КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

Факультет: Інженерних систем та екології

Випускова кафедра: Теплотехніки

Освітній ступінь: Магістра

Спеціальність 192 «Будівництво та цивільна інженерія»

Освітня програма: «Теплогазопостачання та вентиляція»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Декан факультету

Приймак О.В.

„___”_____20___ року

З А В Д А Н Н Я
ДО ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

Дзюба Олег Дмитрович

1. Тема роботи: «Модернізація системи газопостачання опалювальних котелень з котлами серій ТВГ та КВГ»

затверджена наказом ректора КНУБА № 2494/2 від 28.11.2024 року

2. Керівник роботи Кириченко М.А. к.т.н., доцент

3. Строк подання здобувачем роботи до захисту: 02.12.24

4. Зміст пояснювальної записки за розділами:

Р. 1. Водогрійні опалювальні котли типу твг;

Р. 2. Водогрійні газові котли типу квг;

Р. 3. Безполуменеве горіння;

Р. 4. Моделювання факельного спалювання газу в котлах твг та квг;

Р. 5. Моделювання безполуменевого спалювання газу в котлах твг та квг;

Р. 6. Гідравлічний розрахунок ділянки газопроводу;

Р. 7. Організація будівельно-монтажних робіт;

Р. 8. Охорона праці;

5.Графічний матеріал за розділами

Р. 1.план котельні;

Р. 2. Розріз котла твг-8 ,розріз котла квг-4.65;

Р. 3. Підземний повітряний колектор, схема взаємного розташування газоходів та повітроводів;

Р. 4. Схема обв'язки пальників;

Р. 5. Розрізи;

Р. 6. Види;

Р. 7. Модернізація газопостачання котла тгв-8м;

Р. 8. Схема функціональна автоматичного регулювання;

Р. 9 календарний план;

Календарний план виконання роботи:

Види робіт та їх зміст	Дата виконання
Розділ 1.	07.08.24
Розділ 2.	15.08.24
Розділ 3.	25.08.24
Розділ 4.	18.09.24
Розділ 5.	28.09.24
Розділ 6.	19.10.24
Розділ 7.	30.10.24
Розділ 8.	15.11.24
Остаточне оформлення роботи	28.11.24
Направлення роботи для перевірки на плагіат	02.12.24
Попередній захист роботи на випусковій кафедрі	02.12.24
Направлення роботи на рецензування	02.12.24

Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Перевірив	
		дата	підпис

Дата видачі завдання _____

Зав. кафедри _____ __Кириченко М.А._
(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник _____ __Кириченко М.А._
(підпис) (прізвище, ініціали)

Здобувач _____ _____Дзюба О.Д._
(підпис) (прізвище, ініціали)

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

Інженерних систем та екології
Теплотехніки

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

на тему:
«Модернізація системи газопостачання опалювальних котелень з котлами серій ТВГ та КВГ»

Дзюба Олег Дмитрович

Київ 2024 р.

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

Інженерних систем та екології

Теплотехніки

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

_____Кириченко М.А.
„___” _____20___ року

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

«Модернізація системи газопостачання опалювальних котелень з котлами серій ТВГ та КВГ»

Виконав дзюба Олег Дмитрович

192 «Будівництво та цивільна інженерія»

«Теплогазопостачання та вентиляція»
Група зТВм-23

Керівник Кириченко М.А. к.т.н., доцент

Ідентичність підтверджую

Київ 2024 р.

Зміст

ВСТУП 6

1. ВОДОГРІЙНІ ОПАЛЮВАЛЬНІ КОТЛИ ТИПУ ТВГ 7
2. ВОДОГРІЙНІ ГАЗОВІ КОТЛИ ТИПУ КВГ 15
3. БЕЗПОЛУМЕНЕВЕ ГОРІННЯ 28
4. МОДЕЛЮВАННЯ ФАКЕЛЬНОГО СПАЛЮВАННЯ ГАЗУ В КОТЛАХ ТВГ ТА КВГ 36
5. МОДЕЛЮВАННЯ БЕЗПОЛУМЕНЕВОГО СПАЛЮВАННЯ ГАЗУ В КОТЛАХ ТВГ ТА КВГ 53
6. ГІДРАВЛІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ДІЛЯНКИ ГАЗОПРОВОДУ 69
7. *ОРГАНІЗАЦІЯ БУДІВЕЛЬНО-МОНТАЖНИХ РОБІТ* *83*
8. *ОХОРОНА ПРАЦІ* *91*

ВИСНОВОК *99*

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ *100*

В с т у п

Останнім часом активно просуваються проекти заміни у складі котельних систем централізованого теплопостачання котлів, які використовують як паливо природний газ, на твердопаливні котли. Використання твердого палива в містах з їх досить щільною забудовою і сильно забрудненої вихлопними газами автомобілів атмосферою навряд чи можна вважати вдалою альтернативою використанню природного газу в потужних опалювальних котелень великих і середніх міст. Крім додаткового навантаження на навколишнє середовище у вигляді золи, шлаку і підвищених викидів CO і NOx при використанні твердого палива в містах виникають додаткові транспортні проблеми при доставці твердого палива та вивезенні шлаків і золи, а також зі складуванням твердого палива. Крім того, коефіцієнт корисної дії котлів на твердому паливі ніколи не досягне значень, характерних для котлів на природному газі, оскільки в тепловому балансі твердопаливного котла є дві додаткові складові, а саме: втрати з шлаком q_6 і втрати від механічного недопалу q_4. Та й втрати від хімічного недопалу q_3 незрівнянно вище, ніж для газового котла, які для сучасних газових котлів близькі до нуля. Низькі значення ккд твердопаливних котлів і менші, ніж у природного газу, значення теплотворної здатності твердих палив, призводять до необхідності спалювати набагато більше твердого палива, ніж природного газу, для отримання однакової кількості теплоти, що відчутно знижує або навіть зводить до нуля економічну привабливість переходу на тверде паливо, особливо для великих котелень.

У той же час експлуатовані опалювальні котельні на природному газі мають великий потенціал для енергоефективної модернізації. Для аналізу можливих шляхів модернізації опалювальних газових котелень потрібно почати з аналізу самої системи централізованого теплопостачання, яку в деякій мірі умовно можна розділити на три складові: джерело теплоти, споживач з абонентським введенням (індивідуальним тепловим пунктом) і з'єднують їх тепловими мережами (трубопроводами) з допоміжним обладнанням та спорудами. Від того, в якому вигляді маємо теплові мережі та абонентські вводи буде залежати і структура та теплова схема джерела теплоти. Якщо ми маємо незалежну приєднання споживачів, то має сенс оснащувати насосну групу частотними регуляторами і

реалізовувати якісно-кількісне регулювання. Якщо ми маємо серед споживачів окремі групи будинків, які характеризуються, наприклад, однакової поверховістю, то має сенс на виході з котельні на кожну таку групу будинків прокладати свою трасу і ставити свою насосну групу. І, нарешті, якщо оснастити котельню гідравлічним роздільником, що відокремить внутрікотельний гідравлічний контур від зовнішнього контуру, то можна вимикати по черзі котли залежно від зміни навантаження не тільки в сенсі виключення пальників, а й припиняючи циркуляцію теплофікаційної води через не працюючий котел [1] .

Крім загально котельної модернізації, є і великий потенціал для підвищення енергоефективності власне котлів. Сьогодні в переважній більшості котельні експлуатуються водогрійні котли водотрубні серій ПТВМ, КВГМ, ТГВ і КВГ (котли типу НІІСТУ в цій статті не розглядаються), а також переведені в водогрійний режим парові котли серій ДКВР і ДЕ. Конструкції цих типів котлів для свого часу були ефективними і донині залишаються надійними. Однак, за низкою показників вони вже не відповідають сучасним вимогам.

Всі ці типи котлів працюють під розрядження і відповідно мають тягодуттєві машини, що працюють з постійним навантаженням, а регулювання аеродинамічних характеристик котла проводиться за допомогою напрямних апаратів, які відкриваються і закриваються за допомогою однооборотних редукторів МЕВ і системи тяг. Такий спосіб регулювання дутьевого повітря і підтримки постійного розрядження в топці дуже енерговитратний і має незадовільну точність регулювання, до того ж зменшується в процесі експлуатації з появою люфтів в системі механічних зчленувань тяг.

Труби конвективних пакетів водогрійних котлів всіх серій мають маленький діаметр і розташовані горизонтально. У нинішніх умовах експлуатації мереж, коли якість води далеко від необхідного, конвективні пучки дуже швидко забиваються накипними відкладеннями, що вимагає більш частих промивок і призводить до частої їх заміни. Екранні поверхні більшості типів водогрійних котлів виконані з певним кроком, що не дозволяє застосувати волокнисті матеріали для обмурівки котлів. Використання важкої і навіть полегшеної обмурівки призводить до її розтріскування при зміні теплових навантажень, частих пусках і зупинках котла, а

це веде до збільшення присосів, а значить і до збільшення втрати з йдуть q_2 в тепловому балансі і, відповідно, до зниження ккд.

На жаль, штатні пальника всіх типів котлів не відповідають сьогоднішнім вимогам ні за екологічними характеристиками, ні за діапазоном регулювання потужності, ні по точності регулювання співвідношення витрат газу і повітря.

Відповідно, застаріло і газове обладнання пальників. В даний час газопостачання зазвичай включає в себе або зовнішній ГРП (один на всі котли), або внутрішнє ГРУ, в якому тиск газу знижується. Крім того, для виключення або принаймні зменшення коливань тиску газу в системі під час пусків і зупинок котлів при зміні навантаження застосовуються пасивні елементи - колектори з труб великого діаметру, що грають роль ресивера, захаращення простір в котельному залі. Температура вихідних для всіх типів котлів при їх конструюванні вибиралася швидше з міркувань запобігання режимів конденсації водяної пари на конвективних поверхнях, ніж з міркувань економного використання палива, що можна пояснити низькою вартістю останнього за часів існування СРСР.

Нарешті, безнадійно застаріли системи автоматизації регулювання роботи як котлів, так і всього комплексу допоміжного обладнання котельні.

Результати проведеного аналізу дають можливість намітити основні шляхи модернізації опалювальних котелень систем централізованого теплопостачання, що ведуть до зниження питомої витрати газу на вироблення теплоти.

Тягодутєві машини повинні бути в обов'язковому порядку оснащені частотними регуляторами. У такому випадку досягається подвійний ефект - зменшується витрата електроенергії на привід вентиляторів і підвищується точність регулювання співвідношення витрат газу та повітря на пальник. Термін окупності такого заходу тим менше, чим більше потужність електродвигунів вентиляторів і чим більше діапазон регулювання навантаження на котел.

Частотне регулювання може бути використано і для управління рецирку-насосами, покликаними підтримувати температуру води на вході в котел на постійному рівні.

При ремонтах і замінах конвективних поверхонь нагріву необхідно використовувати труби більшого діаметру [2]. При цьому труби бажано

використовувати оребрені, що збільшить поверхню теплообміну і інтенсифікує його.

Екранні поверхні топок котлів при ремонтах можна перетворювати на газощільні шляхом приварювання до стінок труб спеціальних пластин, перетворюючи їх таким чином в плавникові. Це дасть можливість, по-перше, використовувати волокнисту ізоляцію, яка не схильна до розтріскування і таким чином запобігає можливість збільшення присосів в процесі експлуатації із зменшенням початкової величини присосів в топку. По-друге, дозволяє збільшити теплову ефективність екранних поверхонь за рахунок наближення кутових коефіцієнтів екранів до одиниці [3].

