

Факультет машинобудування, електроінженерії та хімічних технологій

Кафедра хімічних технологій та хімічного машинобудування

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Євген ЗБИКОВСЬКИЙ

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ____ ” _____ 2022 року

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Магістр

на тему: «Підвищення довговічності трубчатих печей для переробки кам'яновугільної смоли»

Виконав: магістр 2-го курсу, групи ТПМм-21 спеціальності 133 Галузеве машинобудування, спеціалізації «Техніка переробки сировинних матеріалів»

Дмитро КУЛЕШОВ

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник доц., к.т.н. Павло ТРЕТ'ЯКОВ

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій кваліфікаційній роботі немає за-позичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____

(підпис)

Луцьк – 2022 р.

Факультет Машинобудування, електроінженерії та хімічних технологій Кафедра «Хімічних технологій та хімічного машинобудування» Освітній ступінь магістр
Спеціальність 133 Галузеве машинобудування, спеціалізації «Техніка переробки кисневих матеріалів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри:

Євген ЗБИКОВСЬКИЙ

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ _____ ” _____ 2021 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Кулешова Дмитра Олексійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи: «Підвищення довговічності трубчатих печей для переробки кам'яновугільної смоли»

керівник роботи Павло ТРЕТ'ЯКОВ, доц., к.т.н.

затверджені наказом по університету від „23” вересня ____ 20__ р. № 437

1. Строк подання студентом роботи _____

2. Вихідні дані до роботи _____

Максимальна температура стінки труби 223,3°C, максимальні цикли навантаження в трубі 114x7 - 2,3x10⁵ за 200°C та 1,7x10⁵ за 300°C, сортамент – 152x8, 133x8, 127x7, 113x7, 108x6, 89x5

3. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Актуальність та аналіз напрямів підвищення довговічності трубчатих печей, причини зниження та оцінка ресурсу, математичне моделювання зміни ресурсу змійовика трубчатої печі, заходи щодо підвищення довговічності, охорона праці

4. Перелік графічного матеріалу (з точною вказівкою обов'язкових креслень)
Презентація кількістю 15 аркушів

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1 Актуальність та аналіз напрямів підвищення довговічності трубчатих печей			
2 Причини зниження та оцінка ресурсу			
3 Математичне моделювання зміни ресурсу змійовика трубчастої печі			
4 Заходи щодо підвищення довговічності			
5 Охорона праці			

6. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз конструкції та експлуатаційних умов трубчастих печей		
2	Патентно-літературний аналіз стану проблеми		
3	Розробка та аналіз математичної моделі зміни остаточного ресурсу змійовика трубчастої печі		
4	Пошук засобів підвищення довговічності трубчастих печей під час експлуатації		
5	Розробка заходів з охорони праці		
6	Підготовка презентації		
7	Оформлення пояснювальної записки		

Студент _____ Дмитро КУЛЕШОВ
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Павло ТРЕТ'ЯКОВ
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Кулешов Д.О. підвищення довговічності трубчатих печей для переробки кам'яновугільної смоли / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування (спеціалізація «Техніка переробки сировинних матеріалів»). – ДВНЗ ДонНТУ, Луцьк, 2022.

Роботу присвячено питанням забезпечення та підвищення довговічності трубчастих печей, а саме найбільш відповідальному та матеріалоємному конструктивному елементу - трубчастому змійовику. Виконано патентно-літературний аналіз стану проблеми зниження надійності трубчастих печей та виділення напрямів підвищення довговічності таких об'єктів.

В роботі сконцентровано увагу на процесах зміни залишкового ресурсу змійовика із зміною товщини стінки трубчастих елементів для різноманітних сортаментів труб та марок сталей з яких вони виконуються.

Об'єкт дослідження – зниження ресурсу змійовика трубчастої печі в процесі експлуатації.

Предмет дослідження – підвищення довговічності трубчастої печі.

Методи дослідження – патентно-літературний аналіз стосовно проблеми та виділення можливих напрямів її рішення, моделювання зміни ресурсу трубчастих елементів змійовика.

Наказ 437

23.09.2022

ТРУБЧАСТА ПІЧ, ЗМІЙОВИК, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ,
ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ, ЗАЛИШКОВИЙ РЕСУРС,
КОНСТРУКЦІЯ, ТЕМПЕРАТУРА, ЦИКЛИ.

ANOTATION

Kuleshov D.O. Increasing the durability of tubular furnaces for processing coal tar / Final qualification work for obtaining the educational degree "Master" in specialty 133 Industrial Engineering (specialization "Technology of processing raw materials.") - SHEI DonNTU, Lutsk, 2022.

The work is devoted to the issues of ensuring and increasing the durability of tubular furnaces, namely the most responsible and material-intensive structural element - a tubular coil. The patent-literature analysis of the state of the problem of reducing the reliability of tubular furnaces and the allocation of directions for increasing the durability of such objects is carried out.

The work focuses on the processes of change of the residual life of the coil with the change of the wall thickness of tubular elements for various grades of pipes and steel grades from which they are made.

Object of research - reduction of the resource of the tube furnace coil during operation.

Subject of research - increasing the durability of the tube furnace.

Methods of research - patent-literature analysis of the problem and allocation of possible directions of its solution, modeling of changes in the resource of tubular elements of the coil.

Edict 437

23.09.2022

TUBE FURNACE, COIL, MATHEMATICAL MODEL, INCREASE OF DURABILITY, RESIDUAL LIFE, DESIGN, TEMPERATURE, CYCLES.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 АКТУАЛЬНІСТЬ ТА АНАЛІЗ НАПРЯМІВ ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ТРУБЧАТИХ ПЕЧЕЙ.....	9
1.1 Актуальність проблеми	9
1.2 Конструкції та принцип дії трубчастих печей	10
1.3 Класифікація трубчастих печей.....	12
1.3.1 Основи класифікації трубчастих печей	13
1.3.2 Печі конвективного типу.....	15
1.3.3 Печі радіантно-конвективного типу.....	16
1.3.4 Печі радіантного типу.....	27
1.4 Конструкція змійовика	28
1.5 Патентно-літературний аналіз стану проблеми	30
1.6 Постановка завдання.....	34
2 ПРИЧИНИ ЗНИЖЕННЯ ТА ОЦІНКА РЕСУРСУ	35
2.1 Аналіз причин зниження довговічності трубчастого змійовика.....	35
2.2 Оцінка залишкового ресурсу	37
2.2.1. Загальні положення.....	40
2.2.2. Обстеження технічного стану	41
2.2.3 Дослідження фізико-механічних властивостей металу	51
2.2.4 Оцінка фактичної навантаженості та працездатності основних елементів	54
2.3 Методика визначення залишкового ресурсу.....	55
2.3.1 Рентгенівська дефектоскопія	56
2.3.2 Ультразвукова дефектоскопія.....	56
2.3.3 Магнітна дефектоскопія	57
2.3.4 Капілярні методи.....	57
2.3.5 Метод акустичної емісії (АЕ).....	58
2.3.6 Радіохвильовий метод.....	60
2.3.7 Контроль герметичності.....	60

2.4 Фланцеві з'єднання.....	61
2.5 Висновок	61
3 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗМІНИ РЕСУРСУ ЗМІЙОВИКА ТРУБЧАТОЇ ПЕЧІ.....	63
3.1 Розрахунок температури зовнішньої поверхні труб радіантного змійовика.....	64
3.1.1 Розрахунок коефіцієнта тепловіддачі до однофазного потоку для першої труби.....	64
3.1.2 Поверхнева густина теплового потоку	64
3.1.3 Розрахунок температури труби на вході та виході.....	67
3.2 Розрахунок циклів роботи.....	67
3.3 Визначення залежності обмеженого граничного числа циклів навантаження від товщини стінки.....	74
3.4 Висновок	80
4 ЗАХОДИ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ.....	81
4.1 Підвищення довговічності змійовика	81
4.2 Розробка вогнестійкого покриття.....	83
4.3 Виготовлення вогнестійких для покриттів методом торкретування.....	84
4.4 Забезпечення довговічності трубчастої печі під час експлуатації.....	85
4.4.1 Заходи з технічного обслуговування та ремонту трубчастої печі ..	85
4.4.2 Ревізія основних елементів трубчастих печей	90
4.4.3 Чищення та ремонт трубних змійовиків.....	93
4.5 Висновок	100
5 ОХОРОНА ПРАЦІ	101
ВИСНОВОК.....	108
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	110

ВСТУП

Трубчасті печі виробляють тепло яке потім використовують для нагрівання бажаного продукту, а саме кам'яновугільної смоли. Яка використовується для отримання різних фракцій. Таких як: легка олія, фенольна фракція, поглинальна фракція, антраценова фракція.

Цей агрегат є одним з основних з численного спектру обладнання технологічних установок - завдяки високій термічній ефективності, компактності, легкого обслуговування та можливості автоматизації процесу нагрівання.

Для досягнення високих техніко-економічних показників роботи трубчастих печей, необхідного забезпечення експлуатаційної надійності та довговічності печі, а також організації охорони праці важливо вирішити проблему безпеки.

Таким чином, завдання полягає в тому, щоб збільшити термін служби змійовиків для підвищення надійності печі. Оскільки саме змійовики переживають колосальні навантаження та деформації, через високотемпературний вплив, з одного боку, та потоку всередині труб з іншого.

1 АКТУАЛЬНІСТЬ ТА АНАЛІЗ НАПРЯМІВ ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ТРУБЧАТИХ ПЕЧЕЙ

1.1 Актуальність проблеми

Змійовик на сьогоднішній день є досить не довговічною частиною трубчастої печі. Цей елемент конструкції печі піддається постійним колосальним навантаженням як у середині, так і зовні:

- вплив високих температур;
- взаємодія з корозійними речовинами;
- механічний вплив внаслідок постійного тертя рідини, що прокачується через піч, об стінки змійовика

Усі перераховані вище негативні фактори спричиняють:

- скорочення терміну служби змійовика і, як наслідок, усієї трубчастої печі;

- коксоутворення всередині змійовика, що тягне за собою зниження пропускної здатності, підвищення тиску подачі потоку смоли. Також збільшується зовнішній діаметр труби більше за допустиме значення через утворення коксу в певній ділянці труби. На цих ділянках змійовик дуже сильно нагрівається, через те що кокс порушує теплопровідність, перешкоджаючи відведенню тепла від стінки трубного змійовика. Характеристики міцності металу в нагрітих ділянках падають, через внутрішній надлишковий тиск змійовик на цих ділянках починає роздуватися, що призводить до негайної зупинки трубчастої печі;

- виникнення локальних осередків високої температури, що призводить до місцевого прогару;

- втомне напруження металу внаслідок деформації (провисання, віддулини, раковини) змійовика. На зовнішній поверхні змійовика утворюється сітка тріщин. Поява тріщини зумовлена властивістю металу

безперервно деформуватися під впливом високих температур і напружень, внаслідок чого в металі з'являються тріщинки;

1.2 Конструкції та принцип дії трубчастих печей

Промислова трубчаста піч призначена для високотемпературного нагрівання вихідного продукту завдяки спалюванню палива. У деяких випадках нагрівання містить хімічні зміни.

Трубчасті печі використовуються в хімічній та газовій промисловості. Застосовуються для обігріву во, випарювання та крекінгу масла та продуктів їх переробки, а також хімічних перетворень багатьох нафтопродуктів у процесах піролізу та піролізу, де печі виконують технічну функцію реакторів.

Трубчаста піч є складним агрегатом, який крім самої печі містить різне додаткове обладнання: пристосування для згоряння пального, сполучні елементи (армутури, реторти), комунікації (газоходи, димові труби), засоби вимірювання та автоматизації.

Теплова енергія, що підводиться до вихідного продукту, отримується завдяки спалюванню рідкого або газоподібного палива. Ця енергія потрібна для того щоб нагріти продукт.

Спалювання палива в трубчастих печах відбувається в спеціальних пристроях (пальники, форсунки), встановлених у камері згоряння. Підведення теплової енергії до продукту, що нагрівається, здійснюється трьома видами теплообміну: теплопровідністю, конвекцією і тепловим випромінюванням. Більша частина тепла передається випромінюванням, тому камера згоряння називається радіантною.

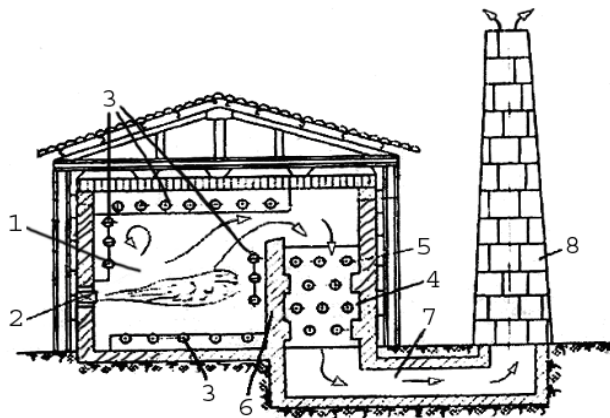
Трубчаста піч зазвичай містить дві секції (рисунок 2.1): камеру згоряння або радіації 1, у пальниках 2 якої спалюють паливо і розміщують радіантні труби 3, і камеру конвекції 4, до якої надходять продукти згоряння палива (димові гази) і в якій розміщують конвективні труби 5. Радіантні та конвективні труби завдовжки 3..24м утворюють зміювик для продукту, що

нагрівається. Труби радіантного змійовика, що сприймають променисту енергію під час горіння палива, називають екраном. Радіантна камера відокремлена від конвективної перевальною стіною 6.

Продукт, що нагрівається, одним або кількома потоками подається в конвективний змійовик, а потім направляється в радіантний і виводиться з печі.

Метою конвекційної труби є використання тепла відпрацьованих газів. з камери згоряння і мають порівняно високу температуру (600-900С). Якщо тепло цих газів може бути використане для інших цілей, таких як: підігрів повітря, генерація водяної пари, то необхідність у конвективних трубах відпадає.

Димові гази з камери конвекції надходять до газоходу 7, димової труби 8 і викидаються в атмосферу.



1 - камера згоряння; 2 - пальники; 3 - радіантні труби; 4 - камера конвекції; 5 - конвекційні труби; 6 - перевальна стіна; 7 - газохід; 8 - димова труба

Рисунок 1.1 - Принципова схема пічної установки

Димові гази проходять через трубчасті печі завдяки природі та штучній тязі. Природна тяга підтримується димовою трубою, а штучна, що застосовується значно рідше, - за допомогою димососа.

Рухаюча сила, необхідна для проштовхування димових газів через трубчастий змійовик і димохід, за природної тяги створюється внаслідок різниці густини атмосферного повітря і димових газів, які залежать в

основному від їхньої температури. Легший димовий газ витісняється важчим атмосферним повітрям. Чим вища висота димаря і температура димових газів, що залишають піч, тим більша природна тяга.

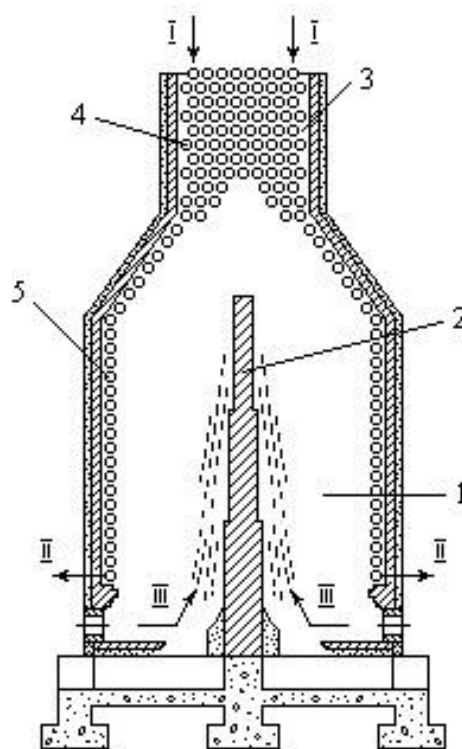
У промисловості застосовуються трубчасті печі з нагрівом трубчастих поверхнями від 15 до 2000 м² та тепловою потужністю від 0,5 до 100 МВт.

1.3 Класифікація трубчастих печей

Основна робота таких пристроїв розбита на 2 етапи:

1) При згорянні палива утворюється газ збирається в головному секторі топкового відсіку. Виділяється велика кількість тепла, і дим поступово витісняється в порожнину теплообмінника з конвекційними трубами. Поступово остигаючи, він витісняється нагрітим повітрям. Температура доводиться до заданого рівня.

2) У конвекційні труби знизу надходить холодне повітря, потім проходячи по нагрітих трубопровідних екранів, він розігрівається до максимальної температури і підтримує оптимальний і заданий рівень нагріву трубчастої камери печі. Деталі проходять термічну обробку в кілька етапів і після закінчення роботи агрегату висуваються на візку або іншому вигляді обладнання.



1 - топкова камера; 2 - середня випромінювальна стінка; 3 - камера конвекції; 4 - труби конвекційні; 5 - труби радіантні; I – сировина (Вхід); II – сировина (Выхід); III - паливо і повітря.

Рисунок 2.1 – схема трубчатої печі

Температура може поступово знижуватися в період перерви в нагріванні, все залежить від операції по обробці виробів, а деталі остигаючи, отримують певні властивості і структуру. За роботою печей стежить автоматика з системою термодатчик

1.3.1 Основи класифікації трубчастих печей

За технологічним призначенням трубчасті печі підрозділяються на нагрівальні та нагрівально-реакційні.

Нагрівальні печі призначені для нагрівання і часткового або повного випаровування сировини. До них належать печі установок перегонки нафти і

мазуту, стабілізації нафти, каталітичного крекінгу, риформінгу, коксування, каталітичного дегідрування і полімеризації (за виносних реакційних камер) та інші.

Нагрівально-реакційні печі призначені для нагрівання сировини і повідомлення їй тепла, необхідного для проведення ендотермічних реакцій. До них належать печі установок термічного крекінгу, піролізу, трубчасті реактори дегідрування.

За способом спалювання палива трубчасті печі підрозділяються на три основні типи:

- з факельним спалюванням палива;
- з випромінювальними стінами топки;
- з настільним полум'ям.

За способом передавання теплоти від продуктів згоряння палива до потоку сировини, що переробляється, трубчасті печі поділяють на конвективні, радіантно-конвективні та радіантні.

У конвективних печах до 80 % загальної кількості теплоти передається за рахунок конвекції, а решта кількості теплоти передається радіацією. У печах такого типу забезпечуються більш м'які умови теплообміну (менша різниця температур між стінкою труби і продуктом, що переробляється).

У печах радіантно-конвективного типу 40...60 % кількості теплоти передається радіацією, а решта - конвекцією.

У радіантних печах основна кількість теплоти передається радіацією. Камера конвекції тут має допоміжне значення.

За конструктивною ознакою розрізняють печі коробчатого типу, вертикальні, циліндричні та печі з похилим склепінням.

Коробчасті печі поділяються:

- за типом змійовика і способом передавання тепла (радіантні, радіантно-конвективні, конвективні); при цьому радіантна частина змійовика може розташовуватися на стелі (склепінні), стінах і підлозі печі, і тому ці

частини змійовика називають стельовим, бічним (настінним) і подовим екраном;

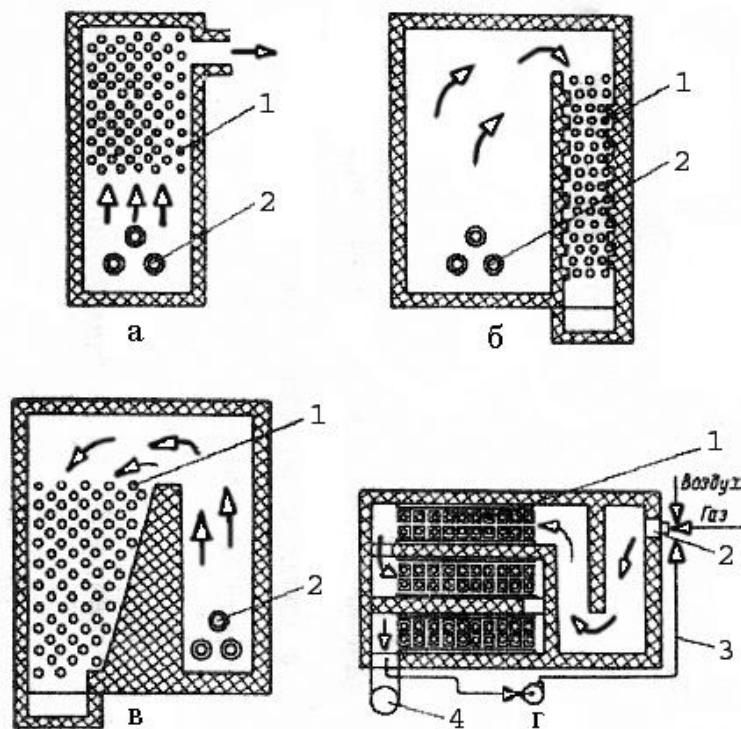
- за кількістю рядів екранних труб (однорядні, дворядні);
- за взаємним розташуванням екранних труб (труби радіантної секції печі перпендикулярні або паралельні трубам конвективної секції);
- за місцем розташування конвективної секції печі (під радіантною секцією і з нижнім відведенням димових газів, а також над радіантною секцією і з верхнім відведенням димових газів);
- за кількістю камер згоряння (однокамерні, двокамерні та багатоканерні);
- за напрямком руху димових газів (з низхідним, висхідним і прямолінійним рухом);

за кількістю живильних потоків або змійовиків (одно-, дво- і багатопотокові або одно-, дво- і багатозмійовикові). При цьому в дво- і багатоканерних трубчастих печах може нагріватися сировина одного або декількох видів. Такі печі застосовують на комбінованих технологічних установках, якщо необхідне зональне регулювання теплонапруги труб.

1.3.2 Печі конвективного типу

На рисунку 2.2 наведені печі конвективного типу з верхнім (рисунок 2.2,а) і нижнім (рисунок 2.2,б, в, г) відведенням димових газів. Горизонтальне розташування змійовика (рисунок 2.2,а, б і в) дає змогу порівняно легко видалити продукт із труб і продутити їх під час планових зупинок печі на ремонт, в аварійних ситуаціях тощо. Вертикальне розташування змійовика дає змогу значно простіше кріпити і ремонтувати труби. З метою зменшення прогару труб конвективний змійовик відокремлений від топки перевальною стіною (2.2, б, в, г). Перетин конвективної камери, що зменшується за ходом руху димових газів, забезпечує більш рівномірну теплонапруженість поверхні нагрівання для різних рядів труб. Прогар труб можна знизити

зниженням температури димових газів, що надходять у конвективну камеру, або спалюванням палива з великим надлишком повітря. Однак ці заходи різко погіршують показники роботи печі.



1 - трубний пучок; 2 - форсунки; 3 - трубопровід для рециркуляції газів згоряння в топку; 4 - димова труба

Рисунок 2.2 - Печі конвективного типу з горизонтальними трубами (поперечний розріз): а, б і в; печі з вертикальним розташуванням труб – г

1.3.3 Печі радіантно-конвективного типу

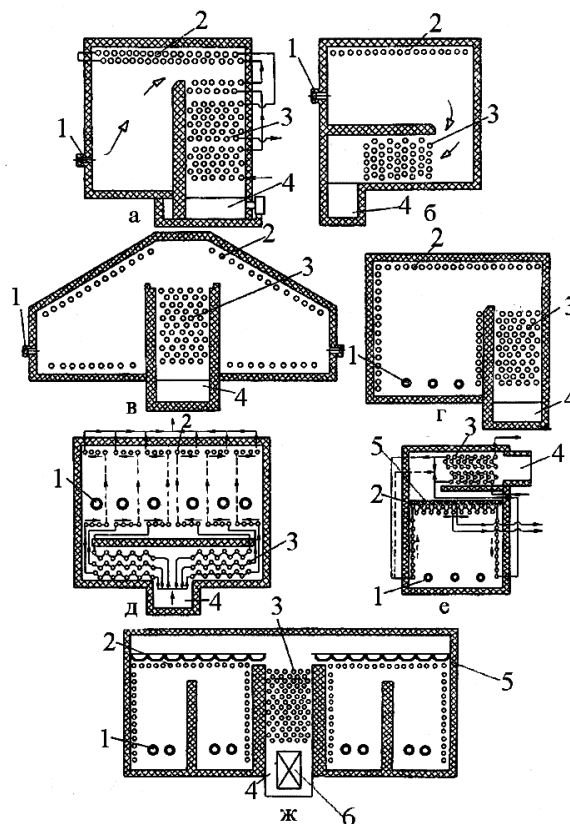
Печі радіантно-конвективного типу знайшли найбільше застосування. На рисунку 2.2 показано радіантно-конвективні печі з нижнім відведенням димових газів і горизонтальним розташуванням труб.

Піч, зображена на рисунку 2.2,а використовується як реакційно-нагрівальна. Верхній стельовий екран виконаний дворядним. Другий ряд труб використовується як реакційна зона.

Для зниження температури димових газів перед конвективним змішувачем передбачена рециркуляція димових газів, які частково забирає з газоходу димосос.

У нагрівальних печах стельовий, подовий і бічний екрани зазвичай виконують однорядними (крім екрана двостороннього опромінення). Конструктивною відмінною особливістю печі на рисунку 2.2,б є наявність горизонтальної стіни, що відокремлює радіантну камеру від конвективної.

У двокамерній печі з похилим склепінням (рисунок 2.2,в) і однорядними стельовим і подовим екранами є загальна камера конвекції. Призначення похилого склепіння - вирівнювання теплових навантажень стельового екрана. Піч застосовується для переробки одночасно двох продуктів з різними режимами нагріву або двох самостійно регульованих потоків. За малих потужностей будуються однокамерні печі з одним похилим склепінням.



- 1 - форсунка; 2 - радіантні труби; 3 - конвективні труби; 4 - димохід;
5 - склепіння; 6 - повітропідігрівач

Рисунок 2.3 - Печі радіантно-конвективного типу з горизонтальним розташуванням труб, пристосовані для роботи на рідкому і газоподібному паливі (поперечні розрізи)

На рисунку 2.3 д зображено шестипоточну трубчасту піч із нижнім розташуванням конвективної камери. Продукти згоряння палива проходять через однорядний, піднятий від поду печі екран, розгалужуються і з двох протилежних боків надходять у конвективний пучок труб. Опори подового екрана прикріплюються до решіток конвективного пучка.

