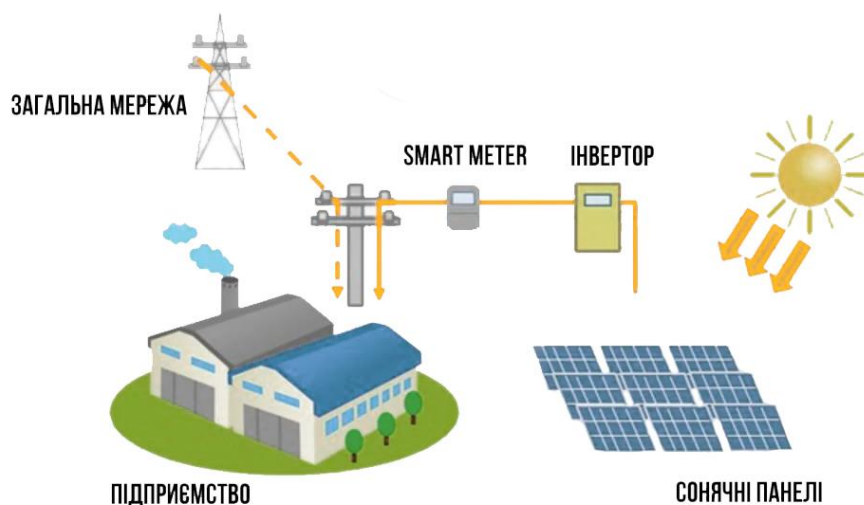


Рисунок 1 – Схема роботи сонячної електростанції

Можна зробити висновок, що сучасні технології у відновлюваній енергетиці надають можливості зменшення викидів шкідливих речовин та забезпечення економічної вигідності, Однак, необхідно враховувати регіональні особливості та можливості, а також забезпечувати безпеку та надійність виробництва енергії. Зокрема, сонячна енергетика може стати одним з альтернативних джерел енергії, але вона вимагає наявності сонячного світла та відкритих просторів для встановлення батарей. Для покращення ефективності та стійкості роботи об'єднаної енергосистеми країни залишається необхідність у використанні ТЕС. Застосування сучасних технологій в тепловій енергетиці в поєднанні з альтернативними джерелами виробітку енергії може відігравати важливу роль у забезпеченні стійкого та екологічно чистого розвитку енергетичного сектору в майбутньому.

Перелік посилань:

1. Марченко В. Сучасні технології виробництва теплової енергії. Енергетика та електрифікація, 2019,
2. Іванов І. Сонячна енергетика: технології та перспективи застосування. Енергетика та електрифікація, 2020, № 3 (28), с. 25-29.
3. Козлов М. Сучасні технології виробництва електроенергії. Енергетика та електрифікація, 2021, № 1 (34), с. 10-14.
4. International Energy Agency. Energy Technology Perspectives 2020: Special Report on Clean Energy Innovation. Paris: IEA, 2020.
5. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. Renewables 2021 Global Status Report. Paris: REN21 Secretariat, 2021.
6. https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fsolensy.com.ua%2Fsolar-power-plants%2Ffor-business%2F&psig=AOvVaw0qMNkreuDXp6Ppsm_pt7tj&ust=1679312721152000&source=images&cd=vfe&ved=0CBAQjRxfFwoTCNC0ssP15_0CFQAAAAAdAAAAABBB

ВИПРОБУВАННЯ СТАБІЛІЗАТОРНО-НІШЕВОГО ПАЛЬНИКОВОГО ПРИБОРУ З УСТУПОМ ПРИ СПАЛЮВАННІ ЗАБАЛАСТОВАНИХ ГАЗОВИХ ПАЛИВ

В енергетиці та промисловості України експлуатується значна кількість енергетичних та промислових об'єктів – котлів, печей, підігрівачів, сушил, газотурбінних установок тощо, які в своїй роботі використовують газове паливо – природний газ.

Для досягнення сучасного рівня розвитку промисловості та енергетики України одною з найважливіших проблем є необхідність удосконалення енергозберігаючих технологій, а саме, підвищення ефективності використання палива.

Враховуючи високу ціну імпортного природного газу, низьку забезпеченість потреб енергетики, промисловості та комунального господарства України у природному газі власних родовищ, актуальною проблемою є вирішення задачі заміни витрат висококалорійного природного газу низько – та середньо калорійними газовими паливами природного, та штучного походження

В установках для використання палива повинна забезпечуватись висока повнота вигорання палива, стійке горіння при високих швидкостях потоку, що набігає, можливість утворення рівномірного температурного поля в камері, малий гідравлічний опір, знижені викиди токсичних продуктів тощо.

Цим вимогам в значній мірі можуть відповідати мікродифузійні пальники, горіння палива в яких відбувається в системі погано обтічних тіл – стабілізаторів різноманітної форми і розміру. Такі пальникові пристрої розробляються на кафедрі теплової та альтернативної енергетики НТУУ «КПІ» .

В роботі [1] викладені основи біогазових технологій, виконано аналіз властивості біомаси як енергетичного палива, а також ефективності використання біоенергетичного палива.

Альтернативні палива в переважній більшості являють собою гази, що містять у своєму складі метан в різних пропорціях, розбавлений вуглекислотою, азотом, повітрям і різними домішками. Якщо вважати баластні домішки інертними, то їх присутність, фактично, зводиться переважно до зменшення частки метану, що виділяє тепло, і збільшення баластної маси газів, що тепло поглинає. Це призводить до зниження температури полум'я, звуження концентраційних меж горіння палива і зниження стійкості горіння в повітряному потоці.

Для ефективного і надійного спалювання забаластованих газових палив при зміні баласту в широкому діапазоні необхідна додаткова подача високореакційного палива.

Метою роботи є визначення основних характеристик стабілізаторних модульних пальникових пристроїв в умовах спалювання забаластованих газових палив при різних схемах сумішоутворення.

Задача розробки газового пальника для спалювання газів різного складу вирішується шляхом пропуску струменів низькокалорійного газу через високотемпературні факели висококалорійного палива, що підвищить сталість факелу, інтенсивність та ефективність горіння палива, надійність роботи пальника, скоротить довжину факелу, а також покращить техніко-економічні показники обладнання в цілому.

Конструкція пальника являє собою стабілізаторний модуль, який розташовується вздовж повітряного потоку і складається з двох розділених внутрішньою перегородкою порожнистих частин (рис. 1). Перша частина містить корпус 1 і патрубок для підводу в порожнину низькореакційного палива, яке потім подається через газоподавальні отвори 3 в бокових стінках зануренням в обтічний повітряний потік на часткове попереднє

перемішування і подальше горіння. Для стабілізації горіння низькорекційного палива, що виходить із отворів 3 першої половини стабілізатора передбачено поглиблення у вигляді стабілізуючої ніші 8.

Друга частина модульного колектора-стабілізатора також містить порожнистий корпус 4 з патрубком для підведення високореакційного газу в порожнину. З порожнини стабілізатора газ подається струменями в обтічний потік повітря через систему отворів 6, які передбачено у двосторонньому уступі 7. Стабілізація горіння запалюючого високореакційного палива відбувається за рахунок утворення сумісної зони рециркуляції за двостороннім уступом і торцевою вихідною кромкою стабілізатора.

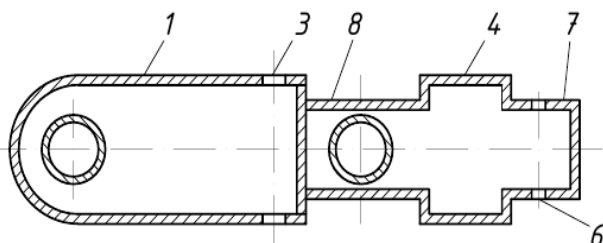


Рисунок 1 – Комбінований стабілізаторно-нішевий пальник з уступом:

- 1 – корпус подачі забаластованого газу;
- 3 – отвори виходу забаластованого газу;
- 4 – корпус подачі висококалорійного газу;
- 6 – отвори подачі висококалорійного газу;
- 7 – вихідний уступ;
- 8 – стабілізуюча ніша забаластованого газу

Були проведені дослідження з визначення меж сталої роботи, довжини факелу при спалюванні низькокалорійних газів (суміш скрапленого газу з повітрям і двоокисом вуглецю) при зміні баласту в широкому діапазоні режимів. На рис. 2, як приклад, показано температуру газів (в °С) вздовж осі сліду за стабілізатором (в мм) при випробуваннях комбінованого стабілізаторно-нішевого пальника з подачею газу в нішу (G_r^{np}), в уступ ($G_r^{днф}$) і повітря в нішу (G_n^{np}).

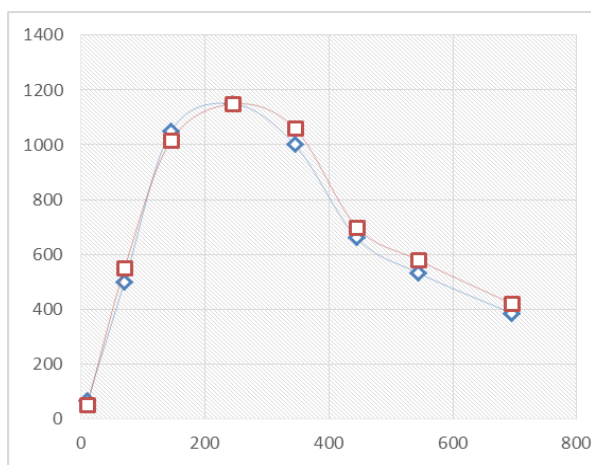


Рисунок 2 – Поле температур вздовж осі факелу при подачі негорючої суміші палива і повітря в нішу ($G_r^{np} + G_n^{np}$), а високо реакційного палива в уступ ($G_r^{днф}$):

- ◇ - режим 1 – $G_r^{np}=0,935$ г/с, $G_r^{днф}=0,395$ г/с;
- – режим 2 – $G_r^{np} = 0,935$ г/с, $G_r^{днф}=0,395$ г/с, $G_n^{np} = 0,646$ г/с,

Як показали дослідження, у випадку подачі високореакційного палива в уступ, а суміші палива і інертних домішок - в нішу, сталість факелу в пальнику підтримується при зміні складу альтернативного палива в ніші в широкому діапазоні, причому довжина факелу практично не залежить від концентрації домішок в паливі. Для організації високоефективного горіння струмені низькорекційного палива проходять між високотемпературними факелами високореакційного палива.

Перелік посилань:

1. Сигал И.Я. Газогорелочные устройства для сжигания биогаза в котлах / И.Я. Сигал, Ф.В. Марасин, А.В. Смихула // Энерготехнологии и ресурсосбережение, 2014. – № 3. – С. 68-72. <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/127295>

ДОСЛІДЖЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ТОПКОВОГО ПРОЦЕСУ У НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОЇ ПЕЧІ МАЛОЇ ПОТУЖНОСТІ З ПАЛЬНИКОМ ВИХРОВОГО ТИПУ, ЩО ПРАЦЮЄ В ІМПУЛЬСНОМУ РЕЖИМІ

У зв'язку з енергетичною та екологічною кризою у світі зростає зацікавленість у більш економічному та екологобезпечному спалюванні палива вогнетехнічними об'єктами, зокрема промисловими печами різної потужності та призначення. Дослідження топкових процесів промислових печей відображені в роботах таких вчених як Єрінов Анатолій Веремійович; Сорока Борис Семенович; Христинч Володимир Олександрович; Сігал Ісаак Якович, Фіалко Наталія Михайлівна тощо.

Але огляд досліджень топкових процесів промислових печей показав, що існує значна їх кількість для високотемпературних та середньотемпературних печей. Однак при цьому спостерігається недостатність уявлення про топкові процеси в низькотемпературних печах малої потужності.

Одним із аспектів організації топкових процесів є вдосконалення стадій робочого процесу ПП (а саме роздача пального в потоці окислювача; утворення паливної суміші; підпал паливної суміші; стабілізація процесу горіння та формування полів швидкості, температури та концентрації продуктів спалювання). Це дає змогу:

- знизити споживання газу за рахунок зменшення питомих витрат, що позначиться на зниженні собівартості продукції;
- гарантувати температурну рівномірність у топковому просторі, що підвищить якість продукції;
- покращити екологічні показники роботи печі до рівня міжнародних норм;
- підвищити надійність роботи пічного обладнання, що відчутно позначається на збільшенні його міжремонтного періоду.

З проблемами ефективної організації топкових процесів в низькотемпературних печах малої потужності зіткнулися світові виробники пекарських ліній для харчової промисловості. З метою підвищення рівня ефективності організації топкового процесу в печах з виробництва кексів та вафель до науково-виробничого підприємства (НВП) «СНТ» звернулося керівництво компанії «HAAS FOOD EQUIPMENT GmbH» – однієї з найбільших у світі виробників низькотемпературних кондитерських печей, фабрики якої розташовані на п'яти континентах.

Методики, що використовуються у наших дослідженнях, багато років розроблялися, апробувалися та вдосконалювалися у лабораторії горіння теплоенергетичного факультету Київського політехнічного інституту [1, 2].

Дослідження на датській фабриці HAAS-MEINCKE проводилися на трьох робочих режимах дослідної низькотемпературної печі зі штатним класичним пальником вихрового типу.

Теплова потужність печі для випічки кексів знаходиться у діапазоні від 35 кВт до 200 кВт. Для цього пальниковий пристрій, що забезпечує організацію ефективного топкового процесу досліджуваних режимів роботи печі повинен мати коефіцієнт регулювання (K_p) близько к 10 і забезпечувати температурний рівень у топковому просторі в діапазоні від 180 °С до 220 °С залежно від технологічного режиму роботи печі.

У зв'язку з необхідністю досягнення широкого діапазону зміни теплової потужності, пальниковий пристрій вихрового типу, будучи обмеженим недостатнім діапазоном коефіцієнта робочого регулювання, працював в імпульсному режимі. Тобто робота пальника складалася з циклів, що постійно чергуються: включення та вимикання пальника – залежно від досліджуваного режиму, приблизно раз на 2,5 хвилини. На основі отриманих

результатів досліджень були визначені дані цикли в масиві даних і кожен з них був детально описаний.

Штатний пальниковий пристрій вихрового типу що здійснює організацію топкового процесу печі, від самого початку не здатен генерувати температури нижче 300 °С, в зв'язку з недостатнім діапазоном регулювання потужності.

Пальник починає швидко набирати температуру. Досягши максимальної технологічної температури в топковому просторі, автоматика печі відключає пальник. У цей інтервал часу процес горіння припиняється і тому спостерігаються максимальні втрати метану. Коли датчики фіксують мінімально допустиму технологічну температуру, автоматика знов включає пальник. Включення та відключення ПП відбувається з чітким часовим інтервалом. Тобто спостерігається імпульсний режим, при якому ПП, згідно з отриманими та обробленими результатами вимірювань, працює в режимі оптимального навантаження лише 40 відсотків вибіркового часового інтервалу. У момент включення та відключення спостерігаються перехідні зони, в яких зафіксований незгорілий метан на виході з топкового простору та наднормативні викиди окису вуглецю у продуктах згоряння.

Таким чином, наші дослідження, проведені на промислової кондитерської печі фабрики «НААС-МЕЙНСКЕ», дали повну характеристику роботи ПП вихрового типу працюючому в імпульсному режимі:

- нестабільні показники температурного рівня, що впливають на якість виробленої продукції;
- неповне спалювання палива;
- низький рівень екологічних показників (високий рівень емісії токсичних речовин: CO, CH₄);
- вузький діапазон регулювання теплової потужності;
- вплив на надійність роботи печі через часті відключення ПП, що приводить до передчасного зношення елементів системи контролю и регулювання роботи печі.

Висновки: Наші дослідження традиційних, поширених пальникових пристроїв, що використовуються у даних низькотемпературних печах, підтвердили недоліки застосування в цих випадках існуючих вихрових технологій спалювання, працюючих в імпульсному режимі. Огляд сучасних технологій показав, що існує струменево-нішева [3, 4] технологія спалювання газу, яка може дозволити організувати ефективний топковий процес для печей малої потужності, працюючих у діапазоні низьких температур.

Перелік посилань:

1. Абдулин М. З. Применение струйно-нишевой технологии сжигания топлива в энергетических установках, 2005.
2. Абдулин М. З. Струйно-нишевая система смесеобразования и стабилизации пламени: автореф. дис. канд. техн. Наук / Абдулин М.З.; НТУУ «КПІ». – К., 1986. – 18 с.
3. Струйно-нишевая технология сжигания топлива – основа надежной работы огнетехнического оборудования / М.З. Абдулин, Г.Р. Дворцин, А.М. Жученко, Ю.А. Кулешов, Е.И. Милко, О.А. Тихонова // Третья Международная научно-практическая конференция «Энергоэффективность крупного промышленного региона». Сборник научных трудов. – Донецк, 2008. – с. 18–24
4. Фіалко Н. М. Особливості аеродинаміки пальникових пристроїв з циліндричними стабілізаторами полум'я за наявності турбулізаторів потоку на їхніх зривних кромках/ Н. М. Фіалко, Н. В. Майсон, О. Б. Тимошенко, Н. О. Меранова, Г. В. Іваненко, В. Л. Юрчук, М. В. Ганжа, М. І. Дончак, М. З. Абдулін // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія : Техніка та енергетика АПК. – 2016. – Вип. 252. – С. 52–61

МОДЕРНІЗАЦІЯ ОБ'ЄДНАНОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ

Модернізація Об'єднаної Енергетичної Системи України є важливою складовою розвитку енергетичної галузі країни. Вона має на меті підвищення ефективності, надійності та стабільності енергосистеми, зменшення впливу на довкілля та забезпечення енергетичної безпеки країни.

Однією з **головних причин**, що спонукає до модернізації, є застарілість технічного обладнання та мереж, які не відповідають сучасним вимогам енергетичної галузі. Недостатній рівень автоматизації та цифровізації системи призводить до нестабільності та неефективності енергетичної галузі в цілому.

Для досягнення мети модернізації, необхідно використовувати новітні технології та впроваджувати цифрові рішення. Важливим кроком є впровадження системи моніторингу та управління енергосистемою, що дозволить в режимі реального часу контролювати стан енергетичної мережі, прогнозувати її роботу та планувати розвиток.

Для підвищення надійності та стабільності **енергетичної** галузі необхідно вдосконалювати систему підтримки рішень, яка допоможе оперативно реагувати на непередбачувані ситуації та уникати аварійних ситуацій. Заходи з енергозбереження та розвитку відновлюваних джерел енергії також є важливою складовою модернізації енергетичної системи країни.

Для ефективною модернізації Об'єднаної Енергетичної Системи України необхідно сприяти розвитку конкуренції на енергетичному ринку та відкривати доступ до нього для нових гравців. Це дозволить стимулювати інвестиції в енергетичну галузь, збільшувати її ефективність та зменшувати витрати.

1. Об'єднана Енергетична Система України потребує серйозної модернізації, оскільки її елементи знаходяться в стані морального та фізичного зносу, що впливає на надійність та стабільність роботи системи.

2. Модернізація ОЕС України повинна забезпечити підвищення енергоефективності та зменшення негативного впливу на навколишнє середовище, зокрема шляхом заміни застарілої техніки на більш сучасну та екологічно чисту.

3. Україна повинна активно впроваджувати відновлювальні джерела енергії, щоб зменшити залежність від імпорту енергоносіїв та знизити вартість електроенергії для споживачів.

4. Модернізація ОЕС повинна бути проведена в комплексі з розвитком смарт-гридів та впровадженням цифрових технологій, що забезпечить більш ефективне управління енергосистемою, підвищить її надійність та стабільність.

5. Одним з головних завдань модернізації ОЕС України є забезпечення безпеки та захисту критичних інфраструктур енергосистеми від кібератак та інших загроз.

6. Для ефективною модернізації ОЕС України необхідно залучення інвестицій та технологій від іноземних партнерів, що дозволить забезпечити швидкий та якісний розвиток енергетичної галузі країни.

7. Важливим аспектом модернізації ОЕС України є забезпечення енергетичної незалежності країни та її геополітичної стабільності.

8. Модернізація ОЕС України має враховувати інтереси всіх стейкхолдерів, включаючи споживачів електроенергії, виробників, державні та приватні компанії, а також екологічні та соціальні аспекти.

Отже, модернізація Об'єднаної Енергетичної Системи України є невід'ємною частиною стратегії розвитку енергетичної галузі країни, що має на меті підвищення її ефективності, надійності та стабільності, зменшення впливу на довкілля та забезпечення енергетичної безпеки. Для цього необхідно залучення інвестицій, використання новітніх технологій та впровадження цифрових рішень.

Перелік посилань:

1. В.В. Алексеенко, О.Г. Заруба, Н.П. Ніколенко. Модернізація електроенергетики України: стан, проблеми, перспективи // Електротехніка і електромеханіка. – 2019. – № 1. – С. 30-39.

2. О. І. Коваленко. Енергетична стратегія України на період до 2035 року // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2019. – № 2. – С. 3-8.

3. М. В. Горшков, В. Є. Горшков. Модернізація енергетичної системи України на шляху до забезпечення сталого розвитку // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2018. – № 4. – С. 23-28.

4. М. О. Шаталов. Модернізація енергетичної системи України як необхідна умова розвитку економіки // Економіка і прогнозування. – 2019. – № 2. – С. 70-85.

ШКІДЛИВІ ВИКИДИ В АТМОСФЕРУ ВІД ТЕПЛОВИХ ЕНЕРГОСТАНЦІЙ

Актуальність теми. Виробництво теплової енергії пов'язане з економічною доцільністю, не враховуючи екологічного стану довкілля і здоров'я людей, тому важливо враховувати шкідливі викиди, які спричиняє робота теплових енергостанцій (ТЕС) і це дослідження, що підіймає цю тему є дуже актуальним у наш час. Серед проблем, які розглядаються в тезах є головні шкідливі результати діяльності ТЕС, можливості зменшення викидів. Головною метою написання доповіді є огляд шкідливих наслідків роботи ТЕС та законодавчих аспектів їх регулювання. Завдання, які допоможуть у досягненні мети – класифікація шкідливих викидів в атмосферу, огляд їх наслідків та формування пропозицій щодо зменшення негативного впливу. Методи, які використані під час виконання роботи – аналітичний та метод узагальнення теоретичних аспектів питання.

Основна частина. ТЕС відіграють важливу роль у виробництві електроенергії, проте їх діяльність має значний вплив на довкілля. Шкідливі викиди в атмосферу від ТЕС, такі як вуглецевий діоксид, оксиди азоту та сірки, мають серйозні наслідки для здоров'я людей, екології та клімату [1].

Вітчизняна енергетична галузь відіграє ключову роль у процесах соціально-економічного розвитку країни, оскільки безперебійне забезпечення економіки та суспільства енергетичними ресурсами є запорукою успішності даного процесу. Основу енергетичної галузі України складають атомний та тепловий сектори, на які припадає близько 90% вітчизняної енергогенерації. В останні роки частка виробництва електроенергії на АЕС суттєво збільшилась, що було спричинено зниженням навантаження на сектор теплої енергетики.

Один з найбільш шкідливих викидів від ТЕС – вуглецевий діоксид (CO_2), який вважається однією з головних причин глобального потепління та зміни клімату. Інші викиди, такі як оксиди азоту та сірки, можуть призвести до забруднення повітря та спричинити ряд захворювань серцево-судинної та дихальної систем.

Існують різні технології та методи, що дозволяють зменшити викиди від ТЕС. Одним з них є встановлення систем очистки викидів. Ці системи можуть зменшити кількість викидів, зокрема оксидів азоту та сірки, до допустимих норм.

Шкідливі викиди в атмосферу від ТЕС є однією з найбільших проблем, які впливають на здоров'я населення і екологічну стійкість. Ці викиди можуть містити такі шкідливі речовини, як діоксид вуглецю, оксиди азоту та сірки, важкі метали та інші отруйні речовини [2].

1. ТЕС як джерело викидів: ТЕС є одним з найбільших джерел викидів шкідливих речовин в атмосферу. У процесі спалювання вугілля, нафти та газу в ТЕС утворюються великі кількості вуглекислого газу, оксидів азоту та сірки, а також інших шкідливих речовин.

2. Негативний вплив на здоров'я людей: Викиди від ТЕС мають негативний вплив на здоров'я людей, зокрема на дихальну та серцево-судинну системи. Діоксид вуглецю може спричинити задуху та інші проблеми з дихальною системою, а оксиди азоту та сірки можуть призвести до захворювань легень та раку.

3. Погіршення екологічної ситуації: Викиди від ТЕС також призводять до погіршення екологічної ситуації. Вони можуть спричинити забруднення ґрунту та водних ресурсів, а також знизити рівень якості повітря, що може мати шкідливий вплив на флору та фауну.

4. Негативний вплив на клімат: Шкідливі викиди від ТЕС також призводять до

негативного впливу на клімат. Вуглекислий газ, який утворюється під час спалювання палива в ТЕС, є однією з головних причин глобального потепління та зміни клімату. Це може мати серйозні наслідки для природних екосистем та людського життя.

5. Можливості зменшення викидів: Існують різні технології та методи, що дозволяють зменшити викиди від ТЕС. Наприклад, встановлення систем очистки викидів та використання відновлюваних джерел енергії, таких як сонячна або вітрова енергія. Крім того, можна зменшити споживання енергії шляхом підвищення енергоефективності будівель та промислових процесів.

Важливо підтримувати стандарти та законодавство, які регулюють викиди від ТЕС. У багатьох країнах існують норми, які обмежують кількість викидів, а також вимагають встановлення систем очистки викидів. Проте, існують країни, де норми не відповідають стандартам, або взагалі відсутні, що може призвести до значного забруднення навколишнього середовища [3].

Наслідки викидів від ТЕС можуть бути важким випробуванням для здоров'я людей та екології в цілому. Тому важливо продовжувати розвивати технології, що дозволяють зменшити викиди від ТЕС, а також забезпечити дотримання стандартів та законодавства в цій сфері. Тільки так можна зменшити вплив ТЕС на довкілля та здоров'я людей та створити більш безпечну та стабільну майбутню для нашої планети.

На основі аналізу поточного стану енергетичного сектору України, можна зробити висновок щодо доцільності подальшої експлуатації вугільних ТЕС. Даний висновок обумовлюється відсутністю альтернативних енергетичних потужностей, що могли б замінити виведені з експлуатації енергоблоки ТЕС. Виходячи з поточної ситуації, постає питання щодо розробки заходів підвищення економічної ефективності роботи вітчизняних ТЕС.

Дослідження в рамках даного питання може бути реалізовано за напрямками: розробка заходів спрямованих на зниження питомих витрат палива; коригування цінової та тарифної політики. Задля досягнення синергетичного ефекту, дослідження в обох напрямках має відбуватися одночасно.

Висновки. Зниження негативного впливу на атмосферне середовище теплової енергетики можна досягти двома шляхами: вдосконаленням технологічного процесу та будівництвом пілогазовловлювальних пристроїв з оптимальним варіантом їх поєднання. Це шлях зменшення викидів і економії сировини, продукції, палива та допоміжних матеріалів.

Зменшення викидів шляхом реконструкції електрофільтрів на енергоблоках електростанції. Будівництво сіркоочисного обладнання. Для цього потрібно між димососом і димовою трубою побудувати 3-поверховий канал, в яких через форсунки буде розпилюватися вода у вигляді туману. Повітря з димососу буде насичуватися водою і під власною масою опускатиметься вниз у відстійник. Внаслідок такого процесу 70–75% шкідливих речовин, в основному сірки, буде залишатися у відстійниках, а 30–25% – виходити у повітря. При цьому, необхідно знайти рішення щодо утилізації сполук сірки у відстійниках.

Перелік посилань:

1. Бровдій В.М. Екологічні проблеми України (проблеми ноогеніки) / В.М. Бровдій, О.О. Гаца. – К.: Вид-во НПУ, 2010. – 172 с.
2. Варламов Г.Б. Теплоенергетичні установки та екологічні аспекти виробництва енергії / Г.Б. Варламов, Г.М. Любчик, В.А. Малярєнко. – К.: ІОЦ Вид-во "Політехніка", 2003. – 232 с.
3. Яцкевич С.В. Проблеми екології в енергетиці України та шляхи їх розв'язання / С.В. Яцкевич, І.І. Ярошевська, Ю.В. Струць. – К.: Вид-во "Міненерго України", 1996. – 12 с.

ДОСЛІДЖЕННЯ ОБТІКАННЯ ЦИЛІНДРУ ПРИ ПОСТАНОВЦІ ПЛОСКОГО ЕКРАНУ

Круглі гладкі труби широко використовуються в енергетиці і промисловості в теплообмінних апаратах, таких як парогенератори, водогрійні котли, теплообмінники різного призначення, утилізатори теплоти відпрацьованих газів, охолоджувачі води і масла тощо.

Дослідженнями тепло аеродинамічних характеристик конвективних поверхонь теплообміну займалися такі вчені як В.М. Антуф'єв, Г.С. Білецький, М.А. Міхеєв, В.П. Ісаченко, В.М. Кейс та ін. Значний обсяг досліджень розглядають картину обтікання одиночного або системи циліндрів у вільному потоці, а також при відносно великих відстанях від циліндру до плоского екрану. В роботі досліджено вплив плоского екрану при поперечному обтіканні циліндру. Такий об'єкт є типовим в різних галузях техніки, це можуть бути, наприклад, елементи котлів, теплообмінників тощо.

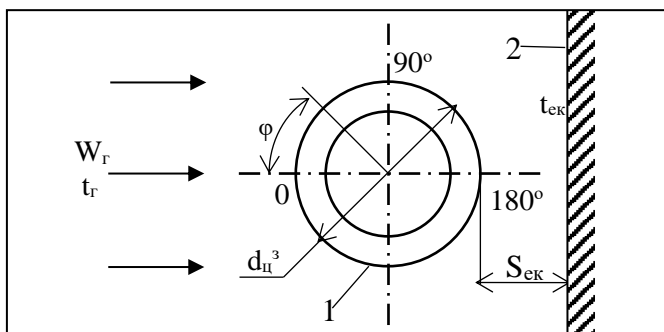


Рисунок 1 – Схема обтікання циліндру повітряним потоком при встановленні плоского екрану:

1 – циліндр; 2 – плоский екран

Метою роботи є дослідження за допомогою програмного забезпечення ANSYS Fluent [1] впливу наявності плоского екрану на процеси аеро- та теплообміну та визначення локальних коефіцієнтів тепловіддачі при поперечному обтіканні циліндра потоком газів. Дослідження виконувались при таких умовах: зовнішній і внутрішній діаметри циліндру $d_{ц^3} \times d_{ц^{BH}} = 32 \times 20$ мм; температура газового потоку $t_г = 20 \div 1600$ °С; швидкість газового потоку $W_г = 10 \div 20$ м/с; температура води в трубі $t_{вд} = 20$ °С; тиск води $p_{вд} = 0,1 \div 13$ МПа; відстань від циліндру до плоского екрану $S_{ек} = (0,1 \div 12,0) d_{ц^3}$; температура екрану $t_{ек} = 20 \div 1000$ °С. Було вивчено характеристики аеродинаміки потоку, зміна температури стінки циліндру по товщині і колу, а також характеристики термічних напружень в стінці циліндру.

На рис. 2 в якості приклада, показана аеродинамічна структура сліду за стабілізатором при відстані екрану від стабілізатора $S_{ек}/d_{ц^3} = 1,0$. Розрахунки показали, що, на відміну від обтікання циліндру вільним потоком [2], при постановці екрану в результаті удару потоку об екран слід за стабілізатором значно розширюється і зона зворотних токів протягується практично до екрану. Така картина спостерігається до відносної відстані приблизно $S_{ек}/d_{ц^3} = 8,0$, після чого довжина зони рециркуляції зменшується і на відстані $S_{ек}/d_{ц^3} = 12,0$ довжина зони рециркуляції $L_{реци}/S_{ек} \approx 2,0$.