Пальники типів ГМГ, РГМГ, ДМУ для всіх типів котлів слід замінювати на сучасні пальники європейських виробників, що дає можливість більш точної підтримки співвідношення витрат газу і повітря у всьому розширеному діапазоні регулювання навантажень (до 1:10) [4], що дозволяє при цьому значно зменшити шкідливі викиди в атмосферу. Однак, при реалізації цього напрямку підвищення енергоефективності водогрійних котлів необхідно досить обережно підходити до вибору пальників для того чи іншого типу котла. В іншому випадку можна отримати результат, протилежний очікуваному [4]. Особливо слід відзначити заміну пальників для котлів типу ПТВМ. Цей тип котлів відрізняється наявністю великої кількості пальників і заміна їх безпосередньо виходить досить дорогим заходом у зв'язку з необхідністю в цьому випадку для кожного пальника міняти газову апаратуру і ускладнювати систему автоматичного керування роботою котла. У зв'язку з цим при модернізації котлів цього типу часто йдуть на зменшення кількості пальників [5]. Як вдалий приклад подібної модернізації в Україні можна навести результат модернізації котла ПТВМ-30 з заміною шести штатних пальників на дві, розміщених в поду котла [6].

Заміна пальників в обов'язковому порядку повинна супроводжуватися заміною газової апаратури і систем автоматики. Ці заходи повинні проводитися в комплексі. Установка нової газової апаратури дає можливість відмовитися від практики зниження тиску на вході в котельню і пристрої колекторів-ресиверів, а також підводити до пальників газ середнього тиску через індивідуальні регулятори тиску. Це дає можливість каскадного включення в роботу як окремих котлів, так і

пальників по одній на котлі (якщо котел оснащений більш, ніж одним пальником). Саме це комплексний захід дозволяє повністю автоматизувати роботу котельної фактично будь-якої потужності, реалізуючи тим самим закладений у ДБН «Котельні установки» [7] принцип роботи котельні «без постійної присутності обслуговуючого персоналу», а також на практиці реалізувати принцип регулювання потужності опалювальної котельні по температурі зовнішнього повітря.

Нарешті, використання додаткових поверхонь нагріву за котлом або у вигляді воздухонагревателей, або у вигляді економайзерів для підігріву обратки на вході в котел дозволяє за рахунок температури відхідних і відповідному збільшенні ккд котлів до значень 94-96% істотно знизити питому витрату газу. При цьому не потрібно боятися виникнення конденсаційних режимів, швидше їх потрібно спеціально організовувати, що дасть можливість не тільки підвищувати ккд котлів, а й отримувати воду для підживлення тепломереж при відповідній її нейтралізації, що при сучасному рівні автоматизації будь-якого хімічного процесу стає справою практично безпечним і дешевим . При цьому конструкції подібних утилізаторів теплоти і методи їх розрахунку розроблені детально ще в радянський час [8].

Проведений вище аналіз можливостей енергоефективної модернізації опалювальних котелень з водогрійними котлами, що експлуатуються з радянських часів, показує, що цей напрямок набагато перспективніше, ніж пошуки можливостей заміни цих котлів на твердопаливні з відповідним розширенням території котелень під склади палива і твердих відходів (шлак і зола), шляхів підвозу палива та вивезення твердих відходів в умовах щільних міських транспортних потоків і створення спеціальних пристроїв для зниження шкідливих викидів в атмосферу.

1. Водогрійні опалювальні котли типу ТВГ.

Газовий водогрійний котел теплофікації ТВГ є прямоточним секційним теплогенератором з примусовою циркуляцією води, обладнаним окремим димососом і вентилятором. Котли ТВГ випускаються теплопродуктивністю 4,65 МВт (ТВГ-4) і 9,3 МВт (ТВГ-8). Це секційні зварні опалювальні котли, з нагрівом води не більше 150 °С. Особливістю котлів є розвинена радіаційна поверхня. Водогрійний котел ТВГ-4 і агрегат ТВГ-8 мають три двосвітні екрани і чотири пальники. Двосвітні екрани ділять топку на чотири відсіки. Ширина відсіків 740 мм. Крім того, кожен водогрійний котел названого типу має два односвітних

екрани, розташованих у стінок, і сводовий екран, що частково переходить у фронтовий екран. Кожен топковий екран, окрім сводового, складається з верхнього і нижнього колекторів, в які вварені по 40 вертикальних труб Ø 51х2,5 мм. Для створення двох ходів руху води, верхні колектори кожного топкового екрану мають посередині перегородки. Сводовий екран складається з 32 (84) труб Ø 51х2,5 мм, що вварені в передній (нижний) і задній (верхній) колектори [4].

Конвективна поверхня нагріву, яку має водогрійний котел ТВГ, складається з двох секцій з верхніми і нижніми колекторами, сполученими між собою вісьмома стояками Ø 51х2,5 мм, в кожен з яких вварені по чотири П-образних змійовики Ø 28х3 мм. Змійовики розташовуються паралельно фронту котла в шаховому порядку. Для організації руху води по змійовиках в стояках є перегородки. Для спалювання газу водогрійний котел ТВГ використовує подові пальники з прямою щілиною, що закінчується вгорі раптовим розширенням. Пальники розміщені між вертикальними топковими екранами. Продукти горіння поступають з топки в конвективний газохід через отвір заввишки 800 мм у верхній частині, над розділовою стінкою (рис.1).

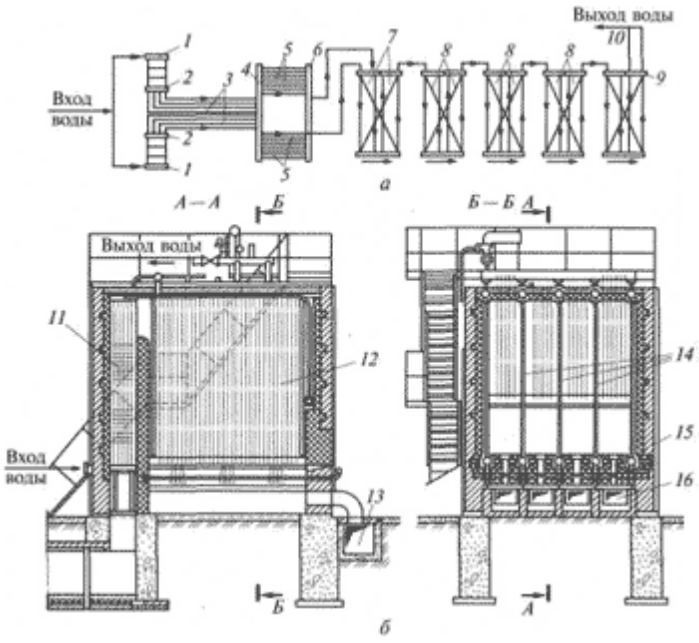


Рис.1. Водогрійний опалювальний котел ТВГ-8

а - схема циркуляції води; б - пристрій котла; 1,2-нижні і верхні колектори конвективної поверхні; 3, 5-сводово-фронтальні труби; 4, 6-нижній і верхній колектори сводового екрану; 7-лівий бічний екран; 8, 14-двосвітні екрани; 9-правий бічний екран; 10-виход води в тепломережу; 11-конвективна поверхня нагріву; 12-радіаційна поверхня топкі; 13-повітряний канал; 15-пальники; 16-підподові канали.

Схема переміщення води в котлах ТВГ може бути описана таким чином. Вода з тепломережі йде паралельно в два колектори, розташованих в низу конвективних поверхонь, пройшовши які, збирається у верхніх колекторах. Наступним кроком

вона, виходячи з них і рухаючись по ряду сводово-фронтальних труб, прямує в нижній колектор сводового екрану. З нього по іншому ряду сводово-фронтальних труб вода збирається у верхньому колекторі сводового екрану, потім послідовно проходить через лівий (з боку фронту котла) бічний односвітний екран, двосвітні екрани і виходить в тепломережу з верхнього колектора правого бічного екрану. Топкові екрани виконані у вигляді секцій з опускним і підйомним рухом води.

Розрахунок палива і продуктів згорання за котлом ТВГ-8

Елементарний склад робочої маси палива %

Метан CH_4=92,8

Двоокис вуглецю CO_2=0,1

Етан C_2H_6=3,9

Сірководень H_2S=0

Пропан C_3H_8=1,0

Кисень O_2=0

Бутан C_4H_{10}=0,4

Окисел вуглецю CO=0

Пентан C_5H_{12}=0,3

Водень H_2=0

Азот N_2=1,5

Теплота згорання нижня сухого газу, Мдж/м3

$Q^c_н$=37300

Об'єм повітря, теоретично необхідного для повного згорання палива, м3/ м3

$V^o_в$=0,0476 [0,5CO+0,5 H_2+1,5 H_2S+Σ (m+n/4)* C_{mn} – O_2] = 0,0476 [0,5*0+0,5*0+1,5*0+(1+4/4)*92,8+(2+6/4)*3,9+(3+8/4)*1+(4+10/4)*0,4+(5+12/4)*0,3) – 0]=9,5724

Об'єм продуктів згорання, які утворились під час згорання палива з теоретичним об'ємом повітря, м3/ м3

–теоретичний об'єм азоту

$V^o_{N2}=0,79\ V^o_в+0,01N_2=0,79*9,5724+0,01*1,5=7,5772$

–теоретичний об'єм трьохатомних газів

$V^o_{RO2}=0,01\ (CO_2+CO+\ H_2S+\ \Sigma m\ C_mH_n)\ =\ 0,01\ (0,1+0+0+92,8+2*3,9+3*1+4*0,4+5*0,3)=1,068$

–теоретичний об'єм водяної пари

$V^o_{H2O}=0,01\ (H_2+\ H_2S+\Sigma n/2\ C_mH_n+0,124d_г*0,124\ d_в\ V^o_в)\ =\ 0,01\ (0+0+2*92,8+3*3,9+4*1+5*0,4+6*0,3+0,124*10+0,124*13*9,5724)=2,2177$

Надлишок повітря в кінці топки $ά_m=1,10$.

Для прийнятої конструкції і компоновки поверхонь нагріву використовується присоси повітря в газоходах:

–котельний пучок $Δ\ ά_{к.п.}=0,1$

–водяний економайзер $Δ\ ά_{в.э.}=0,08$

Надлишки повітря в газоходах:

В кінці топки $α_т=1,1$

Повний об'єм продуктів згорання при горінні палива з надміром повітря, з урахуванням присосів, м3/ м3

$V^o_г= V^o_{RO2}+ V^o_{N2}+ V^o_{H2O}+(ά_{ср}-1)\ V^o_в$

Об'єм водяної пари при горінні палива з надміром повітря, з урахуванням присосів, м3/ м3

$V_{H2O}= V^o_{H2O}+0,0161\ (ά_{ср}-1)\ V^o_в$

Об'ємна частка водяної пари

$r_{H2O} = V_{H2O}/\ V^o_г$

Об'ємна частка трьохатомних газів

$r_{RO2} = V^o_{RO2}/\ V^o_г$

Чисельні значення величин, підрахованих по приведених вище формулах, вказані в таблиці 1.

Таблиця 1. – Об'ємні характеристики продуктів згорання

	Газоходи котла

Найменування величина і її позначення	топка	котельний пучок	водяний економайзер
Коефіцієнт надлишку повітря, ά»	1,1	1,2	1,28
Середній коэф-нт надлишку повітря в газоході, $ά_{ср}$	1,1	1,15	1,24
Об'єм водяної пари в продуктах згорання, $V_{H2O,}м^3/м^3$	2,2331	2,2408	2,7547
Повний об'єм продуктів згорання, $V_{г,}м^3/м^3$	11,8355	12,321	13,1973
Об'ємна частка водяної пари,r_{H2O}	0,1887	0,1818	0,1708
Об'ємна частка трьохатомних газів, r_{RO2}	0,0902	0,0866	0,0809

Ентальпія повітря (МДж/м^3) теоретично необхідного для горіння палива, в прибудовах можливих температур продуктів згорання, МДж/м^3

$I^o_в= V^o_в(cν)_в*10^{-3}$

де $(cν)_{в-}$ питома ентальпія повітря при відповідній температурі, кДж/ м3

Ентальпія газоподібних продуктів згорання при горінні з теоретичним об'ємом повітря в інтервалі тих же температур, МДж/м^3

$I^o_г= [(cν)_{RO2}*V_{RO2}+(cν)_{N2}* V^o_{N2}+(cν)_{H2O}* V^o_{H2O}]* 10^{-3}$

Чисельні значення ентальпій, підрахованих по приведених вище формулах, вказані в таблиці 2.