У печі, зображеній на рисунку 2.3,е, продукти згоряння палива проходять через дворядний стельовий екран і надходять у конвективний пучок труб, розташований у верхній частині печі. На верхньому ряду стельових труб із зазорами покладена фасонна вогнетривка цегла, що сприяє кращому омиванню газами другого ряду труб. Піч призначена для нагрівання одного або двох потоків продукту.

У печах (рисунок 2.3,а, б, в) вісь форсунок перпендикулярна до осі радіантних труб. У печах (рисунок 2.3,д, е, г, ж) осі форсунок і труб паралельні, що призводить до небажаного нерівномірного розподілу теплонапруги по довжині труб.

Чотирикамерна піч (рисунок 2.3,ж) призначена для нагріву двох або більшої кількості потоків продукту, що нагрівається. Продукти згоряння проходять через однорядний стельовий екран, на якому з проміжками покладена фасонна вогнетривка цегла.

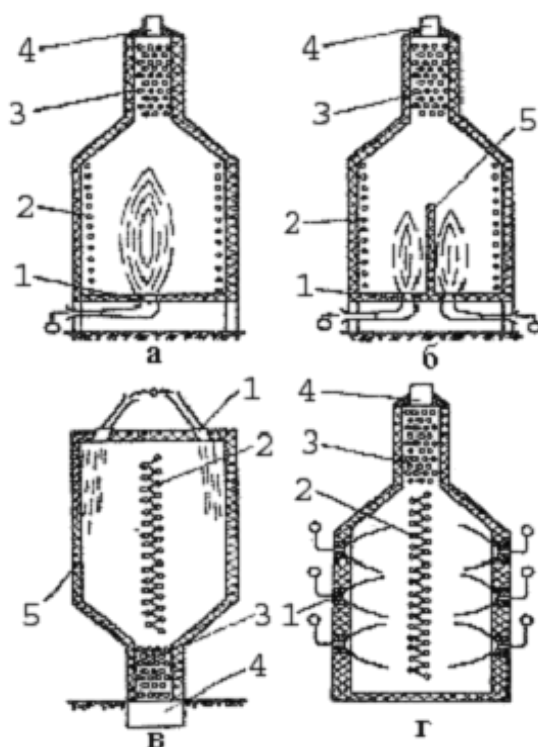
На рисунку 2.3, а, б зображені вузькокамерні печі з вертикальним розташуванням осі факела. Ці печі працюють на газоподібному або комбінованому газорідинному паливі, оскільки розташування форсунок для рідкого палива в середній частині поду ускладнило б їхнє обслуговування. Верхнє розташування конвективної камери знижує опір газоходу, що дає змогу зменшити висоту димової труби до 10...20 м. Тяга здійснюється однією або кількома трубами, встановленими над конвекційною камерою на відстані 3...6 м одна від одної. Крім того, верхнє розташування конвективної камери

забезпечує плавний без завихрень природний (знизу вгору) рух продуктів згоряння.

Відмінною конструктивною особливістю печі на рисунку 2.3,б є наявність розділової стіни 5. Після спалювання палива частина факела настиляється на розділову стіну, яка починає випромінювати тепло. Це печі з об'ємно-настильним факелом.

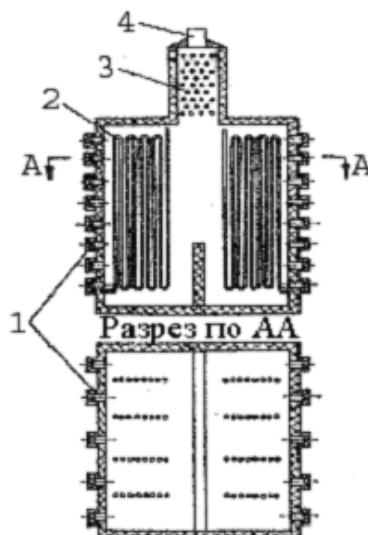
Зображені на рисунку 2.3, в, г печі мають двоядний екран двостороннього опромінення і нижнє (рисунок 2.3, в) або верхнє розташування конвективної камери. Осі пальників печі (рисунок 2.3,в) розташовані під деяким кутом, завдяки чому частина полум'я настиляється на бічні стіни печі, що починають випромінювати тепло. Це печі з настильним факелом.

Нижнє розташування конвективної камери передбачає рух продуктів згоряння палива зверху вниз. Незначне розрідження у верхній частині камери призводить до циркуляції газів, виникнення завихрень, що збільшує теплонапруження верхніх труб конвективного змійовика.



1 - газові пальники; 2 - радіантні труби; 3 - конвективні труби; 4 - вихід газів із печі; 5 - розділювальна стіна

Рисунок 2.3 - Печі радіантно-конвективного типу з горизонтальним розташуванням труб



1 - форсунка; 2 - трубний змійовик; 3 - конвективний пучок труб; 4 - димова труба

Рисунок 2.4 - Трубчаста піч радіантно-конвективного типу з однорядним екраном двостороннього обігріву и вертикальним розташуванням труб

Піч, зображена на рисунку 2.4, має вертикальне розташування змійовика труб і однорядний екран двостороннього обігріву. У печі - вісім рядів труб по чотири з кожного боку печі. Відстань між рядами - 3 м. Між кожними двома рядами труб по всій висоті печі, а також між крайніми рядами труб і торцевими стінами встановлено форсунки на відстані 800...1000 мм одна від одної.

Необхідність висотної споруди для ремонту труб збільшує питому витрату металу (витрата металу на одиницю теплопродуктивності печі).

На рисунку 2.5 наведено принципові схеми вертикальних печей з випромінювальними стінами з панельних пальників безполуменового типу. Випромінювальні стіни розташовують поблизу трубного екрана на відстані 0,6...1,0 м. Мінімальна відстань визначається необхідністю мати прохід для

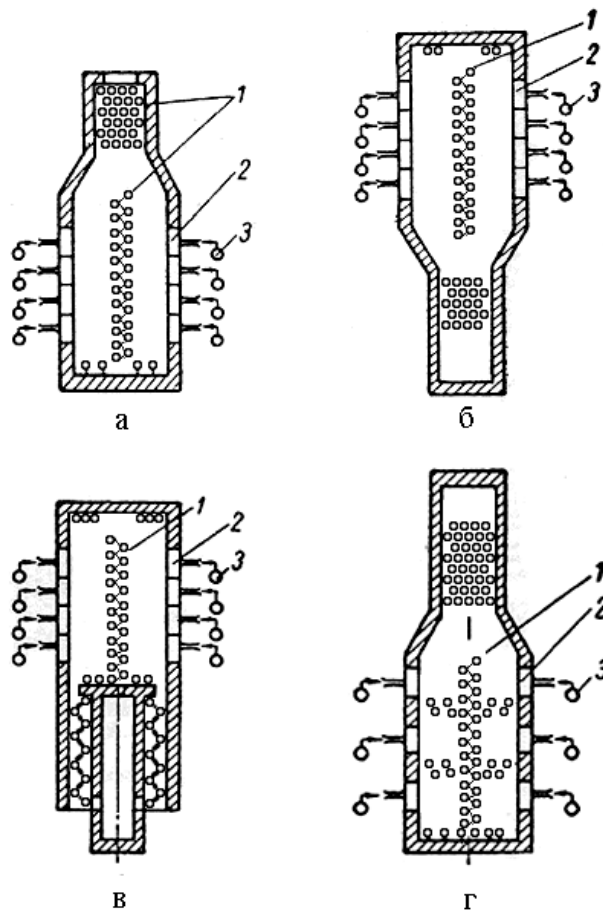
огляду та ремонту труб і кераміки пальників. У панельних пальниках відбувається згоряння газового палива, в результаті панель нагрівається і стає джерелом випромінювання.

Гази згоряння, вийшовши з пальників, проходять через трубний екран і надходять у конвективний пучок. Тепловіддача в радіантній камері здійснюється випромінюванням від розпечених стін і газів, а також конвекцією від газів.

У печах із дворядним екраном двостороннього обігріву можна проводити одночасне нагрівання чотирьох продуктів, однак у разі збільшення кількості потоків понад два важко забезпечити відповідність допустимих і фактичних теплонапруг.

Піч, зображена на рисунку 2.5,в, має дві конвективні камери, що значно зменшує вплив тепловіддачі конвекцією від газів до екрана.

Випромінювальні стіни печі (рисунок 2.5,г) складені з рядів пальників, що чергуються, та звичайної кладки приблизно тієї ж висоти, що висота пальника. Крім центрального дворядного трубного екрана двостороннього обігріву в печі через кожен ряд пальників на рівні кладки встановлені бічні дворядні екрани. Вони отримують менше тепла радіацією, ніж центральний екран, однак це компенсується тепловіддачею від газів під час проходження їх до конвективного пучка. В іншому піч нічим не відрізняється від печі (рисунок 2.5,а). Теплотехнічні показники розглянутої печі за рівномірністю нагріву труб за їхньою довжиною та окружністю рівноцінні з печами (рисунок 2.5,а), але поступаються їм у можливості тонкого регулювання тепловіддачі по трубному екрану.



1 - трубний змійовик; 2 - випромінювальна стіна; 3 - колектор газу; а - піч із верхнім розташуванням конвективного пучка; б - піч із нижнім розташуванням конвективного пучка; в - піч із двома нижніми конвективними пучками; г - піч із додатковими бічними екранами

Рисунок 2.5 - Печі з дворядним екраном двостороннього обігріву і горизонтальним розташуванням труб

Піч, зображена на рисунку 2.6,а, має однорядний зигзагоподібний горизонтальний екран. Випромінювальні стіни складаються з рядів пальників і кладки, що чергуються. Висота кожного ряду кладки - 500 ... 600 мм, тобто приблизно дорівнює або трохи вища за висоту пальника.

Піч, зображена на рисунку 2.6, а поступається печам, наведеним на рисунку 2.5, а, б, б, в, г, у можливості здійснення тонкого регулювання тепловіддачі по трубному екрану.

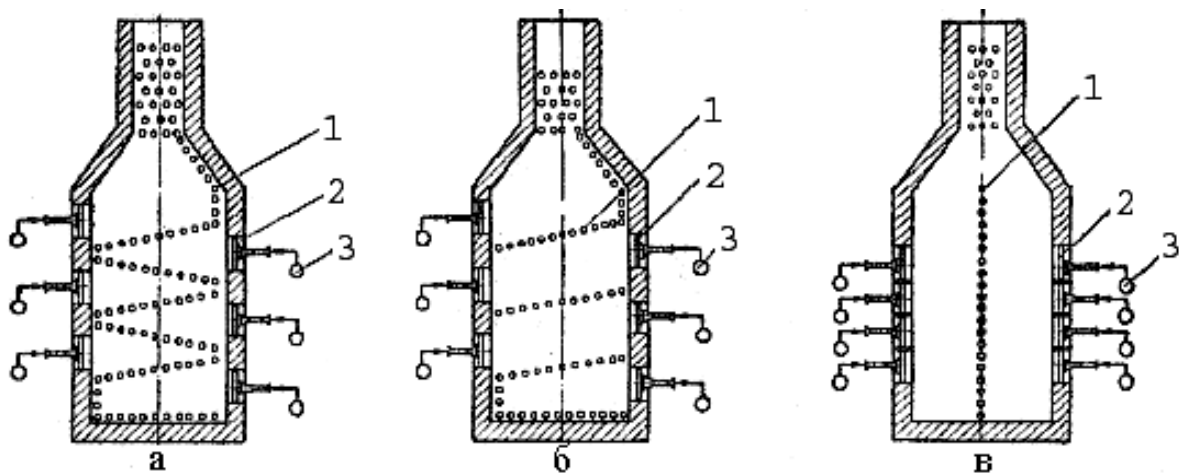
За однопотокового руху продукту, що нагрівається, всі труби радіантного змійовика з'єднуються тільки трубними двійниками. У разі

двопоточного руху продукту на n рядів труб припадає $(n - 1)$ з'єднань із кутовими двійниками.

Піч (рисунок 2.6,б) має кілька однорядних екранів, розташованих паралельно один одному під кутом 13° до горизонту. Величина обраного кута нахилу відповідає максимальному коефіцієнту рівномірності нагріву по колу труби. Між трубними екранами встановлюється по одному ряду пальників, що чергуються з кладкою, зібраною на підвісних кронштейнах. Відстань між випромінювальними стінами дорівнює 2,4 м. Вона відповідає максимальному значенню коефіцієнта рівномірності нагріву окружності труби.

У печах цього типу регулювання теплонапруги по трубному екрану здійснюється зміною теплопродуктивності відповідного ряду пальників. Однак тут важче здійснити тонке регулювання тепловіддачі, ніж у печах, що наведені на рисунку 2.5, а, б, г.

Піч (рисунок 2.6,в) відрізняється від печі на (рисунку 2.5,а) тим, що замість дворядного в ній встановлено однорядний екран двостороннього обігріву.

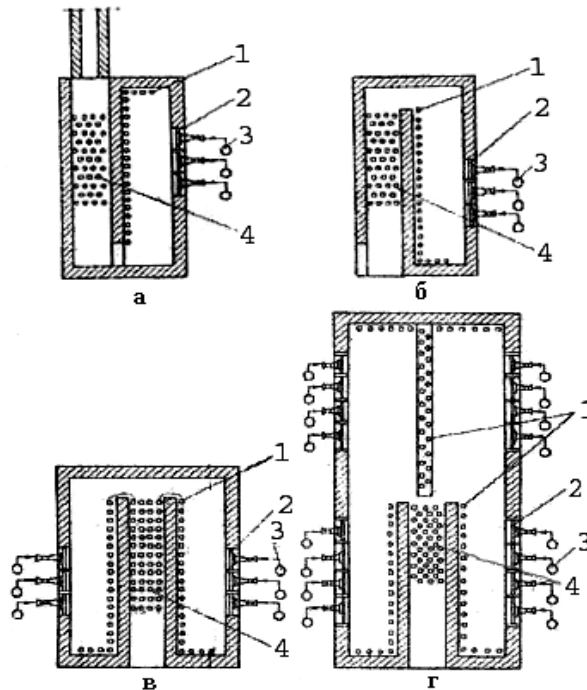


1 - трубний змійовик; 2 - випромінювальна стіна; 3 - колектор паливного газу

Рисунок 2.6 - Печі з однорядним екраном двостороннього обігріву і горизонтальним розташуванням труб

На рисунку 2.7 показано печі з однорядним настінним екраном і з бічним або центральним розташуванням конвективного пучка. У печі

(рисунок 2.7,а) газу в радіантній камері рухаються зверху вниз, а в конвективній - знизу вгору. Димова труба встановлюється у верхній частині печі над конвективним пучком труб. У печі на (рисунок 2.7,б) потік газів у радіантній камері природний, від низу до верху, що краще порівняно з піччю на рисунку 2.7,а.

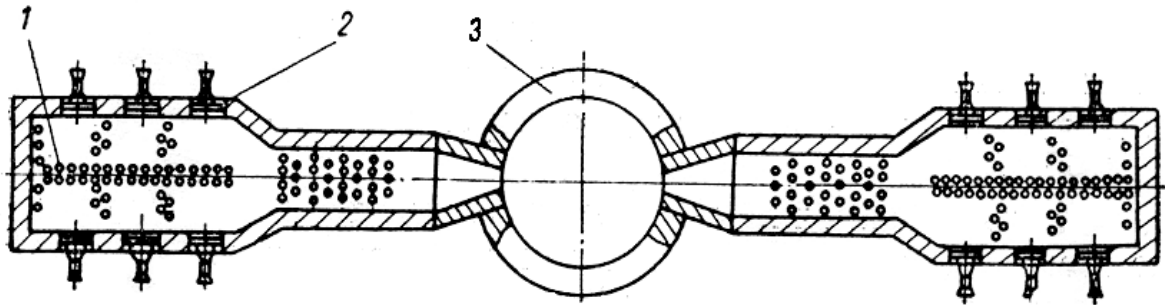


1 - трубний змійовик; 2 - випромінювальна стіна з пальників; 3 - колектор газу; 4 - конвективна камера; а - піч із бічним розташуванням конвективної камери і низхідним потоком газів у радіантній камері; б - піч із бічним розташуванням конвективної камери та висхідним потоком газів у радіантній камері; в - піч із центральним розташуванням конвективної камери та висхідним потоком газів у радіантній камері; г - піч двоярусна з центральним розташуванням конвективної камери

Рисунок 2.7 - Печі з однорядним настінним екраном і горизонтальним розташуванням труб

Піч, зображена на рисунку 2.8, складається з двох секцій і відрізняється від інших типів печей вертикальним розташуванням труб. Димова труба розташована між секціями і безпосередньо з'єднана з конвективними

камерами. Для більш рівномірного нагріву конвективних труб з'єднання димової труби і камер здійснюється по всій висоті труби. Одна секція цієї печі відрізняється від конструкції печі на (рисунку 2.5,г) лише вертикальним розташуванням труб.



1 - трубний змійовик; 2 - випромінювальна стіна; 3 - димова труба

Рисунок 2.8 - Піч із двоярядним екраном двостороннього обігріву і вертикальним розташуванням труб (план)

У вертикальній печі, зображеній на рисунку 2.9,а, застосування екрана двостороннього опромінення поєднується з використанням принципу настільного полум'я. Печі цього типу можуть бути однокамерними або багатокамерними. Форсунки зазвичай розташовуються під склепінням печі, а камера конвекції винесена донизу.

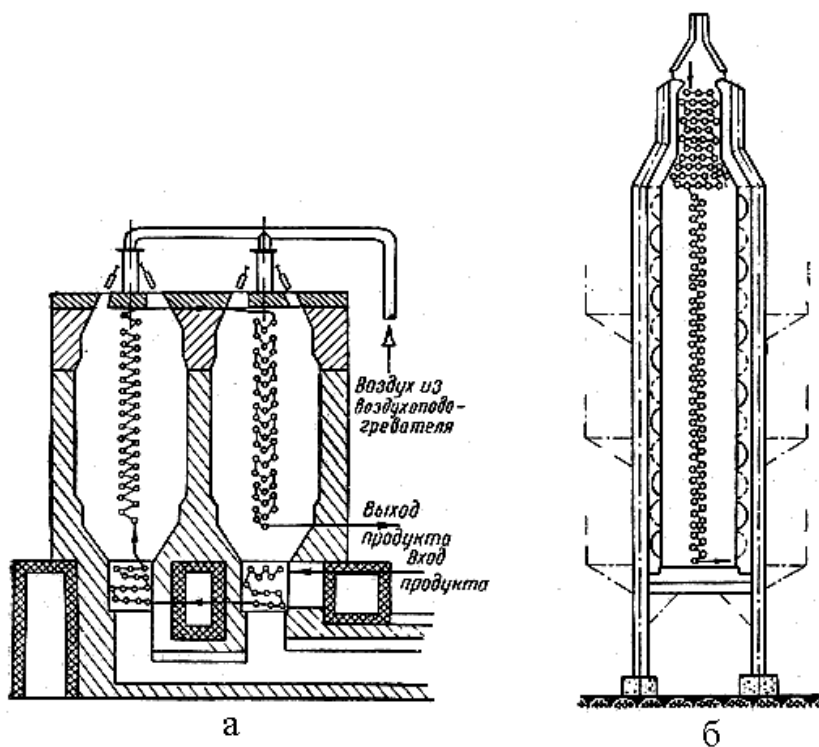


Рисунок 2.9 - Вертикальні печі з екраном двостороннього опромінення

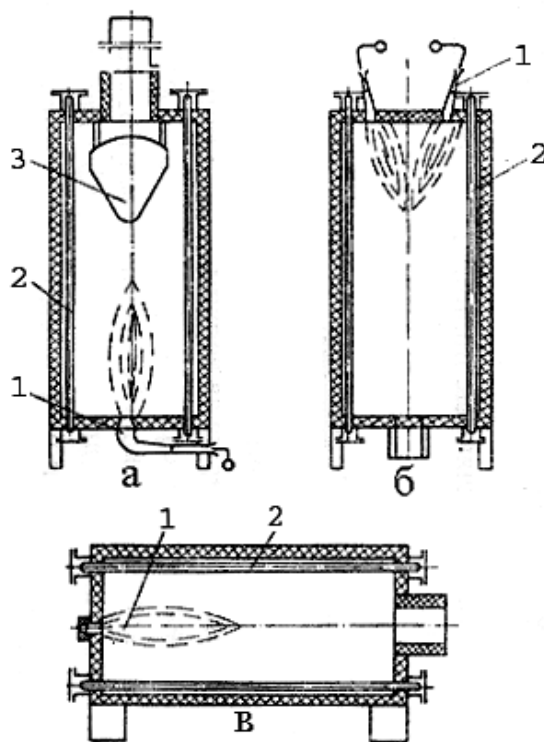
Різновидом печі з екраном двостороннього опромінення є вертикальна піч із газовими пальниками безполуменового горіння, виготовленими зі спеціальних сортів кераміки, що каталізують процес горіння. Піч являє собою вузьку камеру з екраном двостороннього опромінення, у бічних стінах якої встановлена велика кількість форсунок із кераміки (рисунок 2.9,б). Така конструкція печі робить її гнучкою, оскільки дає змогу регулювати в широких межах теплові навантаження як за висотою, так і за довжиною екранів.

Циліндричні вертикальні трубчасті печі мають змійовик із труб, розташованих вертикально в один або два ряди біля внутрішньої поверхні стінки. Конвективна камера розташовується вгорі і її труби можуть бути ребристими (коефіцієнт ребра дорівнює 3,2 ... 3,5). У таких печах використовують комбіноване газомазутне паливо.

1.3.4 Печі радіантного типу

Принципові схеми печей радіантного типу наведені на рисунку 2.10. Загальний недолік цих печей - низький коефіцієнт корисної дії у зв'язку з відсутністю конвективного пучка труб, що призводить до великих втрат тепла з газами, які виходять з печі (високі температури димових газів, що залишають піч). Дещо вищий ККД у печах цього типу досягається в разі нагрівання продуктів до невисоких температур і за низьких теплонапруг поверхні нагріву труб або в разі утилізації тепла димових газів після печі.

Печі з вертикальним розташуванням труб (рисунок 2.10,а, б) пристосовані для роботи на газоподібному паливі. Вони займають менше площі, ніж печі інших типів. Для цих печей не потрібен майданчик для зміни труб, оскільки труби витягуються вгору за допомогою електрокошки, встановленої у верхній частині димової труби. Під стелею печі, зображеної на рисунку 2.10, а, встановлений металевий конус 3, що передає тепло випромінюванням верхнім частинам труб, що інтенсифікує тепловіддачу радіацією і збільшує ступінь рівномірності нагріву по довжині труб.



1 - форсунка; 2 - трубний змійовик; 3 - тепловипромінювальний металевий конус

Рисунок 2.10 - Трубчасті печі радіантного типу (поздовжні розрізи)

Паралельне розташування осей форсунок і труб за відсутності тепловипромінювального конуса (рисунок 2.10,б) призводить до значної нерівномірності нагріву труб по довжині. Перевага печі (рисунок 2.10,б) перед (рисунок 2.10,а) - це можливість утилізації тепла димових газів, що відходять.

Перевагою радіантної печі з горизонтальним розташуванням труб (рисунок 2.10,в) є можливість легко і доступно проводити її монтаж і ремонт.

1.4 Конструкція змійовика

Змійовик виготовляється за допомогою труб довжиною від 6 м до 20 м. Вони збираються послідовно в нерозривному ланцюзі, використовуючи двійники.

Використовуються безшовні труби с діаметром від 60 до 152 мм. Найбільш використовувані труби для виготовлення змійовика мають діаметр труб 102, 127 та 152 мм

Товщину стінок труби приймають залежно від технологічного режиму (тиск, температура, корозійні властивості). Як правило, товщину приймають в інтервалі від 4 до 30 мм. Під час роботи змійовика під високим тиском застосовують товстостінні труби з товщиною, що дорівнює $1/3$ зовнішнього діаметра труби.

За кількістю потоків, що нагріваються, змійовики підрозділяються на однопотокові, двопотокові та багатопотокові, а за конструкцією - цільні та з'єднані за допомогою двійників (ретурбентів).

На рисунку 2.11 показано змійовик однопотокового типу.

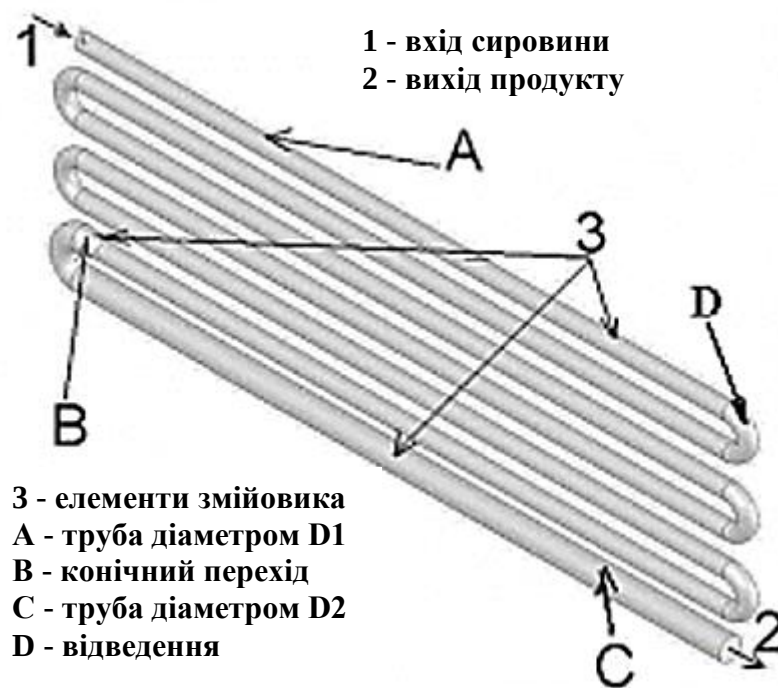


Рисунок 2.11 Однопотоковий змійовик

Пічні двійники необхідні для з'єднання труб у єдину конструкцію змійовика і є розбірним з'єднувальним елементом. Від правильного виготовлення і монтажу двійників залежить безаварійна робота трубчастих печей.

Товщина стінки труби приймається залежно від технологічного режим (тиск, температура, властивості корозії). Як правило, товщина приймається в діапазоні від 4 до 30 мм. Під час роботи змійовика під високим тиском використовуються товсті труби з товщиною $1/3$ зовнішнього діаметра труби.