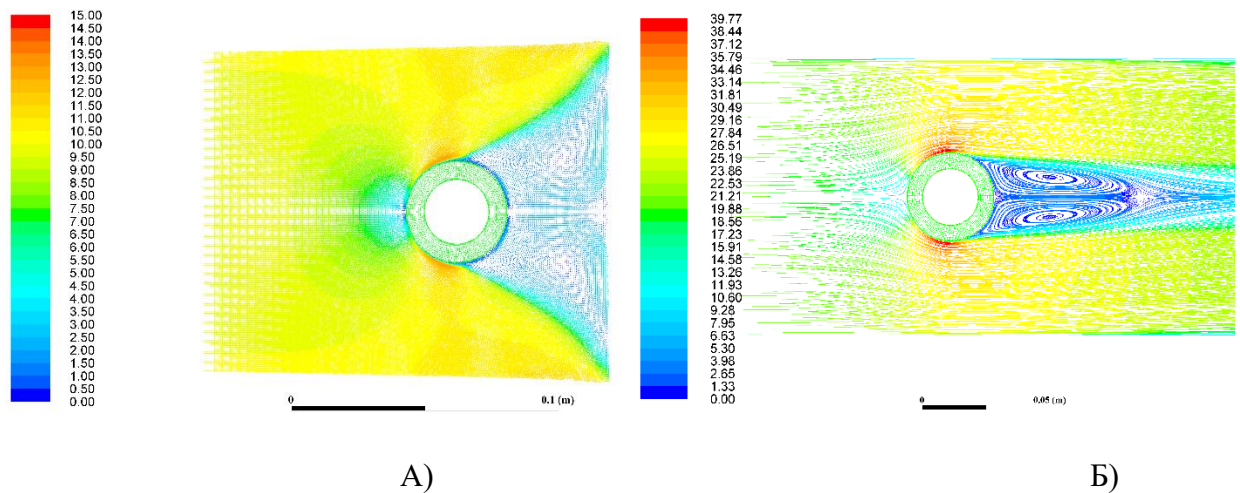


Рисунок 2 – Аеродинамічна структура сліду за стабілізатором при відстані до екрана $S_{\text{ек}}/d_{\text{ц}}^3=1,0$ (А) і у вільному потоці (Б)

На рис. 3 показано зміну довжини (А) і максимальної швидкості потоку в зоні рециркуляції (Б) в залежності від відносної відстані екрану від циліндру.

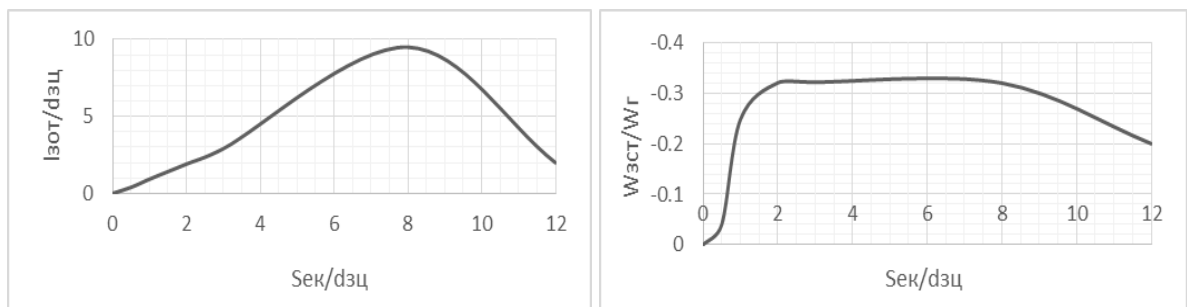


Рисунок 3 – Довжина зони рециркуляції (А) та максимальна швидкість потоку в зоні рециркуляції (Б) за циліндром в залежності від відстані до екрану, $W_{\Gamma}=10$ м/с; $t_{\Gamma}=20$ °С

Як видно, при збільшенні відстані екрану від циліндру довжина зони рециркуляції (А) поступово збільшується до значень $S_{\text{ек}}/d_{\text{ц}}^3=8,0$, після чого починає зменшуватись і на відстані $S_{\text{ек}}/d_{\text{ц}}^3=12,0$ екран перестає впливати на обтікання циліндру. Максимальна швидкість зворотного току в зоні рециркуляції (Б) також поступово збільшується і при відстані $S_{\text{ек}}/d_{\text{ц}}^3=2,0$ значення $W_{\text{зот}}^{\text{max}}/W_{\Gamma} \approx -0,32$. Починаючи з відстані $S_{\text{ек}}/d_{\text{ц}}^3=8,0$ максимальна зворотна швидкість потоку за циліндром також поступово зменшується до значень $W_{\text{зот}}^{\text{max}}/W_{\Gamma} \approx -0,2$, що відповідає значенням, характерним для обтікання циліндру вільним потоком.

Характер зміни аеродинамічної структури потоку при поперечному обтіканні циліндру у разі постановки плоского екрану за ним впливає на тепловий стан поверхні циліндру і характеристики напруженості.

Перелік посилань:

1. ANSYS FLUENT Theory Guide. Release 14. ANSYS, Inc. Southpointe 275. Technology Drive Canonsburg, PA 15317, 2011. – 826 p.
2. Жукаускас А.А. Теплоотдача поперечно обтекаемых пучков труб / А. Жукаускас, Р. Улинскас. Вильнюс: Мокслас, 1986. – 204 с.

Аспірант Беднарська І.С.

Доц., к.т.н. Риндюк Д.В.

ГАЗОДИНАМІКА ГОЛОВНИХ ПАРОПРОВОДІВ АЕС. ЧАСТИНА 1

За даними різних джерел останнім часом доля атомних електростанцій у виробленні електроенергії поступово зростає. Проте, частина блоків АЕС близькі до перевищення свого проектного терміну експлуатації - 40 років. Все це неминуче вимагає проведення комплексу заходів з аналізу стану основного обладнання (роторів та корпусів турбін, клапанів, основного металу паропроводів), вирішення питання про можливу їх подальшу експлуатацію, а також розробки заходів щодо продовження терміну експлуатації.

Одним з важливих елементів обладнання на атомних електричних станціях є система паророзподілу. Система паропроводів «свіжої» пари призначена для транспортування насиченої пари від парогенератора до циліндру високого тиску (ЦВТ) турбіни і пароперегрівача (СПП) [1]. Першим кроком до визначення стану паропроводів є дослідження газодинамічних властивостей теплоносія, а саме – вологої пари.

Відомі підходи [2] до визначення ресурсу елементів турбоустановок включають в себе людський фактор і, таким чином, потребують великих затрат часу на розрахунки граничних умов I-IV роду. Метою даної роботи є розробка альтернативної методики визначення ресурсних показників високотемпературних елементів турбоустановок, що базується на заміні трудомісткого процесу розрахунку граничних умов теплообміну моделюванням газодинаміки течії вологої пари на прикладі головних паропроводів атомної електричної станції з турбіною К-1000-60/3000.

В рамках розробленої методики було створено математичну модель для дослідження газодинаміки в паропроводах на прикладі енергоблоку №2 ХАЕС. У математичну модель входять закони збереження енергії, маси, імпульсу, рівняння стану рідини або газу, різноманітні замикаючі співвідношення, граничні і початкові умови [3]. Вирішення вищезазначених рівнянь засноване на методі кінцевих об'ємів, який передбачає їх інтегрування за об'ємами комірок розрахункової сітки. По теоремі Гауса для довільної векторної або тензорної величини:

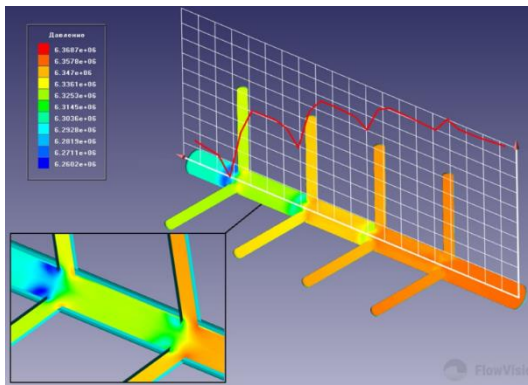
$$\int (\nabla \cdot F) d\Omega = \sum (F_i \cdot n_i) \cdot \Delta S_i \quad (1)$$

де Ω - об'єм комірки, ΔS_i - площа i -ї грані комірки. Таким чином, при інтегруванні розв'язуваних рівнянь в комірках проводиться підсумовування потоків маси, імпульсу, енергії і турбулентних величин, обчислених на гранях комірок.

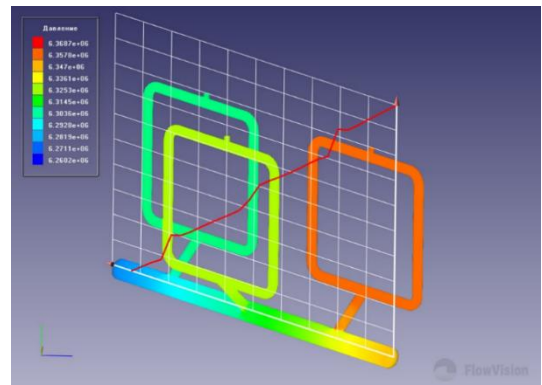
В якості вихідних і граничних умов приймалися параметри, отримані на енергоблоці № 2 Хмельницької АЕС: температура вологої пари $t = 274,3$ °С; тиск пари після ПГ $P = 6,3$ МПа; ступінь сухості пари $x = 0,995$; витрата пари від всіх ПГ $G = 5870$ т / год; шорсткість для досліджуваних труб 10^{-4} м.

Поставлене завдання вирішувалося в 3-х мірній, стаціонарній постановці, з застосуванням моделі повністю стисливої рідини. В ході пробних розрахунків були уточнені параметри розрахункової моделі (часовий крок, умови адаптації розрахункової сітки), які дозволили оптимізувати розрахунок і отримати хороший збіг з експериментальними даними, отриманими безпосередньо на станції. Були отримані дані 3-D газодинамічної структури потоку, розподіл швидкостей в потоці, температурних полях, розподіли тисків. Аналіз результатів чисельного моделювання дав можливість досить докладно вивчити газодинамічні характеристики течії вологої пари по паропроводах. Чисельне моделювання дозволило оцінити вплив геометрії паропроводів на газодинаміку потоку.

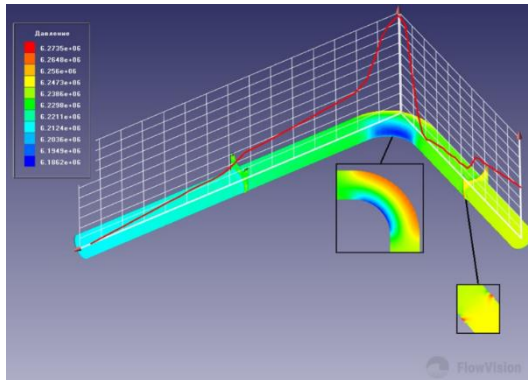
Грунтуючись на комплексі проведених чисельних експериментах, були побудовані графіки падіння тиску на кожному з чотирьох паропроводів. На рис. 1 наведено криві падіння тиску пари для паропроводу від парогенератора №2 до ЦВТ турбіни.



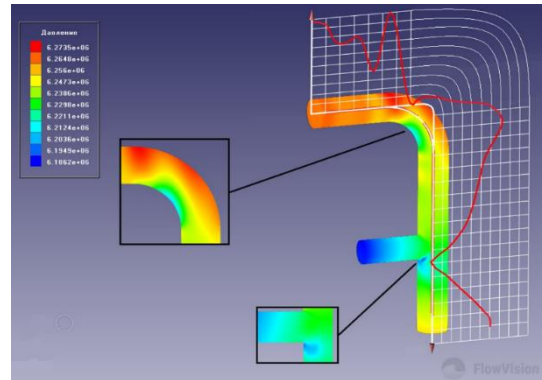
а) патрубки від парогенератора



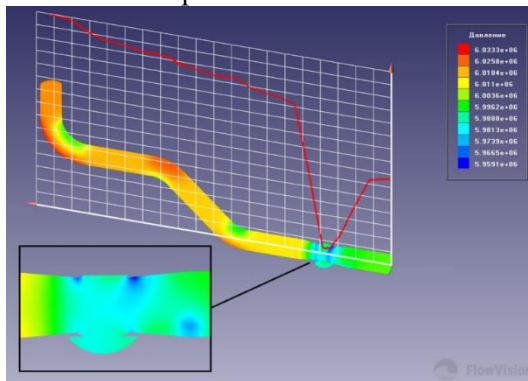
б) трійники підключення відгалужень до ПК і БРУ-А



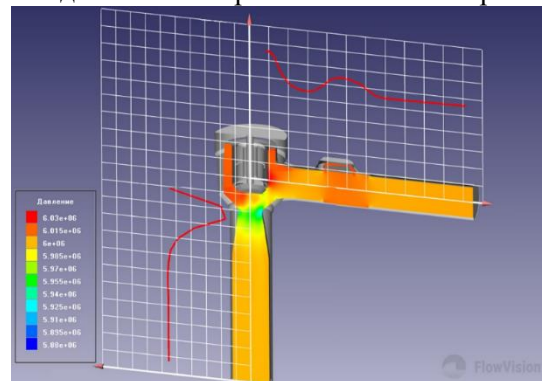
в) відсічний клапан БЗОК з поворотом і зворотним клапаном



г) поворот паропроводу з трійником підключення парових напівколекторів



д) повороти паропроводів з головної парової засувкою



з) стопорно-регулюючий клапан

Рисунок 1 - Падіння тиску в паропроводі.

Отже, розроблено математичну модель газодинаміки течії вологої пари по об'єму досліджуваного паропроводу, яка може бути використана в подальших розрахунках для визначення напружено-деформованого стану високотемпературних елементів паророзподільчої системи турбіни та визначення довготривалої міцності та ресурсу металу.

Перелік посилань:

1. Хмельницька АЕС. Енергоблок № 2. Система паропроводів свіжої пари (ТХ, РА). Технічний опис. № 2.ТЦ.0245.ТО-01.
2. Оценка индивидуального ресурса литых корпусов автоматических защитных клапанов энергоблоков мощностью 200 МВт. О.Ю. Черноусенко, Д.В. Риндюк, В.А. Пешко, В.Ю. Горяженко. Вісник НТУ «ХП». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування, № 13(1289) 2018. С. 26-32.
3. Аналіз підходів до оцінки теплового та напружено-деформованого стану елементів паропроводів АЕС. Беднарська І.С., Риндюк Д.В. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки. Том 30 (69) Ч. 2 № 2 2019. С. 12-16.

УДК 192.21

Аспірант Беднарська І.С.

Доц., к.т.н. Риндюк Д.В.

ГАЗОДИНАМІКА ГОЛОВНИХ ПАРОПРОВОДІВ АЕС. ЧАСТИНА 2

У зв'язку з наближенням закінчення терміну встановленого ресурсу обладнання енергоблоків АЕС стає актуальною проблема оцінки технічного стану обладнання, прогнозування залишкового ресурсу та продовження терміну його подальшої експлуатації. Це означає, що необхідно розробити засоби і методи безперервної тривалої роботи елементів станції відповідно до вимог енергетичної системи, почати оцінку ресурсу обладнання і дати рекомендації по його подальшій роботі [1].

Детально проаналізувавши діючі нормативні документи [2, 3] та останні дослідження і публікації [4, 5], було зроблено висновок, що вищевказані методи та підходи до визначення ресурсу елементів турбін та клапанів є трудомісткими при розрахунках граничних умов та недостатньо точні для об'єктів складної геометричної форми.

Метою даної роботи є розробка альтернативної методики визначення ресурсних показників високотемпературних елементів турбоустановок, що базується на заміні трудомісткого процесу розрахунку граничних умов теплообміну моделюванням газодинаміки течії вологої пари на прикладі головних паропроводів атомної електричної станції з турбіною К-1000-60/3000. Наведено підхід до визначення розподілів тисків, температур і швидкостей середовища за об'ємом досліджуваного об'єкту, що є необхідним для подальшого розрахунку напружено-деформованого стану та ресурсних показників.

На основі реального трасування паропроводів ХАЕС енергоблоку №2 було створено розрахункову схему, що представлена на рис. 1.

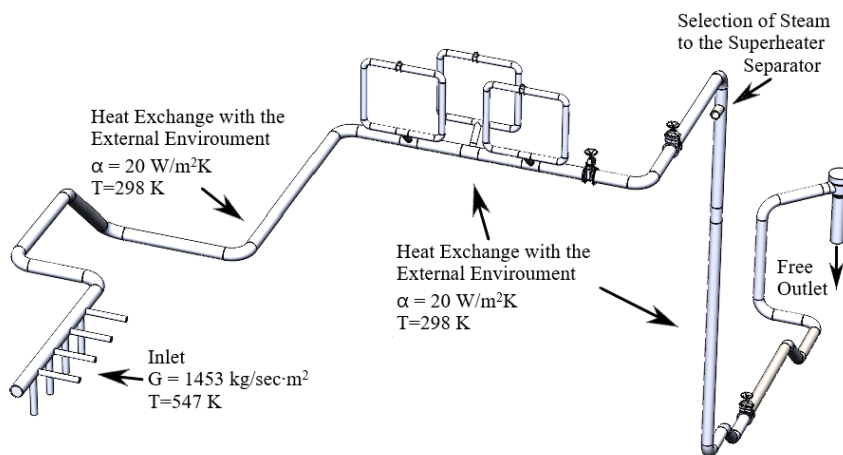


Рисунок 1 - Розрахункова схема.

При оснащенні системи паропроводів свіжої пари контрольно-вимірювальним обладнанням за місцем встановлено мінімальну кількість приладів. Контроль газодинаміки руху пари в паропроводах здійснюється тільки в трьох точках, що явно недостатньо для розуміння «повної картини» процесів, які в них відбуваються. Оскільки, непроектно оснащення системи паропроводів АЕС контрольно-вимірювальними приладами контролюється відповідними нормативними документами, втручання на фізичному рівні в конструкцію паропроводу неможливо. Тому доцільно для подальшого визначення стану металу паропроводів і арматури попередньо провести комплекс чисельних експериментів, заснованих на моделюванні течії вологої пари в системі паророзподілу атомної електростанції з турбіною К-1000-60/3000.

Для дослідження газодинаміки в паропроводах застосовувався програмний

комплекс FlowVision 3.12.01. Геометрична модель створена в системі 3D- моделювання SolidWorks.

На рис. 2 графічно зображено падіння тиску пари для паропроводу від парогенератора №2 енергоблоку №2 Хмельницької АЕС.

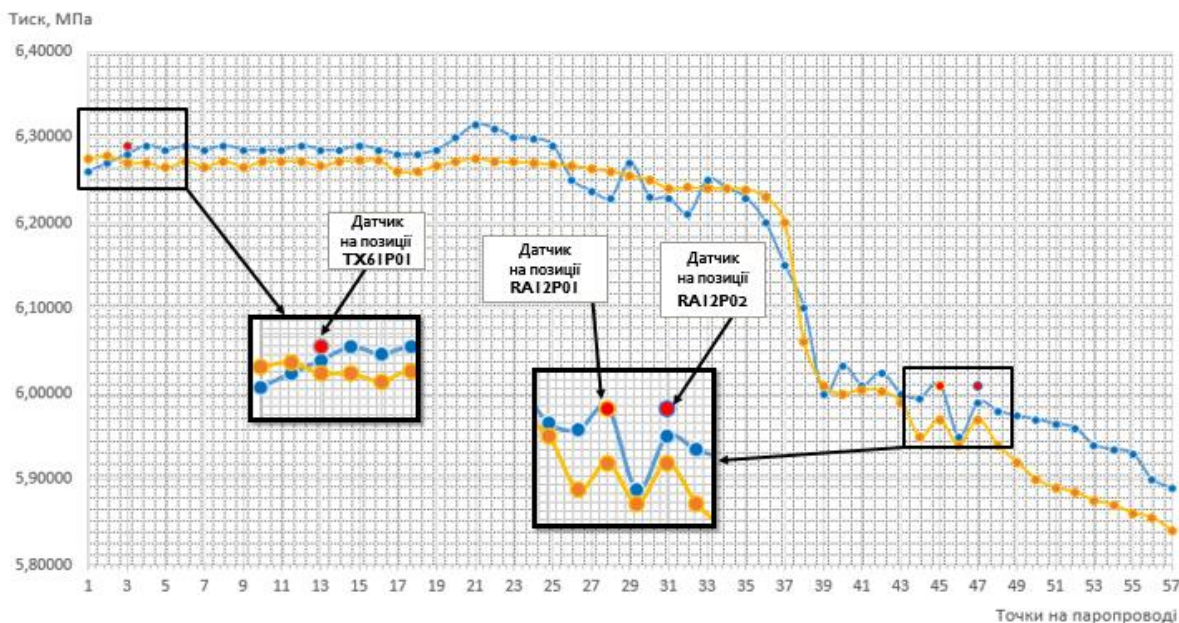


Рисунок 2 - Графік падіння тиску пари для паропроводу від парогенератора №2 енергоблоку №2 Хмельницької АЕС.

В результаті виконаного моделювання процесу течії вологої пари від парогенератора №2 по паропроводах до стопорно-регулюючого клапана на енергоблоці №2 Хмельницької АЕС отримані дані щодо розподілу тисків, температур і швидкостей середовища за об'ємом паропроводу. Перевірка адекватності чисельної моделі і коректності моделювання була проведена шляхом порівняння розрахункових результатів з даними ХАЕС. Порівняння результатів дослідження та реальних даних дало задовільний збіг. Середня відносна похибка моделі становить близько 5%. Розроблена імітаційна модель є адекватною і може бути використана для розрахунку параметрів течії пари в паропроводах. У подальшому отримані дані будуть використані для визначення залишкового ресурсу головних паропроводів АЕС.

Перелік посилань:

1. Аналіз підходів до оцінки теплового та напружено-деформованого стану елементів паропроводів АЕС. Беднарська І.С., Риндюк Д.В. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки. Том 30 (69) Ч. 2 № 2 2019. С. 12-16.
2. РТМ 24.020.16-73. Турбины паровые стационарные. Расчёт температурных полей роторов и цилиндров паровых турбин методом электро моделирования. М., 1973. № ВК-002/3209. 104 с.
3. РД 34.17.440-96. Методические указания о порядке проведения работ при оценке индивидуального ресурса паровых турбин и продлении срока их эксплуатации сверх паркового ресурса. М., 1996. 98 с.
4. Геометрическая модель и граничные условия теплообмена ротора высокого давления турбоустановки Т-100-130 ПАО «Харьковская ТЭЦ-5». О. Ю. Черноусенко, Бутовский Л. С., Пешко В. А., Мороз О. С. Вісник НТУ «ХП». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. Харків : НТУ «ХП», 2017. № 11 (1233). С.16-23.
5. Оценка индивидуального ресурса литых корпусов автоматических защитных клапанов энергоблоков мощностью 200 МВт. О.Ю. Черноусенко, Д.В. Риндюк, В.А. Пешко, В.Ю. Горяженко. Вісник НТУ «ХП». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування, № 13(1289) 2018. С. 26-32.

"ЗЕЛЕНА" ЯДЕРНА ЕНЕРГЕТИКА

Стратегія зеленого енергетичного переходу до сталого розвитку, проголошена ООН, передбачає переважний розвиток енергетичних технологій, вільних від викидів парникових газів, що спричиняють глобальне потепління клімату.

До пріоритетних технологій такого типу відносять, насамперед, відновлювану енергетику на базі вітрових (ВЕС) та сонячних (СЕС) електростанцій, що мають мінімальний вуглецевий слід, значний ресурсний потенціал, прийнятні прогнозовані економічні показники.

У зв'язку з цим у світовій енергетиці посилюється інтерес до розвитку атомної енергетики. Атомні електростанції (АЕС), на відміну від ВЕС, СЕС та ГЕС є цілком надійним, керованим і навіть екологічнішим джерелом енергії.

Порівняльний аналіз ядерних та всіх інших джерел енергії за багатьма показниками дозволяє вважати, що ядерна енергетика розширює можливості енергопостачання для нинішнього та майбутніх поколінь та відповідає всім визначенням сталого розвитку.

Враховуючи технологічний прогрес і значні перспективи подальшого розвитку, Європейська комісія визнала можливим зарахувати атомну енергію до «зелених» технологій, відповідних цілям і завданням сталого низьковуглецевого економічного розвитку.

Замкнений ядерний паливний цикл.

Основним напрямом технологічного удосконалення сучасної ядерної енергетики вважається перехід від прямого ядерно-паливного циклу (ЯПЦ) до замкнених ЯПЦ.

Сучасні ядерні реактори на теплових нейтронах, більшість з яких складають водододяні реактори під тиском (ВВЕР), використовують ядерне паливо у вигляді збірок тепловиділяючих елементів (ТВЕЛ), які містять пресовані пігулки оксиду урану, розміщені у трубках з цирконію, що омиваються водою під тиском. Активною речовиною ядерного палива є ізопад урану ^{235}U , масовий вміст якого складає 3-5%. Решту палива складає ізопад урану ^{238}U , який практично не приймає участі у реакціях ядерного ділення. Слід зазначити, що основна складність цих процесів полягає у організації ізопадного збагачення природного урану із збільшенням концентрації ізопаду ^{235}U від 0,7% до 3-5%. В процесі ізопадного збагачення утворюється значні обсяги збідненого урану з переважанням ізопаду ^{238}U . Їх використання є можливим у так званих реакторах на швидких нейтронах які набувають поширення по мірі зростання вартості природного урану.

Ядерне паливо використовується у ядерних реакторах далеко не повністю і після вивантаження з реактору містить до 1% залишку урану ^{235}U та до 1% радіоактивних ізопаду плутонію з переважанням ^{239}Pu , які можуть використовуватися у реакторах повторно.

Відпрацьовані паливні збірки після витримки протягом 4-5 років транспортуються на радіохімічний комбінат, де здійснюється переробка відпрацьованого ядерного палива (ВЯП). Ці компоненти використовують для виготовлення нового ядерного палива.

Переробка відпрацьованого оксидного палива починається з розчинення тепловиділяючих елементів азотною кислотою. Після цього відбувається хімічне відділення урану та плутонію, які можуть бути повернені до початку паливного циклу (уран - на завод для збагачення, а плутоній - безпосередньо на підприємства з виготовлення палива). Рідина, що залишається після видалення Pu і U являє собою Високоактивні відходи, що містять приблизно 3% вичерпаного палива після видалення Pu і U, після витримки піддаються склінню та захороненню.

Основними продуктами регенерації ядерного палива є так зване REMIX паливо, що містить суміш збагаченого урану з ураном та плутонієм, які виділяються при переробці

ВЯП. Ця технологія передбачає повторне використання у реакторах на теплових нейтронах.

Окрім того, з одержаного діоксиду плутонію виробляється так зване МОХ – паливо (англ. Mixed-Oxide fuel – змішане оксидне паливо), що містить діоксиди плутонію та збідненого урану і може ефективно використовуватися у реакторах на швидких нейтронах.

Використання замкненого ЯПЦ за описаними схемами дозволяє повторно використати до 96% вихідного палива із суттєвим зниженням обсягу відходів, що підлягають захороненню. Це дозволяє знизити потребу в урановій сировині на 30% .

Реактори –бридери.

Економічно досяжних ресурсів природного урану за існуючого рівня їх використання вистачить лише на 50-80 років. Цієї кількості недостатньо для розвитку АЕС як однієї з основних технологій безпартникової електроенергетики. Тому довготривала стратегія розвитку «великої» атомної енергетики передбачає перехід до прогресивної технології замкнутого ЯПЦ, заснований на використанні так званих реакторів - бридерів у додаток до переробки палива, вивантаженого з реакторів атомних станцій, для подальшого повернення в енергетичний цикл невикористаних і знову утворених матеріалів, що діляться. Практична реалізація процесу бридингу має важливе значення для майбутнього атомної енергетики. Справа в тому, що такий процес дає можливість практично повністю використовувати природний уран і тим самим майже у сто разів збільшити «вихід» енергії з кожної тони видобутого природного урану. Крім того, цей процес забезпечує можливість практичного використання в ядерній енергетиці радіоактивних ізотопів торію, природні запаси якого набагато перевищують запаси природного урану.

Це відкриває шлях до практично невичерпних паливних ресурсів атомної енергетики на тривалу історичну перспективу. Тому загально визнано, що використання бридерів – необхідна умова створення та функціонування атомної енергетики великого масштабу.

Ядерний бридинг (від англ. breed - розмножувати) - процес утворення надмірної кількості ізотопів, що діляться в ядерному реакторі. Бридинг полягає у виробництві більшої кількості матеріалу, що ділиться, ніж споживане при цьому. Кількісною оцінкою цього процесу є так званий період подвоєння - час, необхідний для виробництва вдвічі більшої чистої кількості матеріалу, що ділиться в порівнянні з спочатку завантаженим в реактор. Ефективно працюючий бридерний реактор повинен мати період подвоєння від 7 до 10 років.

Можливі два типи бридерних систем:

- на теплових нейтронах (теплові бридери);
- на швидких, більш енергійних нейтронах, (швидкі бридери).

Технології бридингу знаходяться на стадії науково-дослідних та дослідно – промислових розробок.

Перелік посилань:

1. Holger Rogner. Green growth and nuclear energy. Research Reports IIASSA-2012, p.39-49. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/33901621.pdf>

2. Громов Б.В. Введение химическую технологию урана. 1978.-336 с. Ядерный топливный цикл. [Електронний ресурс]. URL: https://atom.fandom.com/wiki/Ядерный_топливный_цикл

СЕКЦІЯ № 6

**Проблеми
теоретичної і
промислової
теплотехніки**

ВУГІЛЬНА ТЕПЛОВА ГЕНЕРАЦІЯ УКРАЇНИ В СУЧАСНИХ УМОВАХ КУРСУ НА ДЕКАРБОНІЗАЦІЮ

Декарбонізація, екологізація та екомодернізація – це гостра необхідність, з якою стикнулось людство. В таких умовах Україна послідовно брала на себе все більш амбітні зобов'язання з переходу на безвуглецеву (відновлювану, “зелену”) енергетику. 2017 рік – затвердження нової Енергетичної стратегії з метою зниження до 2035 року частки вугілля серед первинних джерел до 12,5%, частки вироблення електроенергії ТЕС і ТЕЦ – до 32%. А в липні 2021 року уряд ухвалив важене рішення приєднання до стратегії Євросоюзу “GreenDeal”, скоротити викиди ПГ до 2030 року до 35% від показника 1990 року, тобто викиди CO₂ мають скоротитися на 65%, із зобов'язанням повного припинення видобутку вугілля та закриття вугільної енергетики до 2050 року [1]. Також з початку 2021 року набув чинності Закон «Про засади моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів», який передбачає впровадження системи контролю викидів ПГ та суттєвих штрафів за недотримання умов законодавства. Ймовірно, що вказані вимоги зростатимуть і надалі.

Між тим, вугільна енергетика має і свої переваги. Перша з них – значні запаси вітчизняного вугілля (перше місце в Європі та восьме в світі), які роблять його гарантом енергетичної незалежності країни, особливо в нинішній ситуації стрімкого подорожчання природного газу. Друга – можливість вугільних енергоблоків працювати в широкому діапазоні навантаження, що є вкрай важливим для регулювання навантаження енергосистеми в умовах, коли АЕС здатні працювати лише в базовому режимі, а ГЕС та відновлювальні джерела залежать від природних умов.

Прогноз на 2020 рік передбачав збільшення вироблення гідроенергії до 10 млрд. кВт·год., ВЕС і СЕС – до 9 млрд. кВт·год., збереження вироблення АЕС на рівні 85 млрд. кВт·год. та зменшення вироблення ТЕС і ТЕЦ до 60 млрд. кВт·год. Фактичні дані [2] свідчать, що контрольні показники по гідроенергії не досягнуті, що не дивно, беручи до уваги засухи кількох попередніх років. Натомість задачі збільшення вироблення ВЕС і СЕС та зменшення вироблення АЕС і теплових електростанцій навіть перевиконані. Але такі зміни в структурі генерації призвели до цілого ряду негативних наслідків, серед яких - дефіцит електроенергії, який змусив її імпортувати у 2019-2020 рр., збільшення середньої вартості виробленої електроенергії, її транспорту та розподілу, що обумовлює необхідність суттєвого збільшення тарифів для споживачів. Так, у 2020 році собівартість вироблення електроенергії АЕС та ГЕС була близько 0,6-0,7 грн./(кВт·год.), ТЕС – близько 1,6 грн./(кВт·год.), ВЕС та СЕС – в середньому 4,0 грн./(кВт·год.).