Таблиця 2. – Ентальпії повітря і продуктів згорання в газоходах котла

ν,°С	$I_в^o$, кДж/кг	$I_г^o$, кДж/кг	α «$_т$=1,1	α «$_{к.п.}$=1,2	α «$_{эк}$=1,28

			топка	котельний пучок	водяний економайзер
100	1267,424	966,5408			
200	2550,1891	1958,54			
300	3858,424	2978,809			3904,831
400	5190,021	4031,752			5277,357
500	6553,705	5114,213			6687,103
600	7949,476	6214,105		7406,527	8121,979
700	9385,355	7346,704		8754,507	
800	10829,26	8510,854		10135,24	
900	12273,16	9701,861	10929,18	11542,83	
1000	13757,17	10905,06	12280,78		
1100	15281,28	1213,42	13641,54		
1200	16805,4	13329,27	15009,81		
1300	18329,52	15840,63	17673,58		
1400	19893,74	16468,8	18458,17		
1500	21457,97	19379,5	21525,3		
1600	23022,2	20836,03	23138,25		
1700	24586,42	22314,26	24772,91		
1800	26150,65	23792,5	26407,56		
1900	27754,98	25273,07	28048,57		
2000	29359,32	26773,01	29708,96		
2100	30963,65	28275,29	31371,66		
2200	32567,99	29777,58	33034,37		

Тепловий баланс котла

Викладені нижче розрахунки, виконані з метою визначення коефіцієнта корисної дії (ККД) котла і витрати палива.

Теплота згорання одиниці об'єму сухого газу, МДж/м^3

$Q^c_н$=37,300

Підігрів палива і повітря поза котельним агрегатом не передбачений. Відсутнє також дуття форсунки. Тому $Q_{тл}$=0 $Q_{в.вн.}$=0 $Q_ф$=0.

Тоді теплота, що розташовується, МДж/м^3

$$Q^p_р= Q^c_н+Q_{тл}+ Q_{в.вн.}+ Q_ф=37,300$$

Втрати теплоти і коефіцієнт корисної дії (ККД) котла.

Температура холодного повітря °С

$t_{х.в.}$=30

Ентальпія теоретично необхідного повітря, кДж/м3

$I^o_{х.в.}$= 382,896

Температура газів, що йдуть °С

$ν_{ух}$=152

Коефіцієнт надлишку повітря в газах, що йдуть

$α_{ух}$=1,28

Ентальпія продуктів згорання при цій температурі, МДж/м^3

$I_{ух}$=1,24499

Втрати теплоти з газами, що йдуть %

$$q_2=[(I_{ух}- α_{ух}* I^o_{х.в.})/ Q^p_р]*10^2=[(1,95854–1,28*0,289)/37,3]* 10^2=4,55$$

Втрата теплоти від хімічної неповноти згорання, %

q_3=0,5

Втрата теплоти від механічного недопалу, %

$q_4=0$

Втрата теплоти поверхнями котла і економайзера, %

$q_5=2,8$

Сумарна втрата теплоти котельним агрегатом, %

$\Sigma= q_2+ q_3+ q_4+ q_5=4,25+0,5+0+2,8=7,85$

Коефіцієнт корисної дії котельного агрегату, %

$\eta_{к.у.}=100- \Sigma q_{пот}=100–7,55=92,15$

Витрата палива при номінальному тепловому навантаженні.

Теплове навантаження при роботі котла у водогрійному режимі, МВт

$Q_к=8$

Розрахунок палива котла при розрахунковому навантаженні, $м^3/с$

$B=Q_к*100/ Q^p_р* \eta_{к.у.}=8*100/37,3*92,15=0,1725$

Розрахункова витрата палива, $м^3/с$

$B_р=B=0,287.$

Розрахунок теплообміну в поверхнях нагріву

Попередні зауваження до розрахунків

Розрахунок теплообміну виконаний метою отримання результатів необхідних для подальшого аеродинамічного розрахунку. У основу покладена схема руху води, що нагрівається.

Теплообмін в топці і наступній за нею камері догорання ідентичний і здійснюється передачею теплоти випромінюванням газів. На цій підставі розрахунок теплообміну в цих поверхнях виконаний спільно, по сумарних їх геометричним характеристикам з визначенням температури продуктів згорання на вході в котельний пучок.

Прийнята як можлива теплова потужність Q = 8,3 (8 Гкал/ч) може бути реалізована, оскільки теплопередачею забезпечується температура продуктів згорання в кінці топки, що не перевершує допустимою при спалюванні палива.

Кількість теплоти, необхідна для нагріву води від $t'_к$ = 70°С до $t''_к$ = 150°С умовами теплообміну забезпечується. Розбіжність $Q_б$ і $Q_т$ складає 0,56%, що значно менше допустимого нормами.

Розрахунок теплообміну в економайзері виконаний стосовно умови, що масова швидкість води в нім буде 730 кг/см^2 і відповідна нею витрата $G_{эк}$ = 6,667 кг/с. При цьому температура води з економайзера не перевершуватиме 80°С. Температура газів, що йдуть, встановлена розрахунком ($t_{ух}$ = 152°С) не відрізняється від прийнятої при складанні теплового балансу. Оскільки різниця не велика.

<u>Розрахунок теплообміну в топці</u>

Надлишок повітря в кінці топки $\alpha_т = 1{,}1$

Температура повітря що подається в топку, °С

$t_{х.в.} = 30$

Ентальпія повітря при цій температурі, МДж/м^3

$I^0_{х.в} = 0{,}22$

Присос повітря в топку $\Delta\alpha_т = 0{,}05$

Тепло, що вноситься до топки повітрям, МДж/м^3

$$Q_в = \alpha_т \cdot I^0_{х.в} = 0{,}05 \cdot 0{,}22 = 0{,}011$$

Втрати теплоти від хімічної неповноти згорання, %

$q_3 = 0{,}02$

Корисне тепловиділення в топці, МДж/м^3

$$Q_m = Q_p^p (100 - q_3 - q_5)/100 + Q_в = 37{,}3 \cdot (100 - 0{,}02 - 2{,}94)/100 + 0{,}011 = 36{,}1$$

Теоретична температура, що відповідає корисному тепловиділенню, ^{o}C

$$\vartheta_a = 2300$$

Температура продуктів згорання на виході з топки приймається, ^{o}C

$$\vartheta_m'' = 1050$$

Ентальпія продуктів згорання при цій температурі, МДж/м^3

$$I_m'' = 12{,}961$$

Середня об'ємна теплоємність продуктів згорання, МДж/м^{3}К

$$V_c^- = (Q_m - I_m'')(\vartheta_a - \vartheta_m'') \cdot 10^3 = (36{,}1 - 12{,}961)(2300 - 1050) \cdot 10^3 = 29{,}298$$

Товщина випромінюючого газового шару в топці і в камері згорання, м

$$S_m = 3{,}6(V_{акт} / F_{от}) = 3{,}6(334{,}3/108) = 0{,}98$$

Тиск газів в топці, МПа

$$p_m = 0{,}1$$

Об'ємна частка для водяної пари в продуктах згорання

$$r_{H2O}^m = 0{,}1887$$

Об'ємна частка трьохатомних газів

$$r_{RO2}^m = 0{,}0902$$

Сумарна об'ємна частка

$$r_n = 0{,}2789$$

Сумарний парціальний тиск трьохатомних газів і водяної пари в топці, Мпа

$$p_{n.m} = (r_n \cdot p_m) = (0{,}2789 \cdot 0{,}1) = 0{,}02789$$

Коефіцієнт ослаблення променів газами, 1/(м·МПа)

$$\kappa_г = (\frac{7{,}8 + 16 r_{H2O}}{3{,}16\sqrt{p_{n.m} \cdot S_m}} - 1)(1 - 0{,}37\frac{\vartheta''_m + 273}{1000}) = (\frac{7{,}8 + 16 \cdot 0{,}1887}{3{,}16\sqrt{0{,}02789 \cdot 0{,}98}} - 1)(1 - 0{,}37 \cdot \frac{1050 + 273}{1000}) = 9{,}477$$

Ступінь чорноти газового потоку

$$a_{г.т} = 1 - e^{-K \cdot P \cdot S} = 1 - e^{-9{,}477 \cdot 0{,}1 \cdot 0{,}98} = 0{,}46$$

Співвідношення вуглецю і водню у складі робочого палива

$$C^p / H^p = 0{,}12\Sigma\frac{m}{n} C_m H_n = 0{,}12 \cdot (\frac{1}{4}92{,}8 + \frac{1}{3}3{,}9 + \frac{3}{8}1 + \frac{2}{5}0{,}4 + \frac{5}{12}0{,}3) = 3{,}0192$$

Коефіцієнт ослаблення променів частинками сажі, 1/(м·МПа)

$$\kappa_{с.т} = 0{,}3 \cdot (2 - \alpha_m)(1{,}6T''_m \cdot 10^{-3} - 0{,}5)\frac{C^p}{C^н} = 0{,}3(2 - 1{,}1)(1{,}6 \cdot 1323 \cdot 10^{-3} - 0{,}5) \cdot 3{,}0192 = 1{,}318$$

Ступінь частини полум'я, що світиться

$$a_{с.в} = 1 - e^{-(K \cdot r + K_C) P \cdot S} = 1 - e^{-(9{,}477 \cdot 0{,}2789 + 1.318) \cdot 0.1 \cdot 0{,}98} = 0{,}276$$

Коефіцієнт усереднювання ступеня чорноти факела

$$m = 0{,}1$$

Ефектний ступінь чорноти факела

$$a_ф = m \cdot a_{с.в} + (1+m)a_{г.т} = 0{,}1 \cdot 0{,}276 + (1-0{,}1) \cdot 0{,}461 = 0{,}442$$

Середнє значення коефіцієнта теплової ефективності

$$\Psi = 0{,}6175$$

Відносне місцеположення максимуму температур в топці

$$\chi = 0{,}38$$

Ступінь чорноти топкі

$$a_т = a_ф / [a_ф + (1-a_ф)\Psi] = 0{,}442 / [0{,}445 + (1-0{,}442) \cdot 0{,}6175] = 0{,}5625$$

Параметр температурного поля

$$M = 0{,}54 - 0{,}2\Psi = 0{,}54 - 0{,}2 \cdot 0{,}6175 = 0{,}1165$$

Коефіцієнт збереження теплоти

$$\varphi = 1 - q_5 / (\eta + q_5) = 1 - 2{,}94 / (90{,}01 + 2{,}94) = 0{,}968$$

Ефективна лучевоспринимающая поверхня, м^2

$$(\Psi F) = 67{,}041$$

Температура продуктів згорання на виході з топки, ^{0}C

$$\vartheta''_т = \frac{T_a}{M(\frac{5{,}67(\Psi F) \cdot a_т \cdot T_a^3}{10^{11} \cdot \varphi \cdot B_p \cdot V_c^-})^{0.6} + 1} - 273 = \frac{2300 + 273}{0.1165(\frac{5{,}67 \cdot 67{,}041 \cdot 0{,}5625 \cdot 2573^3}{10^{11} \cdot 0{,}96 \cdot 0{,}271 \cdot 29{,}298})^{0{,}6} + 1} - 273 = 1824$$