На рисунку 2.12 зображено двосторонній змійовик

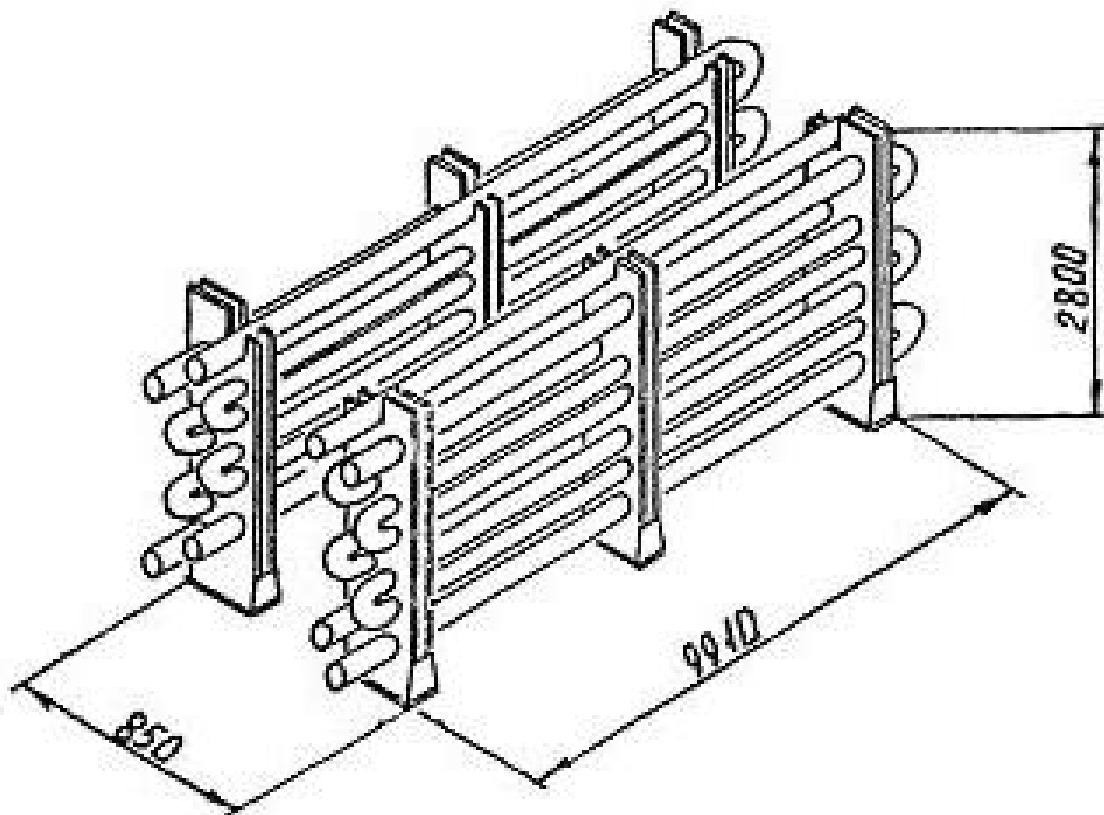


Рисунок 2.12 - рисунок двостороннього змійовика

Необхідні вимоги подаються на конструкцію парних: простота та надійність його стиків із змінними трубами, наявність ремонтних робіт, очищення труб, мінімальна гідравлічна стійкість, стійкість до корозії, хороша міцність при робочих температурах та тиску.

1.5 Патентно-літературний аналіз стану проблеми

Автором роботи [1] відмічається, що за причин того, що радіантні труби в печі піролізу піддаються впливу високих температур, працюють на межі жаростійкості металу. Температура стінки змійовика може досягати 1000С. Тому важливо забезпечувати рівномірність теплонапруженості по всій довжині труби й окружності. Перший спосіб домогтися цього -

розташувати пальники на стінках топки багаторядна. Другий - забезпечити двостороннє опромінення одно- і дворядним компонуванням трубних екранів. Зональний метод один із найефективніших методів розрахунку теплообміну в печах.

Результатом отриманих розрахунків стали висновки про те, що печі, в яких розташований дворядний змійовик, більш "стислі", довжина труб скорочується на 20-30% порівняно з однорядним екраном. Однак при цьому зменшується рівномірність опромінення змійовика. Можливо, ефективніше розміщувати труби з більшим кроком, що дорівнює $3d$, коли як при однорядному розташуванні крок зазвичай $2d$.

Авторами роботи [2] було розглянуто спосіб модернізації змійовика у збільшенні діаметра труби на кінцевій ділянці радіантного змійовика.

У печах, де сировина нагрівається до стану з високим відсотком пароутворення, слідує наростання і зміна витрати продукту по довжині труби. Це призводить до збільшення швидкості парорідинної суміші, з чого впливає зростання гідравлічного опору. Наслідком цих явищ є зростання перепаду тисків між входом і виходом, тобто тиск на вході в змійовик підвищується.

Якщо збільшити площу перерізу труби на ділянці випаровування, то можна домогтися зниження швидкості потоку. Цього можна досягти, встановивши конічний перехід між трубами різного діаметра. Швидкість потоку на збільшеній ділянці змійовика має бути мінімально допустимою, щоб не відбувалося зростання швидкості відкладення коксу на стінках труб. Крім того, слід забезпечувати плавний підйом температури продукту, що проходить через змійовик, до заданих кінцевих значень тиску і температури.

Для встановлення конічного переходу не буде потрібно значних витрат, але з'являється додатковий зварний шов, що збільшує ймовірність зносу. Натомість перехід до більшого діаметру труби дасть змогу набути належних швидкостей руху продукту і на ділянці нагрівання, і на ділянці випаровування за дозволеної втрати напору в змійовику.

У підсумку проведеного аналізу, автори статті дійшли висновку про те, що найкраща точка встановлення кінчного переходу повинна розташовуватися на відстані $0,1 \cdot L_{заг}$ від кінця змійовика.

Автори статті [3], оповідають про те, що коксонакопичення і науглецювання - негативні наслідки, які негативно позначаються на експлуатації та надійності печі.

Кокс, забруднюючи труби, знижує теплопередачу, зменшує вихід продукту, а також знижує тривалість пробігу. Навуглецювання, зі свого боку, послаблює пластичність металу, і труби стають більш схильні до руйнування через напруження або під дією вигину.

Вирішенням проблеми може слугувати застосування термодифузійного покриття на основі кремнію для зменшення утворення науглецювання і коксу. Такий спосіб нанесення покриття називається силіціювання.

Завдяки силіціюванню, крім зазначеного вище, можна ще підвищити корозійну стійкість і жаростійкість матеріалу труби.

Силіціювання вплине на адгезійну взаємодію поверхні сталі з нафтовим вуглецем, знизиться адгезійна міцність матеріалу труби.

Автор кандидатській дисертації [4] провів вивчення конструкцій змійовиків у трубчастих печах і визначив особливості гідродинаміки двофазного потоку; вивчив напружено-деформований стан змійовика в середовищі нагрівання й випаровування продукту; проаналізував гідродинамічні параметри потоку сировини в процесі нагрівання й випаровування; досліджував напружено-деформований стан змійовика та його елементів в умовах нагрівання й випаровування продукту.

Одним зі шляхів розв'язання цих питань став підхід, заснований на модернізації конструкцій змійовика за конструктивно-технологічними параметрами за допомогою їх зміни з метою забезпечення необхідних робочих характеристик. Такий підхід дав змогу знайти найкращі конструктивні пропозиції для вузлів і елементів змійовикового екрана.

У підсумку, автор створив методику оптимізації конструкції змійовика, спираючись на оцінку гідродинамічних параметрів двофазного потоку сировини і напружено-деформованого стану конструктивних елементів і вузлів змійовика. Модернізація змійовика полягає у збільшенні діаметру труби на ділянці випаровування продукту для зниження швидкості потоку і зменшення перепаду тиску на вході і виході змійовика. Це досягається шляхом встановлення конічного переходу між трубами різного діаметру. Розташування точки початку випаровування сировини обумовлюється місцем зміни діаметра змійовика (координата встановлення конічного переходу): при зміщенні координати встановлення конічного переходу в напрямку входу сировини в змійовик координата точки початку випаровування продукту відповідно зміщується в цьому напрямку. Причому, швидкість продукту на виході зі змійовика знижується при зміщенні координати установки конічного переходу в бік входу сировини.

Автор кандидатської дисертації [5], пропонує для зростання продуктивності трубчастої печі здійснювати відбір парової фази сировини, що нагрівається, у розрахунковій точці змійовика і з'єднувати відібрану пару з основним потоком на виході з печі. Такий відбір дасть змогу зменшити тиск на вході в піч, оскільки знизяться лінійні швидкості сировини і зросте еквівалентний перетин труби. З метою запобігання розкладанню сировини необхідну швидкість можна відновити шляхом додаткового введення сировини в змійовик, довівши тиск на виході з сировинного насоса до значення в існуючому варіанті.

У своїй роботі автор дала оцінку наявним конструкціям трубчастих печей і обґрунтувала об'єкт дослідження; провела аналіз дефектів змійовиків, які виникають найчастіше; здійснила дослідження методів теплового розрахунку в трубах печі; встановила найприйнятнішу точку відбору парової фази; визначила найприйнятнішу конструкцію змійовика.

1.6 Постановка завдання

Виконаний аналіз конструкції трубчастих печей та експлуатаційних умов її роботи дозволив виділити найбільш вагомий та матеріалосмний елемент – трубчастий змійовик, а також сконцентрувати увагу на наступних типах конструкцій трубчастих печей: радіантно-конвективного типу як найбільш перспективних для переробки кам'яновугільної смоли в умовах коксохімічних виробництв.

Провести патентно-літературний аналіз стосовно стану проблеми та виділення напрямів її вирішення та пошуку технічних та організаційних засобів підвищення довговічності, що стосуються трубчастої печі.

Дати математичний опис зміни ресурсу трубчастого змійовика в процесі експлуатації, розглянути методики його оцінки. Проаналізувати для найбільш розповсюджених типорозмірів та конструктивних матеріалів трубчастих елементів залежність залишкового ресурсу змійовика від товщини стінки трубчастого елемента та температурних умов його роботи.

Надати рекомендації щодо зниження швидкості зношування трубчастих елементів в процесі експлуатації змійовика трубчастої печі та високотемпературного впливу.

2 ПРИЧИНИ ЗНИЖЕННЯ ТА ОЦІНКА РЕСУРСУ

2.1 Аналіз причин зниження довговічності трубчастого змійовика

Від стану і довговічності трубчастих змійовиків залежить тривалість безперервної роботи печі а здебільшого і технологічної установки загалом.

Тому виявленню причин зносу трубчастих змійовиків слід приділяти особливо велику увагу. Пічні труби піддаються двосторонньому впливу високих температур: зсередини - від сировини, що нагрівається, зовні - від топкових газів і випромінювальних поверхонь. Зносу піддаються як внутрішні, так і зовнішні поверхні труб. Знос поверхонь і причини, що викликають його, можуть бути різними.

Знос внутрішніх поверхонь труб відбувається внаслідок корозії під дією агресивних включень, що містяться в сировині, а також ерозії потоком сировини.

Механічні домішки, коксові та інші включення, що знаходяться в смолі, мають значну кінетичну енергію, призводять до абразивного зносу змійовика. Під час тертя об поверхню пічної труби механічні домішки дробляться, і поверхня контакту труби з абразивними частинками під час руху сировини збільшується.

Механічний знос труб тим значніший, чим більший вміст абразивних включень у потоці, їхня маса і швидкість, а також чим твердіша їхня поверхня. Унаслідок високої турбулентності потоку в змійовику тверді частинки багаторазово б'ються об внутрішні поверхні труб, щоразу деформуючи або зношуючи будь-яку їхню ділянку. Шлях, пройдений твердою часткою на певній ділянці труби, у багато разів перевищує довжину ділянки. Сила удару частинок значно більша в тому разі, якщо сировина перебуває в пароподібному стані; у рідині удар пом'якшується, гаситься.

Цим пояснюється більш інтенсивний знос труб змійовиків на ділянках випаровування, тоді як внутрішні поверхні конвекційних труб майже не

піддаються ерозійному зносу. Більшому зносу сприяють і високі швидкості потоку на ділянках випаровування. У деяких печах процес ерозійного зносу, що почався процес ерозійного зносу може призупинитися після того, як внутрішні поверхні труб покриваються твердим відкладенням коксу.

Ерозійний знос внутрішніх поверхонь неоднаковий по довжині труби. Особливо швидко виходять з ладу кінці труб, розвальцьованих у ретурбендах. Це пояснюється зміною гідравлічного режиму потоку перед входом у ретурбендну камеру (кавітація внаслідок зменшення швидкості) і під час переходу з цієї камери в сусідню трубу (удар струменя).

Більш швидкий знос кінців труб обумовлений ще й тим, що вони, будучи захищеними від відкритого впливу теплової радіації, не покриваються захисною плівкою коксу. Корозійний знос ретурбентів аналогічний корозійному зносу труб. Ерозійний же знос ретурбентів значно сильніший. Зазвичай зношуються корпуси і пробки ретурбентів. Знос зовнішніх поверхонь труб зумовлений корозією, впливом топкових газів, утворенням окалини, віддулин і прогарів. Корозія топковими газами відбувається під час спалювання в топці печі корозійно - активного палива.

Найбільшій корозії піддаються радіантні труби, розташовані в зонах високих температур, а також перші за ходом сировини конвекційні труби, температура в яких нижче 50 °С, тобто нижче за найімовірнішу точку роси.

Водяна пара, що міститься в топкових газах конденсується на поверхні труб, поглинаючи сірчистий ангідрид, що міститься в цих газах утворюється сірчана кислота яка руйнує труби.

Утворення окалини - результат окислення металу, що починається із зовнішніх поверхонь: у димовому газі завжди міститься достатня кількість кисню, який є окислювачем.

Окислення відбувається в умовах сильного перегріву металу труб, зумовленого великою тепловою напруженістю поверхонь нагріву або недостатньою теплопередачею від стінок труб до смоли внаслідок відкладень, що утворилися на їхніх внутрішніх поверхнях. При цьому

фактична товщина стінок труб зменшується, і труби зрештою виходять з ладу.

За високої температури стінок труб знижується механічна міцність металу, він переходить із пружного стану в пружно-пластичний. пластичний, легко деформується під впливом навантаження.

Таким чином, зношуючись, пічні труби зазнають напруження, що постійно збільшується в міру зменшення фактичної товщини стінки. Водночас унаслідок нагрівання стінок до високих температур і тривалої експлуатації труби піддаються так званому повзучості: з плином часу деформація їх поступово збільшується. Швидкість повзучості тим більша, чим вища напруга і температура стінок труб. У результаті труби "ростуть" у діаметрі або на них з'являються так звані звані віддулини. Тому за зміною зовнішнього діаметра труб можна судити про їхній стан і фактичні властивості міцності.

Рівномірне незначне збільшення діаметра цілком закономірне для труб, що працюють у зоні підвищених температур. Воно свідчить про роботу труби в режимі сталої швидкості повзучості. Початок руйнування труби виявляється за швидкою появою віддулин.

Особливо помітні місцеві віддулини на невеликих ділянках труби: їхня деформація і зростання відбуваються особливо швидко внаслідок концентрації напружень. Зростання віддулин призводить до розриву стінки пічної труби, тобто до прогару труби. Прогар є аварією, тому профілактичні заходи повинні передбачати повне його виключення

2.2 Оцінка залишкового ресурсу

Принципи оцінювання залишкового ресурсу діючого обладнання ґрунтуються на комплексному науковому розв'язанні проблеми з використанням останніх досягнень у галузі надійності, металознавства, механіки руйнування і неруйнівних методів контролю. Комплексне наукове

розв'язання складної проблеми виправдовує себе як під час використання у світовій практиці, так і в таких наукомістких вітчизняних галузях, як авіабудування та атомна енергетика.

Розрахунок залишкового ресурсу, що ґрунтується на комплексному підході, проводять з урахуванням усіх чинників, що формують технічний стан. Відомо, що розгляд подій або явищ відокремлене, ізольовано одна від одної часто призводить до некоректних висновків. Водночас основою вивчення є окремо взятий об'єкт, але в такому разі дослідження має доповнюватися системним підходом, що враховує комплексний вплив чинників, які впливають на досліджуваний об'єкт. Аналіз результатів розрахунку дає змогу виокремити визначальний фактор, що дає найменший залишковий ресурс.

При цьому, як сказано вище, величина ресурсу, отримана за визначальним фактором, у разі впливу на нього інших факторів уточнюється. Оскільки виникають, як правило, складні випадки, коли взаємний вплив чинників у кількісному відношенні недостатньо вивчено, значення отриманого ресурсу знижують і призначають скорочені строки роботи устаткування до переходу його в граничний стан.

Залишковий ресурс обладнання може мати не тільки до закінчення розрахункового (нормативного) терміну служби, а й після нього.

Це зумовлено чинними нормами і правилами розрахунку термінів служби обладнання, що передбачають забезпечення міцності та зносостійкості виробів за найнесприятливіших режимів навантаження в заданих умовах експлуатації, а також за мінімальних рівнів механічних характеристик конструкційних матеріалів, зазначених у ДСТУ. Фактичні режими навантаження при дотриманні правил експлуатації виявляються, як правило, менш напруженими, ніж розрахункові, що знижує інтенсивність витрачання закладених запасів (за міцністю, зносом і корозійною стійкістю) та забезпечує резерв за залишковим ресурсом обладнання.

Можливість прогнозування залишкового ресурсу забезпечується за одночасного виконання таких умов:

- відомі параметри, що визначають технічний стан обладнання;
- відомі критерії граничного стану обладнання;
- є можливість періодичного (або безперервного) контролю значень

За багатьма деградаційними процесами (суцільною корозією, зношуванням, повзучістю та ін.) зазначені умови виконуються. Щодо інших видів пошкоджень (наприклад, утворення тріщин, міжкристалітної корозії) не всі умови, необхідні для прогнозування залишкового ресурсу за даною методикою, можуть виконуватися; в таких випадках потрібне проведення спеціальних досліджень. Можливість експлуатації посудин, що працюють під тиском, у яких виявлено дефекти, що перевищують допустимі норми, визначають спеціалізовані науково-дослідні організації відповідно до ГОСТ 27.002-89.

Ресурс безпечної експлуатації посудин і апаратів у разі прогнозування визначається розрахунком мінімального (гамма-відсоткового) терміну служби, можливого за найнесприятливішого розвитку процесів деградації. Гамма-відсотковим називається ресурс, що забезпечується з імовірністю (γ), близькою до одиниці.

Під час прогнозування залежно від терміну експлуатації обладнання та ступеня його пошкодження застосовують два підходи. За малого терміну експлуатації (відносно нормативного) і незначних розмірів дефектів і пошкоджень (у межах норм допустимих технологічних дефектів) прогнозування залишкового ресурсу устаткування здійснюють на основі інформації про експлуатаційні навантаження і міцність конструкції.

За терміну експлуатації, близького до нормативного, і (або) значної пошкодженості елементів устаткування додатково досліджують вплив ушкоджень на довговічність і безпеку устаткування.

Залежно від можливостей отримання інформації застосовують два види моделей для прогнозування ресурсу: детерміновані та ймовірнісні. У разі

використання детермінованих моделей відхилення контрольованих параметрів відносять до похибок методів контролю, випадкових перешкод і під час прогнозування залишкового ресурсу в розрахунках враховують за допомогою коефіцієнтів запасів. У разі використання ймовірнісних моделей коливання спостережуваних параметрів враховують як додаткову інформацію, що дає змогу підвищити достовірність прогнозування.

2.2.1. Загальні положення

Продовження термінів експлуатації хіміко-технологічного устаткування є величезним резервом підвищення ефективності використання обладнання та економії матеріальних ресурсів, але при цьому виникає серйозна проблема забезпечення надійності та безпеки виробництва. Одним з основних аспектів розв'язання цих проблем є розроблення методології оцінювання залишкового ресурсу обладнання.

Визначення залишкового ресурсу об'єкта, що експлуатується, належить до класу завдань індивідуального прогнозування і включає розв'язання таких науково-технічних проблем, як оцінювання поточного стану та розвиток цього стану в найближчому майбутньому, оцінювання ймовірностей настання відмов і прогнозування аварійних ситуацій, оцінювання ризику щодо небезпечних аварійних ситуацій. На основі цього прогнозу встановлюється гранично допустимий термін експлуатації обладнання або призначається термін чергового контролю стану об'єкта, що впливає.

Основою для прогнозування залишкового ресурсу слугує така інформація:

- а) діагностичні дані про стан об'єкта, дані поточного оперативного контролю в процесі експлуатації;
- б) дані про навантаження та умови впливу навколишнього середовища на об'єкт;

в) експериментальні відомості про елементи, що визначають ресурс.

Існує два основні напрямки визначення залишкового ресурсу: перший ґрунтується на фізичних передумовах, другий використовує ймовірнісні методи оцінки залишкового ресурсу.

Використання суто фізичних методів оцінювання залишкового ресурсу обмежене через те, що фізичні методи, як правило, не враховують різноманіття реальних умов експлуатації, у зв'язку з цим значення показників ресурсу, розраховані на основі фізичних передумов, часто у багато разів перевищують значення, отримані шляхом опрацювання статистичних даних.

Застосування ймовірнісних методів оцінювання залишкового ресурсу вимагає отримання статистичної інформації про ресурс аналізованих об'єктів, що є економічно складним і вимагає занадто тривалого часу. Крім того, необхідне виконання умови статистичної стійкості, а це для виробів в одиничному виконанні сумнівно.

Найперспективнішим напрямком визначення залишкового ресурсу є використання фізичних уявлень про ресурсні властивості із застосуванням ймовірнісних методів.

У цьому посібнику пропонуються як статистичні методи оцінювання залишкового ресурсу, так і методи, що ґрунтуються на врахуванні основних фізичних впливів, що визначають ресурс хіміко-технологічного устаткування, а також методи, що ґрунтуються на сумісному використанні тих та інших принципів.

2.2.2. Обстеження технічного стану

1. Обстеження проводиться з метою оцінки технічного стану печі, її основних елементів і вузлів і включає такі етапи роботи:

- вивчення технічної документації печі (проектної, виконавчої, експлуатаційної);
- оперативна діагностика печі;

- експертне обстеження печі:
- зовнішній і внутрішній огляд печі та її основних елементів;
- перевірку геометричних форм елементів печі и оцінку їхньої деформації;
- товщинометрію основних елементів зміювика та інших частин печі;
- заміри твердості металу;
- стилоскопування (за необхідності);
- дефектоскопію зварних з'єднань;
- оцінку металографічних структур (за необхідності);
- випробування на міцність і щільність.

2. Вивчення технічної документації

Вивчення технічної документації має на меті детальне ознайомлення з конструктивними та експлуатаційними особливостями печі, а також з обсягами та причинами виконаних ремонтів, що дасть змогу зробити попередню оцінку технічного стану печі й виявити елементи печі з найвірогіднішими відмовами й ушкодженнями, зростання пошкодження в яких і дефектність можуть призвести до ресурсної відмови.

Попередній аналіз технічного стану печі та її основних елементів включає збір та узагальнення такої інформації:

- проектні та фактичні відомості щодо печі (організація- проектувальник, дата проектування, характеристика печі, схеми зміювиків та їхнє обв'язування, матеріальне та конструктивне виконання, параметри роботи, розрахунковий термін служби; - відомості (за наявності) щодо виготовлення основних елементів печі (завод-виготовлювач, дата виготовлення, паспорти з кресленнями загального вигляду, матеріальне виконання, копії сертифікатів, можливі відхилення від проекту під час виготовлення, а також відомості щодо зварних з'єднань: копії сертифікатів на електроди та результати випробувань

- дата введення печі в експлуатацію та фактичний час роботи на момент обстеження;
- кількість проведених ремонтів (планових, аварійних), причини аварій;
- перелік, кількість і причини замін елементів змійовиків і печі за час експлуатації;
- результати попередніх ревізій (перевірки зовнішніх діаметрів пічних труб, замірів твердості, товщини стінок змійовиків, димових труб тощо);
- результати досліджень металу, якщо такі проводилися;
- відомості про перегрів металу змійовиків у процесі експлуатації;
- відомості про швидкість корозійного зносу основних елементів печі;
- науково-технічна інформація щодо відмов и пошкоджень за цим видом обладнання.

За результатами аналізу технічної документації складається:

- перелік проаналізованої документації;
- схема печі у вигляді ескізів із нанесенням основних її елементів (змійовика, несучих металоконструкцій, гарнітури, борів, димаря тощо) їхніх розмірів, матеріального оформлення, робочих параметрів (P , t ,...);
- висновок за результатами аналізу;
- програма оперативної діагностики печі.

3. Оперативна діагностика

Оперативна діагностика печі проводиться з метою отримання даних про технічний стан печі, технологічні параметри її роботи та завантаженість елементів печі в реальних умовах експлуатації.

Оперативна діагностика печі проводиться в період роботи установки відповідно до розробленої програми з використанням штатних контрольно-вимірювальних приладів установки і включає такі основні етапи:

- реєстрацію основних технологічних параметрів печі (P , t , $t_{ст}$...) на момент обстеження і вибірково за попередній час експлуатації (за показаннями КВП, картографами приладів, режимними аркушами); перевірку їх відповідності нормам технологічного регламенту; опрацювання та аналіз отриманих даних;

- спостереження через гляделки або оглядові вікна за режимом горіння форсунок, станом трубного змійовика, гарнітури, кладки і вогнетривкої футеровки печі з метою визначення ступеня завантаженості цих елементів, виявлення прогину труб, віддушин і темних плям на поверхні труб, обриву та деформацій підвісок, утворення тріщин, випинань, нахилів та інших ознак послаблення й руйнування футеровки;
- спостереження за станом обшивки каркаса, опорних стійок, несучих балок, ферм, майданчиків, що обслуговують, і драбин, покрівлі печі, димарів, їх вертикальністю, станом фундаментів печі та димаря.

Результати оперативної діагностики печі оформляються у вигляді акта (протоколу) і додаються до висновку.

Експертне обстеження

Експертне обстеження печі проводиться в період її зупинки з метою отримання інформації про реальний технічний стан печі, її основних елементів і вузлів, і включає такі етапи робіт.

Зовнішній і внутрішній огляд

Під час візуального (зовнішнього і внутрішнього) огляду печі встановлюють стан зовнішньої поверхні та наявність деформацій, корозійного й ерозійного зносу та ін. дефектів основних елементів печі: трубного змійовика, металоконструкцій, гарнітури, кладки та футерування печі, борів та газоходів, димових труб, пальників та ін.