За цих умов збитковими стали не тільки атомна, гідро- і теплова генерації, а й вугільна галузь, якій не вигідно продавати вугілля по занижених цінах, що державною дотацією компенсуються лише державним шахтам і тільки частково. Як наслідок, у 2019-2020 рр. відбувалось зменшення видобутку вугілля (табл. 1), яке неминуче супроводжувалось зростанням його собівартості за рахунок збільшення відносної частки умовно-постійних витрат. У 2019 р. це зменшення частково компенсувалось збільшенням імпорту, переважно з РФ. Проте у 2020 р. внаслідок введення торговельних обмежень з боку як України, так і РФ зменшився і імпорт. Тому у 2020 році порівняно з 2019 поставки вугілля на ТЕС скоротились на 34%, а дефіцит вугілля сягнув такого небезпечного ступеню, що вперше за багато років довелось імпортувати значні обсяги вугілля газової групи (рис. 1).

Таблиця 1 – Динаміка видобутку та імпорту енергетичного вугілля в Україні

Видобуток, млн. т (переважно газова група):	2016	2017	2018	2019	2020
Державні підприємства	4,2 ¹	3,9	3,6	2,7	2,2
Приватні підприємства (переважно ДТЕК) ²	28,3 ³	24,2	23,9	22,2	20,5
Всього	32,5	28,1	27,5	24,9	22,7
Імпорт, млн. т (переважно антрацит і пісне) ⁴	0,5	5,1	5,2	6,0	2,6 ⁵
В т.ч. з РФ, млн. т	0,24	3,8	4,1	5,3	2,4

¹ В т.ч. 1,2 млн. т марок А і П з неконтрольованих територій Донбасу (НКТ).

² Не включаючи газове вугілля ТОВ “Краснолиманська”.

³ В т.ч. 8,0 млн. т марок А і П з НКТ.

⁴ Не включаючи антрацит з ш. Обухівська (Ростовська обл.), яка знаходиться у власності ДТЕК.

⁵ В т.ч. 0,8 млн. т вугілля газової групи.

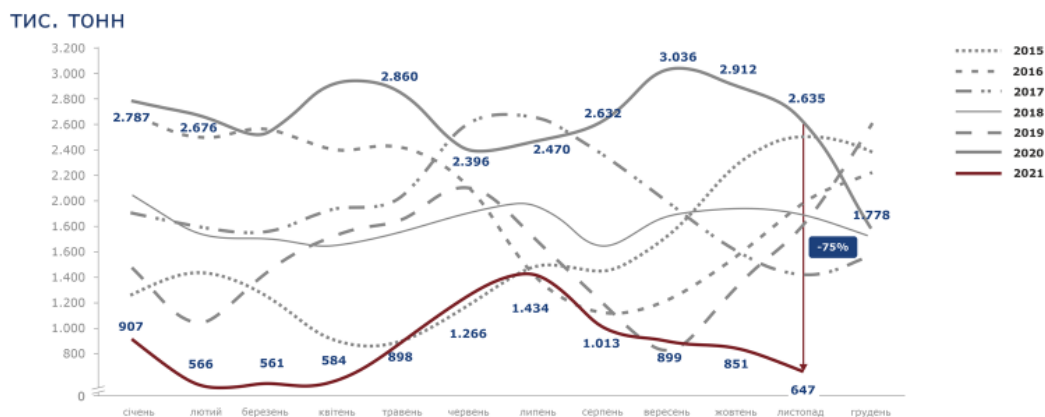


Рисунок 1 – Запаси енергетичного вугілля в Україні на ТЕС та ТЕЦ у 2015-2021 рр.

Висока вартість послуг з транспорту та розподілу електроенергії пов’язана з надмірними втратами в мережах. За офіційною звітністю Міненерго, у 2020 році втрати в мережах всіх класів напруги склали трохи менше 12% (для порівняння, в США та країнах ЄС – 4-8%[3]). На думку багатьох фахівців, фактичні втрати в мережах сягають 15-18%.

В умовах зростання частки “зеленої” генерації в Україні частку вироблення пилувугільних ТЕС слід утримувати на рівні не менше ніж 30% від загального вироблення електроенергії. Менша частка генерації з ТЕС змушує їх працювати при економічно недоцільних рівнях навантаження та частотах пусків-зупинок енергоблоків, як наслідок – при значному рівні питомих витрат палива та викидів CO₂.

Таким чином, штучно прискорене державними зобов’язаннями щодо компенсації високих закупівельних тарифів збільшення в Україні частки “зеленої” енергетики, сукупно з недосконалою, дискримінаційною для теплової генерації моделлю нового ринку електроенергії 2020 – 2021 рр. стало причиною цілого ряду негативних явищ в енергетиці та в економіці країни в цілому. Слід зазначити, що ці дії прямо протирічать Паризькій кліматичній угоді, згідно з якою національні плани скорочення викидів парникових газів країн, що розвиваються (до них відноситься і Україна), мають розроблятися з урахуванням місцевих особливостей, включаючи наявні енергоресурси, і уникаючи нанесення шкоди власній економіці.

Перелік посилань:

1. Електронний ресурс / Стратегія низьковуглецевого розвитку України до 2050 року. – Режим доступу: https://mepr.gov.ua/files/docs/Proekt/LEDS_ua_last.pdf.

2. Електронний ресурс / Міністерство енергетики та вугільної промисловості України. – Режим доступу: <http://mpe.kmu.gov.ua/>.

3. C19-EQS-101-03: 2nd CEER Report on Power Losses // Brussels: Council of European Energy Regulators, 2020. – 165 p. <https://www.ceer.eu/documents/104400/-/-/fd4178b4-ed00-6d06-5f4b-8b87d630b060>

ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ЗАХОДИ В ПРОМИСЛОВО-ОПАЛЮВАЛЬНИХ
КОТЕЛЬНЯХ

Покриття технологічного навантаження споживачів промислового підприємства водяною парою витратою $D_T = 20,9$ т/год і гарячою водою на опалення, вентиляцію і гаряче водопостачання цього підприємства та прилеглого житлового сектору загальним тепловим навантаженням $\Sigma Q = 49,3$ МВт (м. Дніпро) здійснюється від промислово-опалювальної котельні, в якій встановлено 4 парових котли ДЕ-6,5-14ГМ і 5 водогрійних котлів КВ-ГМ-10. Основним паливом в котельні є природний газ.

Слід зазначити, що встановлені котли характеризуються високими температурами відхідних димових газів та відносно низькими ККД (табл. 1 [1]).

Таблиця 1 – Технічні характеристики встановлених котлів

Найменування характеристики	Позначення	Одиниця	Значення арактеристики для котла	
			ДЕ-6,5-14ГМ	КВ-ГМ-10
Температура відхідних димових газів	t'_r	°С	155	185
ККД	$\eta_{ка}$	%	91	91,9
Витрата природного газу	B_k	м ³ /год	489	1260

Для підвищення ефективності котельні пропонується в першу чергу її реконструкції встановити за чотирьома паровими котлами ДЕ-6,5-14ГМ, що працюють цілорічно, утилізатори теплоти димових газів (поверхневі калорифери), використавши їх для нагрівання води власних потреб (сирої $G_{с.в}$ та хімічно підготовленої $G_{хво}$). За результатами розрахунку теплової схеми котельні $G_{с.в} = 10,6$ кг/с, а $G_{хво} = 8,824$ кг/с.

Можливу теплопродуктивність калориферних установок за димовими газами за кожним з парових котлів, кВт, визначали за формулою

$$Q_{ri} = L_{ri}^c (h'_r - h''_r), \quad (1)$$

де L_{ri}^c - витрата сухих димових газів для однієї калориферної установки, кг/с; h'_r та h''_r - ентальпія димових газів на вході в калориферні установки та виході з них, кДж/кг.

Масова витрата сухих продуктів згоряння за кожним з котлів, кг/с

$$L_{rn}^c = \frac{B_{кп}}{3600} G_r^c, \quad (2)$$

де G_r^c – маса сухих димових газів, кг/ м³.

Для визначення ентальпії димових газів використана залежність [2]

$$h_{r_i} = c_{с.г_i} t_{r_i} + (2500 + 1,97 t_{r_i}) d'_r, \quad (3)$$

де $c_{с.г_i}$ - теплоємність (кДж/кг); t_{r_i} - температура (°С); d'_r - вологовміст (кг/кг с.г) димових газів.

Для усередненого складу природного газу за методикою [2] обчислили величини $d'_r = 0,13$ кг/кг с.п, $G_r^c = 13,82$ кг/м³, тоді згідно з формулою (2) витрата сухих продуктів згоряння складе $L_{rn}^c = 1,877$ кг/с.

В подальших розрахунках брали величину $c_{с.г} = 1$ кДж/кг, а температуру димових газів на виході з калориферних установок $t''_r = 60$ °С для «сухого» режиму роботи, тоді згідно з формулою (3) ентальпії димових газів складуть: $h'_r = 519,7$ кДж/кг і $h''_r = 400,4$

кДж/кг, а теплопродуктивність калориферних установок за одним паровим котлом згідно з формулою (1) – $Q_{Г1} = 223,9$ кВт, а за всіма паровими котлами - $Q_{Г} = 895,6$ кВт.

Необхідне теплове навантаження для нагрівання води власних потреб котельні, кВт, визначається 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 $t'_{с,в} = 5$ °С до $t''_{с,в} = 25$ °С необхідно витратити $Q_{с,в} = 888,3$ кВт теплоти, тобто вся можлива теплопродуктивність калориферних установок буде витрачатися на нагрівання тільки сирі води.

Калориферні установки встановлюються за всіма паровими котлами, теплопродуктивність кожної з яких складе 222,1 кВт, а витрата сирі води - 2,65 кг/с; нижче наведені розрахунки для однієї калориферної установки.

Беремо масову швидкість димових газів у фронтальному перерізі калорифера $(\rho v)_{Г} = 5$ кг/(с·м²) і за рівнянням суцільності [2] визначаємо орієнтовну площу фронтального перерізу для проходження димових газів, яка складе $f_{оп} = 0,375$ м². За каталогом обираємо 3 калорифери КСк3-7 з дійсною площею фронтального перерізу одного з них за димовими газами $f_{д} = 0,329$ м², площею живого перерізу за напрямком руху води $f_{в} = 0,000846$ м², площею поверхні нагріву з боку димових газів $F_{д} = 16,34$ м² (загальна площа калориферної установки $\Sigma F_{д} = 49,02$ м²). Всі калорифери розташовані послідовно за напрямком руху димових газів і паралельно за напрямком руху води.

За уточненою масовою швидкістю димових газів у фронтальному перерізі калорифера $(\rho v)_{Г,д} = 5,7$ кг/(с·м²) і обчисленою за рівнянням суцільності швидкістю води в трубках $\omega_{в} = 1,04$ м/с визначили коефіцієнт теплопередачі $k = 54,7$ Вт/(м²·К) [2].

За температурами теплоносіїв на вході в калорифер і виході з нього для перехресної схеми обчислюємо середньологарифмічну різницю температур $\Delta t_{ср} = 84,6$ °С, а за рівнянням теплопередачі [2] – необхідну площу поверхні нагрівання калориферної установки $F_{Т} = 41,6$ м². Запас дійсної площі теплопередавальної поверхні по відношенню до теоретично необхідної складає 15,1 %, що в межах рекомендованого значення цієї величини.

Кількість утилізованої теплоти димових газів за опалювальний період при встановленні калориферних установок за паровими котлами, ГДж/рік, визначали за формулою

$$Q_{ут} = Q_{Г} \frac{t_{вн} - t_{ср,о}}{t_{вн} - t_{р,о}} n_{о} \cdot 24 \cdot 3,6 \cdot 10^{-3}, \quad (5)$$

де $t_{вн}$, $t_{ср,о}$, $t_{р,о}$ – температури внутрішнього повітря; середня за опалювальний період та розрахунку зовнішнього повітря відповідно, °С; $n_{о}$ – тривалість опалювального періоду, днів/рік.

В розрахунках брали $t_{вн} = 20$ °С, а за кліматологічними даними для м. Дніпро $t_{ср,о} = -0,2$ °С, $t_{р,о} = -24$ °С, $n_{о} = 172$ днів/рік, тоді величина $Q_{ут} = 6061$ ГДж/рік.

З урахуванням вартості одиниці теплоти в м. Дніпро 1788,82 грн/ГКал (426,92 грн/ГДж) ефективність утилізації складе 2587562 грн/рік.

Перелік посилань:

1. Алабовский, О.М. Проективання котелень промислових підприємств: курсове проектування з елементами САПР: навч. посібник для студентів вузів із спец. «Промислова теплотехніка» / О.М.Алабовський, М.Ф.Боженко, Ю.В.Хоренженко. – Київ : Вища школа, 1992. – 207 с.

2. Боженко М.Ф. Энергозбереження в теплопостачанні : Навч. посіб./ М.Ф.Боженко, В.П.Сало. - Київ. : НТУУ «КПІ», 2008. – 268 с.

ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНОГО СЕРЕДОВИЩА DESIGNBUILDER ДЛЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ЖИТЛОВОЇ БАГАТОПОВЕРХОВОЇ БУДІВЛІ

Програмне середовище DesignBuilder [1] розроблено на основі програмного продукту EnergyPlus, використовується дизайнерами та інженерами для проектування енергетичних моделей будівель, оцінки їх ефективності і зниження негативного впливу будівель на навколишнє середовище. DesignBuilder поєднує в собі швидке 3D моделювання будівель з динамічним моделюванням енергії, що робить цю програму якісним інструментом.

DesignBuilder дозволяє порівнювати конструкції будівель, використовувати результати моделювання для визначення оптимальної конфігурації будівель, вибору оптимальних розмірів стін, вікон та інших огорожувальних конструкцій, що може посприяти ефективнішому використанню енергії. При моделюванні в цьому програмному продукті, можна врахувати такі важливі чинники, як погода, освітлення, використання різноманітної техніки, споживання енергії, повітря, температура, рівень шуму, що дозволяє створити точну та реалістичну модель будівлі із комфортними умовами для життя та роботи.

Результати моделювання будівлі, можуть бути використані для визначення оптимального розташування об'єкту на ділянці, щоб можливо було максимально ефективно використати природне освітлення та сонячну енергію, що дасть можливість зменшити втрати на енергію, зменшити шкідливість для природи, для оцінки економічної ефективності проекту, визначення найефективніших технологій матеріалів, що дозволить знизити витрати на експлуатацію будівель й поліпшити їх енергоефективність.

Для прикладу 3D моделювання в програмному продукті DesignBuilder була взята існуюча житлова будівля. Будинок має 26 поверхів, 234 квартири (рис. 1).



Рисунок 1 – 3D моделі північно-східного та південно-західного фасадів будинку

В енергетичну модель додана інформація (за допомогою вкладок “Construction” та “Openings”) щодо конструктивних особливостей та теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій багатопверхівки: фундамент будинку складається з з\б моноліту, стіни бетонні з утеплювачем, перегородками виступають збірні залізобетонні

панелі, підлога складається з цементно-піщаної стяжки, вікна металопластикові з двокамерними склопакетами. Джерелом кліматичної інформації став міжнародний кліматичний файл погоди IWEC для міста Києва. У підрозділі програми Activity для об'єкта були задані параметри, які описують режим роботи житлового будинку, основні параметри мікроклімату тощо.

Також в DesignBuilder є можливість виконувати зонування (рис. 2). Зонування проводиться для відокремлення кімнат квартир, нормативні вимоги щодо внутрішньої температури та вологості яких відрізняються відповідно до [2], а також для відокремлення місць загального користування.

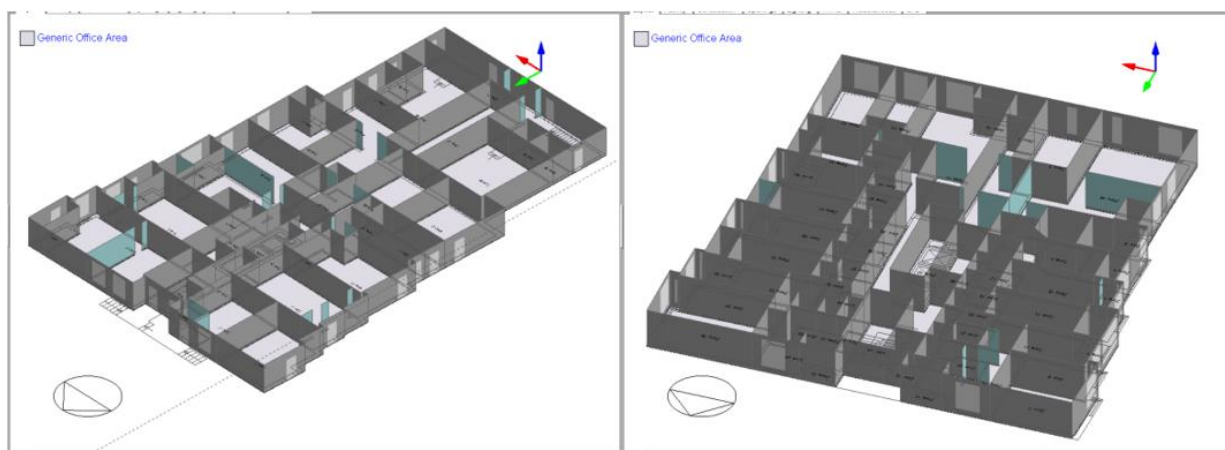


Рисунок 2 – Зонування будівлі з 1 по 26 поверхи

В результаті моделювання можна отримати дані по розрахунковому енергоспоживанню будівлі, тепловому навантаженню, складовим теплових втрат та надходжень. Є можливість проаналізувати результати при різних рівнях теплового захисту оболонки, різних інженерних системах та повітрообміні.

Таким чином використання програмного продукту DesignBuilder дозволяє створювати будівлі, які відповідають сучасним вимогам енергоефективності та екологічності.

Перелік посилань:

1. Офіційний сайт DesignBuilder'а – Режим доступу: <https://designbuilder.co.uk/> (дата звернення: 14.03.2023р.)
2. ДБН В.2.2-15-2019 Житлові будинки. Основні положення. – Чинний від 2019–10–01. – Київ : Мінрегіон. 2019. – 44 с. – Режим доступу: https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn_v_2_2_15_2015_zhitlovi_budinki_osno_vni_polozhennja/1-1-0-1184

РЕЖИМНІ ПАРАМЕТРИ ЦЕНТРАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ З ЧАСТКОВИМ НЕПРЯМИМ ВИПАРНИМ ОХОЛОДЖЕННЯМ

За останні десятиліття випарне охолодження, яке використовує принцип випаровування води для поглинання теплоти, набуло зростаючої популярності в кондиціонуванні повітря завдяки своїй конструкції і ефективному використанню природної енергії (тобто прихованої теплоти) води в оточуючому середовищі [1]. Але, як відомо, випарне охолодження є ефективним в умовах сухого і жаркого клімату.

В попередньому дослідженні [2] розглянута розроблена авторами схема часткового випарного охолодження з утилізацією холоду та теплоти вентиляційних викидів в системі кондиціонування повітря блоку поточкових аудиторій учбового корпусу № 5 КПІ ім. Ігоря Сікорського. Метою даної роботи є визначення оптимальних режимних параметрів даної схеми для теплого та холодного періодів року.

За результатами розрахунку повітрообміну для приміщень аудиторій обраний центральний кондиціонер КТЦ-3м-80 номінальною повітропродуктивністю 80 тис. м³/год з типовою зрошувальною камерою; типовим повітроохолоджувачем з вісьмома рядами трубок за напрямком руху повітря, з площею фронтального перерізу для проходження повітря $f_{\text{фр}} = 8,28 \text{ м}^2$; типовим повітронагрівачем першого підігріву (ПН1). Додатково до вказаного обладнання в схемі обрали наступне обладнання: теплообмінник непрямого випарного охолодження, що складається з чотирьох паралельно розміщених за напрямком руху води і послідовно за напрямком руху повітря типових дворядних повітронагрівачів без обхідного каналу, кожен з яких скомпонований з 4 базових 1,25-метрових теплообмінників; дві градирні ГВМ-60Н, що використовуються для випарного охолодження води в теплий період року вентиляційними викидами з приміщень, з номінальною витратою води кожної 50 м³/год і споживаною потужністю вентилятора 2,2 кВт; два регенеративних обертових теплоутилізатори (ТУ) витяжного повітря, що використовуються для попереднього підігріву зовнішнього повітря в холодний період року, з номінальною повітропродуктивністю кожного 40 тис. м³/год, площею фронтального перетину за кожним потоком 3,7 м² і загальною площею теплопередавальної поверхні 7300 м².

Розрахунковими дослідженнями для теплого періоду року визначали вплив частки рециркуляції x на енергетичний ефект непрямого випарного охолодження [$E_{\text{ф}} = (Q_{\text{охл.1}}/Q_{\text{охл}}) 100, \%$], де $Q_{\text{охл.1}}$ - охолоджуюча потужність теплообмінників непрямого випарного охолодження, кВт; $Q_{\text{охл}}$ - сумарна охолоджуюча потужність кондиціонера, кВт, яка складається з $Q_{\text{охл.1}}$ і охолоджуючої потужності зовнішнього теплообмінника ($Q_{\text{охл.2}}$).

При виконанні розрахунків за відомими залежностями при зміні величини x визначали середньозважені температуру (t_r) і відносну вологість (φ_r) повітря на вході в градирню, а потім за цими величинами – температуру повітря за мокрим термометром ($t_{\text{мг}}$). Надалі в $h-d$ – діаграмі визначали температуру і ентальпію повітря суміші (t_c і h_c), а потім температуру ($t_{\text{св}}$) і ентальпію ($h_{\text{св}}$) повітря після теплообмінника непрямого випарного охолодження і величину ефекта $E_{\text{ф}}$ (табл. 1).

Аналіз отриманих даних показав, що найменша загальна холодопродуктивність кондиціонера досягається при частці рециркуляції $x = 0,7$ (при значеннях цієї величини 0,8 і 0,9 побудувати процеси зміни стану повітря в $h-d$ – діаграмі не можливо). З іншого боку, реалізація процесів непрямого випарного охолодження для обраних режимів роботи СКП можлива тільки для значень x до 0,4, при цьому найбільший ефект досягається при $x = 0,1$. З огляду на те, що за санітарними нормами підмішування рециркуляційного повітря до зовнішнього допускається до 20 – 30 %, найменша холодопродуктивність кондиціонера для таких режимів буде досягнута при $x = 0,3$, тобто більший вплив на

Таблиця 1 – Результати розрахунків схеми з рециркуляцією для теплового періоду

x	$t_r, ^\circ\text{C}$	$\varphi_r, \%$	$t_{m.g}, ^\circ\text{C}$	$t_c, ^\circ\text{C}$	$h_c, \text{кДж/кг}$	$t_{CB}, ^\circ\text{C}$	$Q_{охл.1}, \text{кВт}$	$Q_{охл.2}, \text{кВт}$	$Q_{охл.}, \text{кВт}$	Еф, %
0,1	23,7	56,4	17,8	29,2	74	22,3	195	653,2	848,2	29,8
0,2	24,4	57,8	18,8	28	71	23,3	162	610,2	772,2	26,6
0,3	25,1	59,2	19,5	27,3	66,8	24	83,6	574,7	665,9	14,5
0,4	25,8	60,6	20,5	26,7	64,1	25	45,6	552	597,5	8,3
0,5	26,5	62	21,2	25,9	61	25,7	0	519	519	0
0,6	27,2	63,4	22	25	57,9	26,5	0	468,4	468,4	0
0,7	27,9	64,8	22,5	24,4	54,8	27	0	438	438	0

зменшення холодопродуктивності дає не використання випарного охолодження, а рециркуляція.

В холодний період за методикою [3] визначали витрату витяжного повітря, що надходить на ТУ ($L_{в.р}$), температуру ($t_{н1}$) та ентальпію ($h_{н1}$) припливного повітря після ТУ; температуру (t_k) і ентальпію (h_k) повітря після ПН1; потоки теплоти для нагрівання повітря в ПН1 ($Q_{ПН1}$) і утилізованої теплоти ($Q_{ут}$), а також ефективність утилізації ($E_{ф_{ут}} = [Q_{ут} / (Q_{ут} + Q_{ПН1})] 100, \%$) (табл.2).

Таблиця 2 – Результати розрахунків схеми з рециркуляцією для холодного періоду

x	$L_{в.р}, \text{кг/с}$	$t_{н1}, ^\circ\text{C}$	$h_{н1}, \text{кДж/кг}$	$t_k, ^\circ\text{C}$	$h_k, \text{кДж/кг}$	$Q_{ПН1}, \text{кВт}$	$Q_{ут}, \text{кВт}$	Еф _{ут} , %
0,1	11,37	6,6	7,8	33	34,5	396,1	430,2	52,1
0,2	10,10	4,8	6	30,6	32,5	393,1	403,5	50,7
0,3	8,84	2,6	3,8	29,6	31	403,5	370,9	47,8
0,4	7,58	0,9	1,8	27,5	29	403,5	341,2	45,8
0,5	6,31	-0,9	0,3	24	25,9	379,8	319	45,6
0,6	5,05	-	-	18	20	611,2	-	-
0,7	3,79	-	-	10,2	11,9	491	-	-
0,8	2,53	-	-	-6,5	-5	240,3	-	-

За результатами розрахунків видно, що в схемі з рециркуляцією в теплий період найбільший ефект непрямого випарного охолодження досягається при частці рециркуляції 10 %, а на загальне зменшення холодопродуктивності кондиціонера в цей період більший вплив має не пряме охолодження, а рециркуляція. В холодний період року найбільший ефект утилізації теплоти досягається також при частці рециркуляції 10 %.

Перелік посилань:

1. Zhiyin Duan, Indirect evaporative cooling: Past, present and future potentials / Zhiyin Duan, Changhong Zhan, Xingxing Zhang and others /Elsevier. Series: Renewable & Sustainable Energy Reviews – 2012. – № 16(9). - p. 6823-6850 - <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.07.007>.

2. Іжевська Т.Л. Центральні системи кондиціонування повітря з частковим непрямим випарним охолодженням / Т.Л. Іжевська, М.Ф.Боженко // Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики. У 2-х т. : Матеріали ХІХ 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., С. 306 – 307.

3. Боженко М.Ф. Енергозбереження в тепlopостачанні : Навч. посіб./ М.Ф.Боженко, В.П.Сало. - Київ. : НТУУ «КПІ», 2008. – 268 с.

СУЧАСНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЇ БУДІВЕЛЬ

Відомо, що в приміщеннях житлових та громадських будівель необхідно підтримувати розрахункову температуру внутрішнього повітря, яка обумовлюється відповідними нормативними документами України. В холодний період року забезпечення розрахункової температури досягається за рахунок компенсації теплових втрат через зовнішні огороження системами опалення. Для будівель, які були побудовані ще в ХХ столітті, зменшення витрати теплоти на опалення можна досягти за рахунок термоізоляції зовнішніх огорожень. Для нового будівництва повинні бути передбачені мінімально допустимі значення термічного опору теплопередачі, наприклад, зовнішніх стін, яке для першої температурної України складає $3,3 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)} / \text{Вт}$, а для другої – $2,8 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)} / \text{Вт}$.

Одним з перших матеріалів, що застосовувалися для утеплення будівель, стала *скловата*, яка є різновидом мінерального утеплювача. Зі скловати виготовляють мати і плити різної жорсткості, однак при укладанні цього утеплювача тонкі, майже невидимі волокна, при вдиханні або попаданні на шкіру викликають серйозні роздратування. Тому робота зі скловатою потребує спеціальної підготовки і застосування засобів індивідуального захисту [1].

Новим поколінням мінеральних утеплювачів є *кам'яна вата*, яка також є і відмінним звукоізолятором. Кам'яну вату виробляють з габро-базальтової породи, тому її також називають базальтовим утеплювачем. З кам'яної вати виготовляють плити, рулонні і фасонні утеплювачі (циліндри, сегменти). Кам'яну вату в будівлях використовують для утеплення стін, покрівлі, перекриттів тощо, а також і для вогнезахисту огорожень, зважаючи на її стійкість до високої температури [1].

Найпопулярнішим і доступним утеплювачем є *пінопласт* (спінений пінополістирол), який має низьку теплопровідність, вологонепроникний, легкий, довговічний, стійкий до температурних перепадів і несприятливих погодних умов. Недоліком пінопласту є його легке займання, виділення при горінні токсичних речовин. Але на сьогодні для утеплення потрібно використовувати слабоспалахуючий і самозатухаючий *пінополістирол*. Пінополістирол багато в чому схожий до пінопласту, але він більш щільний і міцний, вологонероникний, якісний та більш дорогий утеплювач. На основі полістиролу виробляють плити різної товщини, розмірів та жорсткості. Недоліком пінополістиролу є схильність до старіння під впливом сонячних променів, тому його після монтажу необхідно закривати облицювальним шаром штукатурки, ґрунтовки або фарби.

Ефективним матеріалом для внутрішньої тепло- і звукоізоляції стін, перегородок, стель, є *ізолон* – спінений поліетилен, який випускається у вигляді рулонного матеріалу або фольги. Ізолон укладають під облицювальний матеріал огорожень (гіпсокартон, вагонку, блок-хаус тощо). Теплоізоляційні характеристики ізолону у декілька разів перевищують пінопласт.

До напілюваних на фасади будівель теплоізоляційних матеріалів відноситься *пінополіуретан*, який отримують на місці монтажу змішуванням полізоціонату і поліолу. Реакція спінення відбувається безпосередньо на стіні, при цьому утворюється монолітна структура шару утеплювача, що є тепло- та звукоізолятором, стійким до проникнення вологи і коливанням температур, пожежонебезпечним тощо.

До іноваційних матеріалів для утеплення огорожень будівель можна віднести *пластмігран*, *теплольон*, *фіброліт*, а також рідкі утеплювачі – *теплофарби* [1].

Пластмігран створений на базі мінеральної вати і полістирольного пилу. Після змішування названих компонентів отриманий склад розміщується в металевому модулі, де під високим тиском він продувається парою. Отримані таким чином тонкі пластини

пластмігрину є міцним, вологонепроникним і стійким до вогню матеріалом, який легко монтується, а також і екологічно чистим, зважаючи на відсутність в ньому хімічних домішок. До недоліку пластмігрину відноситься його дорозвизна, тому виробництво цього утеплювача поки не знайшло широкого застосування.

Теплольон – утеплювач, який утворений на базі льняного волокна, а для отримання відповідної форми до волокон льону додають 15 % термоскріплюючого волокна. До переваг цього утеплювача відноситься екологічність, гарні тепло- і звукоізоляційні властивості, простота монтажу, довговічність тощо.

Фіброліт – теплоізоляційний матеріал, який створений на базі деревного волокна, рідкого скла і портландцементу. Перевагами цього утеплювача є великий термін служби (до 100 років), гарні тепло- та шумоізоляційні властивості, волого- та морозостійкість, легкість і зручність монтажу тощо. До недоліків фіброліту відноситься його висока ціна у порівнянні з традиційними утеплювачами.

Теплофарби складаються із наповнювача і сполученого. Наповнювачем можуть бути мікроскопічні сфери зі скла або кераміки, а сполученим – латекс, акрил або їх комбінації. Шар фарби товщиною, наприклад 1 мм, створює теплозахист, який еквівалентний мінеральному утеплювачу товщиною 25 мм.

Основні способи утеплення фасадів будівель:

- «мокрі» фасади (утеплення під штукатурку) – легкі або важкі штукатурні системи;
- багат шарові конструкції;
- вентильовані фасади.

При використанні системи «мокрого фасаду» утеплювачем можуть бути мінераловатні і полімерні плити, на поверхню яких наносять тонкий шар штукатурки.

У фасадній багат шаровій системі утеплювач розташовується між несучою і захисною фасадною кладкою, яка виконується з силікатної, клінкерної або керамічної цегли.

У вентильованій фасадній конструкції замість лицьової стіни застосовують листові чи плитні оздоблювальні матеріали, які виконують роль захисного екрана. Вентильовання теплоізолятора здійснюється влаштуванням повітряного прошарку між ним і зовнішнім оздобленням.