Ентальпія продуктів згорання при цій температурі, МДж/м^3

$$I''_т = 26814{,}91$$

Теплота, передана поверхням нагріву в топці і в камері догорання, МДж/м^3

$$Q_л = \varphi(Q_т - I''_т) = 0{,}96(36{,}1 - 26{,}814) = 8{,}98$$

Температура води на вході в радіаційні поверхні топкі, ^{0}C

$$t'_т = 70$$

Ентальпія води при цій температурі, кДж/кг

$$i''_т = 293$$

Ентальпія води на виході з радіаційних поверхонь нагріву, кДж/кг

$$i''_т = i'_т + Q_л \cdot B_р / G = 293 + 150234 \cdot 0{,}271 / 33{,}88 = 449{,}24$$

Температура води на виході з радіаційних поверхонь нагріву, ^{0}C

$$t''_т = 107$$

<u>Розрахунок теплообміну в котельному пучку</u>

Температура води на вході в котельний пучок, ^{0}C

$$t'_{к.п} = t''_т = 107$$

Ентальпія води при цій температурі, кДж/кг

$$i'_{к.п} = i''_т = 449{,}24$$

Температура води на виході з котельного пучка, ^{0}C

$$t''_{к.п} = t''_к = 130$$

Ентальпія води при цій температурі, кДж/кг

$$i''_{к.п} = i''_{к} = 546{,}8$$

Середня температура води в котельному пучку, ^{0}C

$$t_{к.п} = 0{,}5(t'_{к.п} + t''_{к.п}) = 0{,}5(107 + 130) = 119$$

Кількість теплоти в котельному пучку, МДж/м^3

$$Q_{к.п.б.} = G(i''_{к.п} - i'_{к.п}) / B_p = 33{,}98 \cdot (546{,}8 - 449{,}24) / 0{,}172 = 10{,}66$$

Температура газів на вході в котельний пучок, ^{0}C

$$\vartheta'_{к.п} = 1050$$

Ентальпія газів при цій температурі, МДж/м^3

$$I'_{к.п} = 13{,}687$$

Присос повітря в газоході котельного пучка

$$\Delta\alpha_{к.п} = 0{,}1$$

Ентальпія газів на виході з котельного пучка, МДж/м^3

$$I''_{к.п} = I'_{к.п} - (Q_{к.п.б.} / \varphi) + \Delta\alpha_{к.п} \cdot I^0_{х.в} = 13{,}687 - (19{,}16 / 0{,}98) + 0{,}1 \cdot 0{,}382 = 2{,}33$$

Температура продуктів згорання відповідна цій ентальпії, ^{0}C

$$\vartheta''_{к.п} = 205$$

Температурний натиск на вході газів, ^{0}C

$$\Delta t'_{к.п} = \vartheta'_{к.п} - t_{к.п} = 1050 - 119 = 931$$

Температурний натиск на виході газів, ^{0}C

$$\Delta t''_{к.п} = \vartheta'''_{к.п} - t_{к.п} = 205 - 119 = 86$$

Температурний натиск в котельному пучку при протитечії, ^{0}C

$$\Delta t_{к.п} = (\Delta t'_{к.п} - \Delta t''_{к.п}) / \ln(\Delta t'_{к.п} / \Delta t''_{к.п}) = (931 - 86) / \ln(931/86) = 354$$

Середня температура потоків газів, ^{0}C

$$\vartheta_{к.п} = 0{,}5(\vartheta'_{к.п} + \vartheta''_{к.п}) = 0{,}5(1050 + 205) = 627{,}5$$

Середня швидкість газів в пучку, м/с

$$W_{к.п} = \frac{V_г \cdot B_р}{F_{к.п}} \cdot \frac{\vartheta_{к.п} + 273}{273} = \frac{11{,}2 \div 0{,}172}{0{,}81} \cdot \frac{627 + 273}{273} = 7{,}86$$

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/(м2/К)

$$\alpha_{к.кп} = 63{,}21$$

Тиск продуктів згорання, МПа

$$p_{кп} = 0{,}1$$

Об'ємна частка для водяної пари в продуктах згорання

$$r^{кп}_{H2O} = 0{,}1818$$

Об'ємна частка трьохатомних газів

$$r^{кп}_{RO2} = 0{,}0866$$

Сумарний парціальний тиск трьохатомних газів і водяної пари в топці, МПа

$$p_{кп} = r_п \cdot p_{кп} = 0{,}2684 \cdot 0{,}1 = 0{,}02684$$

Оптична товщина випромінюючого газового об'єму в міжтрубному просторі пучка, м

$$S_{кп} = 0{,}9(\frac{4}{\pi} \cdot \frac{S_1 \cdot S_2}{d^2} - 1)d = 0{,}9 \cdot (\frac{4}{3{,}14} \cdot \frac{1{,}12 \cdot 0{,}9}{0{,}06^2} - 1) \cdot 0{,}06 = 0{,}201$$

Коефіцієнт ослаблення променів газами, 1/(м·МПа)

$$\kappa_г = (\frac{7{,}8 + 16 r_{H2O}}{3{,}16\sqrt{p_{п.т} \cdot S_т}} - 1)(1 - 0{,}37\frac{\vartheta''_т + 273}{1000}) = (\frac{7{,}8 + 16 \cdot 0{,}1887}{3{,}16\sqrt{0{,}02684 \cdot 0{,}201}} - 1)(1 - 0{,}37 \cdot \frac{627 + 273}{1000}) = 30{,}92$$

Ступінь чорноти газового потоку

$$a_{г.} = 1 - e^{-K \cdot P \cdot S} = 1 - e^{-30{,}92 \cdot 0{,}02684 \cdot 0{,}201} = 0{,}19$$

Температура забруднень на стінках труб котельного пучка, ^{0}С

$$t_{з.кп} = 0{,}5(t'_{кп} + t''_{кп}) = 0{,}5(107 + 130) + 60 = 179$$

Коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням монограммный, Вт/(м^{2}К)

$$\alpha_{л.н} = 96$$

Коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням в котельному пучку, Вт/(м^{2}К)

$$\alpha_{л.кп} = \alpha_{л.н} \cdot a_{г.кп} = 96 \cdot 0{,}19 = 18{,}24$$

Коефіцієнт теплової ефективності

$$\Psi_{л.н} = 0{,}65$$

Коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м^{2}К)

$$\kappa_{кп} = \Psi(\alpha_к + \alpha_л) = 0{,}65(63{,}21 + 18{,}24) = 53{,}4$$

Кількість теплоти, що передається в пучку теплопередачею, МДж/м^3

$$Q_{к.п.т} = (\kappa \cdot \Delta t \cdot H) / B_р = (53{,}4 \cdot 354{,}74 \cdot 96{,}5) / 0{,}172 = 10{,}6$$

Нетотожність з теплотою балансу, %

$$\Delta_{кп} = \frac{Q_{к.п.б.} - Q_{к.п.т.}}{Q_{к.п.б.}} 100 = \frac{10{,}66 - 10{,}6}{10{,}66} 100 = 0{,}56$$

<u>Розрахунок теплообміну в економайзері</u>

Кількість теплоти передавана в економайзері, МДж/м^3

$$Q_{э.к.б.} = Q_к / B_р - Q_л - Q_{к.п.б} = 9{,}65 / 0{,}172 - 15{,}023 - 10{,}66 = 1{,}122$$

Витрата води через економайзер, кг/с

$$G_{эк} = 6{,}667$$

Температура води на вході в економайзер, ^{0}C

$$t'_{эк} = t'_к = 70$$

Ентальпія води при цій температурі, кДж/кг

$$i'_{эк} = i'_к = 293$$

Ентальпія води на виході з економайзера, кДж/кг

$$t'''_{эк} = t'_{эк} + B \cdot Q_{к.п.б.} / G_{эк} = 293 + 0{,}172 \cdot 1{,}122 / 6{,}667$$

Температура води при цій ентальпії, ^{0}C

$t''_{эк} = 76$

Температура газів на вході в економайзер, ^{0}C

$\vartheta'_{эк} = \vartheta''_{кп} = 205$

Ентальпія газів при цій температурі, МДж/м^3

$I'_{эк} = I''_{кп} = 2{,}33$

Присос повітря в газохід економайзера

$\Delta\alpha_{эк} = 0{,}08$

Ентальпія газів на виході з економайзера, МДж/м^3

$$I''_{эк} = I'_{эк} - (Q_{э.к.б.} / \varphi) + \Delta\alpha_{эк} \cdot I^0_{х.в} = 2{,}33 - (1{,}122 / 0{,}98) + 0{,}08 \cdot 0{,}382 = 1{,}24$$

Температура газів на виході з економайзера, ^{0}C

$\vartheta''_{эк} = 152$

Середня температура газів, ^{0}C

$$\vartheta_{эк} = 0{,}5(\vartheta''_{эк} + \vartheta'_{эк}) = 0{,}5(152 + 205) = 178{,}5$$

Температурний натиск при вході газів при протитечії, ^{0}C

$$\Delta t'_{прт} = \vartheta'_{эк} - t''_{эК} = 205 - 76 = 129$$

Температурний натиск на виході газів при протитечії, ^{0}C

$$\Delta t''_{прт} = \vartheta''_{эк} - t'_{эк} = 152 - 70 = 82$$

Температурний натиск при протитечії, ^{0}C

$$\Delta t_{прт} = \frac{\Delta t'_{прт} - \Delta t''_{прт}}{\ln \frac{\Delta t'_{прт}}{\Delta t''_{прт}}} = \frac{129 - 80}{\ln \frac{129}{82}} = 103$$

Температурний натиск при вході газів при прямотку, ^{0}C

$$\Delta t'_{прм} = \vartheta'_{эк} - t'_{эк} = 205 - 70 = 135$$

Температурний натиск на виході газів при прямотку, ^{0}C

$$\Delta t''_{прм} = \vartheta''_{эк} - t''_{эк} = 152 - 76 = 76$$

Температурний натиск при прямотку

$$\Delta t_{прм} = \frac{\Delta t'_{прм} - \Delta t''_{прм}}{\ln \frac{\Delta t'_{прм}}{\Delta t''_{прм}}} = \frac{135 - 76}{\ln \frac{135}{76}} = 103$$

Швидкість газів в економайзері, м/с

$$W_{эк} = \frac{V_г \cdot B_р}{F_{эк}} \cdot \frac{\vartheta_{эк} + 273}{273} = \frac{11 \cdot 0{,}172}{0{,}36} \cdot \frac{178{,}5 + 273}{273} = 8{,}7$$

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/(м^2·К)

$$\alpha_{к.эк} = 60$$

Коефіцієнт теплової ефективності

$$\Psi = 0{,}8$$

Коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м^2·К)

$$\kappa_{эк} = \Psi \alpha_{к.эк} = 0{,}8 \cdot 60 = 48$$

Кількість теплоти, яка може бути передане в економайзер за умовами теплопередачі, МДж/кг

$$Q_{эк.т} = (к \cdot \Delta t \cdot H) / B_р = (48 \cdot 103{,}6 \cdot 141{,}6) / 0{,}172 = 4{,}08$$

Ентальпія води після змішення потоків води, кДж/кг

$$i_{см} = [i''_{эк} \cdot G_{эк} + i'_{эк}(G_к \cdot G_{эк})] / G_к = [319{,}1 \cdot 6{,}667 + 293 \cdot (33{,}88 \cdot 6{,}667)] / 33{,}88 = 304{,}209$$

Температура води після змішення, ^{0}C

$t_{см} = 73$.

Аеродинамічний розрахунок тракту продуктів згорання

Попередні зауваження до розрахунків

Аеродинамічний розрахунок газового тракту виконаний з метою перевірки можливості використання тягодутьевих установок меншої потужності, щодо установок, що працюють в даний час.