Оглядаються всі труби і калачі (відводи) в радіантній частині печі і в доступних місцях конвекції з метою виявлення корозії поверхонь, прогарів, віддушин, тріщин, свищів, прогинів, дефектів у зварних швах. За наявності двійників (ретурбендів) огляду піддаються всі двійники з метою виявлення тріщин, раковин, слідів залишкової деформації вушок, наявності забоїв на поверхнях ущільнювачів під корки, корозійного та ерозійного зносу внутрішніх поверхонь (у розкритих ретурбендів), тріщин, вм'ятин, вигинів, зносу різьблення траверс і болтів двійників.

За металоконструкціями і гарнітуром печі оглядають обшивку каркаса, покрівлю, опорні стійки, несучі балки, швелери і ферми, обслуговувальні майданчики і сходи, трубні решітки, підвіски і кронштейни, зварні шви та болтові з'єднання з ланцюгом для виявлення ступеня їхнього обгорання, деформацій, тріщин, руйнувань, корозійного зношення (у разі потреби проводять заміри залишкових товщин їхніх елементів).

Під час огляду кладки та футерування печі виявляється:

- стан цегляної кладки або бетону торцевих і бічних стін, поду, перевальних стін, футерування форсункових вікон, зовнішнього ізоляційного покриття;
- ступінь вигорання футерування, розшарувань, вифарбовування і випадання цегли з кладки;
- наявність обривів, обгорання і ослаблення цегляної підвіски;
- стан температурних швів і їх заповнення азбестовим шнуром.

У боровах, газоповітряних коробах і шиберах оглядають склепіння, стіни, під димоходів (борів), шибера, їхні кріплення й опори з метою виявлення дефектів і відхилень у вогнетривкому футеруванні чи кладці димоходів (опуклості чи провали на поверхні, розшарувань або вифарбовування цегли, провисання склепіння, наявність порожнеч під підлогою або осідання борова), стану і кріплення шиберів.

Під час огляду форсунок виявляють стан корпусу форсунки, завихрювача, паромазутної головки, газового колектора, сопла, керамічних призм і трубок (у безполумєневих пальників), запірної арматури.

Біля димової труби виробляється:

- огляд стовбура димової труби з метою виявлення: наскрізного корозійного зносу листів обичайок і стану зварних швів обичайок (у металевих трубах):
- наявності відколів, вивітрювань, тріщин, ступеня їхнього розкриття, руйнувань і вифарбовування цегляної кладки, стан закладних елементів, стан прутків гарнітури бетону, стан бетону між царгами (у цегляних, залізобетонних трубах);

- порушення цілісності та справності стяжних кілець, ходових скоб, майданчиків для обслуговування, пристроїв блискавкозахисту, сигнальних пристроїв;
- огляд кріплення стовбура труби з фундаментом, опорних плит і анкерних болтів, виявлення зносу і деформацій, стану фундаменту труби (нерівномірність осідання, наявність наскрізних тріщин і викришування).

Ревізію і відбраковування трубопроводів обв'язки трубчастих печей проводять відповідно до РД 38.13.004-86 "Експлуатація і ремонт технологічних трубопроводів під тиском до 10,0 МПа (100 кгс/см²)".

У разі необхідності, для підвищення надійності результатів огляду, а також для огляду поверхонь у важкодоступних місцях можуть застосовуватися засоби підсвічування, оптичні лінзи, дзеркала, біноклі, а також спеціальні оптичні прилади.

На підставі результатів огляду фахівці, які виконують обстеження, призначають місця виміру деформацій, товщини, твердості, стилоскопування, дефектоскопії, а в разі потреби - місця контрольного вирізання для дослідження властивостей металу, або за наявності непоправних дефектів і деформацій, проводять вибраковування елементів печі згідно з чинною нормативно-технічною документацією.

Перевірка геометричних форм елементів печі та оцінка їх деформації

Первинна оцінка геометричної форми основних несучих елементів печі проводиться візуально під час проведення її зовнішнього і внутрішнього огляду.

Виявлені під час огляду елементи, що мають відхилення геометричної форми, мають бути проміряні з метою встановлення меж деформованих ділянок і величини деформацій, відхилень.

Перевірку зовнішнього діаметра труб зміювика печі проводять по всій довжині біля кожної труби в радіантній частині і в доступних місцях конвекційної частини печі. Особливо ретельному проміру підлягають

ділянки труб зон можливого перегріву і в місцях видимого збільшення діаметра.

Вимірювання внутрішнього діаметра труб ретурбентного змійовика в двійниках і за двійником (на глибину 0,5 м) проводять у радіантній і конвекційній частинах печі вибірково з різних температурних зон (екранів) та виходячи з аналізу результатів попередніх ревізій і досвіду експлуатації печей на цьому підприємстві.

Заміри діаметра гнізда в двійниках під труби і глибини канавок під розвальцьовування проводять у разі заміни труб або встановлення нового двійника.

За наявності деформації (прогину) труб змійовика, елементів несучих металоконструкцій проводять замір стріли прогину.

Оцінці величини відхилень, випучин, западин, розшарувань, вифарбовування та ін. дефектів піддають вогнетривке футерування і цегляну кладку стін, склепіння печі, борів, димової труби.

Кладку і футерування печі піддають, за необхідності, перевірці на вертикальність (торцеві, бічні, перевальні стіни) і горизонтальність (склепіння і під піччю).

Перевірку димових труб на вертикальність проводять у міру необхідності і в строки, що відповідають вимогам ІТН-93.

Вимірювання виконуються спеціальними вимірювальними інструментами і приладами (скобами, калібрами, нутромірами, кронциркулями, теодолітами та ін.), що забезпечують необхідну нормативною документацією точність вимірювань.

На підставі отриманих результатів вимірювань і виявлення непоправних дефектів і деформацій проводиться відбраковування елементів печі згідно з чинною нормативно-технічною документацією.

Товщинометрія

Вимірювання товщини стінок основних елементів печі (труби змійовика, ретурбенти, калачі, металоконструкції, димарі тощо) проводиться

методом ультразвукової товщинометрії. Для вимірювання використовуються вітчизняні або зарубіжні товщиноміри з точністю вимірювання не нижче 0,2 мм і такі, що відповідають вимогам ГОСТ 25863-83 (наприклад, типу УТ 93П, ДМ-2 та ін.).

Заміри товщини стінок труб змійовика для радіантної частини робляться за трьома твірними та на кожній твірній не менше ніж у 3-х точках по довжині кожної труби в місцях найімовірнішого зносу, встановлених, зважаючи на результати попередніх ревізій та досвід експлуатації печі, а також на ділянках, що мають збільшення зовнішнього діаметра і прогин. Для конвекційної частини змійовика печі - у доступних місцях.

Вимірювання товщини стінок калачів (відводів) для радіантної частини печі проводять повністю у всіх відводів, у конвекційній частині змійовика печі - у доступних місцях. Зміну товщини стінок виконують на найбільшому, найменшому радіусах заокруглення і в нейтральній зоні, для штампозварювальних відводів – поблизу поздовжнього шва і на кожній половині.

Вимірювання товщини стінок двійників і мостів між отворами під пробки проводиться вибірково, в місцях видимого максимального зносу на двійниках, розкритих для виміру внутрішнього діаметру труб, або демонтажу труб.

Замір товщини стінки димової труби робиться на кожній обичайці та кожній її складовій, якщо вона зварна. Особливу увагу під час контролю товщини стінок необхідно звертати на місця ймовірного корозійного зносу (нижні та верхні пояси труби).

Вибірково проводяться заміри залишкових товщин елементів гарнітури металоконструкцій та інших частин печі.

Поверхня в місцях виміру товщини стінки ультразвуковими приладами має бути звільнена від бруду, відкладень і окалини, зачищена без помітних рисок, опуклостей і заглиблень. Шорсткість поверхні в місці контролю має бути не вищою за 40 мкм за ГОСТ 2789-73.

Замір твердості

Вимірювання твердості металу і зварних з'єднань основних елементів і вузлів печі проводять із метою отримання непрямої оцінки їхніх міцнісних характеристик і виявлення елементів із відхиленнями від стандартних значень тимчасового опору і межі плинності за ГОСТ 22761-77 і ГОСТ 22762-77.

Заміри твердості металу елементів зміювиків зі сталей, що піджарюються (15X5M, 12X88Ф, 12X2M1, X9M, 15X5M-X, X5MЛ тощо), здійснюють переносні твердоміри вибірково в доступних місцях в об'ємі 25% рівномірно за всіма екранами, водночас у кожному місці мають бути зроблені щонайменше три виміри.

Шорсткість поверхні місць вимірів має відповідати вимогам чинної нормативно-технічної документації та інструкцій на застосовувані прилади.

У разі якщо отримані результати показують, що твердість металу або зварного з'єднання не відповідає вимогам ІТН-93, проводиться подвоєна кількість додаткових замірів. У разі підтвердження отриманих незадовільних результатів ця ділянка або елемент зміювика вибраковується.

Стилоскопування

Стилоскопування (хімічний аналіз) металу елементів зміювика (труб, калачів, відводів, ретурбендів тощо) з легованих сталей проводять за відсутності документації на цей вид контролю і на елементи, які знову встановлюють, в обсязі 100%.

Дефектоскопія

Дефектоскопія (ультразвукова або радіаційна) зварних з'єднань зміювика проводиться вибірково в зонах можливого перегріву, збільшення зовнішнього діаметра і прогину труб, а також за сумніву в якості за результатами зовнішнього огляду.

Обсяг контролю зварних з'єднань встановлюють фахівці, які проводять обстеження.

Метод дефектоскопії (або поєднання різних методів) обирають фахівці, які проводять обстеження, таким чином, щоб було забезпечено максимальний ступінь виявлення неприпустимих дефектів.

Ультразвукова дефектоскопія і радіографічний контроль повинні проводитися відповідно до ГОСТ 24782, ГОСТ 7512-82, РДІ 38.18.016-94, РДІ 38.18.020-95, інших галузевих стандартів або інструкцій, розроблених спеціалізованими організаціями.

Магнітопорошковий і капілярний (кольоровий) методи контролю повинні виконуватися згідно з ГОСТ 21105-87, ГОСТ 18442-80, РДІ 38.18.017-94, РДІ 38.18.019-95, інших галузевих стандартів або інструкцій, розроблених спеціалізованими організаціями.

У разі незадовільних результатів дефектоскопії дефектні ділянки, елементи змійовика підлягають заміні, а фахівцями, які виконують обстеження, має бути прийнято рішення про додатковий обсяг контролю дефектоскопією.

Металографічні дослідження металу (зварних швів) елементів змійовиків повинні проводитися, коли за умовами експлуатації (середовище, температура, тиск) та (або) виконаних ремонтно-відновлювальних робіт можливі зміни структури металу, якщо значення твердості металу нижчі або вищі від допустимих нормативних значень, на вимогу чинних нормативно-технічних документів або проекту і на розсуд фахівців, які проводять обстеження печі.

Контроль мікроструктури неруйнівним методом здійснюють за діючими методиками безпосередньо на зовнішній поверхні елементів і зварних швах за репліками (відбитками) в доступних місцях.

При отриманні незадовільних результатів досліджень структури металу має бути відібраний метал для комплексного дослідження.

На підставі аналізу отриманих результатів обстеження фахівцями, які виконують обстеження, ухвалюються рішення:

- про необхідність, місця, розміри та кількість контрольних вирізок металу для проведення його детального дослідження;
- про обсяг ремонтно-відновлювальних робіт.

Випробування змійовика печі на міцність і щільність є завершальною стадією обстеження печі та, як правило, проводиться гідравлічним методом. Для окремих печей в обґрунтованих випадках дозволяється проведення пневматичного випробування змійовиків за спеціально розробленою інструкцією, що передбачає необхідні заходи безпеки.

Гідравлічне випробування проводиться тільки для змійовиків, технічний стан яких за результатами обстеження визнано задовільним.

Гідравлічне випробування змійовика печі проводиться відповідно до ІТН-93.

Результати експертного обстеження технічного стану печі оформляють у вигляді акта (протоколу), у якому має бути відображено можливість (або неможливість) експлуатації печі на проєктних (регламентних) або знижених параметрах до отримання результатів оцінки її ресурсу.

Акт (протокол) має бути підписаний фахівцями, які проводили обстеження і затверджений керівництвом підприємства.

2.2.3 Дослідження фізико-механічних властивостей металу

Дослідження стану металу елементів печі з метою визначення його залишкового ресурсу здійснюють на зразках, виготовлених із контрольних вирізок, призначених фахівцями, які виконують обстеження.

Вирізка металу повинна проводитися з найбільш навантаженого силовими і температурними навантаженнями елемента печі. Розміри контрольних вирізок та їхня кількість повинні забезпечити необхідну можливість виготовлення заданої кількості зразків.

За наявності в печі елементів з різних марок сталей вирізки призначаються (як мінімум - одна) з кожної марки сталі.

За необхідності дослідження фізико-механічних властивостей металу зварних з'єднань вирізають по одному однорідному й одному різнорідному зварному з'єднанню (за металом шва й основним металом), які працюють із найбільшою температурою стінки.

Допускається як контрольну вирізку металу використовувати метал, вирізаний під час проведення ремонту, наприклад, під час заміни ділянки труби або відведення змійовика.

Вирізка металу з елементів печі може здійснюватися механічним або вогневим способом, водночас, в останньому випадку, місця термічного впливу мають бути механічно видалені.

Вирізання заготовок для виготовлення зразків із контрольних вирізок має здійснюватися тільки механічним способом без правки і без оброблення зовнішньої та внутрішньої поверхонь відповідно до карт-схем розкрою, виконаних фахівцями, які проводять обстеження і виконують дослідження механічних властивостей.

Кількість зразків, що виготовляються з контрольних вирізок, необхідність того чи іншого виду випробувань, температуру, зразків під час випробування призначають фахівці, які виконують обстеження.

Дослідження металу пічних змійовиків може бути здійснено в такому обсязі:

- а) труби і радіусні ділянки згинів (відводів), двійники змійовиків:
- оцінка хімічного складу металу;
 - металографічні дослідження;
 - рентгеноструктурний фазовий аналіз (за потреби);
 - визначення механічних властивостей при кімнатній і робочій температурах;
 - випробування кільцевої проби на сплющування (за необхідності);
 - визначення твердості металу за поперечним перерізом;

- випробування на тривалу міцність металу змійовиків, що працюють за температури вище 490 °С для хромомолібденових і вище 590 °С для сталей аустенітного класу;

- визначення схильності до МКК для аустенітних сталей;

- випробування на тривалу пластичність для аустенітних сталей і температурою експлуатації вище 450 °С;

б) для зварних з'єднань:

- оцінка хімічного складу основного і наплавленого металу;

- визначення наявності мікрodefектів у поперечному перерізі зварного з'єднання, а також мікроструктури в зонах шва і термічного впливу, міжкристалітної корозії (для аустенітних сталей);

- визначення механічних властивостей за кімнатної та робочої температур;

- визначення твердості за поперечним перерізом у зонах шва і термічного впливу;

в) для кріплення, гарнітури печі та несучих металоконструкцій (дослідження проводять за потреби):

- оцінка хімічного складу;

- металографічні дослідження;

- визначення механічних властивостей за кімнатної та робочої температур.

Усі аналізи та випробування металу повинні проводитися відповідно до чинних стандартів і нормативно-технічних документів.

Хімічний аналіз виконується за ГОСТ 7565, ГОСТ 20560.

Металографічні дослідження проводяться:

- якісне и кількісне визначення неметалевих включень за ГОСТ 1778-70*;

- дослідження мікроструктури основного металу, металу шва і навколо шовної зони за ГОСТ 26-1379-76, ГОСТ 5640-68;

- визначення бал зерна за ГОСТ 5639-82;

- визначення глибини знеуглецьованого шару за ГОСТ 1763-68*;

- визначення бала структурних складових за ГОСТ 9450-76*;

- випробування на МКК за ГОСТ 6032-89.

Як еталони мікроструктури використовують дані ОСТ 8233-56.

Механічні властивості визначаються:

- розтягнення за кімнатної та підвищених (робочих) температур за ГОСТ 1497-84, ГОСТ 9651-84;
- ударний вигин за кімнатної та підвищеної температур за ГОСТ 9454-78;
- твердість за ГОСТ 9012-59, ГОСТ 9013-59, ГОСТ 9450-76*;
- вигин за ГОСТ 14019-80;
- тривала міцність за ГОСТ 10145-81;
- розтягнення, ударний вигин, кут загину зварних з'єднань за ГОСТ 6996-66;
- сплющування за ГОСТ 8695-75*.

Крім вищевказаних досліджень можуть проводитися й інші спеціальні дослідження (визначення можливого вуглецевого шару та ін.), необхідність яких визначають фахівці, що виконують обстеження. Методики проведення цих випробувань мають бути затверджені спеціалізованими організаціями, якщо на них немає нормативних або методичних документів.

Зразки для дослідження виготовляють із заготовок відповідно до вимог стандартів, з урахуванням конструктивних особливостей випробувального обладнання та за кресленнями організації, що досліджує метал.

За результатами досліджень фахівцями, які проводили дослідження і випробування, дається оцінка (висновок) про працездатність металу (зварних з'єднань) і про можливість його подальшої експлуатації.

2.2.4 Оцінка фактичної завантаженості та працездатності основних елементів

Оцінювання фактичної завантаженості основних елементів печі може бути виконано розрахунковими або експериментальними методами на основі:

- попереднього аналізу конструкційних особливостей печі, проектних і фактичних умов експлуатації, причин "відмов" і аварій, результатів попередніх ревізій;

- результатів експертного обстеження печі;
- результатів розрахунку елементів печі з урахуванням фактичних температур, товщини стінок і властивостей металу, після тривалої експлуатації.

На основі розрахунку товщини стінок елементів печі призначається відбракувальна величина. Відбракувальні значення товщини стінок основних елементів печі повинні визначатися шляхом підсумовування розрахункових товщин, величин, можливого шару, корозійного та ерозійного зносу та інших чинників, що чинять можливий негативний вплив, до наступної ревізії.

2.3 Методика визначення залишкового ресурсу

Контроль якості сталевих заготовок і готових виробів є невід'ємною частиною металургійного та машинобудівного виробництва.

Під час вибору методу інструментального контролю для оцінки стану трубопроводу слід узяти до уваги умови, в яких він експлуатується:

- трубопровід може бути горизонтальним, вертикальним, похилим і розташовуватися на будь-якій висоті як усередині приміщення, так і зовні (оцінка доступності до ділянок для застосування контрольних приладів);
- трубопровід може бути зварним по всій довжині або мати фланцеві з'єднання;
- у більшості випадків трубопровід має вигини, повороти;
- зовнішня поверхня труб може мати забоїни, шорсткості;
- труби можуть бути пофарбовані (у запропонованих випадках колірний колір є маркувальним для інформації про середовище, що транспортується);
- трубопровід може розташовуватися на підставних або підвісних опорах, що перешкоджають місцевому доступу для візуального огляду або інструментального контролю тощо.

Розглянемо можливості наявних методів інструментального контролю металевих труб.

2.3.1 Рентгенівська дефектоскопія

Рентгенівська дефектоскопія, або γ -просвічування, - один із найпоширеніших методів дефектоскопії, застосовуваний майже на кожному машинобудівному підприємстві. Рентгенівський контроль литих і зварних деталей і вузлів дає змогу різко скоротити брак готової продукції, підвищити продуктивність праці та збільшити довговічність виробів.

2.3.2 Ультразвукова дефектоскопія

Ультразвуковий метод: з одного боку випромінювач вводить в об'єкт пучок ультразвукових коливань, а з іншого боку промінь (датчик, приймач випромінювання), розташований безпосередньо навпроти випромінювача, реєструє інтенсивність променя, що проходить через предмети. Наприклад, за наявності розшарування, стороннього предмета, раковини або іншої нерівномірності на шляху променя ультразвукових коливань частина енергії ультразвуку відбиватиметься від цього дефекту, знижуючи інтенсивність впливу променя. Приймальна машина.

Цей метод використовується за наявності двонаправленого доступу до об'єкта, що контролюється. Тіньове зондування можна використовувати не тільки для контролю металів, але і для контролю пластмас, бетону та гуми.

Ехо-методи набули найбільшого поширення в дефектоскопії. Це дозволяє контролювати односторонній доступ до об'єкта, що досліджується. Цей метод заснований на тому, що в об'єкт вводиться пучок, що вібрує (імпульси тривалістю 0,5-8 мкм/с). Коли пружні коливання, що виникають в об'єкті, наштовхуються на перешкоди у вигляді дефектів (оболонки, розшарування, структурних неоднорідностей та ін), частина їх відбивається

назад до випромінюючої голівки у вигляді відлуння-сигналів. Тому цей метод називається імпульсним. Інша частина вібрації досягає іншої сторони об'єкта, відбивається від поверхні розділу об'єкт-повітря (або іншого середовища) і також у вигляді луни досягає випромінюючої голівки. При проходженні через метали пружні коливання втрачають значну частину своєї енергії та розсіюються на межах кристалів (зерен). Чим більше зерно матеріалу, тим слабший луна сигнал від дефекту по відношенню до сигналу від «дна» об'єкта.

2.3.3 Магнітна дефектоскопія

Магнітний потік, протікаючи зразком, розміщеним між двома магнітними полюсами, огинає дефекти (тріщини або інші перешкоди), внаслідок чого відбувається спучування магнітних силових ліній, створюється поле розсіювання.

Існує кілька методів реєстрації полів розсіювання над дефектами. Залежно від форми контрольованого виробу, необхідної чутливості, продуктивності та роздільної здатності застосовують ферозондовий, магнітографічний, магнітно-порошковий і магнітнолюмінесцентний методи реєстрації дефектів. Найчастіше застосовують магнітний порошковий метод. У цьому разі індикаторами полів розсіювання біля поверхневих дефектів слугують магнітні порошки або водномильні суспензії.

Контроль складається з трьох етапів: намагнічування використовуваного об'єкта; нанесення індикаторного середовища і реєстрації наявних на його поверхні дефектів; розмагнічування об'єкта.

Магнітним порошковим методом контролю можна виявити дефекти з шириною розкриття 0,001...0,03 мм і глибиною 0,01...0,04 мм.

2.3.4 Капілярні методи

Всі методи капілярного контролю засновані на закінченні проникаючої рідини в порожнину дефекту та адсорбції або дифузії рідини з дефекту. При цьому є різниця в кольорі або блиску між фоном (кольором або блиском) усієї поверхні дефекту та ділянкою поверхні над дефектом. Чим більша ця різниця, тим чутливіший метод і тим менше дефектів, які можна виявити.

Капілярний метод застосовують при визначенні поверхневих дефектів у вигляді тріщин, пір, пухкостей, волосків та інших порушень цілісності на поверхні деталей із жароміцних неферромагнітних сплавів на основі міді та пластмасу. Застосовується в заводських умовах та майстернях. Те, що має складний склад і не контролюється іншими засобами.

На контрольовану поверхню наносять рідину з великою змочувальною здатністю, попередньо додавши до неї як індикатор барвник (за фарбового методу) або люмінесцентну добавку - люмінофор (за люмінесцентного методу).

Під час опромінення ультрафіолетовими променями тріщини або пори, заповнені флуоресціювальною рідиною, починають світитися яскравим темно-зеленим або зелено-блакитним світінням.

Люмінесцентним методом можливе виявлення поверхневих дефектів із шириною 0,01 - 0,02 мм.

Чутливість барвистого методу ще вища. Можливе виявлення таких дефектів як тріщини з шириною розкриття до 0,001 мм.

2.3.5 Метод акустичної емісії (АЕ)

Як фізичне явище АЕ являє собою процес виникнення в матеріалах механічних хвиль, випромінюваних структурою під дією зовнішніх навантажень і високих внутрішніх напружень. Виникає АЕ в результаті утворення і розвитку тріщин, перебудови дислокаційної структури під час пластичної деформації, фазових перетворень, що протікають під час термічного оброблення, стрибкоподібної перебудови структури, яка супроводжується різкою релаксацією пружних напруг, у результаті чого

виникають і поширюються в матеріалі механічні хвилі. Ці хвилі за допомогою спеціальних датчиків, встановлених на поверхні матеріалу, перетворюються в електричні сигнали, аналіз параметрів яких і становить сутність методу АЕ. Принциповою відмінністю методу є те, що за допомогою АЕ виявляються активні, тобто такі, що розвиваються, найбільш небезпечні дефекти, тоді як традиційні методи контролю виявляють тільки пасивні (нерухомі) дефекти.

Перевагами методу є: можливість виявлення дефектів на значних відстанях від датчика; виявлення дефектів у важкодоступних місцях; можливість контролю об'єктів за високих температур. Метод широко застосовують під час контролю посудин високого тиску, конструкцій ядерної енергетики, об'єктів авіаційної та космічної техніки.

Незавершені дефекти випромінюють імпульси АЕ в оточуючу речовину, вимірювання параметрів яких за допомогою декількох датчиків дає змогу знайти їх місцезнаходження. Цій меті можуть слугувати амплітуди прийнятих сигналів (що ближче до дефекту розташований датчик, то більшою є амплітуда сигналу), час їхнього приймання та сумарна енергія, що виділилася. Для більшості практичних цілей кращим є застосування резонансних п'єзоперетворювачів, що мають максимальну чутливість. Вельми перспективні диференціальні датчики, які дають змогу значно послабити електричні та електромагнітні перешкоди на вході основного підсилювача. Є відомості, що зарубіжні датчики можуть працювати за температур до 700°C , а для контролю об'єктів із вищими температурами використовується винесення датчика із зони нагрівання за допомогою хвилеводу. Критерієм розвитку тріщин у готовому виробі може слугувати виникнення сигналу АЕ і особливо різке збільшення його значень. Використовувані нині багатоканальні системи АЕ дають змогу згрупувати джерела сигналів і проаналізувати емісію від кожного джерела окремо.

Метод АЕ набуває дедалі більшого поширення і дедалі частіше замінює інші, більш трудомісткі й дорогі, традиційні методи неруйнівного контролю.

2.3.6 Радіохвильовий метод

Радіохвильовий метод - метод найекзотичніший, з великою кількістю випробувальних версій. Аналізується взаємодія електромагнітного випромінювання в радіохвильовому діапазоні з об'єктом контролю. Основа пасивного методу - контроль власного радіовипромінювання об'єкта. При активному методі на об'єкт спрямовується потік радіохвиль. Про властивості об'єкта судять, наприклад:

- за ступенем приросту вихідного сигналу за малого приросту контрольованого параметра об'єкта;
- за зміною властивостей матеріалу під впливом радіохвиль;
- за часом проходження радіохвилі через об'єкт;
- за зміною амплітуди, або фази, або частоти хвилі під час руху або відбиття радіохвилі;
- за зміною геометричних параметрів об'єкта, поляризації, спектра радіохвиль;
- за комбінованою зміною кількох параметрів радіохвилі тощо.