Вибір теплоізоляційного матеріалу здійснюють за необхідною міцністю, паропроникністю, мінімальним поглинанням вологи, пожежо- та екологічною безпекою і хімічною нейтральністю до кріпильних деталей, а товщину утеплювача – за мінімальною величиною зведених витрат, грн/м², яка визначається за формулою [2]

$$B = K_p + (B_{ек с} + a K_p) z_n, \quad (1)$$

де K_p – капіталовкладення в реконструкцію стіни, грн/м²; B – поточні витрати на компенсацію втрат теплоти через стіну, грн/(м² · рік); a – коефіцієнт амортизаційних відрахувань, 1/рік; z_n – нормативний термін окупності додаткових капіталовкладень, років.

Капіталовкладення в реконструкцію включають вартість матеріалів та будівельно-монтажних робіт.

При визначенні поточних експлуатаційних витрат необхідно врахувати питомі річні витрати теплоти на компенсацію втрат теплоти огороженнями, ГДж/(м²·рік), які залежать від термічного опору теплопередачі утеплювача, (м²·К)/Вт, різниці температур внутрішнього повітря і середньої на опалення, °С, продовжуваності опалювального періоду, дб/рік, а також вартості одиниці теплоти, грн/ГДж.

Перелік посилань:

1. Нові технології утеплення фасадів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://tdp.org.ua/novi-texnologii-uteplennya-fasadiv/>(1.02.22 р.).

2. Боженко М.Ф. Енергозбереження в теплопостачанні : Навч. посіб./ М.Ф.Боженко, В.П.Сало. - Київ. : НТУУ «КПІ», 2008. – 268 с.

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ КОТЕЛЕНЬ В СИСТЕМАХ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

Відомо, що системи теплопостачання поділяються на автономні, децентралізовані, помірно централізовані і централізовані. Джерелом теплопостачання, зокрема, в системах централізованого теплопостачання, теплова потужність яких перевищує 20 МВт, можуть бути районні котельні або ТЕЦ. Котельні, наприклад, поділяються на промислові, опалювальні, промислово-опалювальні.

Від промислово-опалювальної котельні (м. Харків) для покриття навантаження на технологію відпускається водяна пара витратою $D_T = 7,6$ т/год і гаряча вода на опалення, вентиляцію та гаряче водопостачання споживачів загальним тепловим навантаженням $\Sigma Q = 28,4$ МВт. В котельні встановлено 3 парових котли ДЕ-4-14ГМ і 4 водогрійних котли КВ-ГМ-6,5.

За каталогом заводів-виробників визначені температури димових газів на виході з парового котла $t'_{г.п} = 156$ °С, водогрійного - $t'_{г.в} = 153$ °С; витрата природного газу на паровий котел $B_{к.п} = 304$ м³/год, на водогрійний - $B_{к.п} = 830$ м³/год; коефіцієнт корисної дії парового котла $\eta_{к.п} = 90,3$ %, водогрійного - $\eta_{к.п} = 91,1$ %.

Для підвищення ефективності котельні пропонується в першу чергу її модернізації встановити за всіма водогрійними котлами КВ-ГМ-6,5 утилізатори теплоти димових газів (поверхневі калорифери), використавши їх для нагрівання води власних потреб.

Для заданого складу природного газу за методикою [1] визначені вологовміст продуктів згоряння $d'_г = 0,13$ кг/кг с.п, масова витрата сухих газів $G'_г = 13,82$ кг/м³.

Масову витрату сухих продуктів згоряння за кожним з водогрійних котлів, кг/с, визначали за формулою [1]

$$L'_{г.в} = \frac{B_{к.в}}{3600} G'_г, \quad (1)$$

яка складе 3,19 кг/с.

Ентальпія димових газів на виході з котлів, кДж/кг [1]

$$c_{с.г} t_{г} + (2500 + 1,97 t_{г}) d'_г, \quad (2)$$

де $c_{с.г}$ – теплоємність димових газів, кДж/кг, яку брали 1 кДж/кг.

Тоді згідно з формулою (2) величина $h'_{г.в} = 517,2$ кДж/кг.

Ентальпію димових газів на виході з калориферів визначали також за формулою (2) для так званого «сухого» режиму їх роботи (при температурі димових газів на виході з калориферів $t''_г = 60$ °С), тоді $h''_{г.в} = 400,4$ кДж/кг.

Можливу теплопродуктивність калориферів за димовими газами, кВт, визначали за формулою [1]

$$Q_{г.і} = L'_{г.і} (h'_{г.і} - h''_{г.і}). \quad (3)$$

З урахуванням визначених вище величин теплопродуктивність калориферних установок за кожним з водогрійних котлів складе 372,6 кВт, а сумарна для чотирьох котлів - $Q_г = 1490,4$ кВт.

Необхідне теплове навантаження для нагрівання води власних потреб котельні, кВт, визначаємо за формулою [1]

$$Q_{в.і} = G_{в.і} c_{в.і} (t''_{в.і} - t'_{в.і}), \quad (4)$$

де $G_{в.і}$ – витрата води, кг/с; $c_{в.і}$ - теплоємність води, кДж/(кг·К), беремо 4,19 кДж/(кг·К); $t'_{в.і}$ і $t''_{в.і}$ - температури води на вході в калорифер і виході з нього відповідно, °С.

Для нагрівання сирі води витратою $G_{c.b} = 5,05$ кг/с, яка отримана з розрахунку теплової схеми котельні, і температур $t'_{c.b} = 5$ °С та $t''_{c.b} = 25$ °С, необхідно витратити $Q_{c.b} = 423,2$ кВт теплоти.

Сиру воду рекомендовано нагрівати в калориферних установках за двома водогрійними котлами, при цьому теплопродуктивність кожної з них складе $Q_{T1} = Q_{T2} = 211,6$ кВт, а витрати сирі води відповідно $G_{c.b1} = G_{c.b2} = 2,525$ кг/с. Оскільки можлива теплопродуктивність цих калориферних установок використана не повністю, то при витраті продуктів згоряння через кожну калориферну установку 3,19 кг/с за методикою [1] визначили дійсні температури димових газів на виході з них, які становлять $t''_r = 81,5$ °С.

Для нагрівання хімічно підготовленої води витратою $G_{xbo} = 4,214$ кг/с, яка отримана з розрахунку теплової схеми котельні, від температурі на вході $t'_{xbo} = 25$ °С, будуть задіяні калориферні установки, що встановлюються за іншими двома водогрійними котлами. Теплопродуктивність кожної з них становитиме $Q_{T3} = Q_{T4} = 372,6$ кВт, а витрати хімічно підготовленої води відповідно $G_{xbo3} = G_{xbo4} = 2,107$ кг/с. Кінцеву температуру води після кожної калориферної установки при витраті продуктів згоряння 3,19 кг/с і кінцевій температурі $t''_r = 60$ °С визначали за рівнянням вигляду (4), яка становитиме $t''_{xbo} = 62,7$ °С.

Вибір калориферних установок виконаний за методикою [1], результати розрахунків наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Результати вибору калориферних установок

Показник	Калориферні установки	
	T1, T2 за ВК1 і ВК2 для нагріву сирі води	T3, T4 за ВК3 і ВК4 для нагріву хім. підг. води
Q_k , кВт	211,6	372,6
t'_r , °С	153	153
t''_r , °С	81,5	60
t'_b , °С	5	25
t''_b , °С	25	67,2
$(\rho v)_r$, кг/(с·м ²)	3,2	3,2
ω_b , м/с	1	0,63
K , Вт/(м ² ·К)	48,7	42,13
Δt_{cp} , °С	102,2	55
Модель, номер	КСк3-7	КСк4-7
Кількість калориферів, спосіб під'єднання	$n_{заг} = 3; N = 3; n_k = 3;$ $n_r = 1; n_b = 1$	$n_{заг} = 9; N = 3; n_k = 3;$ $n_r = 3; n_b = 3$
F_T , м ²	42,5	160,8
F_d , м ²	49,02	193,23

Примітки: $n_{заг}$ – загальна кількість калориферів; N – кількість паралельних у фронтальному перетині; n_k – кількість паралельних за напрямком руху води; n_r 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.

УДК 620.19

Магістрант 1 курсу, гр. ОТ-21мп Чумак Н.В.;
Доц., к.т.н. Дубровська В.В., доц., к.т.н. Шкляр В.І.

ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМИ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАВЧАЛЬНОГО КОРПУСУ

Раціональне використання паливно-енергетичних ресурсів є однією з актуальних проблем сьогодення. Багато промислово розвинених країн використовують значні потужності сонячної енергетики для доповнення або надання альтернативи звичайним джерелам енергії.

Генерація електроенергії з сонячного випромінювання за допомогою фотоелектричних перетворювачів є екологічно чистим методом у порівнянні з використанням органічного палива і може використовуватися для електропостачання будівлі або продаватися в загальнодоступну електромережу.

Об'єктом дослідження слугує навчальний корпус №15 НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», який побудований у 1965 році. Будівля корпусу цегляна має плоский дах, вкритий руберойдом. Загальна площа даху $18,70 \times 33,41 = 624 \text{ м}^2$. Корпус користується наступними енергоресурсами: електрична енергія, теплова енергія, вода:

Фактичне електроспоживання : 69157 кВт·год.

Річне споживання теплової енергії: 137,72 Гкал= 160203кВт·год.

Річне споживання води: 244,40 м³.

Метою роботи є використання енергетичного моделювання для проведення техніко-економічної оцінки впровадження заходів з енергозбереження для будівлі з застосуванням ВДЕ. В роботі проведено моделювання сонячної електростанції для забезпечення енергоспоживання корпусу. Проектування системи альтернативних джерел енергії зроблено в програмному середовищі PV*SOL premium [1].

PV*SOL premium здійснює динамічне моделювання з 3D візуалізацією та детальним аналізом затінення для розрахунку фотоелектричних систем у поєднанні з електричними приладами, акумуляторними системами [2].

Пропонується на даху будівлі встановити фотоелектричну систему, яка задовольнятиме частину енергопотреби будівлі та буде підключена до загальної електромережі для продажу електроенергії при її надлишку. В ході роботи в програмі, запропонована сонячна панель типу Ja Solar JAM72S30-540/MR та інвертор Huawei SUN2000-50KTL-M3 потужністю 55 кВА. Загалом передбачається розмістити 97 модулів з південною орієнтацією під кутом 30 ° до горизонту та 14,6 ° (рис.1) до короткої сторони будівлі.

З метою отримання більш високого коефіцієнту продуктивності панелей були проаналізовані 3 відстані між рядами запроєктованих панелей і проведено їх порівняння. В результаті коефіцієнт продуктивності значно більший при відстані між рядами модулів 1 м, а саме складає 88,4 %. Для відстані 0,6 м – 86,3% , а для 0,8- 87,5%.

Фотоелектрична система загалом виробляє (рис. 2) 65465 (кВт·год)/рік, з яких 35537 (кВт·год)/рік споживає сама будівля, а 29928 (кВт·год)/рік віддає в мережу, при цьому з самої зовнішньої мережі будівля добирає (наприклад, коли недостатньо сонячної радіації для генерування необхідної кількості електричної енергії) 33644 (кВт·год)/рік. Сонячна генерація покриває 54% від потреби на власне споживання. З балансу електричної енергії сонячна фотоелектрична система може виробити 95 % від необхідної корпусу електричної енергії.



Рисунок 1 - Розміщення фотоелектричних панелей на даху будівлі при відстані між рядами модулів 1 м з врахуванням затінення і вентиляційних елементів даху будівлі



Рисунок 2 - Результати моделювання

Утеплення зовнішніх конструкцій будівлі та заміна дерев'яних вікон на енергозберігаючі дозволить зменшити споживання електричної енергії, яка йде на опалення приміщень на початку та в кінці опалювального сезону, або при недостатній кількості теплоти з системи опалення.

За допомогою моделювання в програмі PV*SOL визначено оптимальний кут встановлення фотоелектричних панелей (30 °) та відстань між їх рядами (1 м). Пропонується встановити 97 панелей, які згенерують 65465 (кВт·год)/рік електричної енергії для споживачів, які знаходяться безпосередньо в корпусі або інших корпусах університету.

Перелік посилань:

1. Програмне середовище PV*SOL. URL: <https://valentin-software.com/>
2. Прикладні задачі енергозбереження: Моделювання сонячної електростанції для забезпечення енергоспоживання будівлі: Комп'ютерний практикум [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 144 «Теплоенергетика» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: І.О. Суходуб, В.І. Дешко, О.І. Яценко. – Електронні текстові дані (1 файл: 15,1 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 57 с.

ОЦІНЮВАННЯ РІВНЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАКЛАДУ ОСВІТИ ПРИ ВПРОВАДЖЕННІ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ РЕЖИМІВ ОПАЛЕННЯ ДЛЯ РІЗНИХ КЛІМАТИЧНИХ УМОВ

Енергоефективність є однією з ключових тем, що стали дуже актуальними в останні роки. В будівлях, як кінцеві споживачі енергії, зосереджений найбільший потенціал енергозбереження. І водночас, важливою складовою енергоефективності є оптимальне використання енергоресурсів, де лівова частка припадає на споживання теплової енергії. В цьому контексті, графіки чергування опалення [1] стають важливим інструментом для досягнення цієї мети.

Використання графіків чергування опалення дозволяє знизити споживання енергоресурсів, зберігаючи при цьому комфортні умови в приміщенні в період перебування мешканців/відвідувачів. Для бюджетних установ, зокрема закладах освіти, організація енергоефективних режимів опалення є важливою складовою на шляху до ефективного енерговикористання в умовах обмеженості фінансування. В рамках реалізації концепції з близьким до нульового споживання енергії в будівлях використання відновлювальних джерел енергії розраховується з врахуванням переривчастих режимів роботи систем опалення. Світові тенденції щодо оцінювання енергетичної ефективності будівель спрямовані на використання динамічного моделювання на базі спеціалізованих програмних комплексів Design Builder, EnergyPlus, eQuest та інші [2].

Метою дослідження є оцінювання впливу графіків чергування опалення на рівень енергоефективності школи розташованої в різних регіонах.

Об'єкт дослідження загальноосвітня школа, опалювальна площа 2705,5 м², опалювальний об'єм 8451 м³, прийняття в експлуатацію 1989 році. Стіни будівлі виконані з керамічної цегли в дві цеглини та утеплені мінеральною ватою товщиною 100 мм, термічний опір – 3.21 м²·К/Вт. Цоколь, підлога та дах будівлі неутеплений. Вікна металопластикові, термічний опір – 0.62 м²·К/Вт. Коефіцієнт скління фасаду становить 0,2. Школа пройшла часткову термомодернізацію.

В порграмному середовищі Design Builder [3] було побудовано 3D модель будівлі (рис. 1,а), проведено зонування (рис.1,б вигляд типового поверху). Розрахунок проведено для трьох варіантів режимів опалення (табл. 1). Модельний розрахунок проведений для школи розташованої м. Київ та м. Одеса, що є представниками двох кліматичних зон. Погодинні кліматичні дані взяті для типового року погодного файлу IWEC двох міст, відповідно.

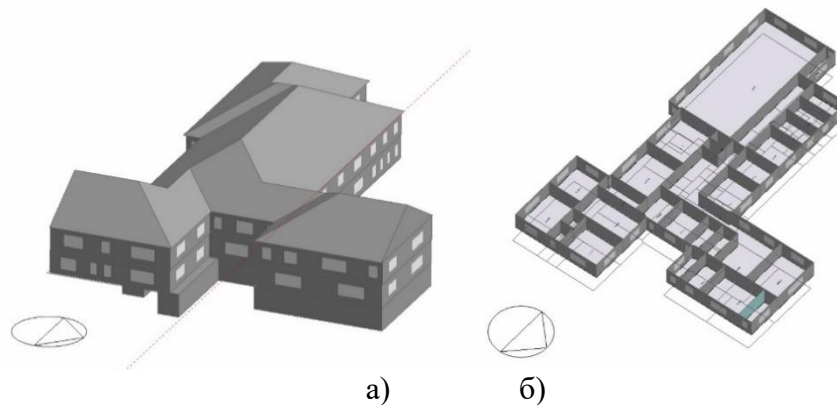


Рисунок 1 – 3D модель будівлі школи з врахуванням зонування

Таблиця 1 – Графіки експлуатації будівлі та роботи системи опалення

Варіанти моделювання	$t_{вн}, ^\circ\text{C}$	Графік присутності людей в приміщенні
1	24/7 – 20°C	07:00-19:00 пн-пт окрім офіційних вихідних, святкових днів та канікул
2	Будні 24/7 – 20°C Канікули та вихідні 24/7 - 17°C	
3	Будні 00:00-07:00 - 17°C 07:00-19:00 – 20°C 19:00-24:00 - 17°C Канікули та вихідні 24/7- 17°C	

Відповідно до стандарту [4] було обрано допустиму глибину пониження температури в будівлі при впровадженні чергових режимів опалення в школі. На рис. 2 представлено питому річну енергопотребу школи для різних режимів опалення.

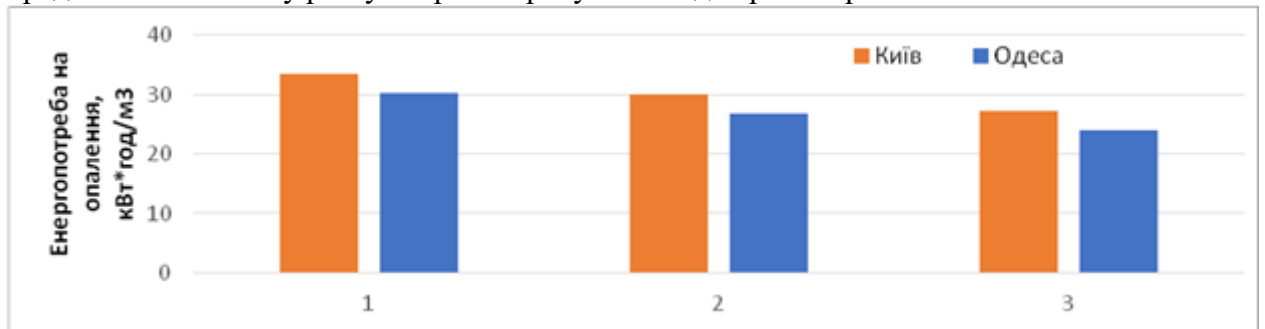


Рисунок 2 – Енергопотреба школи на опалення

При постійному режимі опалення енергопотреба школи розташованої м.Одеса на 9,7% менша ніж для школи розташованої в м.Київ. Пониження температури в приміщеннях школи на вихідні та святкові дні до 17°C (варіант 2) дозволяє заощадити 10% енергії для школи в м.Київ, 11% - м.Одеса. За умови пониження температури повітря в школі у неробочого години, вихідні та святкові дні дозволяє понизити енергопотребу до 18% у Києві та 20% - Одесі. Для м.Одеса характерним є більший відсоток економії теплової енергії на потреби опалення, що пов'язано з кліматичними умовами.

Відповідно до норм максимальної питомої енергопотреби на опалення, охолодження та ГВП заклади освіти мають споживати 28 кВт·год/м³ – для I кліматичної зони (м.Київ), 30 кВт·год/м³ – для II кліматичної зони (м.Одеса) [5]. Відповідно до стандарту [4] питома енергопотреба на потреби ГВП становить 10 кВт·год/м², тобто норми максимальної питомої енергопотреби на опалення, охолодження закладів освіти становлять 25 та 27 кВт·год/м³, відповідно. В подальших дослідженнях заплановано провести імітаційне моделювання енергопотреби школи для періоду охолодження.

Перелік посилань:

1. Білоус І.Ю., Дешко В.І., Буяк Н.А., Петрученко О.В. Аналіз впливу енергоефективних режимів опалення на енергоспоживання будівель на основі математичного моделювання. Науковий журнал «Енергетика: економіка, технології, екологія». 2021. №4. С. 32-42
2. Bilous I., Deshko V., Biriukov D., Yatsenko O. Transient Energy Models of Housing Facilities Operation. Rocznik Ochrona Srodowiska, 2021, 23, стр. 539–551.
3. DesignBuilder User Manual: <https://designbuilder.co.uk/helpv6.0/>
4. 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.
5. ДБН В.2.6-31:2016. Конструкції будинків та споруд. Теплова ізоляція будівель. К.: Мінбуд України, 2017. 37 с.

РОЗРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕВЕДЕННЯ ПОБУТОВОГО ВОДОГРІЙНОГО КОТЛА НА ВОДОЕМУЛЬСІЙНЕ ПАЛИВО

1. Актуальність

Поточні обмеження паливних ресурсів і обмеження на забруднення навколишнього середовища спрямували дослідницькі програми по всьому світу на впровадження нових методів і методологій, які не тільки забезпечують раціональне споживання палива, але й утримують наднизькі рівні викидів від різних пристроїв спалювання. Існуючі технології спалювання важких обводнених вуглеводнів є неякісними і, відповідно, є доцільним розроблення нових або оптимізація існуючих. Це дозволить знизити енерговитрати на технологічні підготовчі операції із обезводнення палив, зменшити кількість забруднених нафтопродуктами водойм, знизити до мінімуму їх шкідливий вплив на навколишнє середовище. Одним із перспективних напрямків вирішення спалювання важких обводнених вуглеводнів є застосування водоемульсійних палив (ВЕП). Стійкість та ефективність горіння такої паливної емульсії значно буде залежати від наявної кількості та дисперсності води у ВЕП.

Сьогодні такі технології емульгування та параметри ВЕП ще недостатньо вивчені, тому мають велике наукове та практичне значення. Проведений аналіз теорії, які описують вплив дисперсності та кількості води у емульсії на показники горіння, показує, що вони є суперечливими. Це може бути наслідком різноманітних фізичних характеристик палива: складу, в'язкості, температури та ін., що і спричинило отримання різних результатів. Оскільки дослідження різними авторами проводились за різних умов, режимів, обладнання та з різними паливними емульсіями, неможливо вказати оптимальне значення дисперсності та кількості води. Очевидно, що у кожному випадку буде різна оптимальна «поверхня» співвідношень розмірів крапель води і її кількості у ВЕП.

ВЕП – це система, що складається з двох рідких фаз, одна з яких диспергована у вигляді крапель в іншу [1]. Рідина, яка роздроблена на краплі, називається дисперсною фазою, а рідина, у якій знаходяться ці краплі, називається дисперсійним середовищем. Дві рідини, наприклад, мастило (М) та вода (В), можуть утворювати два види емульсії: мастило у воді (М/В) – пряму емульсію, і вода в мастилі (В/М) – зворотну [2]. Найбільший практичне значення мають зворотні емульсії. Тому, в подальшому під терміном «емульсія» чи «паливна емульсія» (ПЕ) матиметься на увазі – зворотна емульсія.

2. Принцип роботи та схема установки

Для дослідження було обрано експериментальну методику – було створено експериментальний стенд, розроблено методику проведення вимірювання та обробки дослідних величин на базі ДСТУ 3948-2000 [3]. Планується впровадження технології у серійне виробництво.

Основою досліджуваної установки є водно-паливна емульсія, відсотковий вміст води у якій змінюється від 0% до 70%. Спалювання відбувається у камері згорання, до якої подано стримерний розряд глибиною 15см, що генерується генератором Тесли.

Принципову схему експериментального стенду представлено на Рисунку 1

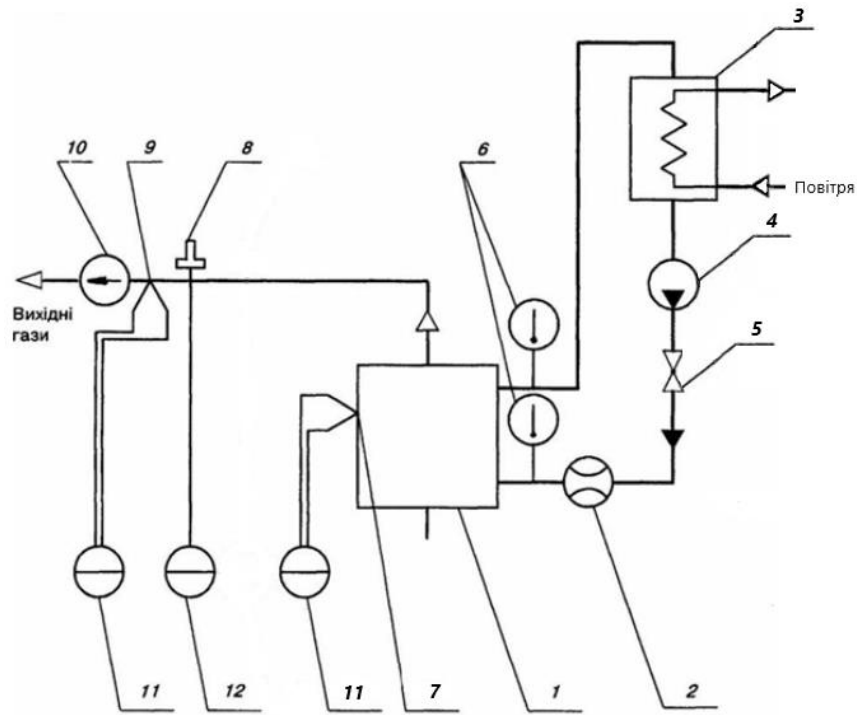


Рисунок 1 - Принципова схема експериментального стенду

1 — котел; 2— засіб вимірювання витрати води; 3— теплообмінник; 4— циркуляційний насос; 5— кран; 6— термометр; 7— термопара поверхнева; 8— пробовідбірник продуктів згоряння; 9— термопара; 10— димосос; 11— потенціометр; 12 — газоаналізатор.

3. Опрацювання результатів вимірювань

Для дослідження планується обчислити теплопродуктивність котла для кожного складу з відсотковим вмістом води в емульгованому паливі від 0 до 70%, вивести математичну залежність та визначити оптимальні робочі параметри з огляду на техніко-економічні показники.

Номінальна теплопродуктивність котла O_k , в кіловатах, для котлів на рідкому паливі, дорівнює:

$$Q_k = Q_v \quad (1)$$

де O_s — складник теплопродуктивності котла, обумовлений відведенням тепла водою, кВт, і визначається за формулою:

$$Q_v = 0,00116 \cdot G_v \cdot (t_r - t_x), \quad (2)$$

де G_v — витрати води через котел, кг/год;

t_r — температура води на виході з котла, °С;

t_x — температура води на вході в котел, °С.

Перелік посилань:

1. В. О. Мельник. Вплив складу та дисперсності водо-емульсійних палив на екологічні та економічні показники горіння. Нафтогазова енергетика 2020. No 1(33)

2. Т. Kadota, Н. Yamasaki, Recent advances in the combustion of water fuel emulsion, Progress in Energy and Combustion Science 28 (2002) 385–404.

3. ДСТУ 3948-2000, Котли опалювальні водогрійні теплопродуктивністю до 100 кВт. Методи випробування і контролю теплотехнічних показників.

ТЕПЛОНАСОСНА СИСТЕМА ОПАЛЕННЯ БУДИНКУ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕПЛОТИ ПРИРОДНОЇ ВОДИ І ГРУНТУ

В Україні існує проблема з приводу раціонального використання природних енергоресурсів та охорони довкілля. На даний час одним із загально визнаних напрямків в вирішенні цієї проблеми є застосування теплонасосних технологій в різних галузях господарства і, зокрема, в теплопостачанні. Використання теплових насосів (ТН) допоможе знизити витрати енергії при теплопостачанні та зменшити кількість шкідливих викидів.

Ефективність роботи теплонасосних систем теплопостачання залежить від раціональних умов використання нижніх джерел теплоти. В роботах [1-3] наведено результати дослідження енергетичної ефективності таких систем і, зокрема, систем з використанням теплоти ґрунту і теплоти природної води. Разом з цим, набувають поширення комбіновані системи з використанням декількох нижніх джерел теплоти, що потребує проведення додаткових досліджень. На рис. 1 запропонована принципова теплонасосна система (ТНС) низькотемпературного водяного опалення з використанням теплоти природної води та ґрунту. Поєднання цих джерел теплоти в одній теплонасосній установці дозволить усунути недоліки при використанні окремих джерел теплоти і отримати кращі показники роботи ТН. Отже, при будівництві нових забудов поблизу відкритих водойм можна використати дану ТНС. Доцільність такого використання повинна оцінюватися з урахуванням фізичних характеристик теплообмінних пристроїв, що застосовуються.

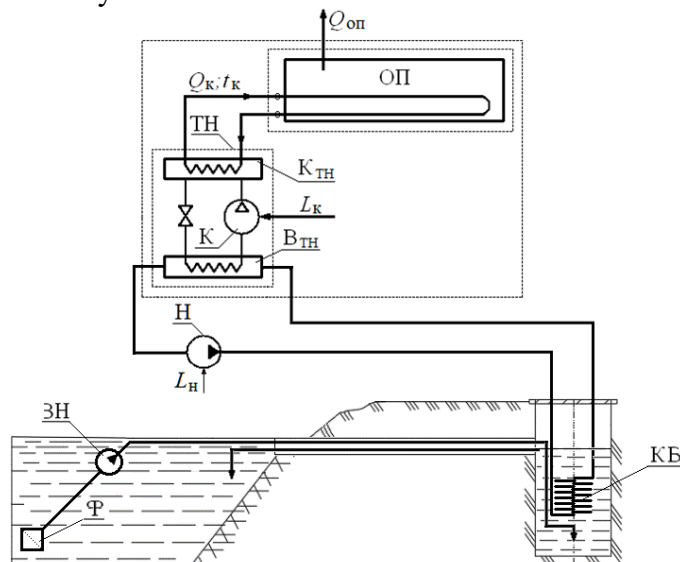


Рисунок 1 – Принципова ТНС низько-температурного водяного опалення з використанням теплоти природної води та ґрунту: ОП – опалювальне приміщення, ТН – тепловий насос, $K_{ТН}$ – конденсатор ТН, $B_{ТН}$ – випарник ТН, К – компресор, Н – насос, $L_к$ – робота приводу компресора ТН, $L_н$ – робота приводу насоса.

На основі методу балансних рівнянь розроблено теоретичну модель вказаного схемного рішення ТНС теплопостачання та методику термодинамічного аналізу її роботи. З використанням числового методу отримано дані щодо оптимальних характеристик теплообмінника для теплонасосної системи опалення.

На основі термодинамічного аналізу принципової теплонасосної схеми з урахуванням оптимального ступеня охолодження етиленгліколю у випарнику теплового насоса за рахунок чого забезпечуються мінімальні енергетичні затрати на теплонасосну систему, отримано оптимальне співвідношення між характеристиками теплообмінника, а саме довжина труби, діаметр труби та швидкість руху теплоносія. Отримані оптимальні характеристики теплообмінника залежать в основному від різниці температур води у

колодязі та середньої температури етиленгліколю, що циркулює всередині труби, яка впливає на питомий тепловий потік, підведений до теплообмінника, слабо залежать від теплофізичних характеристик теплоносія і практично не залежать від температурних умов роботи теплонасосної системи.

На рис. 2 і 3 наведена графічна інтерпретація отриманих оптимальних характеристик бухти теплообмінника при різниці температур води у колодязі і середньої температури етиленгліколя, що циркулює всередині поліетиленової труби, рівній $\Delta t=4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Оптимальна довжина поліетиленової труби в бухті контуру теплообмінника може бути визначена з рис. 2 в залежності від вибраного значення швидкості руху теплоносія та діаметра труби.

При визначених, таким чином, величинах довжини труби бухти ТО ($L_{\text{ТО}}^{\text{опт}}$) і прийнятому діаметрі поліетиленової труби в бухті (d_3) рис. 3 дозволяє визначити відповідний перепад тиску $\Delta p_{\text{ТО}}$ в бухті теплообмінника, після чого може бути визначено загальний перепад тиску в контурі нижнього джерела теплоти для підбору циркуляційного насоса.