Подача повітря для горіння газу в котлі забезпечується дутьовим вентилятором типу Ц-13–50 №5 продуктивністю 13000 м3/год і регулюється осьовим направляючим апаратом, встановленим перед всмоктуючим дифузором вентилятора. Направляючий апарат сполучений важелем з осьовим виконавчим механізмом типу М30 регулятора співвідношень «газ-повітря» типу Р-25.3. Продукти горіння поступають з топки в конвективну частину і далі по свині віддаляються дымососом типу Д-18 в димар.

Розрахунок виконаний по нормативному методу «Аэродинамический расчет котельных установок». У нім використані динамічні натиски, підраховані для повітря, а в кінці сумарний результат перерахований на газ.

Витрата палива при розрахунковому навантаженні котла, кг/с

$B = 0{,}172$

Об'єм продуктів згорання на виході з економайзера при надлишку повітря в газах, що йдуть, нм^3/кг

$V_Г = 13{,}197$

Середня температура газів в економайзері, ^{0}С

$\vartheta_{ЭК} = 178{,}5$

Температура продуктів згорання на виході з економайзера, ^{0}С

$\vartheta''_{ЭК} = 152$

Середня швидкість газів в економайзері, м/с

$W_{ЭК} = 8{,}7$

Температура газів на виході з котельного пучка, ^{0}С

$\vartheta''_{КП} = 205$

Середня температура газів в котельному пучку, ^{0}С

$\vartheta_{КП} = 627{,}5$

Середня швидкість газів в котельному пучку, м/с

$W_{КП} = 7{,}86$

Розрядження в топці приймається, Па

$h_т = 15$

Барометричний тиск для даної місцевості, Па

$h_{бар} = 100 \times 10^3$

Розрядження перед котельним пучком, Па

$h_{КП} = 15$

Середній живий перетин котельного пучка, м2

$F_{КП} = 0{,}69$

Розрахунок опору котельного пучка

Число рядів по ходу газу в двох ходах котельного пучка

$z = 36$

Відносний поперечний крок

$$\sigma_1 = \frac{S_1}{d} = \frac{100}{51} = 1{,}96$$

Відносний подовжній крок

$$\sigma_2 = \frac{S_2}{d} = \frac{110}{51} = 2{,}16$$

Відношення

$$\Psi = \frac{S_1 - d}{S_2 - d} = \frac{100 - 51}{110 - 51} = 0{,}83$$

Коефіцієнт опору одного ряду труб коридорного пучка

$\zeta_{КП} = 12{,}64$

Динамічний тиск в котельному пучку, Па

$h_д = 11$

Опір котельного пучка, Па

$$h'_{КП} = \zeta_{КП} \times h_д = 12{,}64 \times 11 = 139$$

Поправочний коефіцієнт на опір в камері догорання

$K = 1{,}05$

Опір котельного пучка з урахуванням поправочного коефіцієнта, Па

$$\Delta h_{КП} = K \times \Delta h'_{КП} = 1{,}05 \times 139 = 146$$

Розрахунок опору ділянки від котельного пучка до економайзера

Вхідний перетин дифузора, м^2

$$F_1 = 0{,}88 \times 0{,}54 = 0{,}48$$

Вихідний перетин дифузора, м^2

$$F_2 = 2{,}00 \times 0{,}4 = 0{,}8$$

Середній перетин, м^2

$$F = 0{,}5(F_1 + F_2) = 0{,}5(0{,}48 + 0{,}8) = 0{,}64$$

Відношення перетинів

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{0{,}48}{0{,}8} = 0{,}6$$

Кут розкриття дифузора

$$tg\frac{\alpha}{2} = \frac{F_1 - F_2}{2l} = \frac{0{,}8 - 0{,}48}{2 \times 11} = 0{,}15\,,\ \alpha = 17^0$$

Коефіцієнт повноти удару

$$\varphi_P = 0{,}45$$

Коефіцієнт опору виходу

$$\zeta_{вых} = 0,2$$

Коефіцієнт опору дифузора

$$\zeta_{диф} = \varphi_P \times \zeta_{вых} = 0,45 \times 0,2 = 0,09$$

Середня швидкість газів на ділянці, м/с

$$\Psi = \frac{B \times V_Г}{F} \times \frac{273 + \vartheta''_{КП}}{} = \frac{0,172 \times 13,197}{0,64} \times \frac{273 + 205}{273} = 6,21$$

Динамічний тиск на ділянці, що розраховується, Па

$$h_{уч} = 10$$

Опір ділянки, Па

$$h_{уч} = \zeta_{диф} \times h_{уч} = 0,09 \times 10 = 1$$

<u>Розрахунок поворотів від входу до виходу газів з економайзера</u>

Підраховуються опори на вході в першу колонку економайзера, при повороті на 90^0 з першої в другу колонку внизу і на виході з другої колонки.

Площа вихідного і вхідного перетину, $м^2$

$$F_1 = F_2 = 2,0 \times 0,45 = 0,9$$

Відношення перетинів

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{0,9}{0,9} = 1$$

Твір коефіцієнта, що враховує вплив стінок, на початковий коефіцієнт опору повороту

$$K_{\Delta} \times \zeta_0 = 1{,}4$$

Поправковий коефіцієнт до опору поворотів, залежний від кута повороту $B = 1$. Поправковий коефіцієнт до опору поворотів, залежний від форми перетину $C = 1$.

Коефіцієнт опору поворотів

$$\zeta_{П} = 4K_{\Delta}\zeta_0 BC = 4 \times 0{,}9 \times 1 \times 1 = 3{,}43$$

Динамічний тиск газів на ділянці, Па

$$h_{д} = 23$$

Опір поворотів, кПа

$$h_{пов} = \zeta_{П} \times h_{д} = 3{,}43 \times 23 = 79$$

<u>Опір в економайзері</u>

Діаметр труби зовнішній, м

$$d = 0{,}076$$

Крок ребра, м

$$S_{рб} = 0{,}025$$

Висота ребра, м

$$h_{рб} = 0{,}035$$

Середня товщина ребра, м

$$\delta = 0{,}005$$

Сторона ребра, м

$$a_{рб} = 0{,}146$$

Поверхня одного ребра, м^2

$$\frac{H}{n} = 2(a_{рб}^2 - \frac{\pi d^2}{4}) = 2 \times (0{,}146^2 - \frac{3{,}14 \times 0{,}076^2}{4}) = 0{,}034$$

Число рядів труб, омиваних трубами

$$z = 12$$

Довжина необребреної частини труби, м

$$l = \frac{\pi d^2 (S_{рб} - \delta)}{H/n} + \frac{2(a_{рб}^2 - 0{,}785 d^2) + 4 a_{рб} \delta}{H/n} \times \sqrt{a_{рб}^2 - 0{,}785 d^2} = \frac{3{,}14 \times 0{,}0786^2 (0{,}025 - 0{,}005)}{0{,}034} +$$
$$+ \frac{2(0{,}146^2 - 0{,}785 \times 0{,}076^2) + 4 \times 0{,}146 \times 0{,}005}{0{,}034} \times \sqrt{0{,}146^2 - 0{,}785 \times 0{,}076^2} = 0{,}15$$

Крок між трубами поперечний, м

$$S_1 = 0{,}15$$

Крок між трубами подовжній, м

$$S_2 = 0{,}15$$

Еквівалентний діаметр стислого поперечного пучка, м

$$d_э = \frac{2[S_{рб}(S_1 - d) - 2\delta h_{рб}]}{2h_{рб} + S_{рб}} = \frac{2[0{,}025(0{,}15 - 0{,}076) - 2 \times 0{,}005 \times 0{,}035]}{2 \times 0{,}035 + 0{,}025} = 0{,}03$$

Відношення

$$\Psi = \frac{S_1 - d}{S_2 - d} = \frac{15 - 0{,}03}{15 - 0{,}03} = 1$$

Динамічний тиск в економайзері, Па

$\Delta h_P = 6$

Поправка на еквівалентний діаметр

$C_Э = 1$

Поправка на довжину необребреної частини

$C_l = 1$

Поправка на форму коридорного пучка

$C_\Psi = 0{,}9$

Поправка на число рядів

$C_Z = 1$

Опір економайзера, Па

$$\Delta h_{ЭК} = C_Э C_l C_\Psi C_Z \Delta h_P z = 1 \times 1 \times 0{,}9 \times 1 \times 6 \times 12 = 65$$

<u>Опір ділянки від економайзера до коліна вхідної кишені димотяга</u>

Ця ділянка має ту ж конфігурацію і розміри, що і дифузор на виході їх котельного пучка. Тому їх опори приймаються рівними.

$$\Delta h_{диф} = \Delta h_{уч} = 1 Па$$

<u>Опір повороту перед входом в димотяга</u>

Ширина ділянки, м

$b = 1{,}1$

Радіус повороту ділянки, м

$r = 0{,}1$

Відношення

$$\frac{r}{b} = \frac{0,1}{1,1} = 0,1$$

Проводження коефіцієнта, що враховує вплив шороховатости стінок, на початковий коефіцієнт опору повороту

$$K_{\Delta} \times \zeta_0 = 0,72$$

Поправковий коефіцієнт до опору поворотів, залежний від кута повороту $B = 1$. Поправковий коефіцієнт до опору поворотів, залежний від форми повороту $C = 1$.

Коефіцієнт опору повороту

$$\zeta_{BX} = K_{\Delta}\zeta_0 BC = 0,82 \times 1 \times 1 = 0,72$$

Динамічний тиск газів на ділянці, Па

$$h_д = 25$$

Опір ділянки, Па

$$\Delta h_{BX} = \zeta_{BX} \times h_д = 0,72 \times 25 = 18$$

<u>Розрахунок самотяги труби</u>

Відстань від осі пальників до стелі, м

$$H_m = 3,4$$

Ділянка труби, на якій розвивається самотяга, м

$$H_C = H_{mp} - H_m = 30 - 3,4 = 26,6$$

Самотяга труби, Па

$$\Delta H_{тр} = h_C^{'} H_C = 0{,}045 \times 26{,}6 = 1{,}2$$

Самотяга газового тракту, Па

$$H_Г = \Delta H_{тр} + h_т + h_{кп} = 1{,}2 + 15 + 15 = 31{,}2$$

Перепад повного тиску в газовому тракті, Па

$$\Delta H_п = H - H_Г = -31{,}2 = 310 - 31{,}2 = 278{,}8$$

<u>Вибір типу димотяга і електродвигуна, що забезпечує заданий натиск і продуктивність</u>

Повний опір газового тракту, Па

$$H = \Delta h_{кп} + \Delta h_{уч} + \Delta h_{пов} + \Delta h_{єк} + \Delta h_{диф} + \Delta h_{вх} = 146 + 1 + 79 + 65 + 1 + 18 = 310$$

Присос повітря на ділянці тракту від економайзера до димотяга приймається $\Delta\alpha = 0{,}01$.

Витрата газів у димотягов, м^3/год

$$V_д = B(V_Г + \Delta\alpha V^0)\frac{\vartheta''_{ЭК} + 273}{273} \times 3600 = 0{,}172(13{,}197 + 0{,}01 \times 9{,}57) \times \frac{152 + 273}{273} \times 3600 = 12800$$

Коефіцієнт запасу димотяга по продуктивності $\beta_1 = 1{,}1$.

Коефіцієнт запасу димотяга по тиску $\beta_2 = 1{,}2$.

Кількість однакових паралельно працюючих димотягів у одного котла $z = 1$.