2.3.7 Контроль герметичності

Забезпечення високої якості виробів за параметром "герметичність" і достовірність контролю герметичності важко переоцінити.

Негерметичність виробів може призвести не тільки до порушення умов їхньої експлуатації, а й до передчасного припинення функціонування виробу та пов'язаного з цим значного матеріального збитку, а також до тяжких наслідків: вибухонебезпечної ситуації, виникнення пожежі, отруєння довкілля і трагічної загибелі людей. З цієї причини випробуванням на герметичність у всіх галузях народного господарства надається особливе значення.

2.4 Фланцеві з'єднання

Пропонуючи надійний спосіб з'єднання трубопровідних систем з різним обладнанням, клапанами та іншими компонентами практично будь-якої технологічної системи, фланці є другим за популярністю після зварювання.

Використання фланців додає гнучкості при обслуговуванні трубопровідних систем, дозволяючи легше розбирати їх і покращуючи доступ до компонентів системи.

Фланці збираються з 3 частин:

- трубні фланці
- прокладка
- болт

У більшості випадків існують спеціальні матеріали для прокладок і болтів, виготовлені з тих же або схвалених матеріалів, що і компоненти трубопроводу, які Ви бажаєте з'єднати. Фланці з нержавійки є одними з найпоширеніших. Однак фланці доступні в широкому діапазоні матеріалів, тому важливо вибрати потрібні для завдання.

2.5 Висновок

У цьому розділі описано причини зниження залишкового ресурсу. Однією з таких причин є те, що пічні труби працюють в умовах дії високих температур від 800°C до 900°C градусів та температурних перепадів від 20°C до 40°C градусів. Знос внутрішніх поверхонь труб відбувається внаслідок корозії під дією агресивних включень, які перебувають у сировині.

Описано оцінку залишкового ресурсу змійовика, методики та умови їх використання. Зазвичай це індивідуальне прогнозування і включає в себе розв'язання таких проблем як оцінювання поточного стану та розвиток цього

стану в найближчому майбутньому. Так само вказані способи неруйнівного контролю товщини стінки

Ще однією причиною зниження довговічності є фланцеве з'єднання. Це пов'язано з їхньою низькою стійкістю до перепадів температури, тиску та корозії.

З МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗМІНИ РЕСУРСУ ЗМІЙОВИКА ТРУБЧАТОЇ ПЕЧІ

Метою цього розділу є математичний опис зміни залишкового ресурсу залежно від конструктивних параметрів трубчастого змійовика та умов його навантаження під час експлуатації.

Отриманий математичний опис дозволить провести аналіз зміни залишкового ресурсу для найбільш поширених типорозмірів трубчастих елементів змійовика та конструкційних матеріалів з яких його виконують. Це дозволить отримати додаткове обґрунтування з питань обрання типорозміру та конструкційного матеріалу трубчастих елементів змійовика під час проектування або модернізації.

Вхідні та вихідні дані:

На вході	$t=20^{\circ}\text{C}$
На виході температура	$t=200^{\circ}\text{C}$
Питома теплоємність	$c=0,499 \text{ ккал/кг} \cdot ^{\circ}\text{C} = 2090 \text{ Дж/кг} \cdot ^{\circ}\text{C}$
В'язкість	$\mu=0,350 \text{ сП} = 0,350 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$
Теплопровідність	$\lambda=0,0154 \text{ ккал/год} \cdot \text{м} \cdot ^{\circ}\text{C} = 0,018 \text{ Вт/м} \cdot ^{\circ}\text{C}$
Продукт згоряння	$T_T = 842^{\circ}\text{C}$
Продуктивність печі	$G=10000 \text{ кг/год}$
Змійовик з 4-ма потоками	$n=4$

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки труби до продукту:

– для труби	$1919 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$
-------------	--

Максимальна щільність теплового потоку поверхні нагрівання:

– для труби на вході	30720 Вт/м^2
– для труби на виході	28129 Вт/м^2

Нагріваєм продукт кам'яновугільна смола.

Щільність теплового потоку поверхні нагрівання 10 кВт/м^2

Для розрахунку використовується труба 152x8 з відводами $S=300 \text{ мм}$

3.1 Розрахунок температури зовнішньої поверхні труб радіантного змійовика

3.1.1 Розрахунок коефіцієнта тепловіддачі до однофазного потоку для першої труби.

Масова швидкість продукту,

$$W = \frac{G}{3600 \cdot f \cdot n} = \frac{10000 \cdot 4}{3600 \cdot \pi \cdot 0,136^2 \cdot 4} = 47,8 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{сек}$$

$$\text{де, } f = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

Критерій подібності Рейнольдса:

$$Re = \frac{d^o \cdot W}{\mu} = \frac{0,136 \cdot 47,8}{0,350 \cdot 10^{-3}} = 1,857 \cdot 10^4$$

де, d^o внутрішній діаметр

Критерій подібності Прандтля:

$$Pr = \frac{c \cdot \mu}{\lambda} = \frac{2090 \cdot 0,35 \cdot 10^{-3}}{0,018} = 40,6$$

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки труби до продукту:

$$\alpha_2 = 0,023 \frac{\lambda}{d^o} Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \cdot \left(\frac{\mu_{\text{ж}}}{\mu_{\text{ст}}} \right)^{0,11}$$

$\left(\frac{\mu_{\text{ж}}}{\mu_{\text{ст}}} \right)^{0,11}$ прийнято рівним 1,08

$$\alpha_2 = 0,023 \frac{0,018}{0,136} (1,857 \cdot 10^4)^{0,8} \cdot 40,6^{0,4} \cdot 1,08 = 1\,919 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

3.1.2 Поверхнева густина теплового потоку

Максимальна щільність рахується за такою формулою:

$$q_{\text{max}} = F_c \cdot F_T \cdot \frac{q_p}{\varphi_2} + q_p^k$$

Значення коефіцієнта φ_2 приймаємо 0,8

Для вибору коефіцієнта F_c , визначимо відношення S/d для труби радіантного змійовика та знаходимо його далі за графіком

$$\frac{S}{d} = \frac{300}{152} = 1,97$$

Значення коефіцієнта F_c для цієї труби за графіком 1 дорівнюють:

$$F_c = 1,8$$

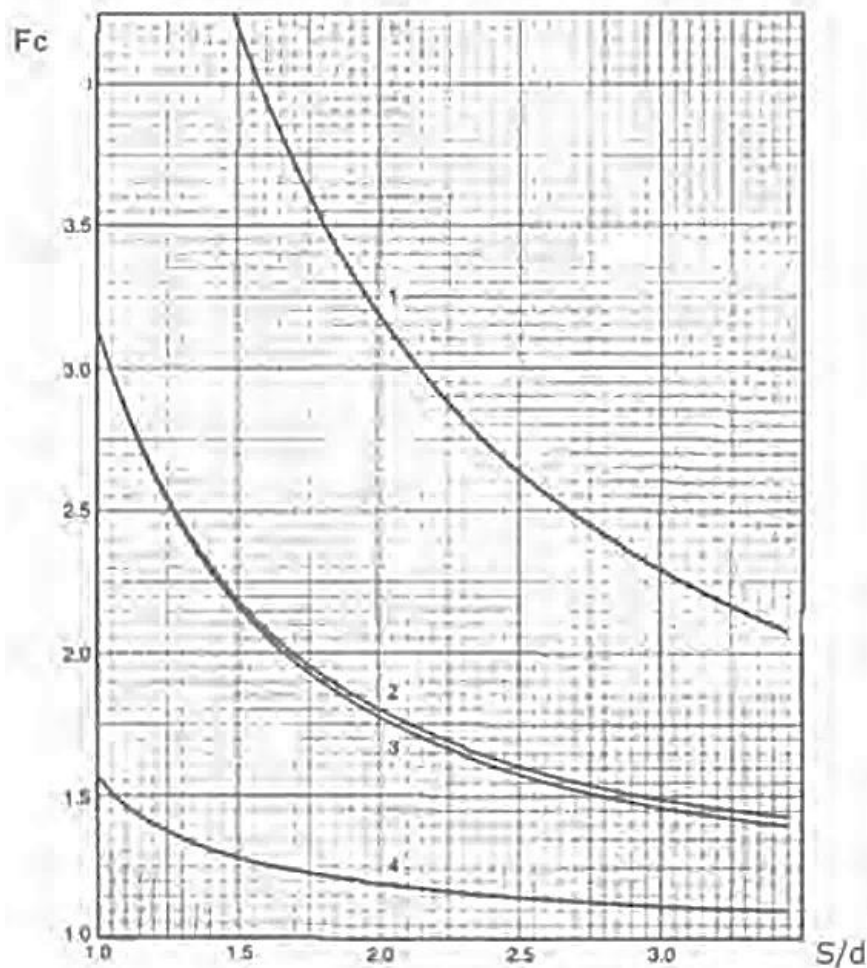


Рисунок 3.1 Залежність коефіцієнта F_c від співвідношень S/d

1 - дворядний настінний екран

2 - дворядний екран двостороннього освітлення

3 - однорядний настінний екран

4 - однорядний екран двостороннього освітлення

Коефіцієнт F_T розраховується за формулою:

$$F_T = \frac{T^{\text{эф}4} - T^{\text{вх}4}}{T^{\text{эф}4} - T_{\text{ст-ср}}^4}$$

Ефективна температура продуктів згоряння в топці:

$$T^{\text{эф}} = 1,065 \cdot T_T = 1,065 \cdot (842 + 273) = 1\,187\text{ K}$$

Середня температура стінки труб радіантного змійовика:

$$t_{\text{ст-ср}} = \frac{20 + 200}{2} + 273 + 40 = 423\text{ K}$$

Температура стінки на вході в радіантну камеру:

$$t^{\text{вх}} = 20 + 273 + 30 = 323\text{ K}$$

Температура стінки на виході з радіантної камери:

$$t^{\text{вих}} = 200 + 273 + 50 = 523\text{ K}$$

30-50 – це значення середнього перевищення температури зовнішньої поверхні труб над температурою продукту рідких і випаровуваних продуктів за відсутності помітного коксоутворення.

Коефіцієнт впливу температури стінки труб F_T на теплонапругу поверхні нагріву для труби змійовика

$$F_T = \frac{1187^4 - 323^4}{1187^4 - 423^4} = 1,01$$

Середня густина теплового потоку радіантного екрана в результаті тепловіддачі конвекцією

$$q_p^k = 2,09 \cdot \sqrt[4]{T_T - T_{\text{ст}}} (0,9 \cdot T_T - T_{\text{ст}})$$

Для входу:

$$q_p^k = 2,09 \cdot \sqrt[4]{1115 - 323} \cdot (0,9 \cdot 1115 - 323) = 7\,545\text{ Вт/м}^2$$

Для виходу:

$$q_p^k = 2,09 \cdot \sqrt[4]{1115 - 523} \cdot (0,9 \cdot 1115 - 523) = 4\,954\text{ Вт/м}^2$$

Максимальна щільність теплового потоку поверхні нагрівання:

– для труби на вході

$$q_{\text{max}} = 1,8 \cdot 1,01 \cdot \frac{10\,000}{0,8} + 7545 = 30\,270\text{ Вт/м}^2$$

– для труби на виході

$$q_{max} = 1,8 \cdot 1,01 \cdot \frac{10\,000}{0,8} + 4954 = 27\,679 \text{ Вт/м}^2$$

3.1.3 Розрахунок температури труби на вході та виході

Максимальна температура стінки труби при чистих трубах $\delta = 0$, °C:

$$t_{max} = t_{\text{прод}} + \frac{q_{max}}{\alpha_2} \cdot \frac{d}{d^0 - 2\delta_k} + \frac{q_{max} \cdot \delta_m}{\lambda_m} \cdot \frac{d}{d - \delta_m}$$

де, $\lambda_m = 41$, коефіцієнт теплопровідності

– для труби на вході

$$t_{max} = 20 + \frac{30\,720}{1919} \cdot \frac{0,152}{0,136} + \frac{30\,270 \cdot 0,008}{41} \cdot \frac{0,152}{0,152 - 0,008} = 43,8^\circ\text{C}$$

– для труби на виході

$$t_{max} = 200 + \frac{28\,129}{1919} \cdot \frac{0,152}{0,136} + \frac{27\,679 \cdot 0,008}{41} \cdot \frac{0,152}{0,152 - 0,008} = 223,3^\circ\text{C}$$

Далі виходячи з максимальної температури буде обрана допустима напруга матеріалу для 200°C та 300°C

3.2 Розрахунок циклів роботи

Вихідні дані:

Коефіцієнт, що залежить від типу зварного шва – 1

Коефіцієнт, що залежить від типу елемента, що розраховується, – 1,5

Допустима напруга матеріалу елемента труби $[\sigma]$ - 152 МПа

Розмах коливання робочого тиску Δp - 10 МПа

Коефіцієнт міцності зварного φ_p - 1 шов стиковий, що виконується автоматичним зварюванням з одного боку з флюсовою підкладкою.

Для гладкої циліндричної обичайки, навантаженої внутрішнім тиском, допустимий внутрішній надлишковий тиск $[p]$ розраховують за формулою:

$$[p] = \frac{2[\sigma]\varphi_p(S - C)}{D + (S - C)}$$

де: $[\sigma]$ – допустиме напруження матеріалу обичайки, МПа;

D – внутрішній діаметр посудини, мм;

φ_p – коефіцієнт міцності поздовжнього шва циліндричної обичайки;

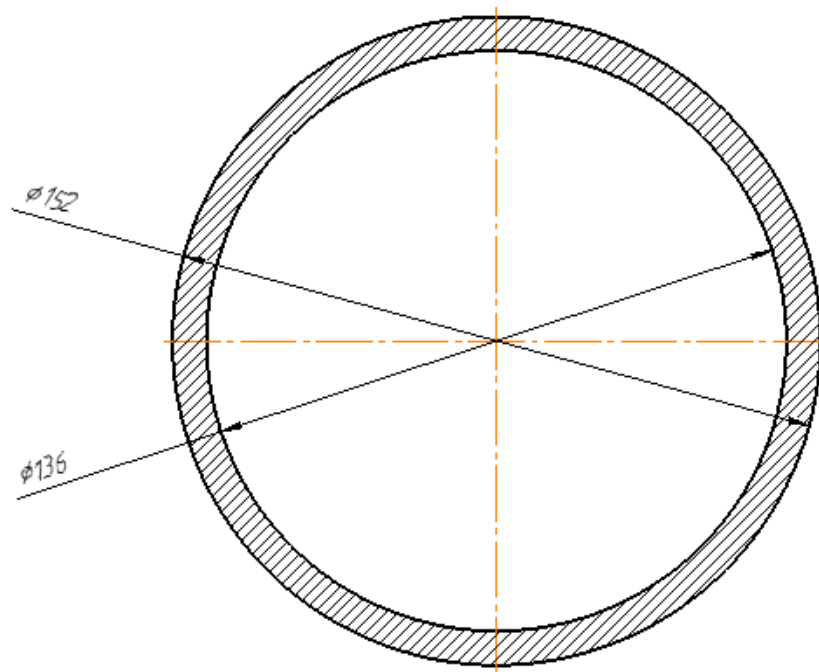
S – виконавча товщина стінки, яка визначається з технічної документації або шляхом вимірювання, мм;

C – величина надбавки до розрахункової товщини.

Величину надбавки C до розрахункової товщини стінки.

Вважаємо, що ця надбавка становить $C=2$.

Наглядна схема труби



Тоді,

Для труб 16ГС:

Для труби 152x8

$$[p] = \frac{2 \cdot 148 \cdot 1 \cdot (8 - 2)}{136 + (8 - 2)} = 12,5 \text{ МПа}$$

Для труби 133x8

$$[p] = \frac{2 \cdot 148 \cdot 1 \cdot (8 - 2)}{117 + (8 - 2)} = 14,4 \text{ МПа}$$

Для труби 127x7

$$[p] = \frac{2 \cdot 148 \cdot 1 \cdot (7 - 2)}{113 + (7 - 2)} = 12,5 \text{ МПа}$$

Для трубы 114х7

$$[p] = \frac{2 \cdot 148 \cdot 1 \cdot (7 - 2)}{100 + (7 - 2)} = 14,1 \text{ МПа}$$

Для трубы 108х6

$$[p] = \frac{2 \cdot 148 \cdot 1 \cdot (6 - 2)}{96 + (6 - 2)} = 11,8 \text{ МПа}$$

Для трубы 89х5

$$[p] = \frac{2 \cdot 148 \cdot 1 \cdot (5 - 2)}{79 + (5 - 2)} = 10,8 \text{ МПа}$$

Для труб 15ХМ:

Для трубы 152х8

$$[p] = \frac{2 \cdot 152 \cdot 1 \cdot (8 - 2)}{136 + (8 - 2)} = 12,8 \text{ МПа}$$

Для трубы 133х8

$$[p] = \frac{2 \cdot 152 \cdot 1 \cdot (8 - 2)}{117 + (8 - 2)} = 14,8 \text{ МПа}$$

Для трубы 127х7

$$[p] = \frac{2 \cdot 152 \cdot 1 \cdot (7 - 2)}{113 + (7 - 2)} = 12,9 \text{ МПа}$$

Для трубы 114х7

$$[p] = \frac{2 \cdot 152 \cdot 1 \cdot (7 - 2)}{100 + (7 - 2)} = 14,5 \text{ МПа}$$

Для трубы 108х6

$$[p] = \frac{2 \cdot 152 \cdot 1 \cdot (6 - 2)}{96 + (6 - 2)} = 12,2 \text{ МПа}$$

Для трубы 89х5

$$[p] = \frac{2 \cdot 152 \cdot 1 \cdot (5 - 2)}{79 + (5 - 2)} = 11,1 \text{ МПа}$$

Для труб 12Х18Н10Т:

Для труби 152х8

$$[p] = \frac{2 \cdot 140 \cdot 1 \cdot (8 - 2)}{136 + (8 - 2)} = 11,8 \text{ МПа}$$

Для труби 133х8

$$[p] = \frac{2 \cdot 140 \cdot 1 \cdot (8 - 2)}{117 + (8 - 2)} = 13,6 \text{ МПа}$$

Для труби 127х7

$$[p] = \frac{2 \cdot 140 \cdot 1 \cdot (7 - 2)}{113 + (7 - 2)} = 11,8 \text{ МПа}$$

Для труби 114х7

$$[p] = \frac{2 \cdot 140 \cdot 1 \cdot (7 - 2)}{100 + (7 - 2)} = 13,3 \text{ МПа}$$

Для труби 108х6

$$[p] = \frac{2 \cdot 140 \cdot 1 \cdot (6 - 2)}{96 + (6 - 2)} = 11,2 \text{ МПа}$$

Для труби 89х5

$$[p] = \frac{2 \cdot 140 \cdot 1 \cdot (5 - 2)}{79 + (5 - 2)} = 10,2 \text{ МПа}$$

Цикли роботи $[Np]$ визначається залежно від комплексів ξ , η , $[\sigma]$ і Δp , $[p]$.

Визначаємо: $\frac{\Delta p}{[p]}$; $\xi\eta[\sigma]=1,2 \times 3 \times 152=547,2$;

Таблиця 3.1 Значення комплексного критерію у співвідношенні перепаду тиску до допустимого для різних марок сталі при 200°C

Труб./мат.	16ГС	15ХМ	12Х18Н10Т
152х8	0,80	0,78	0,85
133х8	0,69	0,67	0,73
127х7	0,80	0,78	0,84
114х7	0,71	0,69	0,75
108х6	0,84	0,82	0,89
89х5	0,92	0,90	0,98

Таблиця 3.2 Значення комплексного критерію у співвідношенні перепаду тиску до допустимого для різних марок сталі при 300°C

Труб./мат.	16ГС	15ХМ	12Х18Н10Т
152х8	0,88	0,80	0,91
133х8	0,76	0,70	0,79
127х7	0,88	0,80	0,91
114х7	0,78	0,71	0,81
108х6	0,93	0,85	0,96
89х5	1,02	0,93	1,05

За номограмою 3.2 знаходимо $[Np]$ для елементів посудин і апаратів із вуглецевих сталей.

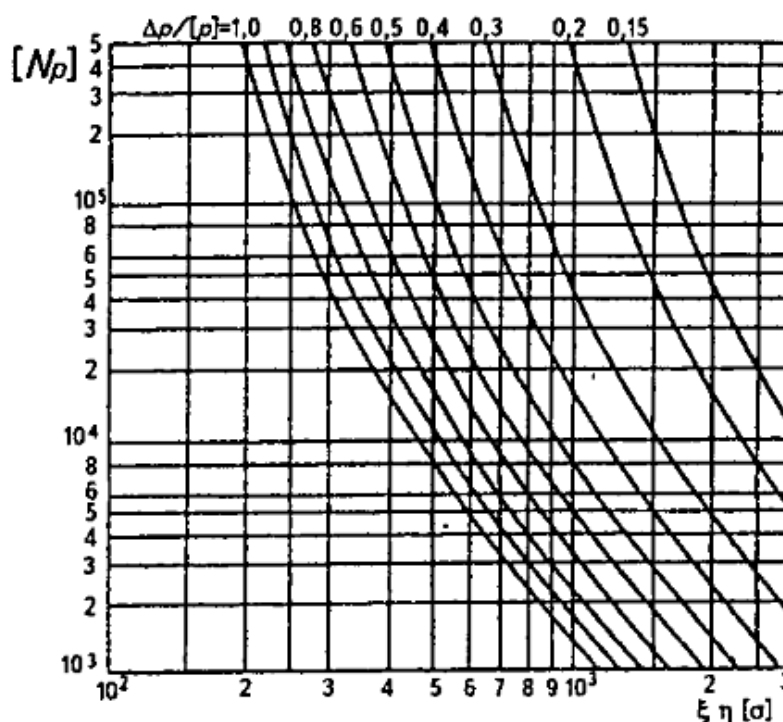


Рисунок 3.2 Номограма для визначення циклів навантаження труби з вуглецевих сталей

За номограмою 3.3 знаходимо $[Np]$ для елементів посудин і апаратів із низьколегованих сталей.

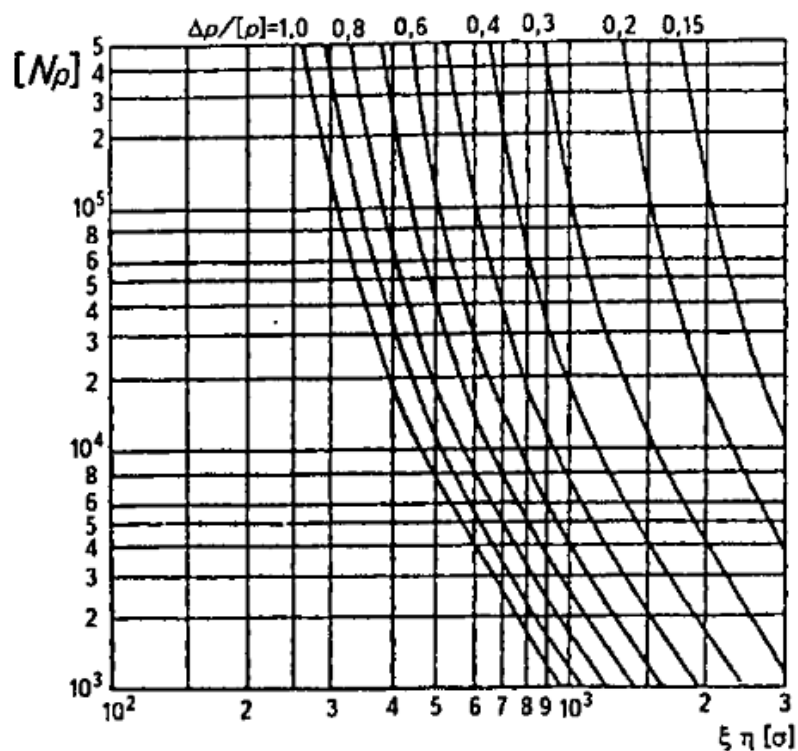


Рисунок 3.3 Номограма для визначення циклів навантаження труби з низьколегованих сталей

За номограмою 3.4 знаходимо $[N_p]$ для елементів посудин і апаратів із аустенітних сталей.