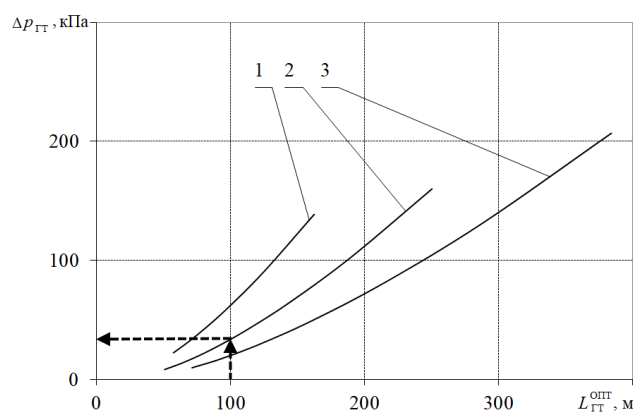
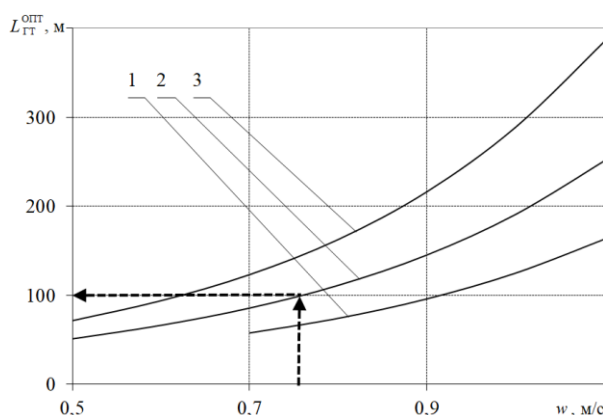


Рисунок 2 - Залежність довжини бухти теплообмінника від швидкості руху водяного розчину етиленгліколю

Рисунок 3 - Залежність втрат тиску у теплообміннику від довжини труби при різниці температур води у колодязі і середній температурі етиленгліколю, що циркулює всередині поліетиленової труби, рівній $\Delta t=4\text{ }^{\circ}\text{C}$: 1 – $d_3=33\text{ мм}$; 2 – $d_3=42\text{ мм}$; 3 – $d_3=48\text{ мм}$.

Навпаки, якщо вхідною величиною при проектуванні бухти, поміщеної в колодязь, є тиск циркуляційного насоса, то за допомогою графіків на рис. 3 можна визначити оптимальне співвідношення довжини і діаметра труби і потім з рис. 2 знайти відповідне значення швидкості руху теплоносія, що має бути враховане при визначенні необхідної витрати теплоносія через теплообмінник в залежності від теплової потужності ТН для даного об'єкту тепlopостачання. На основі отриманих параметрів для однієї бухти може бути визначена необхідна кількість бухт, паралельно підключених в залежності від теплової потужності ТН для даного об'єкту тепlopостачання.

Перелік посилань:

1. Безродний М. К. Теплові насоси та їх використання [Текст] : навч. посіб. / М. К. Безродний, І. І. Пуховий, Д. С. Кутра. – К.: НТУУ «КПІ», 2013. – 312 с.
2. Barbara Larwa, Krzysztof Kupiec Heat transfer in the ground with a horizontal heat exchanger installed – Long-term thermal effects / Applied Thermal Engineering, Volume 164, 5 January 2020, 114539
3. Безродний М.К Термодинамічна та енергетична ефективність теплонасосних схем тепlopостачання: монографія / М. К. Безродний, Н. О. Притула. – К. : НТУУ «КПІ», 2016. – 272 с.

УДК 620.9

Магістрант 2 курсу, гр. ОТ-21мп Шевченко Д.І.

Ст.викл., к.т.н. Шевченко О.М.

ЕНЕРГЕТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВАРІАНТІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЛІ ПІСЛЯ ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЇ

Фонд будівель є значним споживачем енергії у світі, що складає близько 40% загального світового споживання енергії та приблизно одну третину глобальних викидів парникових газів. В той же час, близько 66% житлових будинків в Україні старше 50 років, а майже 80% житлового фонду до 2019 року є неефективними з точки зору енергоспоживання..

Питання підвищення енергоефективності у світі давно не розглядається як окреме завдання, а є необхідністю для виконання кліматичних зобов'язань міжнародної спільноти. Зокрема, Європейський Зелений Курс передбачає дорожню карту заходів, які покликані перетворити ЄС на ефективну, стійку та конкурентоспроможну економіку.

Відповідно до Концепції зеленого енергетичного переходу України до 2050 року, визначальними напрямками «зеленого переходу» стають саме енергетичні (енергоефективність і відновлювані джерела енергії, посилення електрифікації різних галузей економіки, зменшення використання технологій на базі викопних видів палива).

В Україні запроваджується ціла низка програм термомодернізації будівель в першу чергу житлового фонду, зокрема програми Фонду енергоефективності, а також низка міжнародних та національних проєктів підвищення енергоефективності громадських будівель територіальних громад. Однак, вимоги до енергоефективності будівель постійно зростають та переглядаються, що змушує застосовувати нові покращення та цим самим забезпечувати скорочення споживання енергії без погіршення комфортних умов, якості та безпеки перебування у будівлі.

У статті на прикладі новозведеної будівлі гуртожитку №5 КПІ ім. Ігоря Сікорського досліджуються сценарії подальшої енергоефективної модернізації будівлі у напрямку до будівлі з нульовим споживанням енергії. Дане питання є актуальним, адже з часом частка термомодернізованих будівель лише зростатиме. Це призводить до необхідності не лише енергоефективної експлуатації будівель, а й розробки рішень суттєвих енергоефективних поліпшень чи впровадження відновлюваних джерел енергії для забезпечення відповідності існуючого/термомодернізованого фонду будівель сучасним вимогам.

Базові показники об'єкту дослідження наведені в таблиці 1. За рівнем енергоефективності будівля відповідає класу «С», відповідно до національної системи класифікації енергетичної ефективності будівель в Україні [1].

Таблиця 1 - Показники енергоефективності гуртожитку № 5 КПІ ім. Ігоря Сікорського

№№ з/п	Найменування показника	Значення показника, м ² *К/Вт	Вимоги по теплозахисту ДБН Теплова ізоляція	
			на момент введення в експлуатацію (2021 рік)	з 1.09.2022 року
1	Опір теплопередачі:	за проєктом		
1.1	- Зовнішні стіни	3,45-4,91	3,3	4,0
1.2	- Покриття опалювальних горищ (технічних поверхів)	5,92	4,95	6,0
1.3	- Перекриття над проїздом	4,63	3,75	5,0

1.4	- Світлопрозорі огороження	0,75	0,75	0,9
1.5	- Підлога на ґрунті	3,24	-	-
1.6	- Зовнішні двері	0,6	0,6	0,7

Для визначення найкращих комбінацій сценаріїв енергоефективної модернізації будівлі, було визначено за доцільне проведення моделювання будівлі за допомогою програмного забезпечення Design Builder. Програма дозволяє виконати енергетичний аналіз, а також надає цифрове представлення всіх фізичних і функціональних елементів будівлі у 3-d моделі (рис.1). По закінченню моделювання річні енерговитрати та викиди CO₂ за сценаріями енергоефективної модернізації порівнюються та сценарії ранжуються з метою подальшого обрання найкращого з урахуванням економічного, екологічного, енергетичного та соціального чинників.

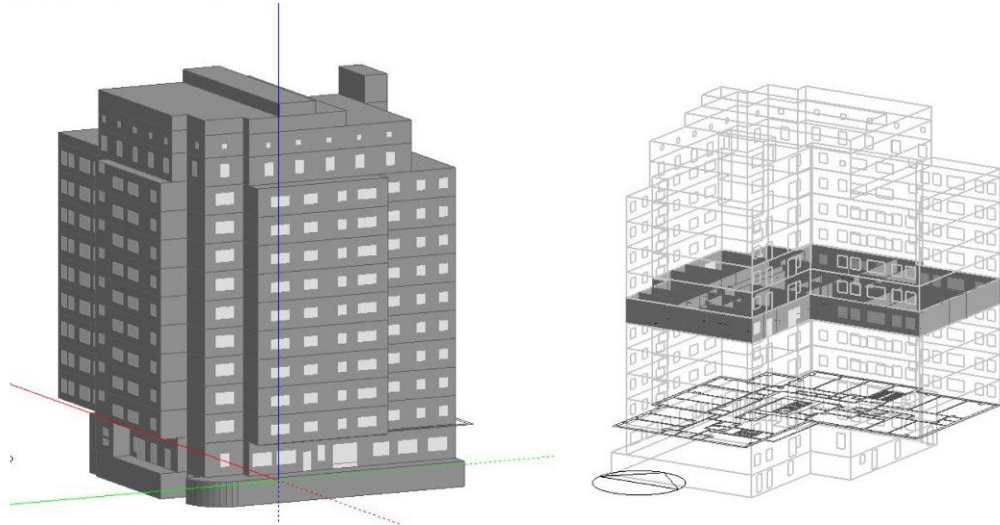


Рисунок 1 - 3-d модель досліджуваного об'єкту, побудована у середовищі Design Builder

Досліджувані заходи стосуються в першу чергу енергоефективної модернізації інженерних систем будівлі та запровадження відновлюваних джерел енергії.

Нижче представлені етапи виконання дослідження:

Етап 1 - Визначення теплозахисних характеристик огорожувальних конструкцій будівлі, інших експлуатаційних та кліматичних показників.

Етап 2 - Розрахунок енергопотреб на опалення та охолодження відповідно до [2].

Етап 3 - Розробка сценаріїв енергоефективної модернізації.

Етап 4 - Розрахунок річного споживання енергії, витрат на енергію та CO₂ для різних сценаріїв.

Етап 5 - використання методів багатокритеріального аналізу для визначення найкращого сценарію для кожного випадку.

Запропоновано розглянути наступні варіанти енергоефективної модернізації:

1. Встановлення: по квартирному обліку теплової енергії та місцевого авторегулювання подачі теплоносія на прилади системи опалення; системи віддаленого моніторингу енергетичних та температурних параметрів у будівлі.

2. Використання теплового насоса для охолодження та опалення.

3. Встановлення фотоелектричних панелей на даху будівлі;

4. Встановлення геліосистеми для покриття потреба в ГВП на даху будівлі.

В подальших дослідженнях, на основі побудованої спрощеної моделі будівлі, що

Перелік посилань

1. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель

2. ДСТУ Б А.2.2-12:2015. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВІТРООБМІНУ З УРАХУВАННЯМ МАСОПЕРЕНОСУ CO₂ В КВАРТИРІ

Підвищення рівня енергоефективності багатоквартирних житлових будинків з дотриманням умов комфорту в приміщеннях є одним з пріоритетних напрямків енергетичної політики України. В більшості випадків при підвищенні рівня енергоефективності після заходів з термомодернізації, підвищенню герметизації будівлі велику увагу приділяють вентиляційній складовій. Частка витрат з вентиляційним повітрям може сягати 70% за умов дотримування вимог щодо повітрообміну [1].

Забезпечення належного повітрообміну в приміщенні дає змогу підтримувати комфортні умови. В закритих приміщеннях в повітря забруднюється продуктами людського метаболізму, в першу чергу зростає рівень діоксиду вуглецю, що негативно позначається на самопочутті людей, викликає сонливість, головний біль, втрату працездатності.

За рівнем CO₂ можна оцінювати якість повітря у приміщеннях. Концентрація вуглекислого газу змінюється залежно від кількості людей у приміщенні, тривалості їх перебування в ньому та рівня повітрообміну [2]. У більшості існуючих будівель вентиляція не передбачається або не працює, а вентиляція приміщень в будівлях відбувається за рахунок провітрювання та інфільтрації через вікна, двері тощо. [2].

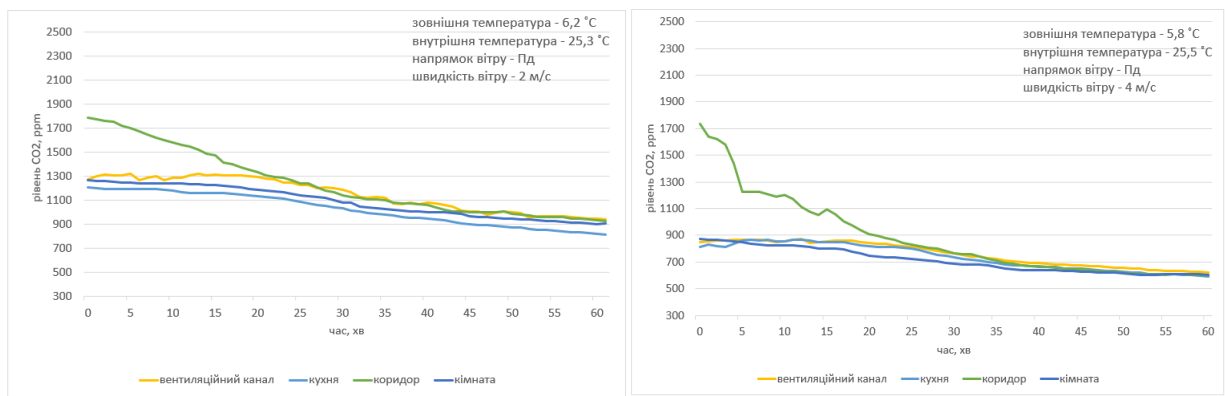
Метою дослідження є експериментальне дослідження концентрації CO₂ у типовій квартирі та визначення повітрообміну на основі масових балансів.

Об'єкт дослідження. Об'єктом дослідження є однокімнатна квартира в 9-поверховому гуртожитку сімейного типу в м. Київ. Огороджуючі конструкції будівлі відповідають вимогам масової забудови 80-х років ХХ століття і мають низький термічний опір. В гуртожитку функціонує канална природна вентиляція.

Серія досліджень зміни концентрації вуглекислого газу в приміщеннях проводилась в зимовий період. Репрезентативна однокімнатна квартира знаходиться на 9 поверсі. В рамках дослідження проводились експериментальні заміри зміни концентрації вуглекислого газу в приміщеннях житлової кімнати, кухні, коридору квартири та у вентиляційному каналі, що виходить на кухню. Також фіксувались кліматичні данні, а саме температура в приміщеннях квартири, зовнішня температура, напрямок та сила вітру. Рівень вуглекислого газу в зовнішньому повітрі під час експериментів був в межах 390-430 ppm.

В результаті проведених досліджень були виділені два механізми повітрообміну в квартирі. В першому випадку повітря надходило через вікна і вхідні двері квартири і викидалось через вентиляційний канал. І другому випадку припливне повітря надходило з вентиляції і через вхідні двері виходило через вікна на кухні і в кімнати.

Підвищення концентрації вуглекислого газу в приміщеннях квартири відбувалось шляхом штучного нагнітання високого рівня концентрації CO₂ в квартирі (спалювання сухого спирту) в коридорі квартири за умов відсутності людей у квартирі. Усі вікна та міжкімнатні двері в квартирі під час експерименту були зачинені. На рис. 1 наведено результати вимірювань рівня вуглекислого газу в приміщеннях кухні, коридору квартири, житлової кімнати та вентиляційному каналі за умов нагнітання рівня CO₂ в приміщенні коридору. З ри.1 слідує, що рівень CO₂ у вентиляційному каналі (1300 ppm – рис. 1, а, 900 ppm – рис. 1, б) значно вищий за фонову концентрацію CO₂ в зовнішньому повітрі - 390-430 ppm. Крива зміни рівня CO₂ у вентиляційному каналі подібна до кривої зміни рівня CO₂ на кухні, що свідчить про те, що повітря з приміщення кухні виходить через вентиляційний канал. Відповідно, свіже повітря до квартири знаходить через вікна і вхідні двері.



а)

б)

Рисунок 1 - Зміна концентрації вуглекислого газу в квартирі

На прикладі масового балансу репрезентативних приміщень було визначено кінцеву концентрацію вуглекислого газу в залежності від ряду параметрів, таких як: природний повітрообмін; фонові концентрації CO₂ (зовнішня концентрація CO₂); геометричні розміри приміщення. З рис. 2. видно, що виведене рівняння достатньо точно описує фактичні зміни CO₂ в приміщеннях.

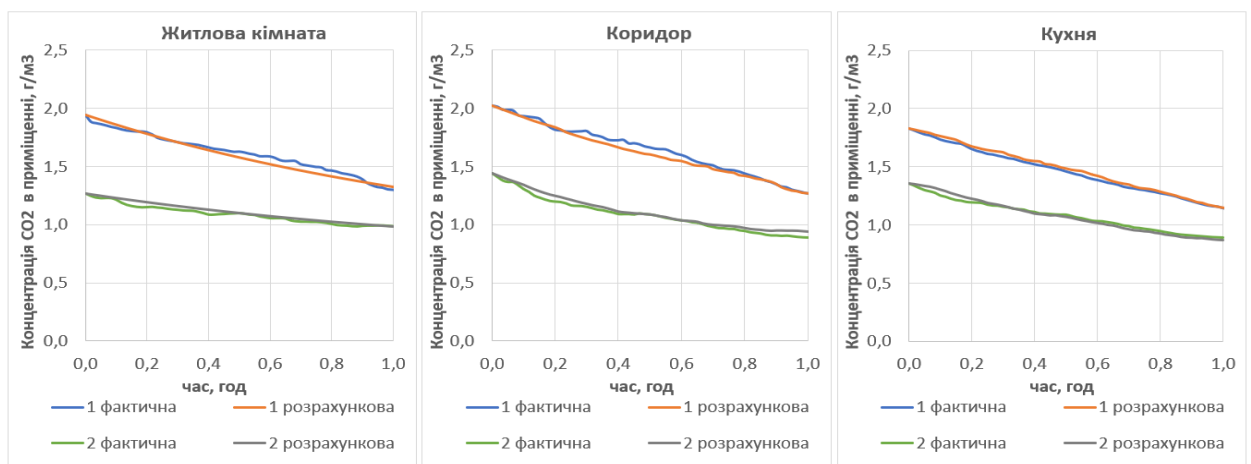


Рисунок 2 - Зміна концентрації вуглекислого газу в приміщеннях квартири

Для однакових умов проведення експерименту та схожих зовнішніх умов навколишнього середовища отримано, що динаміка концентрації CO₂ в різних приміщеннях для двох експериментів схожа. Слідуює, що кратність повітрообміну в квартирі була однаковою і трималась на рівні 0,74 год⁻¹ для житлової кімнати, 0,66-0,81 год⁻¹ для коридору, 3,4 год⁻¹ для приміщення кухні. Для проведення енергетичного визначення рівня енергоспоживання доцільним є врахування не лише кратності повітрообміну, але й механізмів руху повітря, що суттєво впливає на рівень енергії, яка затрачується на нагрів припливного повітря природного повітрообміну.

Перелік посилань:

1. Deshko, V., Bilous, I., Vynogradov-Saltykov, V., Shovkaliuk, M., Hetmanchuk, H. Integrated approaches to determination of CO₂ concentration and air rate exchange in educational institution. *Rocznik Ochrona Srodowiska*, 2020, 22(1), pp. 82–104

2. Дешко В.І., Білоус І.Ю., Винорадов-Салтиков В.О., Суходуб І.О., Яценко О.І. Експериментальне дослідження якості повітря та повітрообміну в закладах освіти та житлових будівлях. *ВІСНИК КНУТД*. №4 (148). 2020. С. 25-37.

УДК 697.1

Аспірант Голубенко О.О.

Доц., к.т.н. Білоус І.Ю.

ОЦІНЮВАННЯ РІВНЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЛІ ПРИ ПІДВИЩЕННІ ВИМОГ ДО ТЕПЛООВОГО ЗАХИСТУ БУДІВЕЛЬ НА ПРИКЛАДІ ЗАГАЛЬНООСВІТНЬОЇ ШКОЛИ

Сучасний розвиток енергетики вимагає пошуку нових підходів до підвищення енергоефективності, зокрема, в секторі будівництва. Під енергетичною ефективністю будівель розглядають зменшення мінімально допустимих вимог до споживання теплової енергії будівлями. Зростають вимоги до ефективного використання енергії не лише на опалення, але й охолодження та гаряче водопостачання (ГВП), як основні складові витрат функціонування будівель. Стандарти щодо оцінки та підвищення рівня енергоефективності будівель наводять нормативну величину енергоспоживання на потреби опалення для будівель різного призначення та вимоги до теплозахисних властивостей оболонки, значення якої переглядається кожні 5 років [1, 2]. В роботі проведено оцінювання зміни рівня енергоспоживання будівлі при підвищенні вимог до теплового захисту будівель за ДБН В.2.6-31:2016 [1] та ДБН В.2.6-31:2021 [2].

Метою дослідження є оцінювання рівня енергоспоживання будівлі при покращенні теплозахисних властивостей огорожень відповідно до мінімальних вимог до теплової ізоляції будівель за ДБН В.2.6-31:2016 та ДБН В.2.6-31:2021.

Об'єкт дослідження. Загальноосвітня школа розташована м.Київ. Н-подібної форми, опалювальна площа 4482 м², опалювальний об'єм 15687 м³. Стіни будівлі виконані з керамічної цегли в дві цеглини без утеплення. Дах будівлі плоский, 250 мм бетонну плиту з утепленням мінеральною ватою 100 мм, покритий шаром бітуму. Вікна металопластикові 1-камерні. Коефіцієнт скління фасаду становить 0,22. Коефіцієнт теплопередачі U, Вт/м²К: зовнішня стіна – 0,8, вікно – 1,67, дах – 0,89 (табл. 1).

Створено 3D-модель будівлі (ри.1) в програмному середовищі DesignBuilder [3], яка дозволяє проводити динамічне енергетичне моделювання. В моделі проведено налаштування теплофізичних властивостей огорожень, проведено зонування, задані графіки експлуатації будівлі, роботи обладнання, освітлення, присутності людей в будівлі тощо.

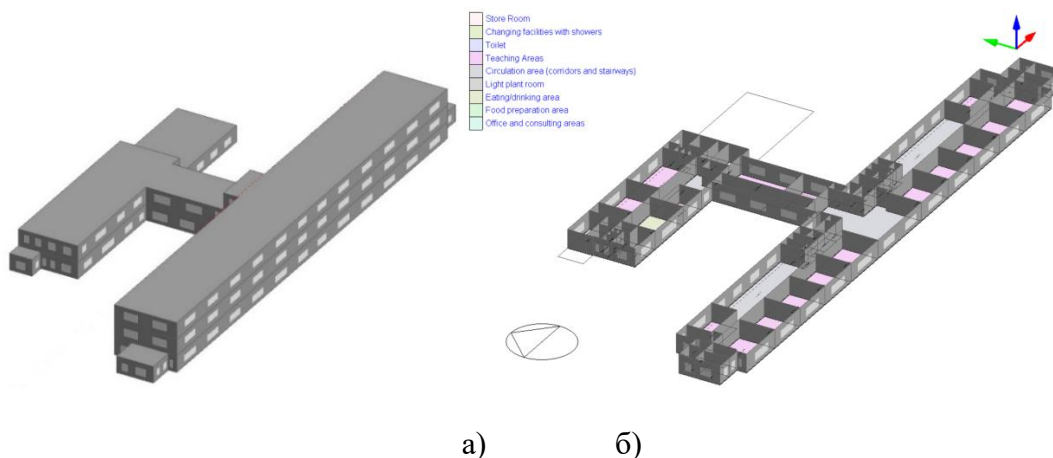


Рисунок 1 - 3D модель будівлі в програмному середовищі DesignBuilder (а) та зонування першого поверху (б)

Для розрахунку використовувались кліматичні дані типового року з погодного файлу IWEC [4]. Базовий рівень енергоспоживання встановлений для нормативних значень внутрішньою температурою та кратністю повітрообміну. В табл. 1 наведено термічний опір

огороджень відповідно до стандартів [1, 2].

Таблиця 1 – Термічний опір огорожень, м²К/Вт

Тип огороження	Існуючий стан	ДБН В.2.6-31:2016	ДБН В.2.6-31:2021
зовнішні стіни	0,8	0,30	0,25
вікна	1,67	1,33	1,11
дах	0,89	1,37	0,143

Проведено моделювання енергопотребі будівлі при почерговому та комплексному покращенні теплозахисних властивостей огорожень будівлі відповідно до мінімальних вимог теплозахисних властивостей огорожень будівлі за ДБН В.2.6-31:2016 (рис. 2.а) та ДБН В.2.6-31:2021(рис. 2,б).

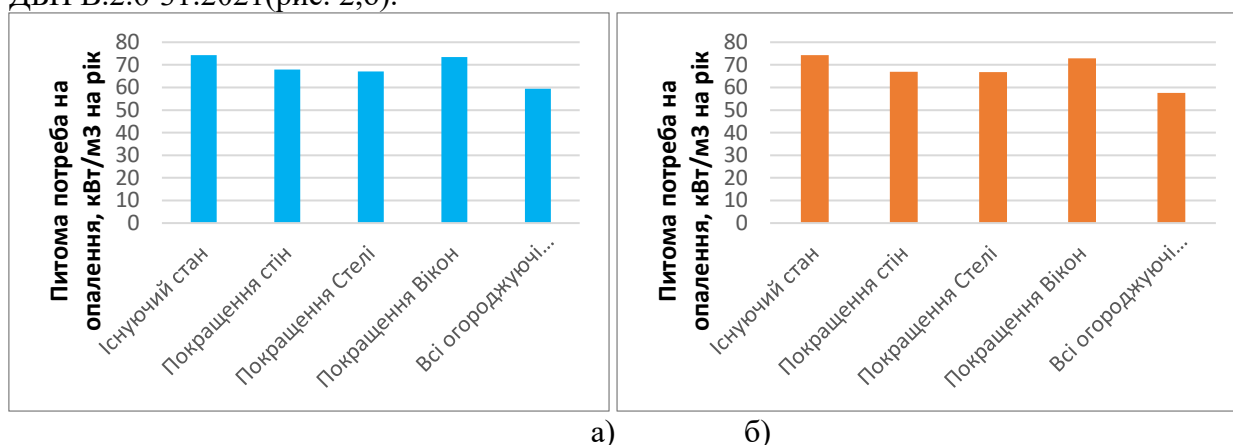


Рисунок 2 - Питома енергопотреба на опалення будівлі при покращенні теплозахисних властивостей до вимог 2016 року (а) та 2021 року (б)

Такий підхід дозволив оцінити вплив кожного компонента огорожень на загальну енергоефективність будівлі та обґрунтувати поступ від впровадження одного або комплексу енергозберігаючих заходів. В табл. 2 наведено зменшення енергоспоживання будівлі при покращенні теплозахисних властивостей огорожень відповідно до мінімальних вимог та їх підвищення в часі.

Таблиця 2 – Зменшення енергопотребі на опалення при покращенні елементів оболонки будівлі до мінімального рівня 2016 та 2021 років.

Тип огороження	ДБН В.2.6-31:2016	ДБН В.2.6-31:2021
Стіни	8,5	9,8
Вікна	9,7	10,1
Дах	1,1	1,9
Комплексна термомодернізація	19,9	22,4

Загальне покращення всіх елементів оболонки одночасно, відповідно до вимог ДБН В.2.6-31:2021, призводить до відносного зниження енергоспоживання на опалення на 2,5% у порівнянні з ДБН В.2.6-31:2016 (що для енергоефективних будівель є значущим показником), тобто ефект покращення є мультиплікативним.

Нормативний максимальний рівень питомої енергопотребі на опалення, охолодження та ГВП для закладів освіти становить 28 кВт·год/м³ для I кліматичної зони до якої відноситься м.Київ [2]. В подальших дослідженнях планується провести розрахунок складових нормативної величини для визначення нормативних величин питомого максимального рівня енергопотребі на опалення, охолодження та ГВП.

Перелік посилань:

1. ДБН В.2.6-31:2016. Конструкції будинків та споруд. Теплова ізоляція будівель. К.: Мінбуд України, 2017. 37 с.
2. ДБН В.2.6-31:2021. Конструкції будинків та споруд. Теплова ізоляція будівель. К.: Мінбуд України, 2022. 37 с.
3. DesignBuilder User Manual: <https://designbuilder.co.uk/helpv6.0/>
4. International Weather for Energy Calculations: https://energyplus.net/weather-location/europe_wmo_region_6/UKR.

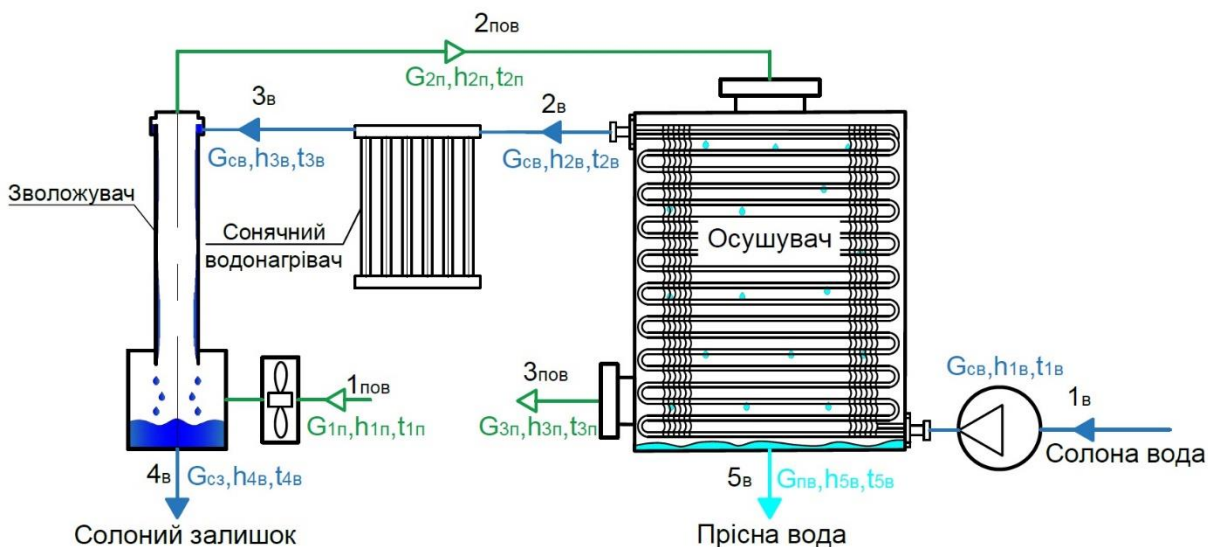
ВИСОКОЕФЕКТИВНИЙ КОНТАКТНИЙ ЗВОЛОЖУВАЧ ДЛЯ ТЕРМІЧНОЇ ОПРІСНЮВАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

У найближчому майбутньому різке перенаселення, а також забруднення прісної води промисловими відходами, які скидаються в річки та підземні водні джерела призведуть до глобального дефіциту прісної води. Пошук нових джерел прісної води є важливим для вирішення цієї загрози. Враховуючи те, що морська вода займає 97% водних ресурсів світу, технології опріснення морської води є найкращим вибором для боротьби з дефіцитом прісної води [1].

Однією з поширених технологій опріснення випаровування морської води є зволоження-осушення HDH WDS (the water desalination system). Техніка HDH аналогічна природному гідрологічному циклу води, тобто циклу дощу, коли сонячне світло нагріває морську воду, а потім випаровує краплі чистої води з верхньої поверхні океану, утворюючи хмари. Утворені хмари поступово конденсуються, а потім у вигляді опадів випадає чиста вода [2].

Огляд наявних наукових праць показав, що технологія HDH є багатообіцяючою для маломасштабного виробництва води, але потребує додаткових досліджень і розробок для підвищення ефективності системи. В даній роботі досліджуються показники продуктивності установки з плівковим зволожувачем. HDH система працює за відкритими повітряним і водяним циклами. Переваги і недоліки такої схеми детально розглянуті у працях [3,4].

Основними елементами опріснювальної установки є два теплообмінника – зволожувач і осушувач, сонячний водонагрівач, водяна помпа і повітродувка (рис. 1). Установка має відкриті повітряний і водяний контури. Детальний опис роботи такої схеми опріснення наведено у [3,4]. Особливістю запропонованої конструкції є використання як зволожувача – контактного теплообмінника плівкового типу. Апарат являє собою вертикальну трубку, по внутрішній поверхні якої стікає плівка рідини, яка взаємодіє із зустрічним потоком повітря. Робота такого теплообмінника детально досліджена у [5].



Математична модель роботи установки із зволожувачем нового типу була розроблена за допомогою інженерного забезпечення РТС Mathcad. Властивості вологого

повітря та солоної води визначалися за допомогою пакета CoolProp. У модель включені наступні рівняння: теплових балансів осушувача і зволожувача; кількості теплоти, яка передається від нагрітої води до повітря у зволожувачі за рахунок тепло- і масовіддачі; кількості теплоти, яка передається від повітря до солоної води у осушувачі за рахунок теплопередачі.