Необхідна розрахункова продуктивність димотяга, м^3/год

$$Q = \beta_1 \frac{V_д}{z} \times \frac{760}{h_{бар} - \frac{\beta_2 \times \Delta H_п}{13,6}} = 1,1 \frac{12800}{1} \cdot \frac{760}{750 - \frac{1,2 \cdot 27,9}{13,6}} = 14300$$

Коефіцієнт перерахунку тиску до заводської характеристики

$$K_\rho = \frac{0,132}{\rho_г} \cdot \frac{273 + \vartheta''_{ЭК}}{273 + t} \cdot \frac{760}{h_{бар} - \frac{\beta_2 \cdot \Delta H_п}{13,6}} = \frac{0,132}{1,32} \cdot \frac{273 + 152}{273 + 178,5} \cdot \frac{760}{750 - \frac{1,2 \cdot 27,9}{13,6}} = 0,096$$

Необхідний повний розрахунковий тиск, Па

$$H_Р = \beta_2 \cdot \Delta H_п = 1,2 \cdot 310 = 372$$

Каталожний тиск

$$H_Р^{пр} = K_\rho \cdot H_Р = 0,096 \cdot 372 = 35,7$$

Споживана потужність димотяга, кВт

$$W = \frac{1}{K_\rho} \cdot \frac{Q_Р \cdot H_Р^{пр}}{3670 \cdot \eta_Э} = \frac{1}{0,096} \cdot \frac{14300 \cdot 35,7}{3670 \cdot 90,01} = 16,1$$

Розрахункова потужність двигуна, кВт

$$W_{дв} = 1,05 \cdot W = 1,05 \cdot 16,1 = 17$$

Робота котла забезпечується димотягом типу ДН-10. Привід димотяга здійснюється електричним двигуном змінного типу А 101–8М, номінальна напруга його складає 220/380 В, потужність – 75 кВт, швидкість обертання – 750 об/хв.

2. Водогрійні газові котли типу КВГ.

На даний час, замість котлів ТВГ випускаються водогрійні газові котли типу КВГ теплопродуктивністю 4,65 і 7,56 МВт. Це прямоточні секційні котли, що працюють на газовому паливі. Котли розраховані на підігрів води від 70 до 150 °С з якісним регулюванням відпуску тепла, тобто з постійною витратою води через котел, що є характерним для всіх водогрійних котлів. Температура води на вході в котел підтримується постійною, рівною 70 °С на всіх навантаженнях. Газові котли КВГ є трубною системою, скомпонованою в одному транспортабельному блоці. Трубна система складається з радіаційної і конвективної поверхонь нагріву.

Газові котли, що розглядаються, мають горизонтальну компоновку, єдиний поперечний профіль і розрізняються лише глибиною топкової камери і конвективної шахти. Радіаційні поверхні нагріву котлів КВГ утворюються лівим і правим бічними екранами, двома двосвітними екранами і сводовим екраном. Відстань між вертикальними топковими екранами складає 906 мм. Кожен вертикальний топковий екран складається з прямих труб Ø 51х4 мм, встановлених з кроком 80 мм, і двох колекторів (верхнього і нижнього) Ø 159х6 мм. Для заданого напряму руху води по топкових екранах верхні колектори мають зміщену від центру глуху перегородку (15 і 23 труби). Екрани котла сполучені перепускними трубами Ø 102х6 мм.

Конвективна поверхня нагріву складається з двох секцій – правою і лівою, в кожній по сім труб Ø 51х4 мм, вварених одними кінцями у верхніх, а іншими – в нижні колектори, тобто є нижніми і бічними частинами поверхні нагріву. У бічні поверхні нагріву вварені чотири пакети, набрані з П-образних ширм, виконаних з труб Ø 28х3 мм. Для організації руху води в змійовиках ширм в бічних трубах встановлені глухі перегородки. Ширми пакетів встановлені паралельно фронту котла і розташовані таким чином, що їх труби утворюють шаховий пучок з кроками S1 = 64 мм і S2 = 26 мм. Для розділення конвективної шахти і топки крайні ширми, обернені убік топки, виконані у вигляді газощільної зварної панелі приварюванням проставок до змійовиків ширм.

Газові котли КВГ використовують три подові пальники, які розміщені між секціями вертикальних топкових екранів. Пальник має два ряди отворів діаметром 1,5 мм, розташованих в шаховому порядку. При роботі газові котли даного типу

звертаються до принципу протитечії. Зворотна вода з теплової мережі поступає у вхідний колектор конвективної поверхні нагріву. З колектора вода двома потоками, управо і вліво, проходить по стояках і змійовиках і потрапляє у вихідні колектори (правий і лівий).

Вода з цих колекторів по перепускних трубах потрапляє в крайні задні колектори сводового екрану, з яких по одинадцяти крайніх трубах проходить по своду, переходячи у фронтовий екран і по ньому в передній колектор. У колекторі потоки змішуються і по одинадцяти середніх трубах вода потрапляє в задній (середній) колектор сводового екрану. З цього колектора вода двома перепускними трубами подається в задню частину верхнього колектора лівого топкового екрану. Потім по задніх трубах вода опускається вниз і потрапляє в нижній колектор. По ньому вода проходить вперед і по передніх трубах піднімається в передню частину верхнього колектора. Вода, рухаючись послідовно по всіх екранах, нагрівається і із задньої частини верхнього колектора правого екрану поступає у вихідний колектор котла. З колектора вода поступає в теплову мережу [5].

Трубна система котла виготовляється єдиним транспортабельним блоком і поставляється без мурування і обшивки. У комплект постачання котла входять пальники, вибухові клапани, сходи і майданчики, арматура і прилади контролю в межах котла. Технічні характеристики котлів серій ТГВ і КВГ наведені в таблиці 1.

Таблиця 1.

ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ	КВГ-4,65-150	КВГ-7,56-150	ТВГ-8М	ТВГ-10
Теплопродуктивність, Мвт	4,65	7,56	9,65	11,6
ТЕМПЕРАТУРА ВОДИ НА ВХОДІ-ВИХОДІ °С	70 - 150	70 - 150	70 - 150	70 - 150
Витрата води, м3/ч	49,4	80,2	104	127
Тиск води, Мпа	1,6	1,6	1,4	1,6
Паливо	газ	газ*	газ	газ
Витрата палива, $нм^3/ч$	506	822	1100	1329
ККД,%	91	91	90,2	90,3

Маса, т	4,1	6,1	9,5	10,3
ГАБАРИТНІ РОЗМІРИ, мм				
- *довжина*	3070	4375	4875	4975
- *ширина*	2908	2908	3840	3840
- *висота*	3085	3085	4650	4650

2.4. Теплова автоматика і вимірювання

Автоматика захисту котлів призначена для миттєвого припинення подачі газу на пальники котла при порушенні одного з параметрів і його світлової і звукової сигналізації. Перелік необхідних приладів і засобів автоматизації приведений в табл. 3.

Таблиця 3. – Таблиця засобів автоматизації

№ п п	Найменування і технічна характеристика устаткування і матеріалів	Тип	Кіл
1	2	3	4
1.	Температура Т=70 ^{o}C, зворотна мережева вода перед котлом. Термометр технічний ртутний прямий, ГОСТ 2823–73. Довжина верхньої частини 160 мм, нижней – 235 мм. Шкала (0–100) ^{o}C	П-4–1^{o}С-160–253	1
2.	Температура Т=150 ^{o}C, пряма мережева вода після котлаа. Термометр технічний ртутний прямий, ГОСТ 2823–73. Довжина верхньої частини 160 мм, нижней – 235 мм. Шкала (0–200) ^{o}C	П-6–1^{o}С-160–253	2

3.	Температура Т=70 °С підшипників димотягів. Температура Т=70 °С підшипників вентилятора. Термометр технічний ртутний прямий, ГОСТ 2823–73. Довжина верхньої частини 160 мм, нижней – 103 мм. Шкала (0–100) °С	П-4–1°С-160–103	2
4.	Температура Т=150 °С. Мазутопровід до котла. Термометр технічний ртутний прямий, ГОСТ 2823–73. Довжина верхньої частини 160 мм, нижней – 66 мм. Шкала (0–160) °С	П-5–1°С-160–66	1
5.	Температура Т=70 °С, трубопроводів зворотної мережевої води перед котлом. Термоперетворювач опору платиновий із захисною гільзою. Довжина захисної частини 200 мм. Межа вимірювання (-50 +600) °С	ТСП-0879	1
6.	Температура Т=70 °С, трубопроводів прямої мережевої води після котла. Межа вимірювання (-50 +600) °С	ТСП-0879	1
7.	Температура мазуту Т=120 °С. Мазутопровід до котла. Термоперетворювач опору платиновий. Номінальна статична характеристика 100П. Довжина монтажної частини 120 мм. Межа вимірювання (-50 +600)°С	ТСП-0879	1
8.	Температура димових газів Т=160ос. Газохід після котла. Термоперетворювач опору платиновий. Номінальна статична характеристика 100П. Довжина монтажної частини 320 мм. Межа вимірювання (-50 +600)°С	ТСП-0879	1
9.	Міст автоматичний стежачого урівноваження для вимірювань і запису температури на шести точках вимірювання. Номінальна статична характеристика 100П. Швидкість просування діаграмної стрічки 60 мм/ч ТУ 25–1610.001–82. Межа вимірювання (0–200) °С	Ксм2–019	1
10.	Температура мазуту Т=120 °С. Мазутопровід на котел. Термометр показуючий сигналізуючий газовий. Довжина сполучного капіляра – 6 мм. Довжина занурення балона – 200 мм. Межа вимірювання (0–150) °С	ТГП-100АЧ	1
11.	Температура в топці Т= 400 °С. Топкові гази. Термометр показуючий сигналізуючий газовий. Довжина сполучного капіляра – 6 мм. Довжина занурення балона – 250 мм. Межа вимірювання (0–400) °С	ТГП-100АЧ	1

12.	Температура Т=70$^{oC.}$ підшипників димотягів. Температура Т=70$^{oC.}$ підшипників вентилятора. Апаратура температурного вбудованого захисту. У комплект входять: 1. Температурне реле РТ-230У-1 шт. 2. Термодатчик ТДП-231У-1 шт. Галузь контрольованих температур (+24 131)$^{oC.}$ Напруга живлення 220 В. Контрольована температура спрацьовування 60^{oC}	АТВ-229	2
13.	Температура води Т=150 $^{oC.}$ Трубопровід після котла. Термометр показуючий сигналізуючий газовий. Довжина сполучного капіляра – 6 мм. Довжина занурення балона – 200 мм. Межа вимірювання (0–200) ^{oC}	ТГП-100 АЧ	1
14.	Температура димових газів Т=160 $^{oC.}$ Газохід після котла. Термометр показуючий сигналізуючий газовий. Довжина сполучного капіляра – 6 мм. Довжина занурення балона – 200 мм. Межа вимірювання (0–200) ^{oC}	ТГП-100 АЧ	1
15.	Тиск Р=4820 кгс/см2 на розтоплення. Манометр показуючий загального призначення. Верхня межа вимірювання 1 кгс/см2 ТУ 25.02.181071–78	МТП-16 0–1	1
16.	Тиск Р=4820 кгс/см2 газопровід на пальник. Манометр показуючий загальнопромислового виконання. Верхня межа вимірювання 1 кгс/см2 ТУ 25.02.181071–78	МТП-16 0–1	2
17.	Тиск води Р=11,5 кгс/см2, трубопроводів мережевої води після котла. Манометр показуючий загальнопромислового виконання. Верхня межа вимірювання 16 кгс/см2 ТУ 25.02.181071–78	МТП-16 0–15	1
18.	Тиск води Р=12,8 кгс/см2, трубопроводів мережевої води до котла. Манометр показуючий загальнопромислового виконання. Верхня межа вимірювання 16 кгс/см2 ТУ 25.02.181071–78	МТП-16 0–15	1
19.	Тиск мазуту Р=2 кгс/см2 мазутопровід до пальника. Манометр показуючий електроконтакт. Верхня межа вимірювання 4 кгс/см2 ТУ 25.02.181031–75	ЕКМ-1У -4	2