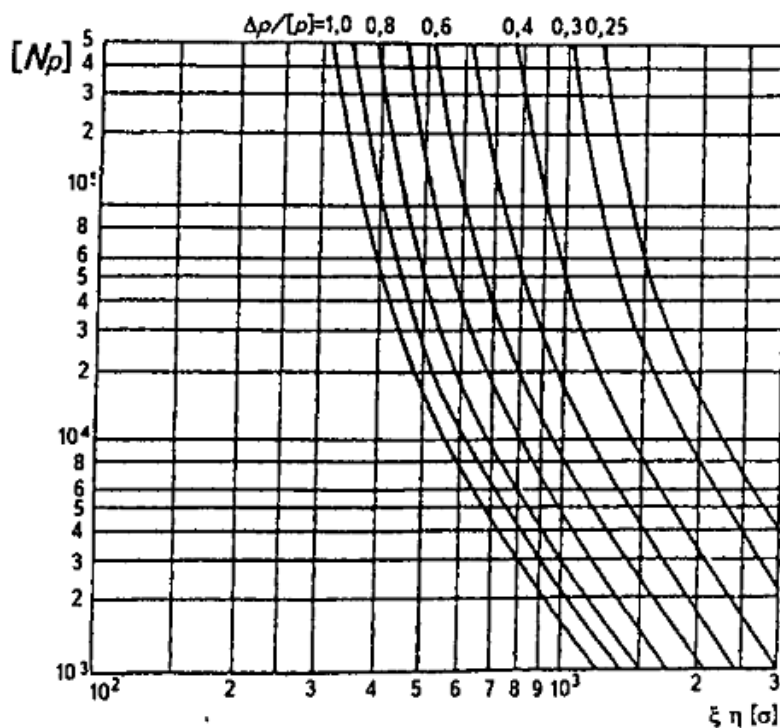


Рисунок 3.4 Номограма для визначення циклів навантаження труби з аустенітних сталей

Ресурс для труб представлений в таблиці 3.3 та 3.4

Таблиця 3.3 Циклів навантаження від марок сталі та сортаменту труб при 200°C

Труб./мат.	16ГС	15ХМ	12Х18Н10Т
152 × 8	20000	30000	58000
133 × 8	30000	80000	110000
127 × 7	23000	35000	68000
114 × 7	30000	80000	110000
108 × 6	21000	34000	66000
89 × 5	18000	29000	48000

Таблиця 3.4 Циклів навантаження від марок сталі та сортаменту труб при 300°C

Труб./мат.	16ГС	15ХМ	12Х18Н10Т
152 × 8	10400	25000	35000
133 × 8	24000	50000	90000
127 × 7	11000	30000	42000
114 × 7	24000	50000	90000
108 × 6	10500	25000	38000
89 × 5	10200	24000	28000

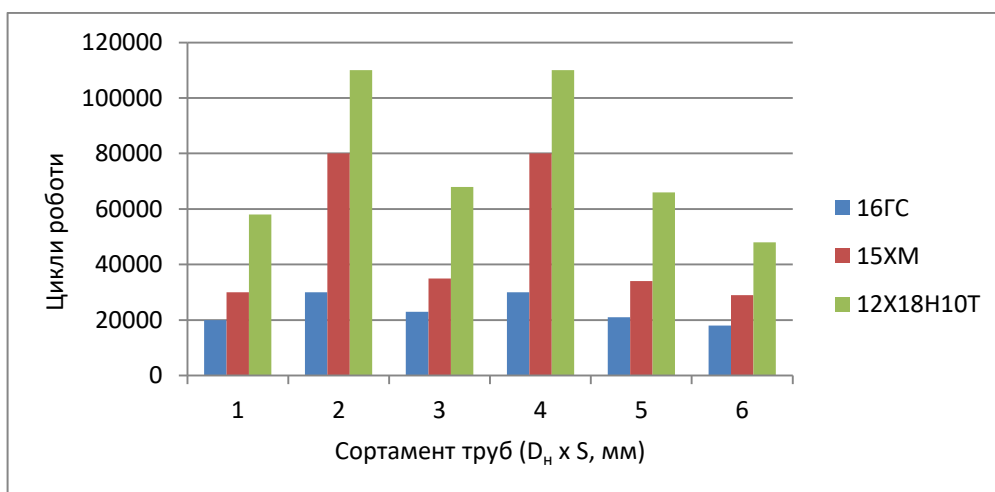


Рисунок 3.5 Гістограма залежності кількості циклів навантаження від сортаменту при 200°C для різних марок сталей.

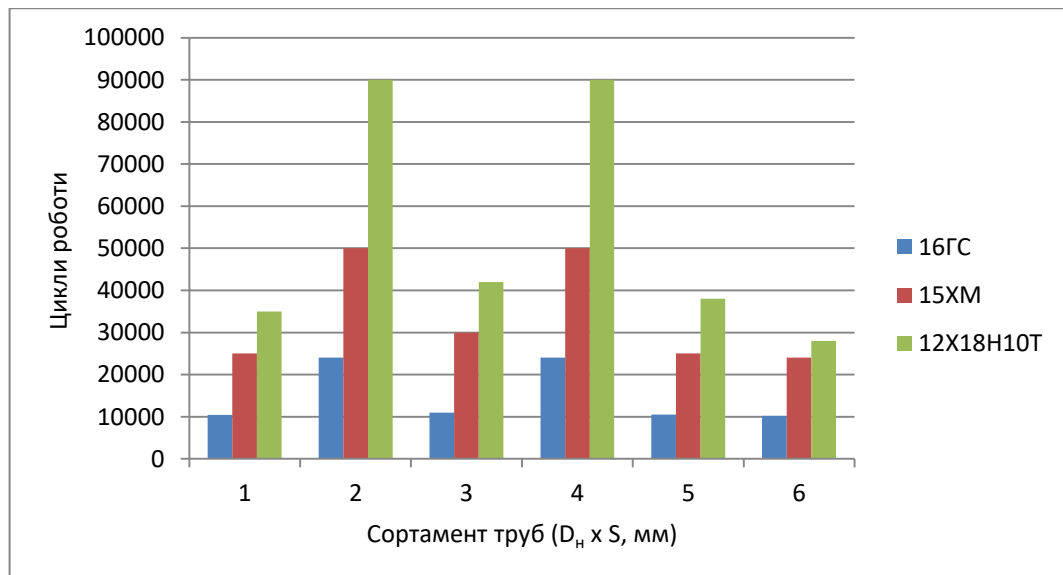


Рисунок 3.6 Гістограма залежності кількості циклів навантаження від сортаменту при 300°C для різних марок сталей.

З даної таблиці та гістограми можна зробити висновок що з наведеного сортаменту вигідніше використовувати трубу діаметром 114 мм з товщиною стінки 7 мм.

3.3 Визначення залежності обмеженого граничного числа циклів навантаження від товщини стінки

У цьому пункті розраховані дані подано графічним виглядом рисунки 3.7 - 3.12, в яких показано співвідношення залишкового ресурсу до товщини стінки для різних матеріалів. Найбільш підходящим для цієї залежності було обрано експоненціальний закон за яким зробили апроксимацію. Величина критерію R^2 на рис 3.7 - 3.12 показує відповідність теоретично отриманого закону розрахунковим даним, отриманим за математичною моделлю.

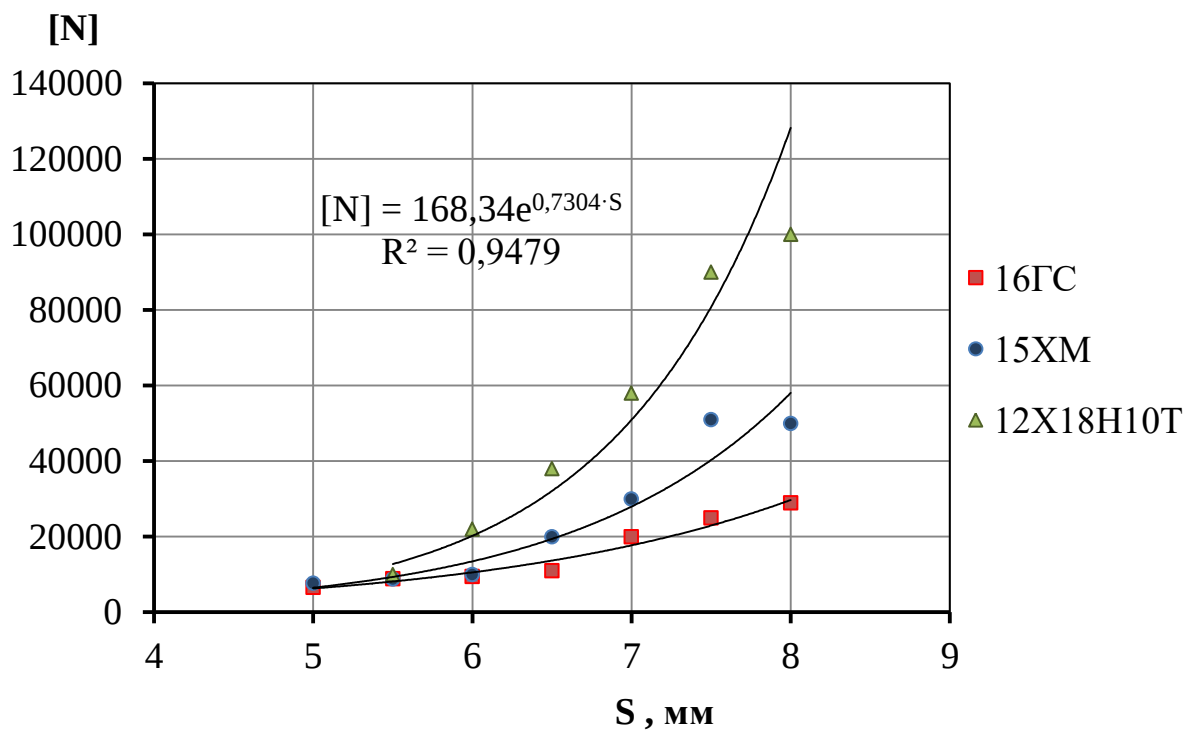


Рисунок 3.7 Графік залежності граничної кількості циклів навантаження трубчастого елемента від товщини стінки для труб із зовнішнім діаметром 152 мм.

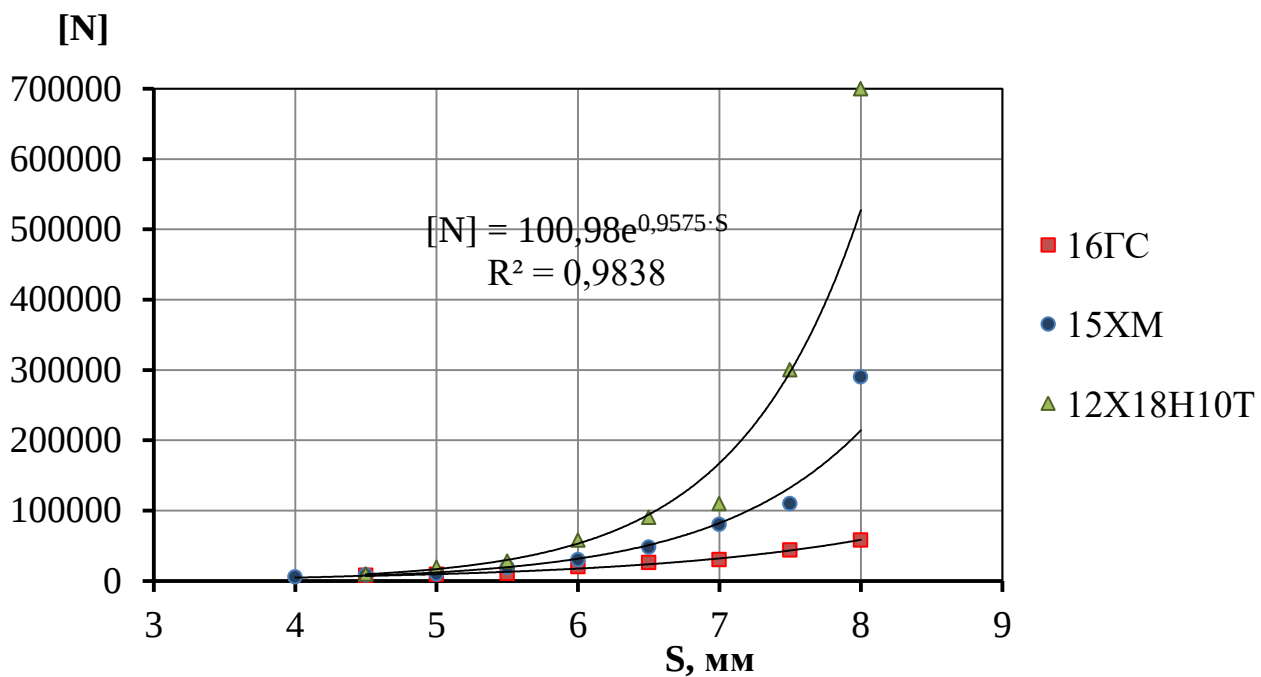


Рисунок 3.8 Графік залежності граничної кількості циклів навантаження трубчастого елемента від товщини стінки для труб із зовнішнім діаметром 133 мм.

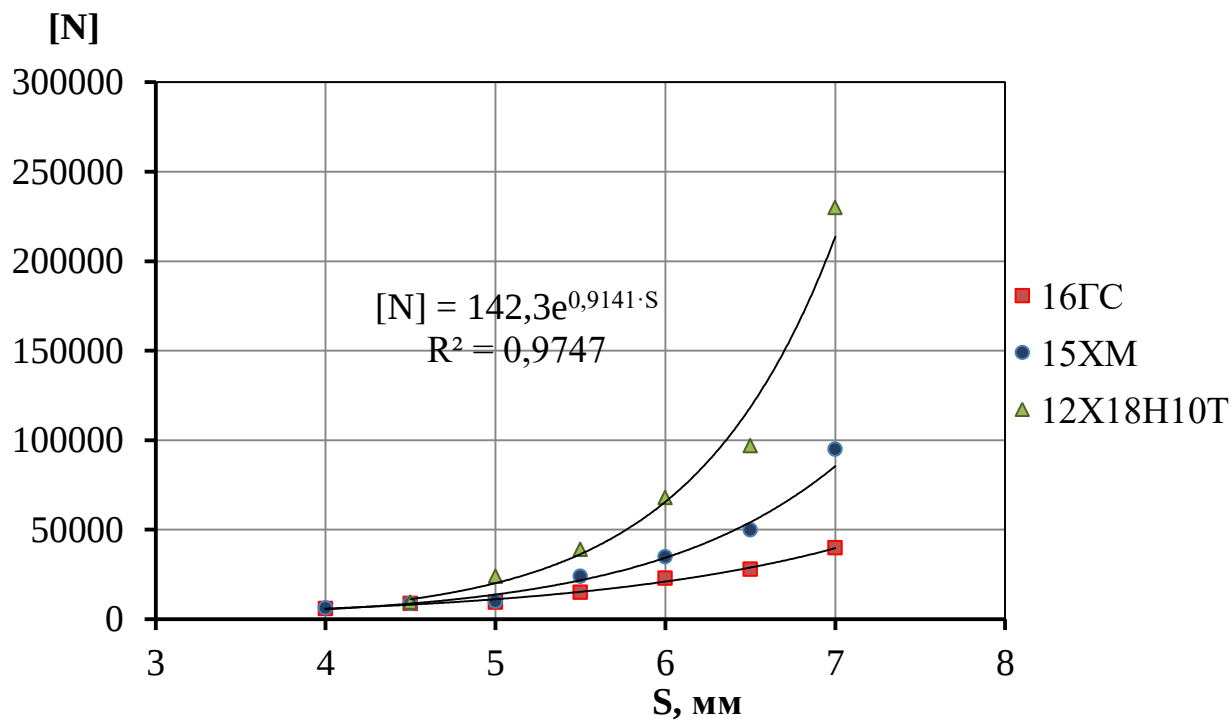


Рисунок 3.9 Графік залежності граничної кількості циклів навантаження трубчастого елемента від товщини стінки для труб із зовнішнім діаметром 127 мм.

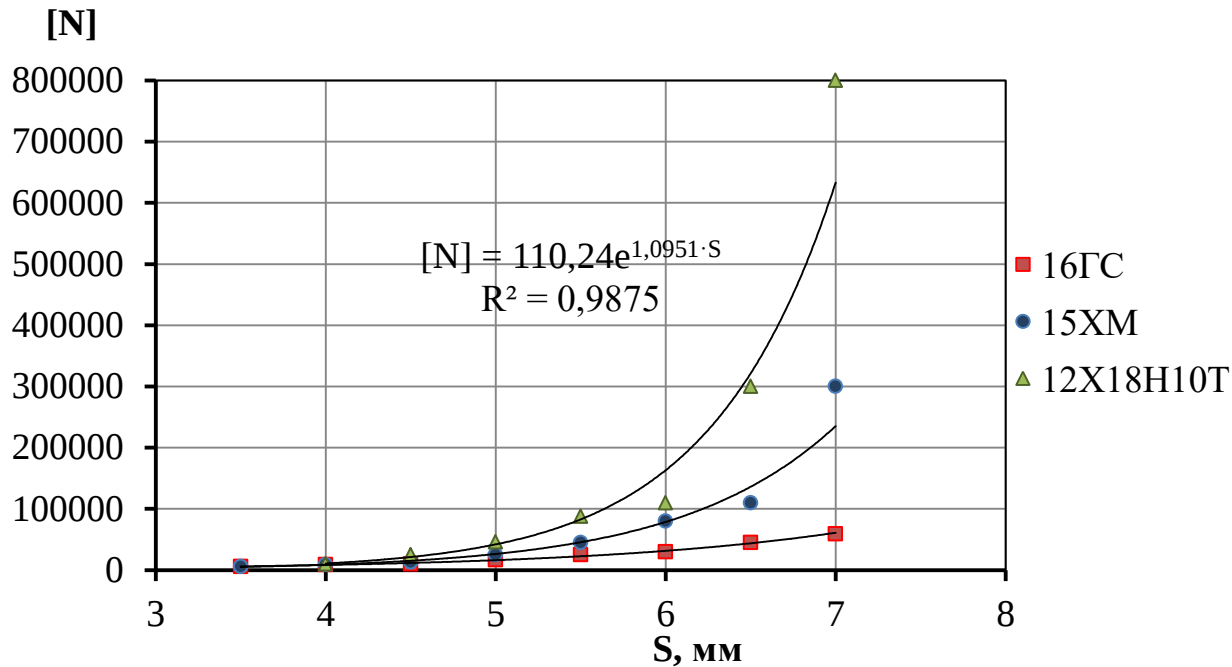


Рисунок 3.10 Графік залежності граничної кількості циклів навантаження трубчастого елемента від товщини стінки для труб із зовнішнім діаметром 114 мм.

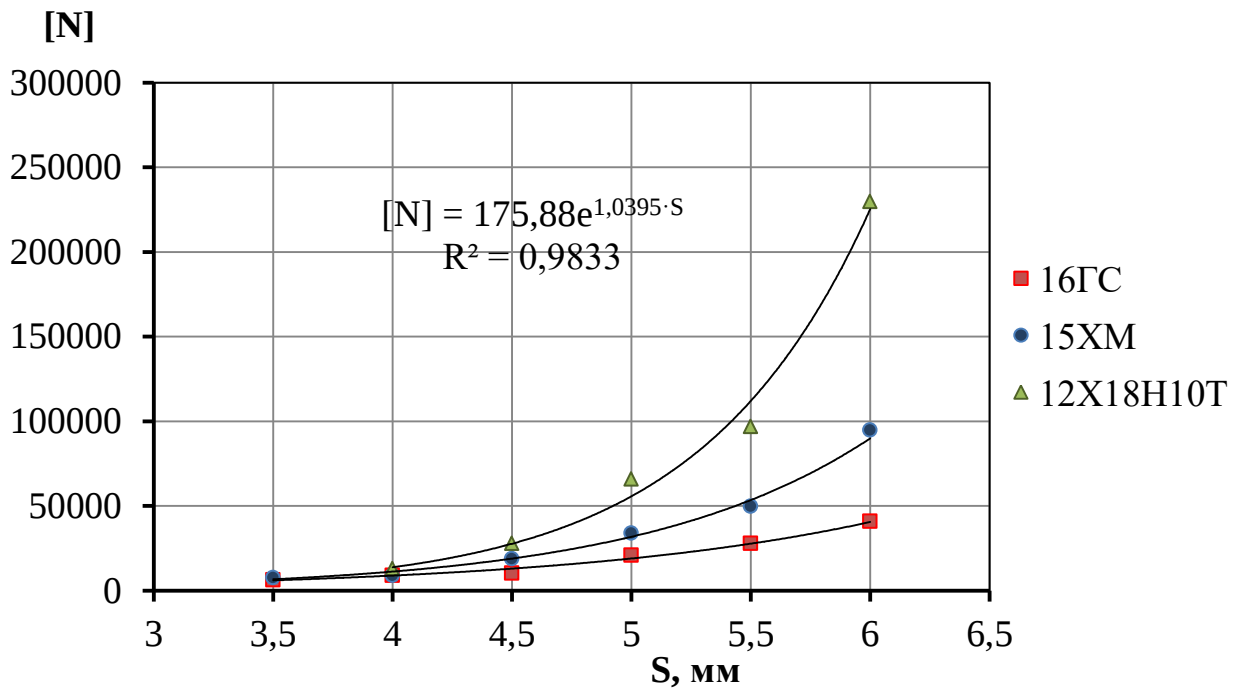


Рисунок 3.11 Графік залежності граничної кількості циклів навантаження трубчастого елемента від товщини стінки для труб із зовнішнім діаметром 108 мм.

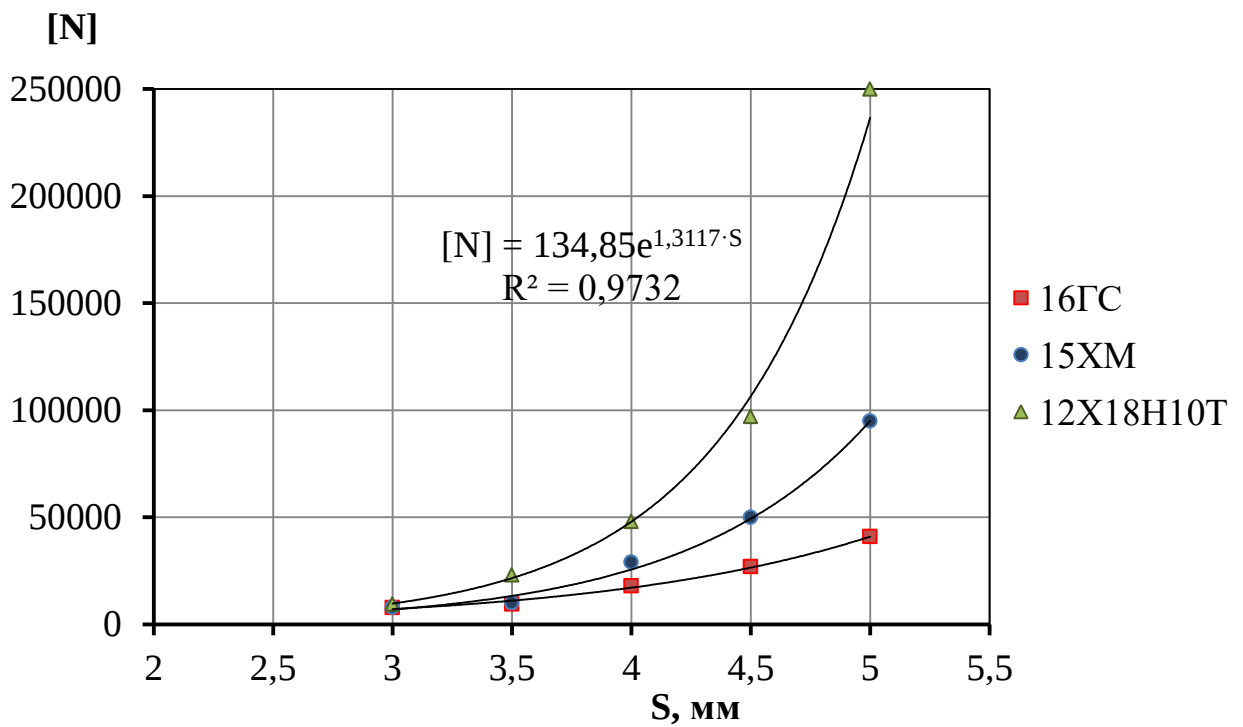


Рисунок 3.12 Графік залежності граничної кількості циклів навантаження трубчастого елемента від товщини стінки для труб із зовнішнім діаметром 89 мм.

В таблиці 3.5, 3,6 знаходиться залежність ресурсу сортаменту 15ХМ при 200°С та 300°С від його товщини стінки.

Таблиця 3.5 Залежність циклів навантаження сортаменту від товщини стінки при 200°С

Товщина стінки, мм	Типорозмір					
	152×8	133×8	127×7	114×7	108×6	89×5
3	1506	1785	2209	2945	3977	6900
3,5	2170	2882	3489	5092	6688	13295
4	3126	4651	5510	8805	11246	25616
4,5	4504	7508	8703	15224	18912	49356
5	6490	12118	13745	26322	31803	95098
5,5	9351	19559	21709	45511	53479	
6	13472	31569	34288	78689	89931	
6,5	19411	50954	54154	136054		
7	27967	82242	85531	235240		
7,5	40295	132743				
8	58057	214255				

Таблиця 3.6 Залежність циклів навантаження сортаменту від товщини стінки при 300°С

Товщина стінки, мм	Типорозмір					
	152×8	133 8	127×7	114×7	108×6	89×5
3	1398	1836	2011	2536	3075	6441
3,5	1990	2809	3166	4292	5272	12516
4	2833	4297	4984	7264	9042	24318
4,5	4032	6575	7848	12293	15505	47251
5	5738	10060	12356	20803	26590	91811
5,5	8167	15392	19453	35205	45599	
6	11625	23551	30628	59579	78198	
6,5	16546	36035	48222	100826		
7	23551	55135	75923	170630		
7,5	33521	84359				
8	47711	129073				

За допомогою коефіцієнтів з таблиці 3.7 та 3.8 можливо знайти ресурс на будь-якій ділянці труби

Таблиця 3.7 Коефіцієнт залежності граничного числа циклів при 200°C від товщини стінки який розраховується за формулою: $N = k \cdot e^{x \cdot S}$

Типорозмір	Коефіцієнт	
	k	x
152 × 8	168,34	0,7304
133 × 8	100,98	0,9575
127 × 7	142,3	0,9141
114 × 7	110,24	1,0951
108 × 6	175,88	1,0395
89 × 5	134,85	1,3117

Таблиця 3.8 Коефіцієнт залежності граничного числа циклів при 300°C від товщини стінки який розраховується за формулою: $N = k \cdot e^{x \cdot S}$

Типорозмір	Коефіцієнт	
	k	x
152 × 8	168,16	0,706
133 × 8	143,07	0,8506
127 × 7	132,01	0,9078
114 × 7	107,97	1,0522
108 × 6	120,88	1,0787
89 × 5	119,7	1,3285

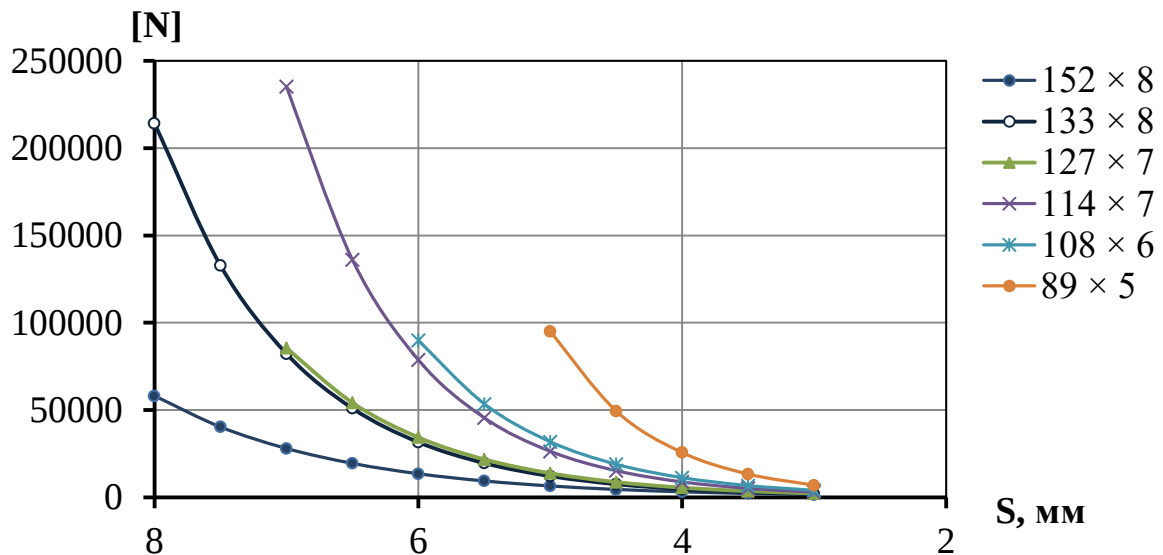


Рисунок 3.13 Залежність ресурсу трубчастого елемента від товщини стінки для різного сортаменту труб.