Оптимальна швидкість руху повітря у трубці становить біля 4 м/с. За нижчих значень, продуктивність значно зменшується. Чим більша швидкість повітря у трубці, тим більша витрата повітря проходить через зволожувач. Унаслідок цього процеси тепло- та масообміну інтенсифікуються і більше вологи буде передаватися до повітря у теплообміннику. У разі збільшення швидкості повітря більше 4 м/с, плівкове стікання води порушується і розпочинається одночасний рух рідини й повітря вгору. Такий режим характеризується відриванням і унесенням з повітряним потоком бульбашок солоної води та стрибкоподібним зростанням гідравлічного опору [5]. Експлуатація установки за такого режиму призведе до забруднення дистилляту і збільшення затрат енергії.

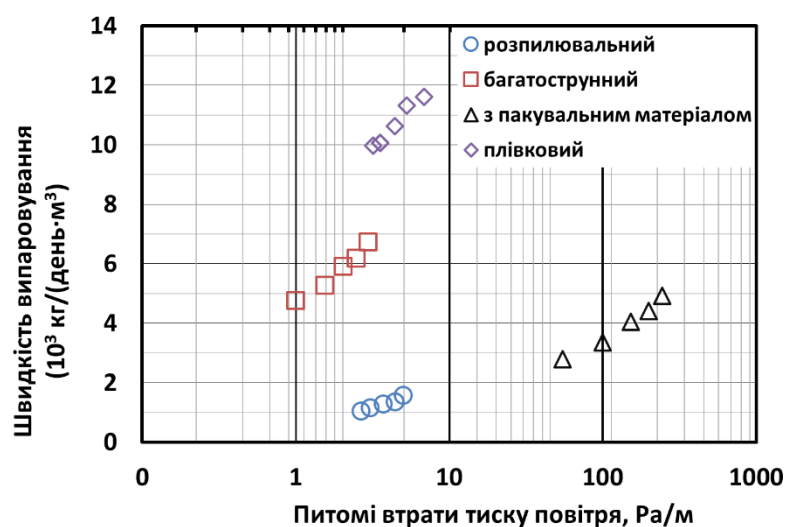


Рисунок 2 - Порівняння продуктивності нового плівкового зволожувача з іншими типами.

На рис. 2 показано порівняння показників продуктивності запропонованого зволожувача з іншими типами, які широко використовуються у HDH системах. Для оцінки продуктивності обрано відношення швидкості випаровування вологи у повітря до одиниці об'єму повітря. Видно, що нова конструкція зволожувача забезпечує вищу продуктивність опріснювальної установки за подібних втрат тиску.

Перелік посилань:

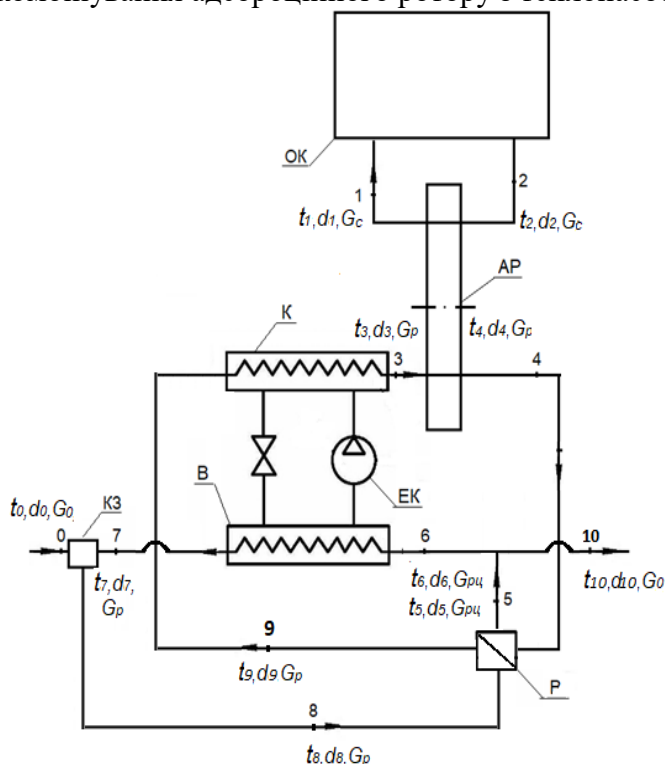
1. Giwa A, Akther N, Al HA, Haris S, Hasan SW. Recent advances in humidification dehumidification (HDH) desalination processes: improved designs and productivity. *Renew Sust Energ Rev.* 2016;57:929-944.
2. Abu ElNasr M, Kamal M, Saad H, Elhelaly M. Water desalination using solar energy: humidification and dehumidification principle. *Innov Energy Res.* 2015;4(3):1–6.
3. V.V. Sereda, A.S. Solomakha, N.O. Prytula, O.A. "Thermodynamic analysis of thermal desalination system with humidification–dehumidification cycle", *KPI Science News*, no. 4, pp. 105-112, 2021. <https://doi.org/10.20535/kpissn.2021.4.250663>.
4. Середя В.В., Соломаха А.С., Притула Н.О., Швець Н.О. Термодинамічний аналіз системи термічного знесолення води з відкритим і закритим повітряним циклом. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*, Том 33 (72) № 6 2022. <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2022.6/25>.
5. Barabash, P., Solomakha, A., Sereda, V. et al. Heat and mass transfer of countercurrent air-water flow in a vertical tube. *Heat Mass Transfer* (2023). <https://doi.org/10.1007/s00231-023-03342-2>.

ТЕПЛОАСОСНО-АДСОРБЦІЙНА СИСТЕМА ОСУШЕННЯ ПОВІТРЯ З РЕКУПЕРАТОРОМ

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.

Волога повітря є основним каталізатором процесу корозії, при цьому чим вище відносна вологість повітря, тим швидше руйнування металевих частин обладнання. 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 %.

Для забезпечення збереження обладнання найкращим способом являється збереження обладнання в атмосфері сухого повітря. Для забезпечення досить глибокого осушення повітря необхідно використовувати адсорбційні технології. Однак у них є суттєвий недолік – високе енергоспоживання. Даний недолік нівелюється за рахунок комбінування адсорбційного ротору з теплоасосною установкою.



Створена теплоасосно-адсорбційна система осушення повітря, яка описана в роботах [1,2], має досить високу енергетичну ефективність, однак при удосконаленні даної системи за рахунок додавання рекуператора є можливість ще більше збільшити загальну енергетичну ефективність системи осушення повітря.

На рис. 1 представлено удосконалену теплоасосно-адсорбційну систему осушення повітря з рекуператором. Рекуператор встановлено між потоками відпрацьованого регенераційного повітря а також повітря після камери змішування. Саме таке розташування забезпечує максимальну рекуперацію теплової енергії з відпрацьованого повітря.

Рисунок 1 - Принципова теплоасосно-адсорбційна схема осушування повітря з рекуператором в системі консервування металевих частин обладнання: К – конденсатор ТН; В – випарник ТН; ЕК – компресор; АР – адсорбційний ротор; КЗ – камера змішування; Р – Рекуператор; ОК – об'єкт консервування.

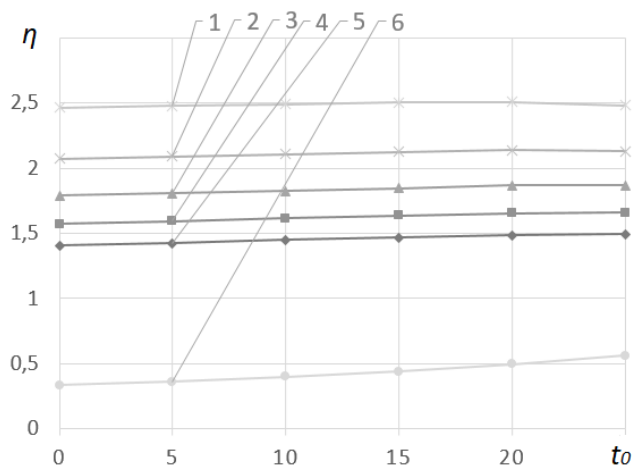


Рисунок 2 - Порівняння енергоефективності роботи теплонасосно-адсорбційної системи консервування обладнання в залежності від температури свіжого повітря та ефективності рекуператора η_p , при температурі регенеративного повітря 60°C : 1 – $\eta_p=80\%$, 2 – 60% , 3 – 40% , 4 – 20% , 5 – без рекуператора, 6- без ТН.

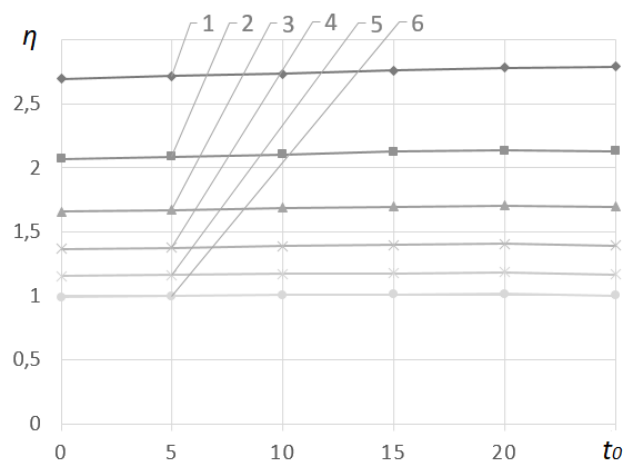


Рисунок 3 - Порівняння енергоефективності роботи теплонасосно-адсорбційної системи консервування обладнання в залежності від температури свіжого повітря та температури регенеративного повітря, при ефективності рекуператора $\eta_p=60\%$: 1 – $t_3=50^{\circ}\text{C}$, 2 – 60°C , 3 – 70°C , 4 – 80°C , 5 – 90°C , 6 – 100°C

На рис. 2 та 3 представлені результати математичного моделювання систем за широких параметрів роботи системи. Представлені залежності впливу зміни ефективності рекуперації, а також температури регенеративного повітря на загальну ефективність системи.

Із представленої вище інформації можна зробити висновок, що використання рекуператора в теплонасосно-адсорбційній системі осушення призводить до суттєвого підвищення енергетичної ефективності процесу осушення повітря. Застосування рекуператорів з коефіцієнтом рекуперації на рівні 60-80% підвищує загальну енергетичну ефективність системи в 1,4 – 1,8 разів, в порівнянні теплонасосно-адсорбційної системи без рекуператора, що суттєво зменшує енергетичні витрати на процес осушення повітря.

Перелік посилань:

1. Безродний М. К. Ефективність теплонасосно-адсорбційної системи консервування енергетичного обладнання / М. К. Безродний, О. О. Майстренко. // Енергетика: економіка, технології, екологія.. – 2019. – №2. – С. 49–58.

2. Безродний М. К. Енергоефективність теплонасосно-адсорбційної системи консервування енергетичного обладнання з урахуванням реальних робочих процесів в адсорбційному роторі / М. К. Безродний, О. О. Майстренко. // Енергетика: економіка, технології, екологія.. – 2020. – №4. – С. 7–19.

РЕЖИМИ ТЕЧІЇ ВОДЯНОЇ ПЛІВКИ ТА ПОВІТРЯ У ВЕРТИКАЛЬНІЙ ТРУБІ

Робота направлена на дослідження режиму кільцевого двофазного протитокового газорідинного потоку, який характеризується безперервним газовим ядром. Газовий потік рухається вгору в середині труби, а водяна плівка стікає вниз по стінці труби в протилежному напрямку. Така схема руху потоку має місце в багатьох пристроях для промислового обладнання: системи ядерних реакторів, випарники, газо-рідинні конденсатори, абсорбери, дефлегматори та в нафтогазовій промисловості [1]. Активно застосовується подібний рух теплоносіїв в газових свердловинах з конденсатом для природного газу та газу з вугільних пластів (CSG або CBM для метану вугільних пластів). В таких системах рідину закачують на поверхню через кільцеві отвори між зовнішньою (обсадною) трубою і внутрішньою. Зовнішня труба перфорована, щоб дозволити рідині надходити в стовбур свердловини з пласта, [2]

Гідродинамічні характеристики всіх можливих режимів детально досліджено в багатьох роботах [3 – 6]. На основі вивчення наведених робіт, а також проведених власних досліджень було описано основні режими руху води та повітря. Власні результати було отримано в рамках дослідження процесу масообміну, коли одночасно з тепловими характеристиками було виміряно втрати тиску при проходженні повітря через трубку та зроблено візуалізацію цього процесу.

Таким чином, можна стверджувати, що у плівкових контактних теплообмінниках, з протитечією плівки рідини що стікає вниз по стінці та з висхідним потоком повітря у вертикальній трубі існує три режими двофазного потоку (рис. 1). При низьких числах Рейнольдса ($Re_{air} < 2300$) плівка, що рухається під дією сили тяжіння майже без хвиль (рис. 1, а). При поступовому збільшенні швидкості газу ($Re_{air} = 2300 \dots 8000$) на поверхні плівки виникають хвилі (рис. 1, б). При подальшому збільшенні швидкості руху газу з поверхні плівки починаються зриватися краплі рідини та рухаються в напрямку потоку повітря (рис. 1, в). Межа розділу газ-рідина кільцевого потоку є нерегулярною через наявність хвиль, структур, які в літературі називаються хвилями збурення та бризками. Для кільцевого двофазного потоку у вертикальній трубі поверхня плівки рідини часто складається з бризок, хвильових збурень і служить тонкою стінкою для потоку газового ядра із захопленими краплями з хвильових гребнів. Крім того, було помічено, що хвилі збурень спричинили залучення рідини в потік ядра через взаємодію між рідкою та газовою фазами. Захоплення рідини впливає на міжфазне тертя зсуву, яке сильно впливає на перепад тиску та кардинально змінює характер течії. Перехід до цього режиму називається «захлинанням».

Швидкості потоку газу, при яких відбувається затоплення, можна визначити шляхом візуального спостереження або раптового збільшення гідравлічного опору. Якщо швидкість газу досить висока ($Re_{air} > 30000$), вся рідина починає рухатися вгору. В такому режимі коректна робота плівкового теплообмінника неможлива.

В даній роботі було проаналізовано всі описані вище режими та проведено вимірювання перепаду тиску на трубі довжиною 1,4 м та діаметром 34 мм.

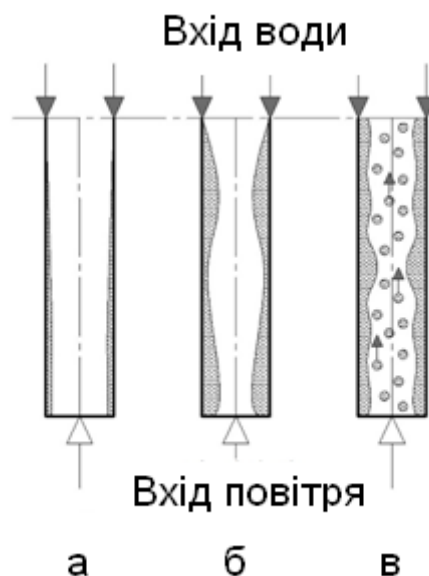


Рисунок 1 - Режим течії водяної плівки та повітря у вертикальній трубі: а – спадаючий плівковий потік без хвиль ($Re_{air} < 2300$); б – хвилі на поверхні рідини ($Re_{air} = 2300 \dots 8000$); в – початок режиму «захливання», відрив бульбашок води від водяної плівки ($Re_{air} = 8000 \dots 30000$)

Перелік посилань:

1. N. S. Hewitt, G F and Hall-Taylor, Annular Two-Phase Flow. Oxford: Pergamon Press, 1970.
2. B. Towler, M. Firouzi, J. Unterschultz, W. Rifkin, A. Garnett, H. Schultz, J. Esterle, S. Tyson, K. Witt, An overview of the coal seam gas developments in Queensland, J. Natural Gas Sci. Eng. 31 (2016) 249–271.
3. Jie Wan, Wan Sun, Jian Deng, Liang-ming Pan, Shu-hua Ding (2021) Experimental study on air-water countercurrent flow limitation in a vertical tube based on measurement of film thickness behavior. Nuclear Engineering and Technology 53 (6): 1821-1833. <https://doi.org/10.1016/j.net.2020.12.019>
4. P. A. Barabash, A. S. Solomakha, A. I. Gurov, O. A. Panchenko (2020) Regimes of motion of water-air flow in a short vertical tube with the underfeed of phases. Journal of Engineering Physics and Thermophysics 93 (2): 443-451. <http://dx.doi.org/10.1007/s10891-020-02139-y>
5. Benjamin Wu, Mahshid Firouzi, Thomas E. Rufford, Brian Towler (2019) Characteristics of counter-current gas-liquid two-phase flow and its limitations in vertical annuli. Experimental Thermal and Fluid Science 109 109899. <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2019.109899>
6. S. Ghosh, D.K. Pratihar, B. Maiti, P.K. Das (2013) Automatic classification of vertical counter-current two-phase flow by capturing hydrodynamic characteristics through objective descriptions. International Journal of Multiphase Flow 52 102-120. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijmultiphaseflow.2012.12.007>.

РОЗРАХУНОК ТЕПЛООБМІНУ У РАЗІ КОНДЕНСАЦІЇ ВОДЯНОЇ ПАРИ ПРИ НИЗЬКИХ ТИСКАХ

Конденсація в горизонтальній трубі – це звичайний двофазний потік, який широко застосовується в опріснюванні морської води, кондиціонуванні повітря, хімічній та харчовій промисловості.

На даний момент відомо більше сімдесяти досліджень теплообміну для випадку конденсації всередині горизонтальних гладких труб. Найбільш відоме рішення з роботи Нуссельта у разі конденсації на зовнішній поверхні горизонтальної трубки для випадку відсутності впливу швидкості пари на процес.

Як відмічається в роботах [1-2] числа, що входять до більшості відомих емпіричних кореляцій характер протікання процесу відображають не завжди точно.

У даній роботі пропонується кореляція для розрахунку теплообміну при конденсації водяної пари за умов вакууму побудована на основі степеневі апроксимації експериментальних даних.

Відповідно до робіт [3] та [4] числові рішення рівнянь переносу імпульсу та теплоти представлені в графічній формі лише для кільцевої течії плівки конденсату, тобто для випадку коли впливом сили тяжіння можна знехтувати.

Для даного дослідження областю дослідження являється діапазон чисел $Re_l < 10-200$, де вплив числа Pr_l незначний. У випадку збільшення Re_l збільшується товщина плівки конденсату і відповідно збільшується вплив сили тяжіння на процес. В області невеликих значень Re_l критерій Нуссельта зменшується із ростом Re_l .

Теорія плівкової конденсації при наявності впливу швидкості пари на процес показує, що число Нуссельта являється функцією трьох параметрів: $Nu = f(\beta, Re_l, Pr_l)$ параметрів. Точність розрахунку Nu в області впливу β залежить від точності визначення коефіцієнту тертя C_f . Досі немає обґрунтованої методики розрахунку C_f .

У відповідності з теорією [4] за умови, що $\beta > 10$ при зміні Re_l від $8 \cdot 10^2$ до $2 \cdot 10^4$ впливом Re_l на Nu можна нехтувати. При атмосферному тиску авторами [5] прийнято узагальнювати експериментальні дані по локальним коефіцієнтам тепловіддачі у вигляді $Nu = f(Fr_l, Pr_l)$. Відмічено, що вплив швидкості пари на Fr_l має більший ефект, ніж вплив швидкості пари на коефіцієнт тертя C_f .

Для верифікації запропонованої моделі використані дані із робіт [6-10]. Бойко [6] для проведення експериментів використовував труби зі сталі довжиною $l=2,5$ м і діаметрами $d=17, 13, 10$ мм та трубу довжиною $l=11,9$ м і $d=13$ мм. Діапазон зміни параметрів наступний: масовий паровміст від 0,26 до 1,0 на вході та від 0 до 0,69 на виході з труби; питома густина теплового потоку $q=162-1570$ кВт/м²; масова швидкість $G=154-2239$ кг/(м²с).

Шен із співавторами [7] виміряли розподіл температури в шести точках в умовах конденсації чистої пари в діапазоні тисків 0,12–0,31 бар. Масова швидкість в експерименті не перевищувала $G=10$ кг/(м²с), різниця температур між парою та охолоджувальною рідиною $\Delta T=3-7$ °С, температура насичення змінювалася від 50 до 70 °С.

В роботі [8] автори привели таблицю експериментальних даних при конденсації пари всередині вертикальної труби довжиною $l=1,2$ м і $d=18$ мм і тиску 361 кПа. Параметри

водяної пари змінювалися в межах: масова швидкість $G=13-407$ кг/(м²с), масовий паровміст $x=0,5-0,99$; питома густина теплового потоку $q=455-1320$ кВт/м².

У 2019 Мерч [9] запропонував розрахункову модель, яка враховує вплив сили тяжіння і сил міжфазного тертя одночасно. Експерименти проводилися при значеннях абсолютного тиску 4, 7, 10 бар, швидкість пари становила 21,5-5 м/с. При тиску 4 бар при всіх 4-х значеннях швидкостей переважний вплив на середній коефіцієнт тепловіддачі мали сили тяжіння. Вплив сил міжфазного тертя найбільше спостерігався при значенні тиску 10 бар та максимальних швидкостях пари 16 м/с та 21,5 м/с в поздовжньому напрямку. При тиску в 7 бар сили міжфазного тертя мали вплив тільки при швидкості 21,5 м/с на початковій ділянці від входу труби.

Ахн [10] досліджував конденсацію водяної пари при стратифікованому режимі течії в нахиленій трубі діаметром $d=40$ мм і довжиною $l=3$ м. Масова швидкість становила $G=10-50$ кг/(м²с), а тиск змінювався в межах 1-5 бар.

Виконані вимірювання локальних по окружності труби теплових потоків і коефіцієнтів тепловіддачі. Запропонована модель плівкової конденсації всередині горизонтальних труб на основі степеневі апроксимації експериментальних даних. В роботі співставлені розрахунки теплообміну з експериментальними даними 5 авторів.

Перелік посилань:

1. V. G. Rifert, V. V. Sereda, "Condensation inside smooth horizontal tubes: Part I. Survey of the methods of heat-exchange prediction," Scientific journal "Thermal Science ", vol. 19. no. 5, pp. 1769-1789. 2015.

2. V. G. Rifert, V. V. Sereda, P. Barabash, V.V Gorin. "Condensation inside smooth horizontal tubes. Part 2. Improvement of heat exchange prediction," Scientific journal "Thermal Science ", vol 21, no 3. pp. 474-489, 2017.

3. Bae S., Maulbetsch J. S., Rohsenow W. M. Refrigerant forced-convection condensation inside horizontal tubes. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, 1968. 79 p.

4. Bae S., Maulbetsch J. S., Rohsenow W. M. Refrigerant forced-convection condensation inside horizontal tubes. Report No. DSR-79760-64. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, 1969. P. 120.

5. Rifert V, Gorin V, Sereda V, Treputnev V. An Improved Heat Transfer Prediction Model for Film Condensation inside a Tube with Interfacial Shear Effect. World Academy of Science, Engineering and Technology. Int J Mech Aerosp Ind Mechatronic Manuf Eng. 2017;11(8):1376-85.

6. Бойко Л.Д. Исследование теплоотдачи при конденсации пара внутри трубы. Теплообмен в элементах энергетических установок. Л.: Наука, 1966. С. 197–212.

7. Shen, S., Wang, Y., & Yuan, D. (2017). Circumferential distribution of local heat transfer coefficient during steam stratified flow condensation in vacuum horizontal tube. International Journal of Heat and Mass Transfer, 114, 816–825. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.06.042>

8. V. G. Rifert, V. V. Gorin, V. V. Sereda, & V. V. Treputnev. (2017). An Improved Heat Transfer Prediction Model For Film Condensation Inside A Tube With Interfacial Shear Effect. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.1131627>

9. Matthias Merzsch. (2020). Wärmeübergang und Druckverlust bei der Kondensation von Wasserdampf im horizontalen Rohr bei Drücken bis 10 bar. Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus–Senftenberg.

10. Taehwan Ahn, Jinhoon Kang, Byeonggeon Bae, Jae Jun Jeong, Byongjo Yun Steam condensation in horizontal and inclined tubes under stratified flow conditions International Journal of Heat and Mass Transfer 141 (2019) 71–87 <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.06.056>

ВИБІР ТИПУ ПОВІТРООХОЛДЖУВАЧА В ЦЕНТРАЛЬНИХ СИСТЕМАХ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ

Відомо, що кондиціонування повітря (КП) – це автоматична підтримка в зачинених приміщеннях усіх або окремих параметрів повітря (температури, відносної вологості, швидкості руху, чистоти) з метою забезпечення, головним чином, оптимальних мікрокліматичних умов, найбільш сприятливих для самопочуття людей, ведення технологічного процесу, забезпечення збереження цінностей.

Системи КП можуть бути місцевими та центральними. Останні більш доцільно застосовувати для промислових та громадських будівель великого об'єму.

В центральних системах КП для тепловологісного оброблення повітря (охолодження, осушки) в теплий період року використовуються контактні (зрошувальні форсункові чи сітчасті камери) або поверхневі повітроохолоджувачі.

Метою роботи є надання рекомендацій стосовно обґрунтованого вибору типу повітроохолоджувача у залежності від параметрів внутрішнього повітря (температури та відносної вологості) і тепло- вологісного стану приміщення, який характеризується кутовим коефіцієнтом променя процесу зміни стану припливного повітря у приміщенні.

На рис. 1, як приклад, наведені процеси зміни стану повітря у $h-d$ – діаграмі для пряموструминної схеми при використанні для охолодження повітря зрошувальної камери [1].

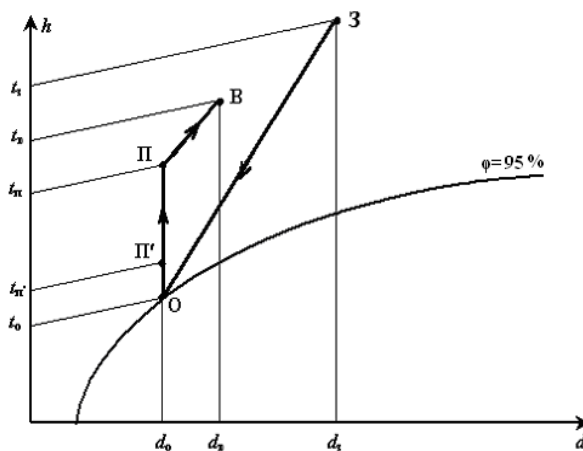


Рисунок 1 - Зображення процесів зміни стану повітря при прямоструминній схемі повного кондиціонування у теплий період

Висновок щодо використання зрошувальної камери для охолодження повітря можна зробити за температурою повітря після неї (Т. О на рис. 1), яка не повинна бути меншою за 3 – 5 °С.

Розрахункові дослідження з визначення залежностей температури повітря після зрошувальної камери (t_0 , °С) від кутового коефіцієнта променя процесу (ϵ , кДж/кг вологи) при різних значеннях температури та відносної вологості внутрішнього повітря (t_b , °С; ϕ_b , %) (рис.2) були проведені за створеною в EXEL програмою, яка реалізувала наступну методику.

1. Задавали значення величини ϵ , починаючи з 3000 кДж/кг вологи з інтервалом у 100 кДж/кг вологи.

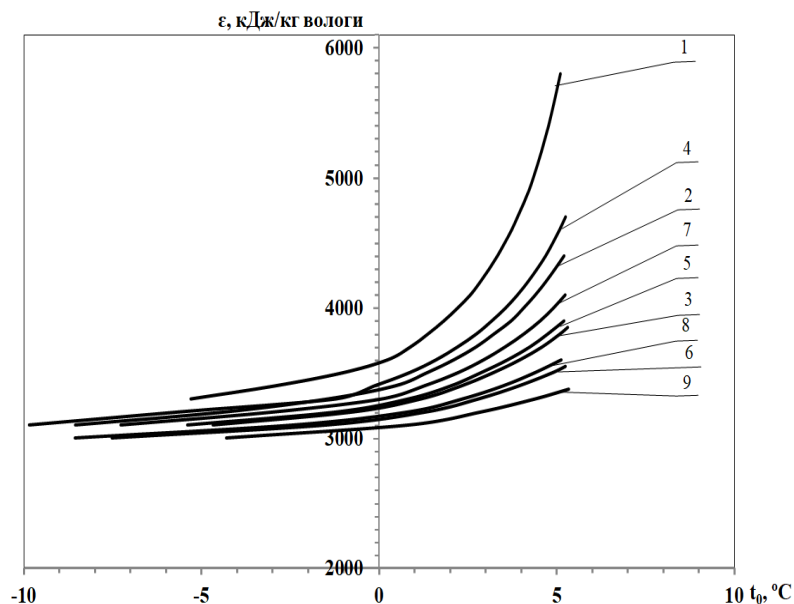


Рисунок 2 - Залежність температури повітря після зрошувальної камери від кутового коефіцієнта променя процесу при значеннях температури і відносної вологості внутрішнього повітря:

1 – (20, 45); 2 – (20, 50); 3 – (20, 55); 4 – (21, 45); 5 – (21, 50); 6 – (21, 55);
7 – (22, 45); 8 – (22, 50); 9 – (22, 55)

2. Брали рекомендовані значення величин $t_{в}$, °C та $\varphi_{в}$, % (див. рис. 2) і за відомими залежностями [1] визначали вологовміст ($d_{в}$, г/кг с.п) та ентальпію ($h_{в}$, кДж/кг) внутрішнього повітря (Т. В на рис.1).

3. За відомою залежністю [1] обчислювали температуру припливного повітря (Т. П на рис. 1), потім брали його вологовміст [$d_{пi} = d_{вн} - 0,1$, г/кг с.п] і розраховували ентальпію $h_{п}$, кДж/кг.

4. Визначали розрахункове значення кутового коефіцієнта променю процесу

$$\varepsilon_p = (h_{в} - h_{п}) / (d_{в} - d_{п}). \quad (1)$$

5. Ітерацію з визначення параметрів припливного повітря продовжували до моменту, коли різниця між величинами ε і ε_p не перевищувала 0,2 %.

6. За формулою для вологовмісту при відомій його величині в точці О ($d_o = d_{п}$) та відносній вологості в цій точці ($\varphi_o = 95$ %) визначали парціальний тиск насиченої водяної пари в повітрі (p_s , Па) при відомому барометричному тиску, а потім за термодинамічними таблицями – температуру повітря в точці О (t_o , °C).

Отримані залежності можна використати і для інших схем оброблення повітря в теплий період року (з першою рециркуляцією та з першою і другою рециркуляцією).

При практичних розрахунках схем оброблення повітря з центральними кондиціонерами в теплий період року спочатку за обчисленими потоками теплоти та вологи, що надходять до приміщення, визначають кутовий коефіцієнт променю процесу, а далі за відповідною кривою (при заданих параметрах внутрішнього повітря) визначають температуру повітря в точці О. Якщо вона більша приблизно за 4 °C, то обирають зрошувальну камеру, а якщо менша за 4 °C, то поверхневий повітроохолоджувач.

Перелік посилань:

1. Боженко М. Ф. Системи опалення, вентиляції і кондиціонування повітря будівель : навч. посіб. - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. - 380 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/30248> (дата звернення: 10.02.2023).

ТЕРМОДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ПРИПЛИВНО-ВИТЯЖНОЇ ВЕНТИЛЯЦІЇ ТА КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ З ВБУДОВАНИМ ТЕПЛОВИМ НАСОСОМ АБО ЗОВНІШНІМ ККБ

Припливно-витяжні установки (ПВУ) з рекуперацією тепла наразі мають великий потенціал на центральноєвропейському ринку та набувають широкого застосування в нашій країні. Нові офісні або виробничі будівлі переважно мають чітко вирішену концепцію вентиляції та кондиціювання, яка базується на ПВУ з теплообмінником для охолодження припливного повітря. Фреон, як джерело холоду, набув більшого розповсюдження через відносну простоту монтажу та експлуатації фреонових систем за невисоких капіталовкладень [1].