20.	Тиск Р=323 кгс/см2. Повітряний короб. Датчик реле натиску. Межа настройки (60.600) кгс/см2	ДН-600–12	2
21.	Тиск Р=323 кгс/см2. Повітряний короб. Манометр диференціальний мембранний взаємозамінний. Межа вимірювання (0–630) кгс/см2 ТУ 25.02.1489–73	Кпд1–501	1
22.	Тиск Р=323 кгс/см2. Мініатюрний автоматичний взаємозамінний прилад, що показує з дифтрансформаторной вимірювальною схемою. Куркульок лінійний. Межа вимірювання (0–530) кгс/см2	ДМ мод. 23573	1
23.	Розряджання Р= 2 кгс/см2 топки котла. Датчик-реле тяги. Межа настройки (4–40) кгс/см2	ДН-40–12	1
24.	Тиск повітря Р=950 кгс/м2. Повітряний короб до пальника. Напоромер мембранний показуючий. Межа вимірювання (0–1000) кгс/м2	НМП-100	2
25.	Тиск газу Р=4820 кгс/см2. Газопровід до пальника. Датчик-реле. Межа вимірювання (0,06–0,6) кгс/м2	ДД-1000–12	2
26.	Тиск повітря Р=950 кгс/м2. Повітряний короб до пальника. Датчик-реле натиску. Межа вимірювання (100–1000) кгс/м2	ДН-1000–12	1
27.	Тиск пари Р=7 кгс/м2. Паропровід на продування. Манометр показуючий загальнопромислового виконання. Верхня межа вимірювання 10 кгс/см2 ТУ 25.02.181071–78	МТП-160–10	1
28.	Тиск мазуту Р=2 кгс/см2 мазутопровід до котла. Манометр показуючий загальнопромислового виконання. Верхня межа вимірювання 4 кгс/см2 ТУ 25.02.181031–78	МТП-160–4	1
29.	Тиск мазуту Р=2 кгс/см2 мазутопровід до котла. Перетворювач тиску взаємозамінний. Верхня межа вимірювання 4 кгс/см2 ТУ 25.02.181031–74	МЕД модель 22364	1
30.	Судина розділовий середній ГОСТ 14320–73	СРС-63–1-А	4
31.	Прилад з диференціально-трансформаторною вимірювальною схемою, що показує і сигналізує. Верхня межа вимірювання 2,5 кгс/см2. Куркульок лінійний	Кпд1–503	1

32.	Тиск газу Р=0,482 кгс/см2 газопровід до котла. Перетворювач тиску взаємозамінний. Верхня межа вимірювання 1 кгс/см2 ТУ 25.02.051617–74	МЕД модель 22364	1
33.	Прилад з диференціально-трансформаторною вимірювальною схемою, що показує і сигналізує. Верхня межа вимірювання 1 кгс/см2. Куркульок лінійний	Кпд1–503	1
34.	Тиск газу Р=0,5 кгс/см2 газопровід до котла. Манометр показуючий загальнопромислового виконання. Верхня межа вимірювання 1 кгс/см2. Куркульок лінійний	МТП-160–1	1
35.	Тиск повітря Р=60323 кгс/м2. Повітряний короб. Датчик-реле натиску. Межа вимірювання (60–600) ^{o}C	ДН-600–12	1
36.	Тиск води Р=11,5 кгс/см2, трубопроводів води після котла. Перетворювач тиску взаємозамінний. Верхня межа вимірювання (0–16) кгс/см2 ТУ 25.05.1617–74	МЕД модель 22364	1
37.	Прилад з диференціально-трансформаторною вимірювальною схемою, що показує і сигналізує. Швидкість просування діаграмної стрічки 60 мм/ч. Шкала (0–16) кгс/см2	КДЕ КСД-017	1
38.	Розрядження Р= -2 кгс/см2 топки котла. Манометр диференціальний дзвоновий взаємозамінний, Номінальний перепад Р=10 кгс/см2 ТУ-25–0250–74	ДКО модель 3702	1
39.	Прилад з дифтрансформаторной схемою. Швидкість просування діаграмної стрічки 60 мм/ч. Шкала (-5 +5) кгс/см2	Кпд1–503	1
40.	Розрядження Р= -2 кгс/м2. Топка котла. Тягомір мембранний показуючий. Шкала (-12,5 12,5) ТУ-25–02–11–1116–77 Клас точності 1,5	ТН МП-52	1
41.	Розрядження Р= -147 кгс/см2. Газохід котла. Тягонапормер диференціальний рідинний. Верхня межа вимірювання 160 кгс/м2.	ТДЖ-1–160	1
42.	Тиск Р=323 кгс/см2. Напірний патрубок вентилятора. Тягомір рідинний. Верхня межа вимірювання 400 кгс/м2	ТДЖ-1–400	1

43.	Розрядження Р= -2 кгс/см2. Топка котла. Тягомір диференціальний. Межа вимірювання (0 – 50) кгс/м2	ДТ-2–50	1
44.	Прилад регулюючий ТУ 25.02.1948–76	Р 25.1.1	1
45.	У димотягу механізм електричний однодообертовий	МЕО-63 0/63–05	1
46.	Пускач безконтактний реверсивний	ПБР-2М	1
47.	Дистанційний показник положення	ДУП-м	1
48.	Витрата мазуту 5985 кг/ч. Мазутопровід до котла. Манометр диференціальний мембранний взаємозамінний. Перетворювач тиску взаємозамінний ТУ 25–02–1489–73	ДМ мод. 235 73	1
49.	Малогабаритний автоматичний показуючий самописний прилад з дифтрансфарматорной вимірювальною схемою. Межа вимірювання (0 – 6300) кг/ч. Швидкість просування діаграмної стрічки 60 мм/ч	Ксд1–004	1
50.	Діафрагма камерна на Ду= 50 мм і Р= 10 кгс/см2 з трьома парами відборів ГОСТ 14321–73 Р = 0,4 кгс/см2	ДК-10–50–11-А/Б-2	1
51.	Судина розділовий середній ГОСТ 14320–73	СРС-63–1-А	2
52.	Витрата G = 6350 мм3/ч, газопровід до котла. Манометр диференціальний мембранний взаємозамінний. Р=630 кгс/м2	ДМ модель 23573	1
53.	Діафрагма камерна на Ду= 300 мм і Р= 10 кгс/см2 з чотирмя парами відборів ГОСТ 14321–73	ДК-10–300–11-А/Б-1	1
54.	Малогабаритний автоматичний показуючий самописний прилад з дифтрансфарматорной вимірювальною схемою. Межа вимірювання (0 – 8000) нм3/ч. Швидкість просування діаграмної стрічки 60 мм/ч	КСД-1–0,04	1

55.	Витрата G = 618 мм3/ч, трубопровід мережевої води. Манометр диференціальний мембранний взаємозамінний	ДМ модель 23573	1
56.	Діафрагма камерна на Ду= 300 мм і Р= 25 кгс/см2 з двома парами відборів ГОСТ 14321–73	ДК-2–300–11-А/Б-1	1
57.	Судина конденсаційний малий ГОСТ 14318–73	СЬКМ-40–1-А	1
58.	Малогабаритний автоматичний показуючий самописний прилад з дифтрансфарматорной вимірювальною схемою. Межа вимірювання (0 – 800) нм3/ч. Швидкість просування діаграмної стрічки 60 мм/ч	КСД-018	1
59.	Витрата мазуту 5985 кг/ч. Мазутопровід до котла. Лічильник рідини з овальними шестернями, уніфікований. Номінальна витрата рідини при в'язкості 24·10-6. ТУ 25–02.071625–82	ШЖУ-40 С-6	1
60.	Витрата G = 6350 мм3/ч, газопровід до котла. Діфманометр що показує з інтегратором. Верхня межа вимірювання 8000 нм3/ч. ТУ 25–02.100259–83. Номінальний перепад 630 кгс/см2	ДСП-71 И	1
61.	Витрата G = 6350 мм3/ч, газопровід до котла. Манометр диференціальний мембранний взаємозамінний. Р=630 кгс/м3	ДМ модель 23573	1
62.	Витрата мазуту 5985 кг/ч. Мазутопровід до котла. Манометр диференціальний мембранний взаємозамінний.	ДМ модель 23573	1
63.	Температура Т=110^{oC}, трубопроводів зворотної мережевої води перед котлом. Термоперетворювач опору мідний. Номінальна статична характеристика 150М. Довжина монтажної частини 200 мм. Межа вимірювання (-50 +200) ^{oC}	ТСМ-0879	1

64.	Температура T=110^{oC}, трубопроводів мережевої води після котла. Термоперетворювач опору мідний. Номінальна статична характеристика 50М. Довжина монтажної частини 200 мм. Межа вимірювання (-50 +200)^{oC}	ТСМ-0879	1
65.	Прилад регулюючий ТУ 25.02.1948–76	Р 25.1.1	1
66.	Прилад коректуючий	До 16.1	1
67.	Засувка на газопроводі, клапан на мазутопроводі. Механізм виконавчий електричний однообертовий	М30–100–86–0.25і	2
68.	Пускач безконтактний реверсивний	ПБР-2М	
69.	Дистанційний покажчик положення	ДУП-м	2
70.	Витрата G = 6350 мм3/ч, газопровід до котла. Манометр диференціальний мембранний взаємозамінний.	ДМ модель 23573	1
71.	Витрата мазуту 5985 кг/ч. Мазутопровід до котлаа. Манометр диференціальний мембранний взаємозамінний.	ДМ модель 23573	1
72.	Витрата G = 65000 м3/ч. Воздухопроводи за вентилятором. Манометр диференціальний мембранний взаємозамінний.	ДМ модель 23573	1
73.	Існуючий пристрій «Сопло Вентурі»		1
74.	Прилад регулюючий ТУ 25.02.1948–76	Р 25.1.1	1
75.	Направляючий апарат вентилятора, механізм виконавчий електричний однообертовий	М30 63 А	1

76.	Запально-захисний пристрій, до складу якого входять: 1. запальник стовбура =700 мм-1 шт. 2. електромагнітний вентиль СВФ-10–1 шт. 3. трансформатор високовольтний-1 шт. 4. фотодатчик-1 шт. 5. іонізаційний датчик = 500 мм-1 шт. 6. прилад-2 шт, що управляє 7. дріт високої напруги	ЗЗУ-4	2
77.	«Факел-2» до складу комплекту входять: 1. фотодатчик-2 шт. 2. сигналізатор «Факел-2»-1 шт	«Факел-2» компл.	1
78.	Пускач безконтактний реверсивний	ПБР-2М	1
79.	Дистанційний покажчик положення	ДУП-м	2
80.	Вміст кисню в димових газах Газоаналізатор кисню, до складу якого входять: 1. газоаналітичний перетворювач-1 шт. 2. блок пробоподготовки-1 шт. 3. звітний пристрій на базі патенциометра КСП 2–005–1 шт. 4. фільтр-1 шт	МН-5106	1

3. Безполуменеве горіння.

Безполуменевий метод спалювання газу не рекомендується в довгих топках, тому що стінки топкових заважають прямій віддачі тепла випромінюванням від полум'я газу, що горить, стінкам котла. Тому метод безполуменевого спалювання газів застосовується в коротких топках на товщину стінки топкі з напрямом удару потоку газоповітряної суміші, що горить, в гору з битої шамотної цеглини, на розжареній поверхні якого може бути досягнуте безполуменеве згорання з подачею первинного необхідного для згорання повітря.

Недоліком безполуменевого методу спалювання газу в довгих топках є та обставина, що стінки тунелів заважають прямій віддачі випромінюванням від

полум'я газу, що горить, до поверхні нагріву котла. Само полум'я і прозорі продукти згорання газу, не маючи видимого випромінювання, характеризуються зниженою прямою віддачею тепла. Внаслідок цього теплообмін від полум'я і продуктів згорання газу до поверхні нагріву котла, розташованої в топці, може опинитися нижче, ніж при роботі котла на твердому і особливо на рідкому паливі, полум'я якого характеризується найбільшою світимістю і прямою віддачею.