У цьому графіку наочно показано різницю в ресурсі між різними трубами. А саме 152x8, 133x8, 127x7, 114x7, 108x6, 89x5

3.4 Висновок

В результаті математичного моделювання залишкового ресурсу отримано залежності граничної кількості циклів навантаження трубчастого елемента від товщини стінки для різних сортamentів 152x8, 133x8, 127x7, 114x7, 108x6, 89x5 та марок сталей 16ГС, 15ХМ, 12Х18Н10Т. Найбільш точно закономірності зміни описує експоненціальний закон, про що свідчить значення критерію R^2 не нижче 0,9479.

За графіком, наведеним на рисунку 3.13, видно, що труба 152x8 має найнижчий ресурс на відміну від труби 114x7 яка має найвищий ресурс, також можна помітити, що є труби, ресурс яких змінюється схожим чином. Наприклад 133x8 і 127x7. Для конструювання печі найвигідніше брати трубу 114x7 цикли навантаження якого $2,3 \times 10^5$ при 200°C та $1,7 \times 10^5$ при 300°C . Це своєю чергою дає можливість конструкторам отримати додатковий критерій під час призначення сортаменту для виконання трубчастих елементів під час проектування або реконструкції печей на виробництві.

4 ЗАХОДИ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ

4.1 Підвищення довговічності змійовика

Щоб подовжити термін служби змійовика трубчастої печі, важливо забезпечити додатковий захист труб, що з'єднують прямолінійні ділянки труб, адже труба дуже чутлива до впливу високих температур (70-900 °C), внаслідок чого виникає закоксовування у змійовику. Пов'язано це, зокрема, і з гідравлічними умовами руху продукту. Повороти змійовика створюють гідравлічний опір, зменшуючи тим самим швидкість течії продукту. Як наслідок, погіршується умова теплопередачі, відбувається відкладення коксу на внутрішній поверхні, що зменшує тепловіддачу до продукту. Це, своєю чергою, спричиняє локальні перегріви стінки труби і прискорює корозійні процеси. Навіть застосування легованих, досить дорогих сталей, кардинально цю проблему не вирішує.

Пропонується спосіб захисту у вигляді нанесення графітового покриття на стиковий зварний шов. Таке рішення дасть змогу збільшити надійність, живучість і безпеку змійовика і трубчастої печі загалом. Обґрунтування пропонованого рішення полягає в наступному.

– Графіт є високотеплопровідним матеріалом. Залежно від температури і марки, теплопровідність графіту коливається від 100 до 354,1 Вт/(м·К). Для порівняння, теплопровідність сталі марки 15Х5М перебуває в діапазоні 33 - 37 Вт/(м·К) залежно від температури навколишнього середовища. Тому погіршення теплообміну між продуктом, що нагрівається, і стінкою труби, при нанесенні графітового покриття не слід очікувати.

– Графіт являє собою вогнетривкий і досить інертний матеріал. У радіантній камері трубчастої печі це особливо важливо, тому що змійовик у деяких випадках може контактувати на пряму з племенем пальника. І

графітове покриття в цій ситуації зможе забезпечити надійний захист і матеріалу труби, і вразливого зварного шва.

– Графіт виступає антикорозійною речовиною, що робить його дуже цінним матеріалом у багатьох виробничих процесах. С зростанням температури на 100°C , корозія може зростати в кілька разів. Оскільки в печі досить високі температури, то корозія труб, і тим більше зварних швів, у таких експлуатаційних умовах більш імовірна. Крім того, топкові гази у своїй більшості містять сірчистий газ, азотисті сполуки, водень, водяну пару та інші агресивні агенти, що викликають корозію. Графіт у цьому середовищі слугує гідним покриттям для захисту від цього небажаного явища.

– Графіт є неплавною речовиною. Він надійно витримує вплив високих температур, стаючи твердішим від їхнього впливу, а сублімується за звичайного тиску лише при $3845\text{--}3890^{\circ}\text{C}$. Ця властивість графіту дає змогу використовувати його в трубчастій печі, де температури факела досягають $1700\text{--}1900^{\circ}\text{C}$.

Для радіантних камер печей велике значення має ступінь чорноти тіла, що нагрівається. І з цього погляду графітовий шар є більш ефективним.

Інертність графіту навіть за високих температур не створює умов для активної хімічної взаємодії з матеріалами з якими контактує. Досвід застосування графітових захисних покриттів у багатьох галузях промисловості є тому підтвердженням.

Вказані вище позитивні властивості графіту дають змогу його використання в трубчастій печі в якості захисного покриття труб зміювика і забезпечення надійності, живучості та безпеки експлуатації труб зміювиків і печі в зміювиків і печі загалом.

Важливою частиною проблеми є структура і спосіб нанесення графітового шару. Цей шар не повинен мати пористу структуру, що негативно позначиться на теплопровідності. Шар повинен формуватися без зазорів, що так само важливо для умов передачі тепла від випромінювальної поверхні факела до продукту.

Відомі такі способи утворення графітного покриття: напилення, нанесення шпателем. Одним з ефективних методів є утворення покриття з використанням вогнестійкого композиційного матеріалу є торкретування.

За консистенцією вогнестійкий композитний матеріал можна віднести до групи вогнезахисних паст і обмазок, за складом аналогічних фарбам, але таких, що відрізняються більшою дисперсністю наповнювачів і антипіренів, що утворюють на поверхні, що захищається, шар покриття більшої товщини, ніж лаки і фарби. Вогнезахисні паста та обмазки готують на основі рідкого скла, будівельного гіпсу, глиноземистого цементу, пуцоланових цементів. Як заповнювач використовується вуглець та інші речовини. Це, своєю чергою, ще раз підтверджує групову приналежність до вогнестійкого матеріалу.

4.2 Розробка вогнестійкого покриття

Спочатку готувалася композиція з рідкого скла. Заздалегідь всі складові готували в необхідних співвідношеннях: порошок графіту (42 мас.%), рідке скло (42 мас.%), рідке скло $\text{Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_n$ (50% мас.) і затверджувач натрій кремнефтористий Na_2SiF_6 (8 мас.%).

Співвідношення компонентів було експериментально підібрано за умови відсутності руйнування зразків при нагріванні до 100 °С. Далі склад замішували в чистій ємності. У рідке скло висипали кремнефтористий натрій. При повному розчиненні затверджувача в отриману скло-зв'язку додавали порошок графіту і продовжували замішувати до отримання однорідної суміші.

На наступному етапі досліджено вогнестійкість отриманих експериментальних зразків композитного матеріалу "рідке скло мікрочастинки графіту". Межу вогнестійкості визначено за втратою теплоізоляційної здатності (I) внаслідок підвищення температури на необігрівуючій поверхні матеріалу до граничних для даного матеріалу значень, що становлять 220 °С. Відповідно до протипожежних нормативних

документів отримано межу вогнестійкості ІІ5, яка склала 15 хв.1. Методом рентгеноструктурного аналізу та електронної мікроскопії визначено структуру композитного матеріалу, встановлено фази компонентів продуктів реакції утворення мікрокомпозиції. Показано, що на першому етапі нагрівання за температури від 40 до 200 °С відбувається випаровування як зовнішньої, так і внутрішньої вологи зразків. Під час подальшого нагрівання в інтервалі температур від 473 до 570 °С відбувається розкладання натрію кремнефтористого Na_2SiF_6 з утворенням фториду натрію NaF , а також тетрафториду кремнію SiF_4 , який випаровується. Термоаналітичним методом встановлено, що при нагріванні понад 900 °С зразки починають поступово руйнуватися внаслідок досягнення компонентами суміші температури плавлення.

На підставі результатів досліджень зроблено висновок про те, що композитний матеріал з отриманими характеристиками можна використовувати як захисне покриття будівельних конструкцій з метою підвищення вогнестійкості та зниження пожежної небезпеки, як футерування устаткування в теплоенергетичній і металургійній промисловості, а також у техніці, яка застосовується в надзвичайних ситуаціях

4.3 Виготовлення вогнестійких для покриттів методом торкретування

На основі дослідження методів нанесення покриттів як альтернативу методу обмазки для нанесення було обрано метод торкретування, що дає змогу виготовляти більш тонкі покриття. Однак поняття "торкретування" має два тлумачення:

- 1) спеціалізований метод бетонування у водогосподарському будівництві, в результаті якого отримують торкрет-бетон. Галузі застосування торкрет бетону передбачають створення покриттів із використанням цього матеріалу в процесі виконання робіт під час зведення нових будівель і споруд та під час виконання робіт, пов'язаних із

попереджувальним ремонтом, із відновленням конструкцій будівель і споруд, зокрема й вогнетривкого облицювання;

2) це синонім розпилення, розбризкування, пульверизації, нанесення. У цій статті використано друге тлумачення, це обумовлено тим, що під спосіб нанесення підбирають вихідну консистенцію вогнезахисного складу. Вона може відповідати як бетонам і торкрет бетонам, так і пастам, обмазкам, фарбам тощо. Обладнання, що використовується для виготовлення вогнестійких покриттів, також визначається обраним способом нанесення.

Для виготовлення тонких вогнестійких покриттів обрано безповітряний метод торкретування як найбільш економічний і безпечний. Для нанесення вогнезахисного матеріалу зазвичай застосовують установки безповітряного розпилення, у яких фарборозпилювач має вбудоване в голівку сопло і насос, що нагнітає високий тиск на матеріал, який наноситься. У зв'язку зі зміною способу нанесення вогнезахисного складу знадобилося коригування консистенції складу. Тому для виготовлення вогнестійких покриттів методом безповітряного розпилення використовувався такий склад: рідке натрієве скло - 40 %, наповнювач графіт -34 %, кремнефтористий натрій - 6 %, вода - 20 %.

4.4 Забезпечення довговічності трубчастої печі під час експлуатації

4.4.1 Заходи з технічного обслуговування та ремонту трубчастої печі

Пуск, проведений відповідно до вимог технічного регламенту, подальша правильна експлуатація і стандартне зупинення цієї установки гарантує максимально тривалий термін служби печі. Внаслідок чого робітники повинні приділяти цим операціям особливу увагу. Кожен пуск трубчастої печі супроводжується таким процесом як опресовування змійовика. Ця маніпуляція проводиться у 2 стадії: спочатку відбувається

вплив пари, а потім того потоку, який буде нагрітий у трубному просторі змійовика в процесі роботи печі.

Контрольне пресування трубного змійовика і всіх прилеглих труб включає в себе наступні етапи:

- сировинним насосом у трубний змійовик до його заповнення подається сировину, що нагрівається. Наповненість визначають за підвищенням тиску на виході з печі та за наявністю кількості сировини в атмосферній колоні, з якою з'єднані вихідні труби грубки. Для збільшення тиску всередині трубного змійовика замикають запірну арматуру на вході в колону. За допомогою сировинних насосів поступово, без різких ривків, встановлюється необхідний для перевірки тиск. Як правило, тиск випробування перевищує робочий тиск удвічі. У цих умовах змійовик перебуває не менше п'яти хвилин, а потім тиск зменшують до робочого і починається огляд;

- закривають дверцята гляделок і запобіжних вікон;

- вмикається паливний насос для підігріву палива і проводять прогонку палива за схемою "мірник - насос - колектор форсунок - мірник";

- спускають конденсат із парового колектора пальників, при цьому вентиль на конденсатопроводі під час пуску пальників має бути завжди прочиненим;

- щоб уникнути вибуху горючих газів, що скупчуються через неповну герметичність у системі, використовують водяну пару, якою продувається топковий простір. Зважаючи на габарити печі, цей процес проводять протягом 10-16 хвилин, доти, доки водяну пару не буде видно на виході з димової труби;

- після продування до пальників підносять факел. Пальники розпалюють у відповідно до плану: спершу одну - ті, що знаходяться посередині, потім по порядку. Поки трубчаста піч непрогріта, факел для підпалювання необхідно розташовувати перед палаючими пальниками, тому що через різних причин пальники гаснуть; факел прибирається після того, як

пальник розжариться. Зі збільшенням температури вода видаляється із сировини і далі відбувається рівномірне прогрівання всієї апаратури установки.

Стандартне використання печі передбачає підтримку всіх основних характеристик її експлуатації в інтервалах, визначених технологічним режимом цієї установки.

Значення, які визначають експлуатаційний стан апарата: t сировини на виході, t димових газів, тиск у змійовику. При заданому витраті сировини перемішування потоків відбувається автоматично і змінюється таким чином, щоб на виході з трубчастої печі досягала потрібна температура.

Витрата сировини підтримується регуляторами витрати. Зі збільшенням витрати сировини продуктивність печі має зростати, зменшення витрати має спричиняти зниження продуктивності печі, для того щоб не викликати різкого стрибка t на виході, отже, перегріву стінок змійовика.

Помітне зростання такого показника як температура димового газу є ознакою порушення теплового режиму трубчастої печі. Це свідчить про те, що теплообмін через стінки пічних труб порушено, отже, починається процес закоксування.

Про величину утворення коксу в пічних трубах судять за підвищенням тиску сировини на вході в піч. У такому разі не використовують такі методи, як збільшення витрати палива, навантаження на форсунки; бажано зменшити витрату сировини, що за постійної t димових газів може забезпечити тривалість безаварійної роботи трубчастої печі. Значне зменшення витрати сировини означає, що негайно слід провести зупинку печі для подальшого огляду і підготовки до ремонту.

В особливих випадках до збільшення навантаження на паливне обладнання вдаються при падінні t сировини на вході в піч внаслідок недостатньої роботи теплообмінників.

Період безперебійної роботи трубчастої печі залежить від:

— характеру всієї технологічної установки;

- виду сировини;
- режиму роботи і кваліфікації обслуговуючого персоналу.

Як правило, основна причина припинення роботи печей полягає в тому, що в утворенні коксу на внутрішніх стінках змійовика і наліт сажі на його зовнішній поверхні.

Зупинка включає в себе такі етапи:

- знижують витрату сировини до 50-60 % при підтримці номінальної температури на виході з печі. Інтенсивність зменшення t залежить від ослаблення перемішування палива і відключення форсунок;

- зменшують температуру сировини на виході зі швидкістю в районі 20-30°C/год до оптимальної температури, описаним у технологічному регламенті підприємства для гарячої циркуляції;

- припиняють введення свіжої сировини в апарат і перемикають його в циркуляційний режим;

- знижують температуру до того моменту, поки продування змійовика для звільнення його від залишків сировини не стане здійсненим. У процесі падіння t необхідно вжити заходів, що запобігають прогару або сильній корозії пароперегрівача і рекуператора. Доти, доки не відбудеться повне зупинення обладнання, рекомендується подача пари в пароперегрівач.

Вентилятор, який подає повітря в рекуператор, слід відключити саме тоді, коли піч переводиться з режиму роботи за меншої продуктивності на режим гарячої циркуляції;

- змійовик продувається водяною парою проти або по ходу сировини, залежно від місцезнаходження прогару. У разі протиходу, залишки сировини з трубного простору йдуть в аварійні ємності, а по ходу сировини

- в апарат, підключений до печі. У деяких випадках продування проводять протиходом, а після вже по ходу потоку, поєднуючи його з просушуванням змійовика. Час продувки коливається від години до двох, в залежно від довжини труб. Цей параметр залежить від величини тиску водяної пари,

якого повинно вистачати при подоланні гідравлічного тиску. опору в трубному просторі в режимі продувки.

Позапланова зупинка під час аварійних ситуацій включає в себе більше складніші заходи, ніж планова, адже за непередбачуваних різких проблем із введенням сировини і пари відбувається обмеження за часом на процес зупинки.

Максимальну загрозу несе несподівана зупинка надходження в піч сировини, що тягне за собою розрив пічного трубопроводу, зупинку сировинних насосів і вихід з ладу запірної арматури. У разі не вжиття необхідних заходів, відбувається неминуче утворення коксу на внутрішніх стінках змійовика, і в деяких випадках аж до повного виходу обладнання з ладу.

У такому разі початковим заходом із зупинки введення сировини є гасіння форсунок і одночасне переведення апарату в режим гарячої циркуляції. Далі повна зупинка печі відбувається в послідовності, описаній вище.

Аналогічної схеми продувки дотримуються і в разі серйозних прогарів, коли в камери печі надходить велика кількість продукту. Сильні прогари є серйозною аварією, що нерідко призводять до пожежі, тому піч необхідно зупинити негайно.

Необхідно швидко перекрити подачу сировини, загасити всі пальники і продути змійовик парою. Щоб запобігти поширенню полум'я, відкривають подачу пари на всіх лініях парогасіння печі, а також у боров і димову трубу.

Щойно зроблено зупинку трубчастої печі, необхідно негайно вивести її з технологічної схеми, шляхом від'єднання трубопроводів і насосів закриттям засувки і необхідним встановленням заглушок

4.4.2 Ревізія основних елементів трубчастих печей

Огляд трубчастих печей проводиться протягом планових відновлювальних робіт і в разі виникнення дефектів, що впливають на нормальну експлуатацію апарата. нормальну експлуатацію апарата.

Ревізія трубного простору містить такі заходи:

– зовнішній огляд усіх конструкційних елементів у радіантній камері і в камері конвекції в місцях, що дають змогу зробити огляд, проводиться для виявлення корозії поверхні, прогару, віддулини, тріщини, прогину і моніторинг зварних швів. Зовнішній огляд зварного шва виявляє такі дефекти, як тріщина, корозія тощо. У разі спірних ситуацій у стані зварювальних швів проводиться контроль з використанням неруйнівних методів;

– моніторинг зовнішнього діаметра труб проводиться протягом кожного ремонту. Оцінка стану проводиться граничними калібрами, або інакше, скобами або іншими пристосуваннями, які забезпечують необхідну точність вимірювання $\pm 0,5$ мм, для виявлення неприпустимої зміни зовнішнього діаметра;

– вимірювання товщини стінки труб і калачів проводиться для радіантної камери печі, звертаючи увагу на швидкість їх корозії:

1) до 0,10 мм.на рік - вибірково з різних температурних ділянок у кожен ремонт, повністю в капітальний ремонт;

2) від 0,10 до 0,30 мм.на рік - вибірково з різних температурних ділянок у кожен ремонт, повністю в капітальний ремонт;

3) понад 0,30 мм.на рік - кожен ремонт повністю; для конвекційної частини змійовика печі - кожен ремонт у доступних місцях.

Визначення залишкової товщини стінки труб і калачів проводиться за допомогою переносних ультразвукових пристроїв (товщиномірів) у тих ділянках, на яких імовірність зносу максимально висока. Для калачів, у разі якщо вони зварні, визначення товщини проводиться поблизу поздовжнього

зварного шва, а також на кожній половині, для суцільнозварних за найбільшим і найменшим радіусом заокруглень.

Огляд камери конвекції трубчастої печі починається з випробувань на міцність, за яких такі параметри як тиск і час проведення випробування відповідають вимозі, зазначеній у техпаспорті для цього обладнання.

Провівши розтин змійовиків, заміну пічних труб, заміну калачів, застосування зварювання для ремонтних робіт, і в разі зносу конструкційних частин трубчастого змійовика до критичних параметрів, близьких до розмірів, що відповідають про брак, змійовики мають бути піддані гідравлічним випробуванням пробними тисками, відповідно до відповідно до проекту виготовлення цього елемента.

Гідравлічне випробування змійовика проводиться тоді, коли не можна провести описані вище методи огляду частин апарата в повному розмірі у важкодоступних ділянках і якщо можна говорити про наявність передбачуваних дефектів.

Для цих випробувань використовується водаст від +5 до +40°C або будь-яка інша некорозійна, неотруйна, невибухонебезпечна рідина (гасова, дизельна і масляна фракції). Період проведення випробувань із застосуванням пробного тиску не повинен перевищувати десяти хв. Як тільки проведено зниження тиску до робочого, потрібно провести повну ревізію змійовика.

У разі, коли неможливо провести гідравлічне випробування змійовика (наприклад, у печі, змійовик який важко повною мірою звільнити від води), допускається провести пневмовипробування змійовика

Підсумки гідравлічних і пневматичних випробувань слід занести в акт перевірок на щільність і міцність.

Перевірка металевих конструкцій та елементів печі проводиться протягом кожного ремонту, з подальшим зовнішнім оглядом для виявлення залишкових деформацій, оглядом зварювальних і болтових з'єднань, заміром залишкової товщини їхніх частин, якщо це необхідно.

Огляд кладки і футерування печі проводиться протягом кожного планового ремонту і включає в себе:

- зовнішній огляд, за підсумками якого виявляють стан цегляних кладок і жаростійкого бетону торцевої та бічної стіни, поду, горизонтальних і похилих склепінь, стан футеровок оглядових вікон, зовнішніх ізоляційних покриттів, пальників;

- огляд кладки і футерування склепіння і поду на горизонтальність (під час капремонту);

- огляд футерування склепіння і поду на горизонтальність (під час капремонту);

- аналіз станів ремонтного шва і наповненість їх азбестовим шнуром.

Перевірка димових труб полягає в:

- попередньому зовнішньому огляді стану димової труби та її елементів із використанням біноклів для виявлення наскрізних корозійних дефектів;

- огляді кріплень опорної плити і болтів для виявлення зносів, деформації, тріщин і стану фундаменту;

- вимірюванні товщини стінки обичайок труб, яке проводять із використанням ультразвукового обладнання.

Ці заходи проводяться не рідше ніж 1 раз на 5 років. Під час перевірки товщини стінок труб необхідно звернути пильну увагу на ділянки, в яких ймовірність зносу найбільш висока. яких імовірність зносу найвища (нижні частини димових труб, особливо поблизу зварного шва).

Огляд паливного обладнання проводиться під час планових ремонтних робіт і містить у собі: розбирання, чищення, зовнішній огляд корпусів форсунок, завихрювачів, паромазутних головок, газових колекторів, сопел, запірної арматури, тарування і випробування на стенді із записом у журналі випробувань і подальшим оформленням актом ревізії форсунки

4.4.3 Чищення та ремонт трубних змійовиків

Чищення всередині поверхні труб від відкладення солі, смол і коксу проводять механічним або фізико-хімічним способом (промиванням і пропаркою, пароповітряним випалюванням коксу). Вибір способу очищення вибирають відповідно до природи відкладення. Наприклад, на установці атмосферної перегонки нафти відкладення солей і смол прибирається за допомогою промивання труб нагрітою водою і продування водяною парою. Щоб видалити шари коксу з труб змійовика застосовується механічний спосіб або пароповітряний спосіб випалювання коксу.

Механічний спосіб застосовують для очищення розбірних змійовиків на двійниках від коксу. Попередньо для сушіння відкладень, щоб полегшити подальше їх видалення, трубчасту піч необхідно пропарити, після цього розкриваються двійники.

Під час механічного чищення змійовика застосовуються бойки, рідше шарошки, які приводяться в рух пневматичним двигуном. Бойки виробляють шляхом лиття з модифікованого чавуну з твердістю не менше 200 НВ. Підвищення бойок, завдає удару, розпушуючи та зішкрібаючи шари коксу. Частинки коксу видаляються з очищаються змійовика відпрацьованим повітрям.

Шар коксу легше видалити з гарячого змійовика. Тому, для підтримки змійовика в нагрітому стані, в печі залишають кілька працюючих форсунок і встановлюють м'який режим горіння. За допомогою газового пальника на внутрішній поверхні ретурбендів випалюється кокс. Після очищення змійовика двійники продуваються стисненим повітрям. Якість виконаної роботи перевіряється візуально: усередині труби повинен спостерігатися металевий блиск.

Плюсом цього методу чищення є здатність позбавлення від будь-якого відкладення (легкозаймистого або незаймистого), неможливість перегріву змійовика (унеможлиблюється можливість погіршення механічних

характеристик металів і герметичності розвальцьованого з'єднання труби з двійником), можливість розкриття труб для проведення огляду внутрішніх поверхонь змійовика і ретурбендів.

Мінусом описаного методу є те, що умови праці стають шкідливими і небезпечними, а також трудомісткими і довготривалими, виникає можливість механічних пошкоджень поверхні, що очищається.

За допомогою пароповітряного методу випалювання коксу можна провести очищення розбірних і нерозбірних змійовиків. Для нерозбірного змійовика випалювання є єдиним методом чищення від закоксованого шару на поверхні.

Випал коксу є відповідальною операцією і для його виконання залучаються досвідчені, кваліфіковані працівники. Процес очищення змійовиків включає два етапи:

- пропарювання змійовиків;
- випалювання коксу.

Перший етап. Після вимкнення насосів змійовик печі звільняють від продуктів і пропарюють нагрітою водяною парою за тиску 1 МПа і витрати 300-500 кг/год за кількох запалених форсунок з кожного боку протягом 2-3 годин. За великих температур деякі УВ і смоли розкладаються, кокс висушується, тріскається, відходить від внутрішніх стінок змійовика і видаляється потоком пари. Розтріскуванню і відділенню коксу сприяє відмінність у коефіцієнтах температурних розширень коксу і металу труб змійовика. По завершенню операції гасяться форсунки, припиняється подача пари, відкривається дренажний вентиль для скидання залишкового тиску і контролю відсутності робочого продукту в трубах. Далі на сировинну лінію печі встановлюють заглушки і монтують лінію скидання продукту згорання в димову трубу.

Другий етап. Випал коксу здійснюють за ходом руху продукту і тільки по одному потоку. Одночасний випал у двох і більше потоках не дозволяється. В трубний змійовик, що очищається, подають водяну пару при

тиску 1 МПа і витраті 300-500 кг/год, запалюють необхідну кількість форсунок по обидва боки печі. За температури 500-600°C починає подаватися повітря, знижуючи подачу водяної пари так, щоб тиск пароповітряної суміші становив 0,3-0,4 МПа.