При цьому існує два типових рішення, коли джерелом холоду є вбудований контур теплового насоса (ТН) або зовнішній компресорно-конденсаторний блок (ККБ) [2]. Перше рішення більш коштовне та потребує вищих затрат для виробництва, що часто є основним критерієм при проектуванні систем HVAC. Проте перевагою цього рішення, окрім моноблочності, є кращі температурні умови роботи компресорного контуру, оскільки повітря з приміщення має нижчу температуру ніж зовнішнє повітря за жарких умов, тобто, за номінальної роботи установки [3]. Згідно зі зворотним циклом Карно менша різниця температур між конденсатором та випарником теплонасосного контуру позначається у вищій ефективності його роботи [4]. Ця обставина робить схему з вбудованим ТН більш енергоізолюваною та ефективною через глибшу утилізацію енергії та масової витрати витяжного повітря.

У роботі порівнюються ПВУ вентиляції та кондиціювання виробничого приміщення з рекуперацією та рециркуляцією вентиляційного повітря та з джерелами холоду у вигляді вбудованого контуру теплового насоса або зовнішнього ККБ. Компонівка ПВУ в обох випадках є типовою та широко використовується багатьма проектними організаціями та заводами виробниками. Дані системи також застосовуються для цілей осушення повітря всередині приміщення з внутрішніми вологовиділеннями.

Були проведені розрахунки роботи даних систем та визначено їх енергоефективності для вентиляції, кондиціювання та осушення виробничих приміщень. Побудовано графічні залежності основних параметрів систем від параметрів зовнішнього середовища.

На рис. 1 (а) зображена принципова схема ПВУ з рекуперацією відпрацьованого повітря та зовнішнім ККБ у якості джерела холоду. Змінною часткою свіжого зовнішнього повітря (рециркуляцією відпрацьованого повітря) досягається ефективне регулювання схеми в

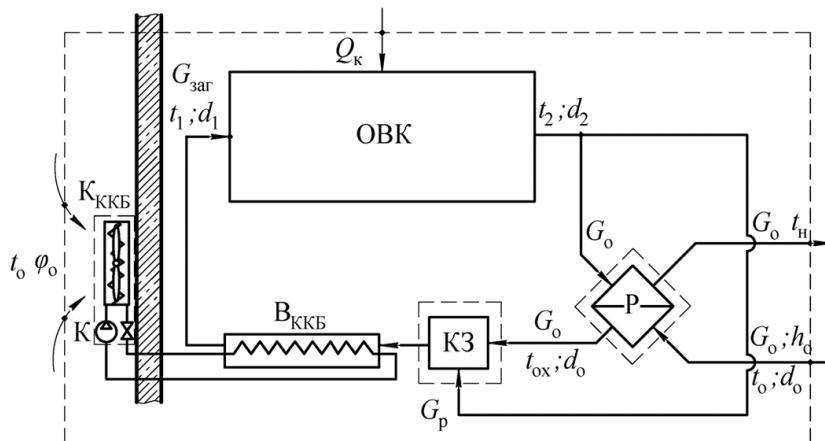


Рисунок 1 (а)

уському діапазоні роботи. На рис. 1 (б) показана схема ПВУ з вбудованим ТН. Принципово змінюється розташування конденсатора (КККБ) та компресора (К).

Принцип роботи обох схем є подібним: свіже зовнішнє повітря з температурою t_o , вологовмістом d_o і масовою витратою G_o поступає до рекуператора, де охолоджується за постійного вологовмісту до

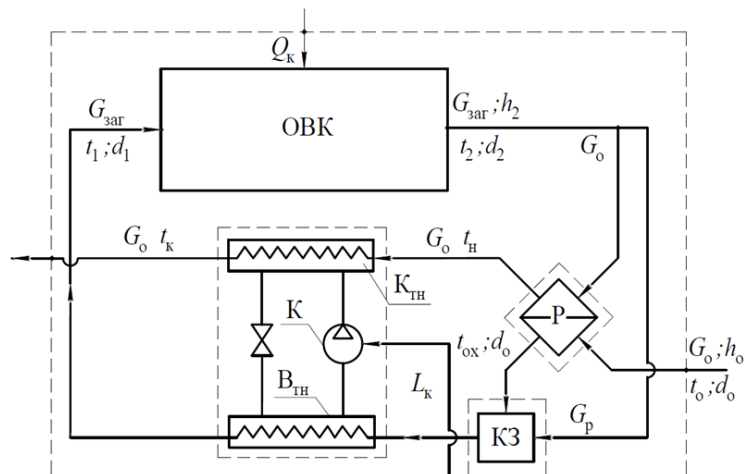


Рисунок 1 - Принципові ПВУ вентиляції та кондиціонування повітря в приміщенні на базі зовнішнього ККБ (а) та внутрішнього ТН (б): К_{ККБ} / К_{ТН} – конденсатор ККБ / ТН; В_{ККБ} / В_{ТН} – випарник ККБ / ТН; К – компресор; КЗ – камера змішування; Р – рекуператор; ОВК – об’єкт вентиляції та кондиціонування повітря

температури t_{ox} за рахунок холоду вентиляційних викидів з приміщення з температурою t_2 , вологовмістом d_2 і масовою витратою G_0 , яка є змінною. Охолоджене зовнішнє повітря направляється до камери змішування (КЗ), де до нього підмішується рециркуляційне повітря, утворюючи необхідну масову витрату припливного повітря $G_{заг}$. Далі це повітря потрапляє до випарника ККБ/ТН, у якому охолоджується з частковою конденсацією водяної пари до заданої температури t_1 та вологовмісту d_1 .

У випадку вбудованого ТН підігріте відпрацьоване повітря після рекуператора за температури t_n та сталого

вологовмісту надходить до конденсатора ТН, де нагрівається і на виході має температуру t_k з незмінним вологовмістом d_2 , після чого це повітря викидається в зовнішнє середовище. На відміну від цього в ПВУ з ККБ конденсатор охолоджується лише за рахунок зовнішнього повітря з відповідними параметрами температури та вологості.

Розрахунковий аналіз роботи ПВУ виконано для технічного приміщення з заданими параметрами теплових надходжень та вологовиділень. У приміщенні необхідно підтримувати постійною температуру $t_2 = 19\text{ }^\circ\text{C}$ з відносною вологістю повітря в діапазоні $\varphi_2 = 50 - 70\%$. При цьому досліджено випадки, коли тепловиділення та внутрішні вологовиділення зростають в порівнянні з номінальними.

Порівняльний аналіз двох систем ПВУ показав, що установки з вбудованим ТН у середньому до 30 % більш ефективні, ніж аналогічні системи з зовнішнім ККБ. Проте у випадку з вбудованим ТН існує обмеження за максимальною температурою скидного повітря після конденсатора. Чим вища температура повітря, тим гірше буде охолоджуватись фреон, робоча рідина зворотного циклу Карно, у конденсаторі, досягаючи свого критичного стану вже за температури $60\text{ }^\circ\text{C}$ [4]. Обидві схеми показали переваги рекуперації та рециркуляції холоду для забезпечення вищого холодильного коефіцієнта схем в робочому діапазоні температур та вологостей навколишнього середовища.

Перелік посилань:

1. M Kny, V Mazanec, D Adamovský and J Včelák, “Air Handling Unit with Heat Pump”, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. vol. 290, pp. 2-9, 2019. doi:10.1088/1755-1315/290/1/012078
2. Schmid F. Sewagewater, “Interesting heat source heat pumps and chiller”, In: Procs. 9th IEA heat pump conference. pp. 1-12, Zurich, May 19-23, 2008.
3. Sheng Zhang, Weigeng Yun, Zhang Lin, “Integrated system of exhaust air heat pump and advanced air distribution for energy-efficient provision of outdoor air”, Applied Thermal Engineering. vol. 217, pp. 1-13, 2022. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2022.119256
4. Redko AO, Bezrodny MK, Zagoruchenko MV, Ratushnyak GS, Redko OF, Hmelnyuk MG. Low potential energy, textbook LLC. Kharkov: Typography Madrid; 2016. 412 pp.

УДК 697.1

Аспірант Наумчук О.С.

Проф., д.т.н. Дешко В.І.

ОЦІНЮВАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ ОФІСНИХ БУДІВЕЛЬ У НАПРЯМКУ NZEV ЗА РІЗНИХ ЕКОНОМІЧНИХ СЦЕНАРІЇВ

У зв'язку з повномасштабною військовою агресією росії, в Україні знищено близько 80 тисяч будівель (дані липня 2022 року) [1], в тому числі – громадських, освітніх та медичних закладів. Відновлення зруйнованих будівель відбуватиметься згідно Проекту наказу Мінрегіону “Про затвердження Вимог до будівель з близьким до нульового рівнем споживання енергії” [2], що покладатиме початок розвитку будівництва енергоефективних будівель, споживання енергії якими близьке до нуля. 1 грудня 2022 року відбулась презентація та обговорення фінального звіту проекту «Технічні рекомендації для проєктів нового будівництва будівель з близьким до нульового рівнем споживання енергії в Україні» [3]. З метою масштабування будівель з майже нульовим споживанням енергії в Україні схвалено Концепцію реалізації державної політики у сфері забезпечення енергетичної ефективності будівель у частині збільшення кількості будівель з близьким до нульового рівнем споживання енергії [4] та затверджено Національний план збільшення кількості будівель з близьким до нульового рівнем споживання енергії [5]. Концепція [4] направлена на зниження загального показника постачання первинної енергії та викидів двоокису вуглецю в атмосферу, що корелюється з однією з основних задач та цілей Директиви Європейського Союзу про енергетичну ефективність [6] та Глобальних цілей сталого світового розвитку [7]. Тобто, основна ціль як України, так і держав – членів ЄС у будівельному секторі – збільшити частку «енергонезалежних будівель» [6], [5], що відповідають вимогам:

- клас енергетичної ефективності будівлі – не нижче «А»;
- питомий показник споживання первинної енергії будівлею не перевищує максимального показника питомого споживання первинної енергії для енергонезалежних будівель;
- енергія, що використовується будівлею – переважно вироблена з відновлювальних джерел (відповідно до [2] частка енергії, вироблена з відновлювальних джерел має становити не менше 50%).

Можливість масштабування будівель, споживання енергії яких близьке до нуля, розглянуто на прикладі неутепленої офісної будівлі в м. Київ, джерелом енергії якої є котельня, що працює на природному газі.

Перший етап модернізації являє собою покращення теплового захисту будівлі до рівня вимог України [8] та Швеції [9] (найбільш жорсткі вимоги щодо огорожувальних конструкцій в Європі) з проведеним аналізом економії енергетичних ресурсів.

Наступний етап розглядається в контексті заміни джерела енергії – з котельні що працює на природному газі, на котельню, що працює на біомасі з урахуванням потенціалу біомаси в регіоні та Україні в цілому для оцінки можливостей масштабування висоенергоефективних будівель, що працюють на відновлювальному паливі. Оцінка дисконтованої інтегральної вартості витрат на опалення до модернізації, після модернізації згідно вимог України [8] та Швеції [9], проводиться для трьох економічних сценаріїв:

- позитивний (приріст цін на енергоносії складає 5%, ставка дисконтування – 7,5 %);
- існуючий (приріст цін на енергоносії складає 100%, ставка дисконтування – 20,7 %);
- депресивний (приріст цін на енергоносії складає 150%, ставка дисконтування

– 25%).

Перелік посилань:

1. Від 24 лютого росія знищила близько 80 тисяч будівель в Україні. *Lviv Media*. URL: <https://lviv.media/viyana/38765-vid-24-liutoho-rosiia-znyshchyla-blyzko-80-tysiach-budivel-v-ukraini/>.
2. Про затвердження Вимог до будівель з близьким до нульового рівнем споживання енергії : проект наказу Мінрегіону від 30.12.2020 р. URL: <https://www.minregion.gov.ua/base-law/grom-convers/elektronni-konsultatsiyi-z-gromadskistyuu/proekt-nakazu-minregionu-pro-zatverdzhennya-vymog-do-budivel-z-blyzkym-do-nulovogo-rivnem-spozhyvannya-energiyi/>.
3. Відбулась презентація технічних рекомендацій для нових будівель з близьким до нульового рівнем споживання енергії в Україні. *Міністерство розвитку громад та територій України*. URL: <https://www.minregion.gov.ua/press/news/vidbulas-prezentacziya-tehnichnyh-rekomendaczij-dlya-novyh-budivel-z-blyzkym-do-nulovogo-rivnem-spozhyvannya-energiyi-v-ukrayini/>.
4. Про схвалення Концепції реалізації державної політики у сфері забезпечення енергетичної ефективності будівель у частині збільшення кількості будівель з близьким до нульового рівнем споживання енергії та затвердження Національного плану збільшення кількості будівель з близьким до нульового рівнем споживання енергії : Розпорядж. Каб. Міністрів України від 29.01.2020 р. № 88-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/88-2020-p#n11>.
5. Національний план збільшення кількості будівель з близьким до нульового рівнем споживання енергії : Розпорядж. Каб. Міністрів України від 29.01.2020 р. № 88-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/88-2020-p#n172>.
6. Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC : European Union directive of 25.10.2012. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2012/27/oj>.
7. SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS. *United Nations Development Programme*. URL: https://www.undp.org/sustainable-development-goals?utm_source=EN&utm_medium=GSR&utm_content=US_UNDP_PaidSearch_Brand_English&utm_campaign=CENTRAL&c_src=CENTRAL&c_src2=GSR&utm_gclid=Cj0KCQiAn4SeBhCwARIsANeF9DLvtW-tTsb5H3aYcvDQitSyt0GCsJYQcsmNVd1T_qvrFnNii0-5MaAg5KEALw_wcB.
8. ДБН В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель. [Чинний від 2017-05-01]. Вид. офіц. Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово – комунального господарства України, 2017. 34 с.
9. BFS 2011:6 with amendments up to BFS 2018:4. Boverket's mandatory provisions and general recommendations, BBR. URL: <https://www.boverket.se/en/start/publications/publications/2019/boverkets-building-regulations--mandatory-provisions-and-general-recommendations-bbr/>.

Аспірант Ословський С.О.
Проф., д.т.н. Безродний М.К.

АНАЛІЗ ТЕРМОДИНАМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМИ КОНДИЦІОНУВАННЯ НА БАЗІ ҐРУНТОВОГО ТЕПЛОВОГО НАСОСУ

Системи опалення, вентиляції та кондиціювання (ОВіК) є основним споживачем енергії в будівництві. Міжнародне енергетичне агентство [1] повідомило, що очікується зростання загальної кількості кондиціонерів, встановлених у всьому світі, з 1,6 млрд. одиниць у 2018 р. до 5,6 млрд. одиниць до 2050 р. Отже, підвищення енергоефективності систем кондиціювання дуже важливо для зменшення потреби в нових електростанціях та підвищення загального еколого-енергетичного стану речей в світовому масштабі. Одним із шляхів вирішення енергетичної є використання альтернативних джерел енергії, частиною яких є теплові насоси (ТН) з різними джерелами теплоти: повітряні, ґрунтові, геотермальні та ін.

Порівнюючи основні типи ТН (повітряний та ґрунтовий), які використовуються в широтах України, слід зазначити, що ґрунтові ТН можуть значно зменшити споживання енергії на опалення та охолодження приміщень у будівлях [2]. Холодильний коефіцієнт (EER) теплових насосів залежить насамперед і в найбільшій мірі від різниці температур між простором кондиціювання та джерелом теплоти (холоду). На відміну від зовнішнього навколишнього повітря, температура ґрунту є майже постійною (близько 8 – 12 градусів Цельсія [3]) протягом ро-ку і вищою за температуру навколишнього повітря взимку та нижчою від температури навколишнього повітря влітку. Таким чином, менший перепад температур між джерелом теплоти та приміщенням, що кондиціонується (опалюється) відповідає більшому значенню коефіцієнта перетворення ґрунтового ТН, а значить, і більшій ефективності використання енергії в порівнянні з повітряним ТН.

Виходячи з вищезазначених спостережень, можна зазначити, що найбільш ефективно системи кондиціювання та опалення на базі ґрунтових теплових насосів можуть бути використані в регіонах, які мають однакові за продовжуваністю опалювальний та жаркий період, яким є Україна. Завдяки такому балансу, теплота ґрунту буде використана найбільш вдало взимку, та повернена назад влітку. Такий режим використання буде підтримувати на майже постійному рівні температуру ґрунту, що покращить експлуатаційні умови всієї системи та екологічну картину ділянки ґрунту.

Разом з тим, проаналізувавши літературні джерела, які переповнені спостереженнями та експериментами, було визначено, що досліджень, що пов'язані з теоретичною універсальною оцінкою ефективності роботи ґрунтового ТН в режимі кондиціювання раніше не проводилось. Виходячи з цього, було розроблено схему кондиціювання повітря на базі ґрунтового ТН та проведено теоретичний аналіз ефективності її роботи, який може бути використаний для системи будь-якої конфігурації та потужності.

Принципову схему системи кондиціювання повітря на базі ґрунтового ТН зображено на рис. 1. Основною особливістю запропонованого рішення є використання енергії холоду, який акумулюється в ґрунті взимку для забезпечення потреб кондиціювання як в пасивному, так і в активному режимах. Так, згідно схеми, охолоджений теплоносій в пасивному режимі кондиціювання перекачується насосом нижнього контуру безпосередньо в охолоджуючий пристрій (наприклад, фанкойл), не застосовуючи роботу компресора ТН та витрачаючи електричну енергію лише на привід насоса [4]. Однак, при деякій температурі зовнішнього повітря, потужності, яка може бути забезпечена «пасивним охолодженням» стає недостатньо. В такому випадку схема вмикається в активному режимі і залучає компресор. Особливо важливою задачею дослідження є визначення умов, при яких буде відбуватись

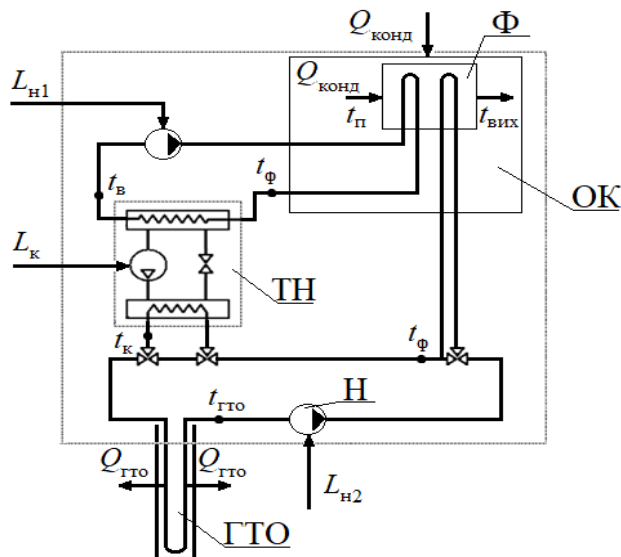


Рисунок 1 - Принципова схема кондиціювання приміщення з використанням ґрунтового ТН: Ф – фанкойл; ОК – об’єкт кондиціювання; ТН – тепловий насос; ГТО – ґрунтовий теплообмінник; Н – насос вентиляції та кондиціювання повітря.

перехід від пасивного до активного режиму кондиціювання з найбільшим енергетичним ефектом.

Вищенаведений аналіз робіт щодо ефективності систем кондиціювання на базі ґрунтових ТН зробити висновок, що в кліматичних умовах України такі системи мають розроблятися в поєднанні і на базі відповідних систем, працюючих в режимі опалення в зимовий період. В зв’язку з цим доцільно зробити аналіз роботи такої ТН системи з ґрунтовими теплообмінниками при її експлуатації в режимі кондиціювання влітку. Тому для подальшого аналізу використаємо ТН систему з горизонтальними ґрунтовими теплообмінниками з параметрами, отриманими за умови мінімальних сумарних енергетичних затрат на компресор і насос нижнього контуру і наведеними в роботі [3].

На відміну від систем кондиціювання з повітряними ТН середовище для скидання відведеної теплоти (ґрунт) має більш низьку температуру ніж температура в об’єкті кондиціювання (ОК) і тому за певних умов (температури зовнішнього повітря і параметрів скидного пристрою) теплота від ОК може скидатись в ґрунт природним шляхом (самопливом), не використовуючи ТН. Такий режим роботи є пасивним режимом кондиціювання. Для визначення меж такого режиму треба співставити величини теплових потоків, що скидаються з приміщення, з тепловими потоками, що можуть бути сприйняті стоком теплоти (ґрунтом).

Провівши термодинамічний аналіз ефективності використання такої системи в пасивному та активному режимі, можна зробити наступні висновки:

1. Розробка ефективної системи кондиціювання за раціонального її проектування може дати позитивний ефект як в енергетичному так і в екологічному аспекті.
2. При використанні ґрунтового теплообмінника з оптимальними параметрами, отриманими за умови мінімізації сумарних енергетичних затрат (на привід компресора і циркуляційного насоса) в режимі опалення система кондиціювання в літній період може працювати в широкому діапазоні параметрів в пасивному режимі, тобто без ТН.
3. При роботі в активному режимі енергетична ефективність системи кондиціювання в значній мірі залежить від теплоізолюючих властивостей огорожувальних конструкцій приміщення, однак залишається значно вищою в порівнянні з відповідними показниками для спліт-системи кондиціювання з використанням повітряних ТН.
4. Вимоги до рівня термосанації будівель з системою кондиціювання на базі ґрунтових ТН мають бути ще більш жорсткими, ніж у випадку використання повітряних систем.

Перелік посилань:

1. IEA: Renewable Energy Policies in a Time of Transition. International Energy Agency, 2020. <https://webstore.iea.org/download/direct/426>
2. Omer A.: Ground-source heat pumps systems and applications, Renewable and Sustainable Energy Reviews. 12(2008), 344–371. DOI: 10.1016/0960-1481(96)88385-6
3. Безродний М. К., Прутула Н. О. Термодинамічна та енергетична ефективність теплонасосних схем теплопостачання: монографія. – К.: НТУУ «КПІ» Вид-во «Політехніка», 2016. – 272 с.
4. S. Wiryadinata, M. Modera, B. Jenkins, K. Kornbluth.: Technical and economic feasibility of unitary, horizontal ground-loop geothermal heat pumps for space conditioning in selected California climate zones. Energy and Buildings. 119(2016), 164-172. DOI: 10.1016/j.rser.2016.01.074.

Аспірант Петречук А.Л.
Проф., д.т.н. Пуховий І.І.

ЗРОШЕННЯ НАСАДОК НА ЯКИХ ФОРМУЮТЬСЯ БУРУЛЬКИ ПРИ ДИСКРЕТНІЙ ПОДАЧІ ВОДИ СТРУМЕНЯМИ

Для отримання льоду та підігрівання повітря теплотою кристалізації води використовується технологія отримання бурульок. Можливе зрошення насадок без використання форсунок шляхом розпилення води ударом об тверду поверхню [1-2]. Частина води що не розпилюється, падає з поверхні удару вниз у вигляді крапель. Подача води в [1] відбувалась із сопел діаметром 1мм розташованих на відстані 150мм один від одного. У роботі досліджувалися вертикальні пластини та сітки. В [2] досліджено утворення бурульок на горизонтальних поверхнях. Експериментально досліджено та проведено аналіз зростання бурульок на дротяних насадках. Також утворення бурульок можливе при їх наморожуванні на вертикальних та відхилених насадках [3]. Форсунки не забезпечують спрямованого зрошення насадок, тому ми вибрали горизонтальний розподільний пристрій у вигляді довгої П-подібної поверхні з нижніх країв якої зрошуються дві насадки. Завданням дослідження є вивчення гідродинаміки зрошення насадок водою.

Експериментальна установка. Вода витікала з ємності об'ємом бл, яка мала у дні отвір. Струмін у вигляді конусоподібного потоку первинних крапель потрапляє на П-подібний розподільний пристрій шириною 60 мм з оцинкованого металу. При цьому забезпечується зрошення двох горизонтальних насадок із труб діаметром 20мм для формування бурульок, відстань між центрами яких становить 60 мм. Розподільний пристрій встановлювався на різних відстанях від дна ємності H_1 . Запропоновано використання поперечних паралельних ребер з одного шару гнучкого матеріалу з різними відстанями між ними та різним числом витків.

Визначення частини рідини, що залишається, на розподільній поверхні. Через недостатню витрату води $\Gamma < \Gamma_{\text{мін}}$ для кращого змочування розподільного пристрою використано оребрення. Середня щільність зрошення Γ змінювалася від $0,5 \cdot 10^{-3}$ кг/м · с до $2 \cdot 10^{-3}$ кг/м · с при відповідних витрат води $G=0,5-2$ г/с. Найкращий результат із використаних для оребрення матеріалів (сталь, мідь, волосінь і бавовняна нитка №40) була нитка. Нитка наносилася паралельними витками в один шар. На рис.1 показаний вплив H_1 на відсоток води, що не розпилюється Z для різних поверхонь. Ребра, що використовуються нами сприяли тому, що більше рідини залишалася на поверхні удару, частота відриву крапель змінювалася від 0,01 кап/с до 1 кап/с. Маса однієї краплі становить приблизною 0,1 г. При меншій витраті 0,45 мл/с затримувалося на розподільчій поверхні до 95% води.

Дослідження параметрів ребра та витрати води, що впливають на кількість центрів краплеутворення та частоту відриву. При збільшенні центрів краплеутворення зменшується частота відривання крапель при однаковій витраті води, що сприяє рівномірнішому зрошенні насадок і збільшенню загальної теплообмінної поверхні крапель. Нанесення ребер сприяє стіканню води в зоні розташування. Нижче наведено результати експериментів щодо використання нитки №40 як ребер.

З метою визначення оптимального кроку між ребрами проведено експерименти на відстані 10, 20 і 30 мм між сусідніми ребрами. При кроці 10, 20, 30 мм отримано відповідно 104, 50 та 33 центри краплеутворення. Близьке розташування ребер створює додатковий гідравлічний опір розтіканню води вздовж поверхні. На відстані між ребрами менше 10 мм краплі з двох сусідніх ребер зливаються в один центр краплеутворення.

На відстані між ребрами 10 мм досліджувалося нанесення різної кількості витків нитки у кожному ребрі. Наносилося 2,4,6 витків, при цьому кількість центрів краплеутворення становила відповідно 70, 55, 35. При збільшенні кількості витків ребра

збільшується гідравлічний опір, вода розтікається вздовж насадки на меншу довжину. Було проведено дослід, коли вся поверхня була вкрита шаром нитки. При цьому спостерігалось найменшу кількість центрів краплеутворення - 8, що можна порівняти з гладкою поверхнею, а також вода перетікала в простір між вертикальними частинами розподільного пристрою, що не дозволяє спрямовувати краплі води на насадки. Таким чином, при нанесенні на розподільну поверхню тканини результат буде значно гіршим, ніж при нанесенні окремих витків.

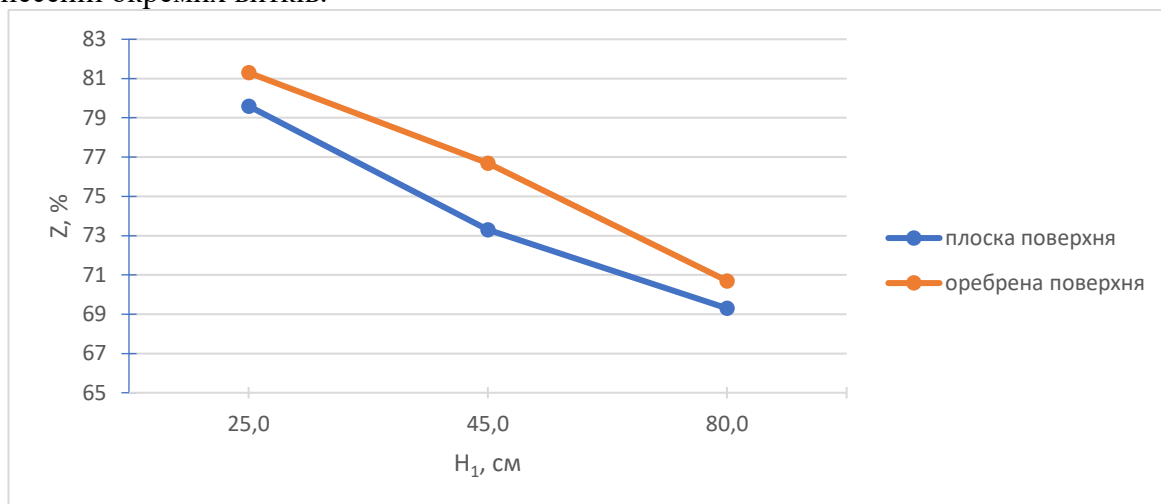


Рисунок 1 - Частина води, що залишається від падаючого струменя на поверхні розподільного пристрою Z , % в залежності від H_1 , см.

Всі описані вище експерименти проведені на витраті води 0,95 мл/с. При великій витраті води 2 мл/с ефект від використання ребер зменшується через велику товщину плівки. З огляду на візуальні спостереження можна рекомендувати встановлювати сопла на відстані менше 200 – 300 мм при витраті води близької до дослідних умов. Витрата води зі збільшенням відстані від центру падіння струменя дещо зменшується, тому при розташуванні сусідніх сопел на відстані 150-200 мм збільшуватиметься витрата посередині ділянки розподільного пристрою. Дані дослідження можуть бути використані не тільки для заморожування льоду в бурульках, але і в інших апаратах, де має місце зрошення насадок з невеликими витратами рідини [4].

Висновки. При дискретній подачі рідини на розподільний пристрій залишається на ній 60-95% води. Для збільшення центрів краплеутворення при щільності зрошення, близьких до мінімальних, досліджено використовувати поперечних ребра з бавовняної нитки №40. Найкращі результати отримані між ребрами 10 мм при нанесенні 2 витків. Сусідні сопла для подачі рідини слід розміщувати на відстані менше 200-300 мм один від одного. Кращим для дослідженого розподільного пристрою витрата буде близько 0,5-1 мл/с у кожному соплі.

Перелік посилань:

1. Пуховой І.І., Кривошеєв М.О. Течія та замерзання води на вертикальних поверхнях при зрошенні їх краплями від розпилення ударом. *Енергетика та нові енергогенеруючі технології*. Київ, 1.10.2012. с. 29-35.

2. Пуховой І.І, Постоленко А.М. Петречук А.Л. Про конструктивні особливості пристроїв для отримання льоду в бурульках та їх вплив на продуктивність. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. Київ, 2022. № 1. С. 90-95.

3. Pukhovoi I.I. Ice Formation and Film Flow of Water on Vertical and Inclined Packings. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, V. 93, p. 1030–1035 (2020).

4. F.S.K. Warnakulasuriya, W.M. Worek. Adiabatic water absorption properties of an aqueous absorbent at very low pressures in a spray absorber. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. V. 49, Issues 9–10, 05.2006, Pages 1592-1602.

ЗМІСТ

СЕКЦІЯ №1 АТОМНА ЕНЕРГЕТИКА	3
Модернізація стелажів басейну витримки відпрацьованого ядерного палива.	4
БУЛАН А.Ю., магістрант гр. ТЯ-21мп Керівник - доц., к.т.н. Бібік Т.В.	
Методи оцінки впливу радіоактивних викидів реакторної установки АР-1000 на навколишнє середовище.	6
ГРИГОРУК О.О., магістрант гр. ТЯ-21мп Керівник - проф., д.т.н. Носовський А.В.	
Модернізація парогенератору ПГВ-1000м.	8
ГРИШИН Д.І., магістрант гр. ТЯ-21мп Керівник - доц., к.т.н. Філатов В.І.	
Удосконалення методів контролю на виході з активної зони за допомогою системи СВРК ВВЕР 1000/320.	10
ГРИТЧИНА К.С., магістрант гр. ТЯ-11ф Керівник - доц., к.т.н. Клевцов С.В.	
Застосування штучного інтелекту в атомній енергетиці.	12
ДЗЕРУН М.С., магістрант гр. ТЯ-21мп Керівник - ст. викл., к.т.н. Овдієнко Ю.М.	
Аналіз методів визначення сейсмічної стійкості конструкцій, систем і елементів енергоблоків АЕС для цілей кваліфікації на сейсмічні впливи.	14
КЛЕЙН О.С., магістрант гр. ТЯ-21мп Керівник - ст.викл., к.т.н. Сахно О.В.	
Оптимізація режиму маневрування потужності ВВЕР-1000.	16
КОБРИНЧУК С.І., магістрант гр. ТЯ-21мп Керівник – ст. викл., к.т.н. Овдієнко Ю.М.	
Результати впровадження термо-аеродинамічної моделі верхнього блоку ВВЕР-1000 у вітчизняну галузь.	18
КОВАЛЕНКО О.В., магістрант гр. ТЯ-21мп; ЛУК'ЯНЕНКО К.М. Мол. вчен. Філонов В.В.	
Модернізація стелажів басейну витримки відпрацьованого ядерного палива.	20
КОВАЛЬЧУК П.О., магістрант гр. ТЯ-21мп Керівник - доц., к.т.н. Носовський А.В.	
Особливості теплогідравлічного розрахунку для малих модульних реакторів з природньою циркуляцією теплоносія.	21
КРАВЧЕНКО П.М., магістрант гр. ТЯ-21мп Керівник - доц., к.т.н. Коньшин В.І.	
Впровадження заборони одночасного введення позитивної реактивності двома та більше способами.	23
КУЗЬМЕНКО В.М., магістрант гр. ТЯ-21мп Керівник - доц., к.т.н. Бібік Т.В.	
Визначення меж поняття "зняття з експлуатації".	25
КУРНИК А.В., магістрант гр. ТЯ-21мп Керівник - доц., к.т.н. Філатов В.І.	

Тепловий аналіз багатомісної герметичної корзини в бетонному модулі сухого сховища відпрацьованого ядерного палива в розширених проєктних умовах.	27
ЛУКОВЕЦЬ І.П., магістрант гр. ТЯ-21мп Керівник - ст.викл., к.т.н. Сахно О.В.	
Розробка модулю спряження RELAP5/MOD 3.2-CFX для застосування на РУ ВВЕР-1000.	29
ОНИЦУК Ю.С., магістрант гр. ТЯ-21мп Керівник - доц., к.т.н. Клевцов С.В.	
Оптимізація періодичності регламентних випробувань систем важливих для безпеки під час знаходження енергоблоку на потужності для АЕС з РУ ВВЕР-1000.	31
ОСТАПОВЕЦЬ А.О., магістрант гр. ТЯ-11ф Керівник - доц., к.т.н. Коньшин В.І.	
Зняття з експлуатації АЕС з реакторами ВВЕР. Визначення кількості РАВ що виникає при демонтажі систем реакторного відділення.	33
СІРЧИН І.В., магістрант гр. ТЯ-21мп Керівник - доц., к.т.н. Філатов В.І.	
Моделювання розповсюдження радіоактивних викидів і скидів в навколишнє середовище.	35
ТИМОШЕНКО В.С., магістрант гр. ТЯ-21мп Керівник - доц., к.т.н Бібік Т.В.	
Аналіз ядерної та радіаційної безпеки сховища відпрацьованого ядерного палива.	37
ТИМОШЕНКО М.С., магістрант гр. ТЯ-21мп Керівник - доц., к.т.н. Бібік Т.В.	
Виведення з експлуатації АЕС. Підготовка до закриття станції. Стислий опис концепції.	39
ШАХНЮК Е.В., магістрант гр. ТЯ-21мп Керівник - доц., к.т.н. Філатов В.І.	
Вплив довжини зони нагріву на теплопередавальну здатність двофазного термосифона.	41
ЯВОРСЬКИЙ М.О., магістрант гр. ТЯ-21мп Керівник - проф., д.т.н. Кравець В.Ю.	
Вплив циклічних коливань на конструкційні матеріали активної зони реактора типу ВВЕР в режимі добового маневрування потужності.	43
БОНДАРУК М.В., магістрант гр. ТЯ-11мп Керівник - доц., к.т.н. Коньшин В.І.	
Розрахунок на сейсмостійкість системи пускового повітря РДЕС.	45
ГАВРИЛЬЧИК Д.В., магістрант гр. ТЯ-11мп Керівник - доц., к.т.н. Бібік Т.В.	
Оптимізація режиму маневрування потужності ВВЕР-1000.	47
КОБРИНЧУК С.І., магістрант гр. ТЯ-21мп Керівник – ст.викл., к.т.н. Овдієнко Ю.М.	
Підвищення ефективності циклу контролю герметичності оболонок тепловідляючих елементів шляхом застосування системи Sipping-контролю.	49
КОЛОДІЙ Н.О., магістрант гр. ТЯ-11мп	

<i>Керівник - доц., к.т.н. Коньшин В.І.</i>	
Діагностика заборони одночасного введення позитивної реактивності двома та більше способами.	51
<i>КУЗЬМЕНКО В.М., магістрант гр. ТЯ-11мн</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Бібік Т.В.</i>	
Розробка підходів до оптимізації періодичності регламентних випробувань та ремонтів СВБ під час знаходження енергоблоку з РУ ВВЕР-1000 на потужності.	53
<i>ОСТАПОВЕЦЬ А.О., аспірант</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Коньшин В.І.</i>	
Оптимізація спрацювання алгоритмів пришвидшеного попереджувального захисту на блоках ВВЕР-1000.	55
<i>ПІДПАЛИЙ Д.В., магістрант гр. ТЯ-11мн</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Коньшин В.І.</i>	
Розробка пасивної системи безпеки для відведення теплоти від активної зони реакторної установки ВВЕР-1000.	57
<i>ПОЛУПАН А.О., магістрант гр. ТЯ-11мн</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Філатов В.І.</i>	
Зняття з експлуатації енергоблоку з реактором ВВЕР-1000. Визначення складу діяльності на етапі консервації.	59
<i>ПУГАЧОВ П.О., магістрант гр. ТЯ-11мн</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Філатов В.І.</i>	
Тепловий режим контейнера для транспортування відпрацьованого ядерного палива.	61
<i>СКРИПКО Є., магістрант гр. ТЯ-11мн</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Сахно О.В.</i>	
Dynamics of neutron activity of fuel-containing materials clusters in the sub-reactor room 305/2 of the 4th power unit of the Chernobyl NPP.	63
<i>SUSHCHENKO K.O., postgraduate</i>	
<i>Scientific chief - prof., doc.eng.sc. Nosovskyi A.V.</i>	
Дослідження з опромінення нейтронами бетонів для контейнеру HI-STORM за допомогою Монте-Карло коду Serpent.	65
<i>РОМАНЕНКО І.М., аспірант; ТРОФИМЕНКО О.Р., аспірант</i>	
<i>Керівник - проф., д.т.н. Письменний Є.М.</i>	
Дослідження можливостей запису та відтворення потоку частинок від джерела випромінювання за допомогою Монте-Карло коду Serpent 2.	67
<i>ТРОФИМЕНКО О.Р., аспірант; ЖИХАРЄВА М.О.</i>	
<i>Керівник - проф., д.т.н. Носовський А.В.</i>	
Застосування комп'ютерного коду TRACE до малих модульних реакторів з природньою циркуляцією теплоносія.	69
<i>КОРНІЛОВ О.М., студент гр. ТЯ-91</i>	
<i>Керівник - асист. Остапенко І.А.</i>	
Переваги та недоліки пасивних систем реактора BWRX-300.	71
<i>КОРОЛЬЧУК В.Ю., студент гр. ТЯ-91</i>	
<i>Керівник - асист. Остапенко І.А.</i>	
Обґрунтування паливного циклу та аналіз нейтронно-фізичних характеристик активної зони реактора ВВЕР-1000 при роботі на тепловій потужності 104%*Nном.	73

<i>АБРАМОВ Ю.Ю., магістрант гр. ТЯ-11мп</i> <i>Керівник - ст.викл., к.т.н. Овдієнко Ю.М.</i>	
<i>Оцінка стану біологічного захисту зони патрубків реакторної установки енергоблоку 5 ЗАЕС, з метою продовження терміну експлуатації.</i>	75
<i>АНЮШКІНА А.А., магістрант гр. ТЯ-01мп</i> <i>Керівник - доц., к.т.н. Коньшин В.І.</i>	
<i>Модернізація систем аварійного охолодження активної зони з метою безпечної експлуатації.</i>	77
<i>КВЯТКОВСЬКИЙ Б.Б., магістрант гр. ТЯ-11мп</i> <i>Керівник - доц., к.т.н. Коньшин В.І.</i>	
<i>Дослідження підходів до кваліфікації обладнання АЕС, що може бути залучене до управління важкими аваріями.</i>	79
<i>НОВИКОВ О.В., магістрант гр. ТЯ-11мп</i> <i>Керівник - ст.викл., к.т.н. Сахно О.В.</i>	
<i>Зняття з експлуатації АЕС України. Прогнозне визначення типів і кількості РАВ на окремих етапах зняття з експлуатації.</i>	81
<i>СОРОКА О.І., магістрант гр. ТЯ-11мп</i> <i>Керівник - доц., к.т.н. Філатов В.І.</i>	
<i>Процедура автоматизованого вибору представницьких сценаріїв для детального аналізу міцності.</i>	83
<i>ФІЛОНОВ В.В., мол.вчен. ; ДУБИК Я.Р.</i> <i>Мол. вчен. Філонова Ю.С.</i>	
<i>Оцінка реактивного впливу під час розриву ділянки ГЦТ повним перерізом.</i>	85
<i>ФІЛОНОВ В.В., мол. вчен.</i> <i>Асист. Федоров Д.О.</i>	
<i>Процедура розрахунку поля "холодного язика" в опускній частині реактора KWU-1300 з виокремленням домінантних процесів.</i>	87
<i>ФІЛОНОВА Ю.С., мол. вчен.; КОВАЛЕНКО О.В., гр. ТЯ-21мп</i> <i>Мол. вчен. Філонов В.В.</i>	
<i>Оцінка локального теплового стану об'єму парогенератора при подачі аварійної живильної води.</i>	89
<i>ФІЛОНОВА Ю.С., мол. вчен.; ФЕДОРОВ Д.О., асист.</i> <i>Мол. вчен. Філонов В.В.</i>	
<i>Деталізація просторової нерівномірності неізотермічного змішування однофазного потоку.</i>	91
<i>ФІЛОНОВА Ю.С., мол. вчен.; ФЕДОРОВ Д.О., асист.</i> <i>Мол. вчен. Філонов В.В.</i>	
СЕКЦІЯ №2 ЯДЕРНА ЗАХИЩЕНІСТЬ ТА НЕРОЗПОВСЮДЖЕННЯ	93
<i>Безпілотні літальні апарати - загроза для фізичної ядерної безпеки АЕС України.</i>	94
<i>БОРЗЕНКОВ В.В., магістрант гр. ТЯ-21мп</i> <i>Керівник - доц., к.т.н. Бібік Т.В.</i>	
<i>Методика отримання іонізуючого випромінювання на основі ефекту гальмівного випромінювання.</i>	96
<i>ГОНЧАРУК В.Г., магістрант гр. ТЯ-21мп</i> <i>Керівник - доц., к.т.н. Бібік Т.В.</i>	

<i>Забезпечення безперерійного функціонування систем фізичного захисту в умовах аварійних відключень електроенергії.</i>	98
<i>ФЕЩЕНКО Д.С., магістрант гр. ТЗ-21мп</i>	
<i>Керівник - асист. Остапенко І.А.</i>	
<i>Аналогові та цифрові камери відеоспостереження.</i>	100
<i>ГОДУНОК Б.В., студент гр. ТЯ-91</i>	
<i>Керівник - асист. Остапенко І.А.</i>	
СЕКЦІЯ №3 ТЕПЛООБМІН І ГІДРОДИНАМІКА В	
ТЕПЛОПЕРЕДАЮЧИХ І ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПРИСТРОЯХ	
<i>Візуалізація процесів початку функціонування плоскої гравітаційної теплової труби при змінній орієнтації в просторі.</i>	102
<i>МЕЛЬНИК Р.С., аспірант</i>	
<i>Керівник - пр.н.спів., д.т.н. Ніколаєнко Ю.Є.</i>	
<i>Вплив кута нахилу гравітаційної теплової труби з нарізним випарником, заправленої фреоном 141b, на її термічний опір.</i>	105
<i>ЛПНІЦЬКИЙ Л.В., аспірант</i>	
<i>Керівник - пр.н.спів., д.т.н. Ніколаєнко Ю.Є.</i>	
<i>Influence of heating zone length on thermal performance of pulsating heat pipe.</i>	107
<i>MANE K., postgraduate</i>	
<i>Scientific chief - sen. lect., cand.eng.sc. Alekseik Y..</i>	
<i>Використання нанорідин на базі синтетичного алмазу в якості теплоносія для мініатюрних закритих двофазних термосифонів.</i>	109
<i>ГУРОВ Д.І., аспірант</i>	
<i>Керівник - проф., д.т.н. Кравець В.Ю.</i>	
<i>Дослідження інтенсивності теплообміну і аеродинамічного опору всередині плоскоовальної труби.</i>	111
<i>КУЛИНИЧ В.С., аспірант</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Рогачов В.А.</i>	
<i>Ефективність роботи термосифонів з нанорідинами.</i>	113
<i>ГУРОВ Д.І., аспірант</i>	
<i>Керівник - проф., д.т.н. Кравець В.Ю.</i>	
<i>Інтенсифікація теплообміну всередині плоскої труби.</i>	115
<i>КУЛИНИЧ В.С., аспірант</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Рогачов В.А.</i>	
<i>Дослідження теплопередачі в полімерному перехресно-проточному теплообміннику.</i>	117
<i>ГЕРШТУН Д.Д., студент гр. ТФ-81; МАЛАЩУК Н.С.</i>	
<i>Керівник - проф., д.т.н. Сорокова Н.М.</i>	
<i>Про зміну режимів конденсації на теплообмінних поверхнях із алюмінієвих сплавів..</i>	119
<i>РЕМІННИЙ М.П., студент гр. ТФ-91</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Гавриш А.С.</i>	
<i>Вплив поля гравітації на теплопередаючі характеристики теплової труби з металоволокнистою пористою структурою.</i>	121
<i>РОМАЩЕНКО М.Д., студент гр. ТФ-81</i>	
<i>Керівник - проф., д.т.н. Сорокова Н.М.</i>	

Перспективи використання сучасних поверхнево-активних речовин в теплообмінниках.	123
<i>ФЕДОРЕЦЬ Д.С., студент гр. ТФ-81; РЕМІННИЙ М.П., студент гр. ТФ- 91</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Гавриш А.С.</i>	
Вплив діаметра парового простору на характеристики мініатюрних теплових труб.	125
<i>ЦАО Ш., студент гр. ТФ-81</i>	
<i>Керівник - асист., к.т.н. Алексеїк О.С.</i>	
СЕКЦІЯ № 4 ТЕПЛОГІДРАВЛІЧНІ ПРОЦЕСИ В ТЕПЛО- І ПАРОГЕНЕРУЮЧИХ УСТАНОВКАХ	127
Заміщення мазуту в паровому котлі на альтернативне газове паливо.	128
<i>ГНАТЕНКО А.В., студент гр. ТК-01</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Воробйов М.В., асист. Піцина І.Г.</i>	
Математичне моделювання впливу вторинних випромінювачів на ефективність інтенсифікації теплообміну в високотемпературному рекуператорі.	130
<i>ГОЛОВЧЕНКО А.В., магістрант гр. ТК-21мп</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Воробйов М.В., асист. Піцина І.Г.</i>	
Технології газифікації вугілля.	132
<i>ГОРШКОЛЄПОВ Я.В., студент гр. ТК-91</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Новаківський Є.В.</i>	
Розробка та впровадження сонячної сушарки для деревної біомаси "Суходров".	134
<i>КИКОТЬ В.В., студент гр. ТК-91</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Воробйов М.В.</i>	
Граничний режим порушення стійкості плівки. Вторинний винос крапель рідини.	136
<i>КУЛЕШ Н.С., аспірант</i>	
<i>Керівник - проф., д.т.н. Туз В.О.</i>	
Моделювання топкових процесів котла ГМ-50-14 при різних навантаженнях.	138
<i>ЛОГВИНЮК М.О., аспірант</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Новаківський Є.В.</i>	
Методи покращення котла після реконструкції.	140
<i>ЛОГВИНЮК М.О., аспірант</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Новаківський Є.В.</i>	
Зменшення енергоспоживання системи охолодження басейнів витримки ядерного палива.	142
<i>НАУМЕНКО Р.С., магістрант гр. ТК-21мп</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Новаківський Є.В.</i>	
Теплообмін при плівковій конденсації в конденсаційних економайзерах.	144
<i>НЕДІЛЬКО А.В., аспірант</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Новаківський Є.В.</i>	
Утилізація теплоти димових газів.	146
<i>НЕДІЛЬКО А.В., аспірант</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Новаківський Є.В.</i>	
Розрахунок швидкості горіння водень-вмістких газових палив.	148

<i>РЯБЦУН Р.С., аспірант</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Воробйов М.В., асист. Піцина І.Г.</i>	
Теплогідравлічні процеси в панелі нижньої радіаційної частини котла ТПП-210А.	150
<i>ОЛАЙА-ВЕРАНО Н.Е., магістрант гр. ТК-21мп</i>	
<i>Керівник - проф., д.т.н. Туз В.О.</i>	
Реконструкція повітропідігрівника котла середньої потужності.	152
<i>ШКОЛЬНИЙ М.В., магістрант гр. ТК-21мп</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Рогачов В.А.</i>	
СЕКЦІЯ №5 СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ТЕПЛОВІЙ ЕНЕРГЕТИЦІ	154
Кількісні показники шкідливих викидів при спалюванні органічного палива.	155
<i>БУДЯ Ю.С., магістрант гр. ТУ-21мп</i>	
<i>Керівник - ст.викл., к.т.н. Шелешей Т.В.</i>	
Раціоналізація притискних зусиль у фланцях циліндрів турбін для забезпечення довговічності роботи.	157
<i>ДЖЕЖУЛЕЙ В.О., магістрант гр. ТУ-21мп</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Пешко В.А.</i>	
Амоніак як паливо: проблеми та перспективи.	159
<i>ДУЛЬСЬКИЙ А.І., аспірант</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Сірий О.А.</i>	
Газогенератори: ефективне та екологічне рішення в умовах енергетичної кризи.	161
<i>КАЧКІВСЬКИЙ Д.О., магістрант гр. ТУ-21мп</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Риндюк Д.В.</i>	
Тепловий режим приміщень при використанні підлогового опалення.	163
<i>КРУКІВСЬКИЙ Д.В., магістрант гр. ОТ-21мп</i>	
<i>Керівник - проф., д.т.н. Недбайло О.М.</i>	
Технології та методи спалювання аміачного палива.	165
<i>СТОРОЖУК М.С., аспірант</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Сірий О.А.</i>	
Екологічні показники водогрійних та парових котлів малої потужності.	167
<i>ЮРЧУК В.С., магістрант гр. ТУ-21мп; ШЕЛЕШЕЙ Т.В., мол. вчений</i>	
<i>Керівник - проф., д.т.н. Абдулін М.З.</i>	
Оцінка перевитрати палива при роботі котла ТП-100 на пускових режимах.	169
<i>ЛИЦУК С.Р., аспірант</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Пешко В.А.</i>	
Методологічні засади здійснення ефективної модернізації пальникових систем теплоенергетичних установок з використанням МТС-технології.	171
<i>МИТЧЕНКО І.О., аспірант</i>	
<i>Керівник - проф., д.т.н. Варламов Г.Б.</i>	
Порівняльний аналіз спалювання пелет із біомаси у побутовому котлоагрегаті.	173
<i>ШАХБАЗОВ І.О., магістрант гр. ТУ-11мп</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Сірий О.А.</i>	
Вибір параметрів паливорозподілу СНС при спалюванні метано-водневих	

сумішей.	175
<i>КОБИЛЯНСЬКА О.О., аспірант</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Сірий О.А.</i>	
НДС валопроводу ТА К-1000-60/3000 при короткому замиканні.	177
<i>МАРИСЮК Б.О., аспірант</i>	
<i>Керівник - проф., д.т.н. Черноусенко О.Ю.</i>	
Моделювання динамічної системи з внутрішнім тепловиділенням.	179
<i>СТЕПАНЧЕНКО А.А., студент гр. ТС-01</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Риндюк Д.В.</i>	
Сучасні технології в тепловій енергетиці.	181
<i>АВІЛОВ С.В., студент гр. ТП-91</i>	
<i>Керівник - ст.викл. Меренгер П.П.</i>	
Випробування стабілізаторно-нішевого пальникового пристрою з уступом при спалюванні забаластованих газових палив.	183
<i>БЕТИН Ю.О., аспірант; ХІЛІМОНЧУК Д.І., магістрант гр. ТУ-11мн</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Бутовський Л.С.</i>	
Дослідження організації топкового процесу у низькотемпературної печі малої потужності з пальником вихрового типу, що працює в імпульсному режимі.	185
<i>БЕТИН Ю.О., аспірант</i>	
<i>Керівник - проф., д.т.н. Абдулін М.З.</i>	
Модернізація об'єднаної енергетичної системи України.	187
<i>ДАЦИК Є.Ю., студент гр. ТС-91</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Нікуленкова Т.В.</i>	
Шкідливі викиди в атмосферу від теплових енергостанцій.	189
<i>КОСТИРЯ Д.О., студент гр. ТС-91</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Нікуленкова Т.В.</i>	
Дослідження обтікання циліндру при постановці плоского екрану.	191
<i>МОРОЗ О.С., аспірант</i>	
<i>Керівник - проф., д.т.н. Черноусенко О.Ю.</i>	
Газодинаміка головних паропроводів АЕС. Частина 1.	193
<i>БЕДНАРСЬКА І.С., аспірант</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Риндюк Д.В.</i>	
Газодинаміка головних паропроводів АЕС. Частина 2.	195
<i>БЕДНАРСЬКА І.С., аспірант</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Риндюк Д.В.</i>	
"Зелена" ядерна енергетика.	197
<i>КРАВЧУК К.С., магістрант гр. ТУ-11мн</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Куделя П.П.</i>	
СЕКЦІЯ №6 ПРОБЛЕМИ ТЕОРЕТИЧНОЇ І ПРОМИСЛОВОЇ ТЕПЛОТЕХНІКИ	199
Вугільна тепла генерація України в сучасних умовах курсу на декарбонізацію.	200
<i>КАПУСТЯНСЬКИЙ А.О., мол. вчений;</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Романова К.О.</i>	
Енергозберігаючі заходи в промислово-опалювальних котельнях.	202
<i>АЛТИН В.І., магістрант гр. ТУ-21мн</i>	

<i>Керівник - доц., к.т.н. Боженко М.Ф.</i>	
Використання програмного середовища DesignBuilder для енергетичного моделювання житлової багатоповерхової будівлі.	204
<i>ОЛЕКСЮК А.В., магістрант гр. ОТ-21мп</i>	
<i>Керівник - асист. Яценко О.І.</i>	
Режимні параметри центральної системи кондиціонування повітря з частковим непрямим випарним охолодженням.	206
<i>ПОДСТЕВАЯ Т.Л., аспірант</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Боженко М.Ф.</i>	
Сучасні матеріали для теплоізоляції будівель.	208
<i>СЛІЖЕВСЬКИЙ К.Д., магістрант гр. ТУ-21мп</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Боженко М.Ф.</i>	
Підвищення енергетичної ефективності котелень в системах централізованого тепlopостачання.	210
<i>СТЕЦЕНКО О.М., магістрант гр. ТУ-21мп</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Боженко М.Ф.</i>	
Використання енергетичного моделювання для модернізації системи енергозабезпечення навчального корпусу.	212
<i>ЧУМАК Н.В., магістрант гр. ОТ-21мп</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Дубровська В.В., доц., к.т.н. Шкляр В.І.</i>	
Оцінювання рівня енергетичної ефективності закладу освіти при впровадженні енергоефективних режимів опалення для різних кліматичних умов.	214
<i>ЯРКОВА Н.А., магістрант гр. ОТ-21мп</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Білоус І.Ю.</i>	
Розробка експериментального стенду для дослідження процесу переведення побутового водогрійного котла на водоемульсійне паливо.	216
<i>ЯРОШЕВИЧ М.В., аспірант</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Соломаха А.С.</i>	
Теплонасосна система опалення будинку з використанням теплоти природної води і ґрунту.	218
<i>МІШКО П.І., магістрант гр. ТУ-11мп</i>	
<i>Керівник - проф., д.т.н. Безродний М.К., доц., к.т.н. Притула Н.О.</i>	
Енергетичне моделювання варіантів підвищення енергоефективності будівлі після термомодернізації.	220
<i>ШЕВЧЕНКО Д.І., магістрант гр. ОТ-21мп</i>	
<i>Керівник - ст.викл., к.т.н. Шевченко О.М.</i>	
Експериментальне дослідження повітрообміну з урахуванням масопереносу CO₂ в квартирі.	222
<i>ГЕТМАНЧУК Г.О., аспірант</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Білоус І.Ю.</i>	
Оцінювання рівня енергетичної ефективності будівлі при підвищенні вимог до теплового захисту будівель на прикладі загальноосвітньої школи.	224
<i>ГОЛУБЕНКО О.О., аспірант</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Білоус І.Ю.</i>	
Високоєфективний контактний зволожувач для термічної опріснювальної установки.	226

<i>ЛЮ Я., аспірант; ПОДСТЄВАЯ Т.Л., аспірант</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Серета В.В.</i>	
Теплонасосно-адсорбційна система осушення повітря з рекуператором.	228
<i>МАЙСТРЕНКО О.О., аспірант</i>	
<i>Керівник - проф., д.т.н. Безродний М.К.</i>	
Режими течії водяної плівки та повітря у вертикальній трубі.	230
<i>СТРИНАДА П.С., аспірант</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Соломаха А.С.</i>	
Розрахунок теплообміну у разі конденсації водяної пари при низьких тисках.	232
<i>БОЯНІВСЬКИЙ В.П., аспірант</i>	
<i>Керівник - проф., д.т.н. Ріферт В.Г.</i>	
Вибір типу повітроохолоджувача в центральних системах кондиціонування повітря.	234
<i>КАМИШНИЙ Б.М., студент гр. ТП-91</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Боженко М.Ф.</i>	
Термодинамічний аналіз ефективності систем припливно-витяжної вентиляції та кондиціонування повітря з вбудованим тепловим насосом або зовнішнім ККБ.	236
<i>МІСЮРА Т.О., аспірант</i>	
<i>Керівник - проф., д.т.н. Безродний М.К.</i>	
Оцінювання модернізації офісних будівель у напрямку pZEB за різних економічних сценаріїв.	238
<i>НАУМЧУК О.С., аспірант</i>	
<i>Керівник - проф., д.т.н. Дешко В.І.</i>	
Аналіз термодинамічної ефективності використання системи кондиціонування на базі ґрунтового теплового насосу.	240
<i>ОСЛОВСЬКИЙ С.О., аспірант</i>	
<i>Керівник - проф., д.т.н. Безродний М.К.</i>	
Зрошення насадок на яких формуються бурульки при дискретній подачі води струменями.	242
<i>ПЕТРЕЧУК А.Л., аспірант</i>	
<i>Керівник - проф., д.т.н. Пуховий І.І.</i>	

ПОКАЖЧИК АВТОРІВ ДОКЛАДІВ

- Alekseik Y. 107
Mane K. 107
Nosovskyi A.V. 63
Sushchenko K.O. 63
Абдулін М.З. 167, 185
Абрамов Ю.Ю. 73
Авілов С.В. 181
Алексеїк О.С. 125
Алтин В.І. 202
Анюшкіна А.А. 75
Беднарська І.С. 193, 195
Безродний М.К. 218, 228, 236, 240
Бетін Ю.О. 183, 185
Бібік Т.В. 4, 23, 35, 37, 45, 51, 94, 96
Білоус І.Ю. 214, 222, 224
Боженко М.Ф. 202, 206, 208, 210, 234
Бондарук М.В. 43
Борзенков В.В. 94
Боянівський В.П. 232
Будя Ю.С. 155
Булан А.Ю. 4
Бутовський Л.С. 183
Варламов Г.Б. 171
Воробйов М.В. 128, 130, 134, 148
Гаврильчик Д.В. 45
Гавриш А.С. 119, 123
Герштун Д.Д. 117
Гетманчук Г.О. 222
Гнатенко А.В. 128
Годунок Б.В. 100
Головченко А.В. 130
Голубенко О.О. 224
Гончарук В.Г. 96
Горшколепов Я.В. 132
Григорук О.О. 6
Гришин Д.І. 8
Грїтчина К.С. 10
Гуров Д.І. 109, 113
Дацик Є.Ю. 187
Дешко В.І. 238
Джежулей В.О. 157
Дзерун М.С. 12
Дубик Я.Р. 83
Дубровська В.В. 212
Дульський А.І. 159
Жихарева М.О. 67
Камишний Б.М. 234
Капустянський А.О. 200
Качківський Д.О. 161
Квятковський Б.Б. 77
Кикоть В.В. 134
Клевцов С.В. 10, 29
Клейн О.С. 14
Кобилянська О.О. 175
Кобринчук С.І. 16, 47
Коваленко О.В. 18, 87
Ковальчук П.О. 20
Колодій Н.О. 49
Коньшин В.І. 21, 31, 43, 49, 53, 55, 75, 77
Корнілов О.М. 69
Корольчук В.Ю. 71
Костиря Д.О. 189
Кравець В.Ю. 41, 109, 113
Кравченко П.М. 21
Кравчук К.С. 197
Круківський Д.В. 163
Куделя П.П. 197
Кузьменко В.М. 23, 51
Кулеш Н.С. 136
Кулинич В.С. 111, 115
Курник А.В. 25
Ліпницький Л.В. 105
Ліщук С.Р. 169
Логвинюк М.О. 138, 140
Луковець І.П. 27
Лук'яненко К.М. 18
Лю Я. 226
Майстренко О.О. 228
Малащук Н.С. 117
Марисюк Б.О. 177
Мельник Р.С. 103
Меренгер П.П. 181
Місюра Т.О. 236
Мітченко І.О. 171
Мішко П.І. 218
Мороз О.С. 191
Науменко Р.С. 142
Наумчук О.С. 238
Недбайло О.М. 163
Неділько А.В. 144, 146
Ніколаєнко Ю.Є. 103, 105
Нікуленкова Т.В. 187, 189
Новаківський Є.В. 132, 138, 140, 142, 144, 146
Новиков О.В. 79
Носовський А.В. 6, 20, 67
Овдїєнко Ю.М. 12, 16, 47, 73
Олайя-верано Н.Е. 150
Олексюк А.В. 204
Онищук Ю.С. 29
Ословський С.О. 240
Остапенко І.А. 69, 71, 98, 100

Остаповець А.О. 31, 53
Петречук А.Л. 242
Пешко В.А. 157, 169
Письменний Є.М. 65
Підпалій Д.В. 55
Піщина І.Г. 128, 130, 148
Подстєвая Т.Л. 206, 226
Полупан А.О. 57
Притула Н.О. 218
Пугачов П.О. 59
Пуховий І.І. 242
Ремінний М.П. 119, 123
Риндюк Д.В. 161, 179, 193, 195
Ріферт В.Г. 232
Рогачов В.А. 111, 115, 152
Романенко І.М. 65
Романова К.О. 200
Ромащенко М.Д. 121
Рябцун Р.С. 148
Сахно О.В. 14, 27, 61, 79
Середа В.В. 226
Сірій О.А. 159, 165, 173, 175
Сірчин І.В. 33
Скрипко Є.І. 61
Сліжевський К.Д. 208
Соломаха А.С. 216, 230
Сорока О.І. 81
Сорокова Н.М. 117, 121
Степанченко А.А. 179
Стеценко О.М. 210
Сторожук М.С. 165
Стринада П.С. 230
Тимошенко М.С. 37
Тимошенко В.С. 35
Трофименко О.Р. 65, 67
Туз В.О. 136, 150
Федорець Д.С. 123
Федоров Д.О. 85, 89, 91
Фещенко Д.С. 98
Філатов В.І. 8, 25, 33, 39, 57, 59, 81
Філонов В.В. 18, 83, 85, 87, 89, 91
Філонова Ю.С. 83, 87, 89, 91
Хілімончук Д.І. 183
Цао Ш.. 125
Черноусенко О.Ю. 177, 191
Чумак Н.В. 212
Шахбазов І.О. 173
Шахнюк Е.В. 39
Шевченко Д.І. 220
Шевченко О.М. 220
Шелешей Т.В. 155, 167
Шкляр В.І. 212
Шкільний М.В. 152
Юрчук В.С. 167
Яворський М.О. 41
Яркова Н.А. 214
Ярошевич М.В. 216
Яценко О.І. 204

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