Момент загоряння коксу (температура займання 420-460°C) визначають за появою з димової труби чорного диму і за кольором пічних труб. За нормального перебігу процесу випалювання коксу температура поверхні змійовика не повинна перевищувати 550°C - для вуглецевих сталей (бурий колір труб), 650°C - для сталей 15X5М, 15X5ВФ (темно-червоний колір труб), 750°C - для сталей типу 12X18Н10Т (вишнево-червоний колір труб), 950°C - для сталі 10X23Н18, 1030°C - для сталей 20X25Н20С2, 45X25Н20С; вміст CO₂ у продуктах згоряння становить 10 - 17%.

Режим згоряння коксу регулюється змінами співвідношень кількості парів і повітря в суміші: за дуже яскравого світіння труб знижують подачу повітря та підвищують подачу пари, за загасання горіння коксу і потемніння труб - навпаки.

Про завершення горіння коксу судять за кольором диму і труб. Тоді припиняють подачу повітря, продовжуючи продування труб водяною парою, потім знову подають повітря на горіння.

Кокс у змійовику згорає поступово по ходу руху пароповітряної суміші. Ознакою закінчення процесу випалювання коксу є потемніння всіх труб і вихід у димову трубу чистого повітря (вміст CO₂ у газах, що відходять, 0-0,1%). По завершенню випалювання коксу трубний змійовик для плавного зменшення металу і запобігання розузміцненню продувають водяною парою при палаючих форсунках протягом 1-2 годин (рекомендується знижувати швидкість температури 100-150°C год), після цього для виявлення дефектних місць обпресовують парою на тиск 1 МПа.

До плюсів пароповітряного методу випалювання коксу відносять зменшення часу простою печі під час ремонту, знижуються витрати праці та коштів, підвищується якість умов праці, підвищена якість чищення. Мінусом

цього методу слугує можливість перевищити допустиму температуру (780°C для сталі 15X5M) за відсутності контролю за протіканням процесу, що призводить до залишкових деформацій (вигинів труб між опорами), знижується міцність металу, відбувається прогар труб. Так само, спостерігаються ерозійні зноси змійовиків коксом, що виноситься, і утворення окалин на поверхні металу.

Паромеханічний спосіб видалення коксу передбачає попередню обробку коксу перегрітою водяною парою і подальше механічне чищення.

Зі змійовика видаляють нафтопродукт, продувають водяною парою, після чого з'єднують змійовик з димовою трубою, запалюють кілька пальників і, підтримуючи короткофакельне горіння, підвищують температуру на перевалі до $250-300^{\circ}\text{C}$. Потім у змійовик подають водяну пару під тиском $0,3-0,4$ МПа і, додатково запалюючи пальники, поступово збільшують температуру на перевалі до $650-680^{\circ}\text{C}$, а тиск пари в змійовику - до $0,55-0,6$ МПа. Під впливом водяної пари кокс розпушується, відшаровується від стінок труб і через 1-2 год починається його винос парою зі змійовика в димову трубу. Після припинення виносу коксу пальники гасять, припиняють подачу пари, розкривають двійники і видаляють механічним способом залишки коксу.

Паромеханічний метод може застосовуватися для очищення розбірних змійовиків, але його не можна назвати часто використовуваним. Період простою печі на ремонті при чищенні змійовика паромеханічним способом практично такий самий, як і при чищенні механічним. Відбраковані труби, калачі та двійники вирізають зі змійовика газокисневим різанням і видаляють з печі, після чого контролюють стан трубних опор.

Труби без віддулин і з незначними залишковими деформаціями вигину цілком витягують із трубних опор. На кінці труби, відрізаної від двійників, пропалюють отвір для закріплення гака з тросом, за допомогою якого витягають трубу трактором або тракторною лебідкою. Під час витягування труби з печі її підтримують у горизонтальному положенні автокраном, а

після її витягування з печі трубу опускають на землю. Труби з віддулинами і значними деформаціями вигину витягують із трубних опор частинами. Перед вирізкою шматка труби його закріплюють за сусідні труби, а після вирізки опускають на риштування риштувань, споруджених усередині печі.

Суцільнозварні змійовики на калачах розміщуються всередині печі цілком, у зв'язку з чим, для заміни відбракованих труб і калачів потрібне часткове розбирання обмурівки і каркаса печі.

Для збереження придатних для подальшої експлуатації змійовикових труб ремонт двійників доцільно проводити за місцем, тобто без обрізки розвальцьованих у них труб.

Зношені ділянки корпусу двійника і неглибокі раковини ремонтують наплавленням металу, тріщини заварюють.

Перед заварюванням тріщин встановлюють їхні межі шляхом послідовного засвердлювання, після чого обробляють кромки вирубкою металу на всю глибину і довжину дефектної ділянки.

Відігнуті вушка двійників після попереднього підігріву правлять легкими ударами кувалд.

Риски і нерівності на поверхнях ущільнювачів гнізд під пробки усувають розгортанням отворів конічною фрезою з мінімальним зніманням металу.

Ремонт двійників проводять у ремонтному цеху. Обрізки труб, що залишилися в гніздах двійників, ріжуть уздовж на дві-три частини і видаляють їх із гнізд легкими ударами молотка.

У разі збільшення діаметра та інших дефектів гнізд їхній ремонт здійснюють наплавленням металу з подальшим проточуванням до номінального розміру.

Вади на поверхнях ущільнювачів пробок усуваються за допомогою токарного оброблення; деформації плічок траверс - наплавленням металу з подальшим механічним обробленням; вигнуті болти виправляються правкою.

Якщо стався знос різьблення болтів або траверс, то їх необхідно негайно відбракувати.

Якщо мають місце серйозні дефекти, ретурбенди та їхні комплектуючі замінюються. Перед установкою нових деталей їх потрібно оглянути на предмет відповідності з пропонованими до них вимогами.

Щоб перевірити правильність сполучень конічної ущільнювальної поверхні корпусу і пробок, необхідно нанести спеціальні риски за допомогою крейди на поверхню пробки, після цього її необхідно вставити в гніздо ретурбенда і повернути. За потрібного контакту поверхонь на цій пробці має залишитися суцільний кільцевий слід. Якщо помічено розрив сліду, то пробку притиральною пастою необхідно притерти до поверхні гнізда.

На поверхні труб не повинні бути присутніми раковини, тріщини та інші дефекти. Такі показники, як зовнішній діаметр, товщина стінки, овальність, а також різностінність, кривизна труб і твердість металу повинні варіюватися в інтервалі допустимої похибки. Щоб довести трубу до номінальної довжини, виконується різання всілякими спец інструментами (механічна ножівка, дискова пила або газорізка), а далі слідує обробка кромки за допомогою абразивного інструменту. Якщо відсутні труби необхідної довжини, допускаються з'єднання шматків труб меншої довжини з використанням зварних швів.

Встановлення труб зміювика проводиться з використанням автокрана і трактора.

Направлення труби в трубну опору виконує робітник, який перебуває на внутрішній поверхні апарата.

Зовнішня поверхня кінця труби і гніздо двійника перед установкою має бути ретельно очищена від бруду, іржі, масел і води. Ретурбенд піднімають, надягають на кінець труби, після цього його прихоплюють за допомогою електрозварювання до кожної наступної труби в 3-4 точках по діаметру, що допомагає відрегулювати центри труб відносно гнізд і запобігти можливості осового зсуву труби відносно гнізда під час проведення розвальцьовування.

Щоб полегшити стикування ретурбенда на труби застосовується напрямний конус, який попередньо вставляється в кінець кожної труби.

Зменшення витрат труб під час ремонту змійовика досягається шляхом проведення таких дій:

- якщо відбувається відбраковування тільки 1 з труб, яка з'єднана з ретурбендом, то її необхідно вирізати по частинах. Це робиться для того, щоб можна було обійтися без різання іншої, придатної труби і без зняття ретурбенда. Нова труба вводиться через гнізда двійника і розвальцьовується. Мінусом цього способу можна назвати підвищену трудомісткість операції;

- альтернативою попередньому трудомісткому способу є наступний: від ретурбенда слід відрізати придатну і непридатну трубу. Придатну трубу за допомогою зварювання патрубка до труби доводять до необхідної довжини, а потім її встановлюють на своє місце;

- у деяких випадках для захисту змійовика від ерозійного зносу в кінці його труб ввальцьовують захисні втулки, які виготовляють з обрізків раніше використовуваних відбракованих труб;

- повторно використовувати відбраковані труби можна вирізавши зношені кінці окремих віддулин, а далі зварити придатні ділянки цих труб;

- всіляко загнуті труби з пластичних легованих сталей типу 15X5М можна відновити за допомогою правки.

Щойно очисні та відновлювальні роботи закінчено, відбувається складання двійників. До цього всі поверхні ущільнювачів пробок і гнізд мають бути змащені спеціальним мастилом (як правило, виготовляється змішанням графітового порошку і машинного масла). Це необхідно проводити для поліпшення герметичності з'єднань і унеможливлення взаємних загорянь деталі. Всілякі пробки, траверси і болти встановлюються на місце.

Провівши складання, змійовик необхідно прогріти водяною перегрітою парою під тиском до 1 МПа. Якщо виявлено негерметичність з'єднання,

подачу пари слід припинити, знизити тиск до нормального і після цього підтягнути пробки та підвальцювати труби.

Далі слідує пресування змійовика. Зазвичай її проводять за допомогою солярного масла. За допомогою насоса плавно піднімають тиск з атмосферного до пробного, так потрібно підтримати близько п'яти хвилин. Потім тиск необхідно знизити до робочого і оглянути ретурбенди. Якщо виявлено протікання, то продукт видаляють, тиск знову зменшують до атмосферного, далі усувають дефекти, з подальшим повторним пресуванням змійовика.

4.5 Висновок

Проведений вище аналіз методів та засобів підвищення довговічності конструкцій, які працюють в умовах підвищених температур показав, що застосування вогнетривких покриттів дозволяє надати додатковий захист матеріалу ретурбенда та вразливому зварному шву, бо в деяких випадках змійовик може контактувати з полум'ям пальника, та підвищити антикорозійні властивості бо зі зростанням температури на 100°C , корозія може зростати в декілька разів.

Виходячи з цього, пропонується нанесення вогнетривкої обмазки на основі графіту за допомогою пензля або розпилення переробленої версії методом торкретування на вразливі місця, такі як: стикові шви і фланцеві з'єднання.

З експлуатаційних заходів потрібно відмітити найбільш впливові на ресурс змійовика:

- Своєчасна подача сировини
- Ревізія всієї печі, особливо завихрювачів
- Чищення труб від відкладень механічним або фізико-хімічним способами

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

ЗАГАЛЬНІ ЗАХОДИ БЕЗПЕКИ ДЛЯ ТРУБЧАСТИХ ПЕЧЕЙ

Трубчасті печі широко застосовуються у нафтопереробній, хімічній, нафтохімічній та інших галузях промисловості.

Пальники в робочому та резервному стані повинні бути обладнані сигналізаторами пожежогасіння, що надійно фіксують наявність полум'я на форсунках.

Трубопровід газового палива до основного пальника повинен бути обладнаний запобіжним запірним клапаном (ПЗК) на додаток до типового запірного пристрою печі, який спрацьовує при падінні тиску газу нижче за допустимий рівень.

Лінії подачі рідкого палива та паливного газу до основних та допоміжних пальників повинні бути обладнані пристроями автоматичного відключення, керованими системою відключення.

Для багатofакельних печей автономні регулятори повинні бути встановлені на трубопроводах газу та рідкого палива для забезпечення безпеки під час пуску.

Якщо піч розташована поза будинком, запірний пристрій для загальних рідинних та газових трубопроводів повинен бути розміщений у безпечному місці на відстані не менше 12 м від печі.

Перш ніж ми почнемо, нам потрібно очистити камеру згоряння та димар. Усі люки мають бути закриті.

У період розпалювання печі повинні бути включені всі сигналізації, передбачені всіма органами управління та технічними регламентами.

Перед розпалюванням газової печі необхідно перевірити герметичність усіх робочих та регулюючих клапанів пальника та злити конденсат із паливопроводів. Система подачі газу повинна унеможливити попадання конденсату в пальник.

Перед черговим розпалюванням пальника простір необхідно продути пором для подачі свічки газоподібного палива, інертного газу. Продування приміщення, рахуючи від моменту відкриття останньої засувки до моменту виходу пари з димової труби, повинно проводитися протягом часу, встановленого регламентом, але не менше 15 хвилин, у разі багатокамерного продування поза топкою, камери згоряння - не більше 20 хвилин.

Розпалювання печі має починатися при наступному розпалюванні пальників. Якщо наступний пальник (пальник) не запалився (засвітився) після 3-х спроб, необхідно повторити продування топкового простору згідно

Розпалювання основного пальника має здійснюватися при чинному резервному пальнику, мінімальній регульованій циркуляції сировини в змішувачу та регульованій величині подачі палива.

Трубопроводи подачі палива до всіх непрацюючих (особливо тимчасово непрацюючих) пальників мають бути перекриті.

Піч повинна бути обладнана засобами автоматичної подачі пари в топковий простір та змішувачі у разі прогорання труб, а також засобами автоматичного припинення подачі сировини та палива у разі аварії у системі зміш.

Перед подачею на пальник паливний газ повинен пройти через сепаратори, нагрівачі та фільтри для видалення рідкої фази, вологи та механічних домішок.

Для забезпечення необхідної в'язкості та відсутності механічних домішок рідке паливо перед подачею на форсунки має пройти через підігрівачі та фільтри.

У період запуску повинні бути включені такі блоки: Закриття газового автомата основного пальника або сировини при підвищенні або зниженні тиску в лінії паливного газу до основного пальника та при припиненні подачі циркуляційного газу на змішувач Закриття рідкопаливного автомата відключення у разі збою живлення.

Система відключення та сигналізації повинна забезпечувати відключення подачі палива на допоміжну та основну пальники при:

- відхилення параметрів паливоподачі від регламентованих;
- Кількість сировини, що циркулює через змійовики печі, впала нижче за допустимий рівень.

- Перевищення максимально допустимої температури на виході
- спрацювання системи пожежогасіння;

Усі пристрої, які контролюють роботу печі, мають бути зареєстрованого типу.

Протиаварійна автоматична система захисту має видавати протиаварійний сигнал для спрацювання правоохоронних органів.

У процесі експлуатації трубчастої печі необхідно контролювати показання контрольно-вимірювальної апаратури та візуально контролювати стан змійовиків, трубних підвісок та кладки печі. За наявності дірок у трубах пропалити їх, деформувати каміння або суспензії, пропустити повстанські агенти, вимкнути пальники, припинити подачу продукту в піч, подати в піч пар, паровий або непаровий. Продуть трубу за допомогою активного газу як потоку продукту. Під час роботи печі дверцята камери повинні бути закриті. Необхідно дотримуватись встановленого режиму горіння. Пальники мають бути завантажені рівномірно, а розміри пальника мають бути однаковими.

Подача пари в топковий простір повинна включатись автоматично у разі прогорання змійовика. Він має такі характеристики:

- Падіння тиску в живильному змійовику;
- Підвищення температури над стінами перевалу;
- Зміна вмісту кисню у димових газах на виході з топки щодо нормативного значення. Параметри спрацювання блокування після аварійного ввімкнення подачі пари в змійовик визначаються проектом. Підготовка до ремонту та виконання ремонтних робіт у печах належать до газонебезпечних робіт і повинні виконуватись відповідно до

вимог типової інструкції з організації техніки безпеки під час газонебезпечних робіт.

Перш ніж приступити до продування змійовика печі, переконайтеся, що тиск усередині змійовика печі нижчий, ніж тиск пари або інертного газу, що використовується для продування.

Підготовку до ремонту печі та обладнання, що приєднується до неї, необхідно проводити у суворій відповідності з технічним регламентом.

При підготовці до ремонту рідинної форсунки вам знадобляться:

- Закрийте клапани подачі рідкого палива прямо до форсунки та зворотного колектора.
- Скиньте тиск у колекторі, спалюючи паливо форсунками.
- Закрити пару до сопла.
- Скинути тиск у парозбірнику через штуцер чи злив.
- Встановіть заглушки на впускний та випускний патрубки паливопроводу з боку форсунки.

При підготовці до ремонту форсунок, що працюють на газовому паливі, слідує:

- Закрити перепускний клапан та кран подачі газу в топку.
- Скиньте тиск у колекторі, спалюючи паливо у форсунках, та перевірте відсутність тиску за манометром та повітряним клапаном.
- Встановіть заглушку після клапана та перепускний клапан після подачі газу в топку.

Перед відкриттям подвійної заглушки (точка контролю) або відкриттям фланцевого з'єднання необхідно припинити подачу інертного газу або пари в змійовик печі та охолодити змійовик печі. Відсутність продукту в змійовику печі слід перевірити, відкривши заглушку на контрольному двійнику або відкрив фланцеве з'єднання в нижній частині подового екрану печі та конвекційної камери.

Особа, яка спостерігає за роботою людей у печі, має такі обов'язки:

- Переконайтеся, що всі люки для входу та виходу з печі відкриті.

- Підтримувати постійний контакт із працюючими та надавати негайну допомогу у разі потреби.

- За неможливості особисто надати допомогу, негайно звернутися за допомогою до найближчого оператора та повідомити про це відповідального за операцію.

Робочі труби, що чистять, повинні носити захисні окуляри, маски і каски.

Під час роботи в печі забороняється: Різання стінових плит без захисного скла, демонтаж кладки великими блоками. Кладку необхідно розібрати по цеглині та опустити в спеціальний жолоб.

Роботу в печі слід припинити у разі загрози обвалення кладки або виявлення наявності нафтопродуктів або газів.

Забороняється присутність людини у топці під час заповнення паливопроводу.

Засвітїть насадку та відрегулюйте режим горіння, стоячи поруч із насадкою та в захисних окулярах зі світлофільтрами. При цьому одяг має бути щільно застібнутий, а головний убір обов'язковий.

При запаленні форсунок рідкого палива вам потрібно буде принести газову запальничку та відкрити подачу пари та повітря. Після цього можна відкрити вентиль у паливопроводі біля форсунки. Тиск пари (повітря) має бути не менше ніж на 0,5 атмосфери вище за тиск рідкого палива.

При попаданні конденсату у форсунку з газом негайно закрити кран подачі газу в топку та злити конденсат у лінію «газ на пальник».

Пожежна безпека у трубчастих печах

Ризик спалаху в трубчастих печах дуже великий.

По-перше, потужна паливна система (мазут, природний газ тощо), з якої паливо надходить у топку для спалювання.

По-друге, велика кількість нагрітого паливного продукту рухається змійовиком під високим тиском.

По-третє, висока температура нагрітого продукту може перевищувати температуру самозаймання.

Потім наявність відкритого полум'я та яскраво-червоних продуктів горіння температура яких досягає 1000-1100°C. Поява протікання та пошкоджень труб. В результаті з труби може вийти велика кількість нагрітого продукту.

Якщо поверхні печі (камені, труби, двійники) сильно нагріваються і всередині печі виникає відкритий вогонь, виникає підвищена пожежна небезпека не тільки самої печі, а й технічних пристроїв, що містять поруч, що містять горючі матеріали. Тому запобігання виникненню пожеж та вибухів є серйозною проблемою при використанні трубчастих печей у виробничих процесах.

Вибух відбувається у топці трубчастої печі при утворенні пального середовища у топці.

Це відбувається у двох випадках

1) Під час запуску, до запалювання. Горюча суміш з повітрям може утворюватися при попаданні палива або продуктів горіння в топку паливопроводом або змійовиком. Вибухонебезпечна суміш утворюється при порушенні порядку дій. Щоб цього не сталося, необхідно суворо дотримуватись правил запуску печі, викладених у технічних регламентах та спеціальних інструкціях.

2) Момент раптового гасіння факела полум'я пальника чи форсунки після подальшого відновлення подачі палива.

Спалахи можуть зникнути з багатьох причин. Або вода потрапила в рідке паливо та утворила кран, або у газопроводі утворився конденсат. Полум'я у форсунці також може згаснути, якщо тимчасово перервати подачу палива.

Паливо, потрапляючи в топку, випаровується, яке пари з повітрям можуть утворити вибухонебезпечну суміш.

Протипожежний захист. Щоб уникнути цієї небезпеки, слідус:

- Запобігає потраплянню води в паливо та очищує паливо від механічних домішок.

- Очистить сопло протягом заданого часу.

- Коли полум'я гасне, використовується система автоматичного відключення паливопроводу.

- пропонує можливість переходу на другий вид палива.

Відкидні або інші типи запобіжних клапанів виготовляються, щоб уникнути руйнування топки при можливих вибухах усередині топки (всередині стінок радіаційної камери).

Вибух у топці (димороді) трубчастої печі може статися при неповному згорянні палива через нестачу повітря. Димові гази, багаті на продукти неповного згорання палива (особливо воднем і окисом вуглецю), при змішуванні з повітрям можуть займатися.

Неповне згорання палива відбувається, коли процес згорання не відбувається належним чином. Витік у кладці може призвести до потрапляння повітря.

Протипожежний захист. Щоб уникнути небезпеки вибуху в ямі для багаття, ви повинні:

- Забезпечує правильне управління процесом горіння, контрольоване газоаналізатором (максимальна кількість двоокису вуглецю та відсутність у димових газах чадного газу та водню).

- Стежити за станом кладки, не допускати підсмоктування повітря та забезпечувати своєчасний ремонт.

- Передбачити використання запобіжних клапанів мембранного типу для запобігання укладання бруса у разі можливого вибуху.

ВИСНОВОК

Описано причини зниження залишкового ресурсу. Однією з таких причин є те, що пічні труби працюють в умовах дії високих температур від 800°C до 900°C градусів та температурних перепадів від 20°C до 40°C градусів. Знос внутрішніх поверхонь труб відбувається внаслідок корозії під дією агресивних включень, які перебувають у сировині.

Описано оцінку залишкового ресурсу змійовика, методики та умови їх використання. Зазвичай це індивідуальне прогнозування і включає в себе розв'язання таких проблем як оцінювання поточного стану та розвиток цього стану в найближчому майбутньому. Так само вказані способи неруйнівного контролю товщини стінки

Ще однією причиною зниження довговічності є фланцеве з'єднання. Це пов'язано з їхньою низькою стійкістю до перепадів температури, тиску та корозії.

В результаті математичного моделювання залишкового ресурсу отримано залежності граничної кількості циклів навантаження трубчастого елемента від товщини стінки для різних сортamentів 152x8, 133x8, 127x7, 114x7, 108x6, 89x5 та марок сталей 16ГС, 15ХМ, 12Х18Н10Т. Найбільш точно закономірності зміни описує експоненціальний закон, про що свідчить значення критерію R^2 не нижче 0,9479.

За графіком, наведеним на рисунку 3.13, видно, що труба 152x8 має найнижчий ресурс на відміну від труби 114x7 яка має найвищий ресурс, також можна помітити, що є труби, ресурс яких змінюється схожим чином. Наприклад 133x8 і 127x7. Для конструювання печі найвигідніше брати трубу 114x7 цикли навантаження якого $2,3 \times 10^5$ при 200°C та $1,7 \times 10^5$ при 300°C. Це своєю чергою дає можливість конструкторам отримати додатковий критерій під час призначення сортamentу для виконання трубчастих елементів під час проектування або реконструкції печей на виробництві.

Проведений аналіз методів та засобів підвищення довговічності конструкцій, які працюють в умовах підвищених температур показав, що застосування вогнетривких покриттів дозволяє надати додатковий захист матеріалу ретурбенда та вразливому зварному шву, бо в деяких випадках змійовик може контактувати з полум'ям пальника, та підвищити антикорозійні властивості бо зі зростанням температури на 100°C, корозія може зростати в декілька разів.

Виходячи з цього, пропонується нанесення вогнетривкої обмазки на основі графіту за допомогою пензля, шпателя або розпилення переробленої версії методом торкретування на вразливі місця, такі як: стикові шви і фланцеві з'єднання.

З експлуатаційних заходів потрібно відмітити найбільш впливові на ресурс змійовика:

- Своєчасна подача сировини
- Ревізія всієї печі, особливо завихрювачів
- Чищення труб від відкладень механічним або фізико-хімічним способами

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Кулешов, О. Ю. Расчетный анализ локальной теплонапряженности экранных труб в реакционных трубчатых печах / О. Ю. Кулешов, В. М. Селёдкин / Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2012. №5. – С. 15-18.
2. Канадцев, М. Н. Алгоритм оптимизации конструкции змеевиков трубчатых печей при совместном решении задач гидродинамики двухфазного потока и прочности / М. Н. Канадцев, М. И. Баязитов, А. Г. Филиппова, Р. М. Баязитов / Нефтегазовое дело. – 2014. №5. – С. 276-293.
3. Хисаева, З. Ф. Модифицирование поверхности змеевиков трубчатых печей для защиты от науглероживания и коксообразования / З. Ф. Хисаева, И. Р. Кузеев / Нефтегазовое дело. – 2003. №1. – С. 1-5.
4. Канадцев, М. Н. Оптимизация конструкций змеевиков трубчатых печей: автореф. дис. ...канд. техн. наук : 05.02.13 / Канадцев Михаил Николаевич. – Уфа., 2003. – 20 с.
5. Образцова, Е. И. Оптимальное конструирование змеевика трубчатой печи при промежуточном отборе паровой фазы: автореф. дис. канд. техн. наук : 05.02.13 / Образцова Екатерина Игоревна. – Уфа., 2004. – 22 с.
6. Н.Р. Ентус Трубчатые печи нефтегазопереработки и нефтехимии / Н.Р. Ентус, В.В. Шарихин, А.А. Коновалов, А.А. Скороход. - Москва, 2000 – 392с.
7. М.А. Фадеев Оценка остаточного ресурса технологического оборудования / М.А. Фадеев, Н.М. Карамзинов. - Нижний Новгород, 2013 – 95с.
8. М.Н. Ягудин Трубчатые печи Расчеты при проектировании / М.Н. Ягудин. – Уфа, Издательство ГУП ИНХП РБ, 2014 – 256с.
9. В. С. Шубин Надежность оборудования химических и нефтеперерабатывающих производств / В. С. Шубин, Ю. А. Рюмин. – Москва, : Химия, КолосС, 2006 – 359с.
10. Т.Ф. Ильина, Е.М. Абакачева трубчатые печи (конструкции, выбор, технологический расчет) Уфа 2012 – 100с.
11. Питухин Е.А., Устинов А.С. Исследование предела огнестойкости композитного материала жидкое стекло–микрочастицы графита / Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2016. Т. 16. № 2. С. 277–283
12. Устинов А.С. Метод нанесения огнезащитного композитного материала «жидкое стекло–микрочастицы графита» на поверхности ограждения / Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2018. Т. 18. № 6. С. 1001–1007