При безполуменевому методі, що вимагає попереднього нагріву труби, менше значення мають дефекти підготовки поверхні, неминучі при застосуванні існуючих установок механічного очищення труб.

Тому, спалювання висококалорійних газів безполуменевим методом в довгих топках в топках котлів, що працювали раніше на твердому паливі, не може бути рекомендовано.

Інтенсивність процесу горіння при безполуменевому методі спалювання газу перевищує інтенсивність факельного методу спалювання в сотні, тисячі разів. Теплова напруга об'єму камер згорання при безполуменевому спалюванні газу вимірюється десятками і сотнями мільйонів кілокалорій на кубічний метр в годину. При факельних способах спалювання процес сумішоутворення і горіння протікає одночасно. Швидкість такого процесу визначається інтенсивністю сумішоутворення. При безполуменевому спалюванні газу процес сумішоутворення і горіння організований послідовно. При цьому повністю усувається лімітуючий вплив сумішоутворення, що і служить основною причиною високої інтенсивності процесу безполуменевого спалювання газу.

Слід зазначити, що при безполуменевому методі спалювання газу горіння закінчується в межах топкового пальника. Продукти згорання в цьому випадку значно промінепрозорий, чим факел, і тому кількість тепла, передана радіацією від газів тілам, що нагріваються, при безполуменевому методі спалювання виходить менше, ніж при факельному методі спалювання. Що є неодмінною умовою для спалювання горючих газів безполуменевим методом.

Слід також відзначити, що захисні якості покриття за даними Ніїхиммаша, що наноситься безполуменевим методом (вихровий спосіб) вище, ніж при газополум'яному напиленні.

Для повного спалювання газу з повітрям в кількості, необхідному лише для повного згорання, потрібні громіздкі пристрої змішувачів. При безполуменевому методі спалювання - і надзвичайно громіздкі камери згорання при спалюванні газу одночасно з перемішуванням.

При подачі первинного повітря в кількості, повністю необхідному для згорання палива, спалювання газоповітряної суміші слід проводити в топках, як було вище вказано для інжекційних пальників середнього тиску, прагнучи до безполуменевого методу спалювання палива.

Завдяки можливості спалювання газоповітряних сумішей в топках повним горінням при найменших надлишках повітря, температура топкових газів виходить вищою, ніж при спалюванні газів іншими способами. Тому, спалювання газу безполуменевим методом з успіхом застосовується в промислових печах, в яких потрібна підвищена температура топкових газів.

Процес безполуменевого спалювання стехіометричних сумішей, непрогрітих до температури займання.

Можна виділити наступні переваги переводу котлів і печей на безполуменеве спалювання газу:

- ККД підвищується на 15-20%. Відбувається це, за рахунок повної відсутності тепловтрат від хімічного недопалу, збільшення в топковому просторі променистого теплообміну і різкого зменшення втрат теплоти з газами, що виводяться;
- за рахунок могутнього випромінювання пальника посилюється прогрівання нижньої частини печі;

- істотно зменшується вміст шкідливих речовин (оксидів азоту і вуглецю) в продуктах згорання [13].

Матеріали для установок безполуменевого горіння.

Не дивлячись на високий рівень розвитку гідро- і атомної енергетики і активні роботи по пошуку альтернативних джерел енергії, вуглеводневе паливо залишається до цих пір домінуючим. У промисловості, в першу чергу, це відноситься до природного газу, який, як правило, спалюється в топках котлів, промислових печах і тому подібне. Тому роботи, направлені на створення ефективних пристроїв для спалювання природного газу, мають велике значення для народного господарства країни. Одним з перспективних напрямів в цій області є створення радіаційних пальникових пристроїв, що забезпечують безполуменеве каталітичне спалювання палива. Такі пальники в порівнянні з традиційними факельними володіють рядом переваг: вищий коефіцієнт корисної дії; повніше згорання природного газу; вищий коефіцієнт теплопередачі за рахунок збільшення променистої складової.

Одним з основних елементів радіаційних газових пальників є пориста насадка, яка, з одного боку, є випромінюючим елементом, а з іншого боку - забезпечує глибоке окислення газоподібного вуглеводню в своєму об'ємі за рахунок протікання каталітично-активованої реакції. Основні вимоги до пористих насадок - можливість тривалої експлуатації в окислювальному середовищі і у присутності продуктів згорання при температурах до 1000 °С, стійкість до термоциклування, низький перепад тиску, повне згорання газу при 900-950 °С (тобто коли не відбувається інтенсивне утворення оксидів азоту).

У промисловості і енергетиці відомі пальники на основі керамічних матеріалів із стільниковою структурою (система прямолінійних циліндрових каналів). Такі матеріали володіють високою питомою міцністю, конструктивною жорсткістю, високою проникністю, жаро і термостійкістю. Проте в прямоточно-канальній структурі стільникових матеріалів, навіть при числах Рейнольдса 100-1000, реалізується ламінарний режим перебігу газу, що характеризується

невисоким ступенем перемішування компонентів газової суміші і ефективністю масообміну газу з внутрішньою поверхнею пористого каркаса. Відомо, що ефективність процесу горіння значно вища, якщо реалізується турбулентний режим перебігу газового потоку.

Перспективними матеріалами для ефективної реалізації безполуменево-каталітичного спалювання газоподібного палива є високопоруваті комірчасті матеріали (ВПКМ). Характеризуючись тими ж перевагами, що і керамічні матеріали із стільниковою структурою, ВПКМ завдяки арочно-лабіринтовій структурі забезпечують турбулізацію газового потоку при невисоких лінійних швидкостях (0.1 м/с).

Заміна керамічних матеріалів із стільниковою структурою на матеріали з комірчастою структурою, як пористі насадки пальників, може бути здійснено двома способами: або високопоруватими комірчастими матеріалами на основі кераміки, або високопоруватими комірчастими матеріалами на основі металів. Перші на сьогоднішній день володіють необхідними механічними, гідродинамічними і массообмінними властивостями, а також високою жаростійкістю. Недоліком комірчастих керамічних матеріалів, є їх відносно низька термостійкість. Другі на сьогоднішній день володіють необхідними механічними, гідродинамічними і массообмінними властивостями, а також високою термостійкістю. Особливо слід підкреслити високу теплопровідність комірчастих металевих матеріалів, що запобігає локальному перегріву пористих елементів в процесі каталітичного горіння і тим самим сприяє підвищенню ресурсу роботи. Недоліком комірчастих металевих матеріалів є їх відносно низька жаростійкість.

В даний час основним матеріалом для виробництва металевого ВПКМ з підвищеною жаростійкістю є нікель, проте в чистому вигляді при 900-1000 ^{0}C він недостатньо жаростійкий ($K_s=8{,}3\cdot10^8$ кг^2/(м^{4}с)). Підвищення його стійкості до високотемпературного окислення досягається легуванням алюмінієм і хромом. На сьогодні, створені ВПКМ наступних систем: Ni-Cr, Ni-Al і Ni-Cr-Al, останні з них володіють найбільшою жаростійкістю, параболічна константа окислення $K_s=3{,}4\cdot10^{10}$ кг^2/(м^{4}с). Технологія їх отримання полягає в суспензійному нанесенні порошку Ni-Cr на пінополиуретан (ППУ), електрохімічному осадженні Ni,

випалюванні ППУ, гомогенізуючому відпалі і подальшому термодифузійному алітуванні. Проте є деякі технологічні обмеження (вакуумне спікання, габаритні розміри) вартості ВПКМ даного типу, що приводять до збільшення. Перспективними є матеріали системи Ni-Al, що отримуються шляхом електрохімічного осадження Ni, спікання в захисній атмосфері і подальшого термодифузійного алітування.

За вказаною вище технологією, тобто шляхом електрохімічного дублювання структури ППУ були отримані зразки з пінонікеля. Далі варіюючи температурою алітування (550 - 800 °С), температурою термообробки (1100 - 1200 °С) і часом термообробки (1 - 2 год) отримали шарувату структуру перемички ВПКМ із зовнішнім шаром, середніми шарами з інтерметалидов NixAl з різним фазовим складом в кожному шарі і центральним шаром з твердого розчину алюмінію в нікелі. Зовнішній шар володіє максимальною жаростійкістю, будучи одночасно каталітично активним компонентом для протікання високотемпературних процесів горіння. Середні шари з NixAl, володіючи високою жаростійкістю і міцністю, обумовлюють поступову зміну коефіцієнта термічного розширення, що сприяє підвищенню експлуатаційної термостійкості. Центральний шар з твердого розчину алюмінію в нікелі володіє високою пластичністю, що також сприяє підвищенню термостійкості.

Зразки піддалися випробуванням на жаростійкість, де визначалася параболічна константа окислення ks ($кг^2/м^4с$) і механічні характеристики межа міцності при стисненні (%) і модуль Юнга при стисненні (Е %)).

Найкращими характеристиками серед досліджених володіють образи, що піддалися термодифузійному алітуванню при температурі 750 - 800 °С і подальшій термообробці при 1200 °С протягом 1,5 - 2 год. Параболічна константа окислення при температурі 900 °С протягом 16 год. склала $2 \cdot 10^{10}$ $кг^2/(м^4с)$, а максимальна межа міцності при стисненні 3,4 - 3,6 МПа. Таким чином, розроблені ВПКМ системи NiAl по сукупності термомеханічних властивостей на порядок перевершують раніше відомі ВПКМ даної системи, а також практично не поступаються аналогічним матеріалам на основі Ni-Cr-Al. Вони можуть бути рекомендовані для

використання як каталітичні елементи радіаційних газових пальників, що працюють в середовищах із змістом сірки не більше 0,05 % по масі [14].

Досвід використання безполуменевого горіння в котлах.

На (рис.3) показаний проект вертикального водотрубного парового котла безполуменевого горіння, розроблений інж. Гарбузенко в Центральному котлотурбінному інституті для Ішимбаєвськой електростанції.

Нафтовий газ подають по трубі **1**, а повітря, підігріте до 100°, - по трубі **2.** У змішувачі **3** відбувається змішення газу з повітрям, причому повітря інжектує газ. Газоповітряна суміш по трубі **4** поступає в топкові **5,** викладені з високовогнетривкого матеріалу. Топковий простір котла складається з шести топкових загальним об'ємом 4,4 м^3. З топкових продукти горінні поступають в екрановану частину котла, а потім послідовно проходять через пучок зігнутих котельних трубок **6,** пароперегрівач **7**, водяний економайзер **8** і повітряний економайзер **9.** Услід за цим продукти горіння з температурою біля 250 °С випускають з котла по трубі **10.** Вентилятор **11** нагнітає повітря по трубі **12** через повітряний економайзер **9** і трубопровід для підігрітого повітря **2** в газопальникову систему.

Котел розрахований на продуктивність 60-75 т пари в годину. Робочий тиск пари 33 атм., температура перегріву 425 °С.

Поверхня нагріву екранів 77 м^2, котельного пучка 175 м^2, пароперегрівача 223 м^2, водяного економайзера 182 м^2, і повітряного економайзера 175 м^2. Розрахунковий коефіцієнт корисної дії котла 89%. Натиск повітряного вентилятора близько 500 мм вод. ст.

На рис.4 показаний проект перекладу парового котла Бабкок і Вількокс морського типу поверхнею нагріву 350 м^2 на опалювання коксовим газом по методу поверхневого горіння.

Вказаний проект виконаний Уральським відділенням Всесоюзного теплотехнічного інституту (інж. К.А.Сигов). Слід зазначити, що вибраний тут тип пальників і їх розміщення в топці не є оптимальними.

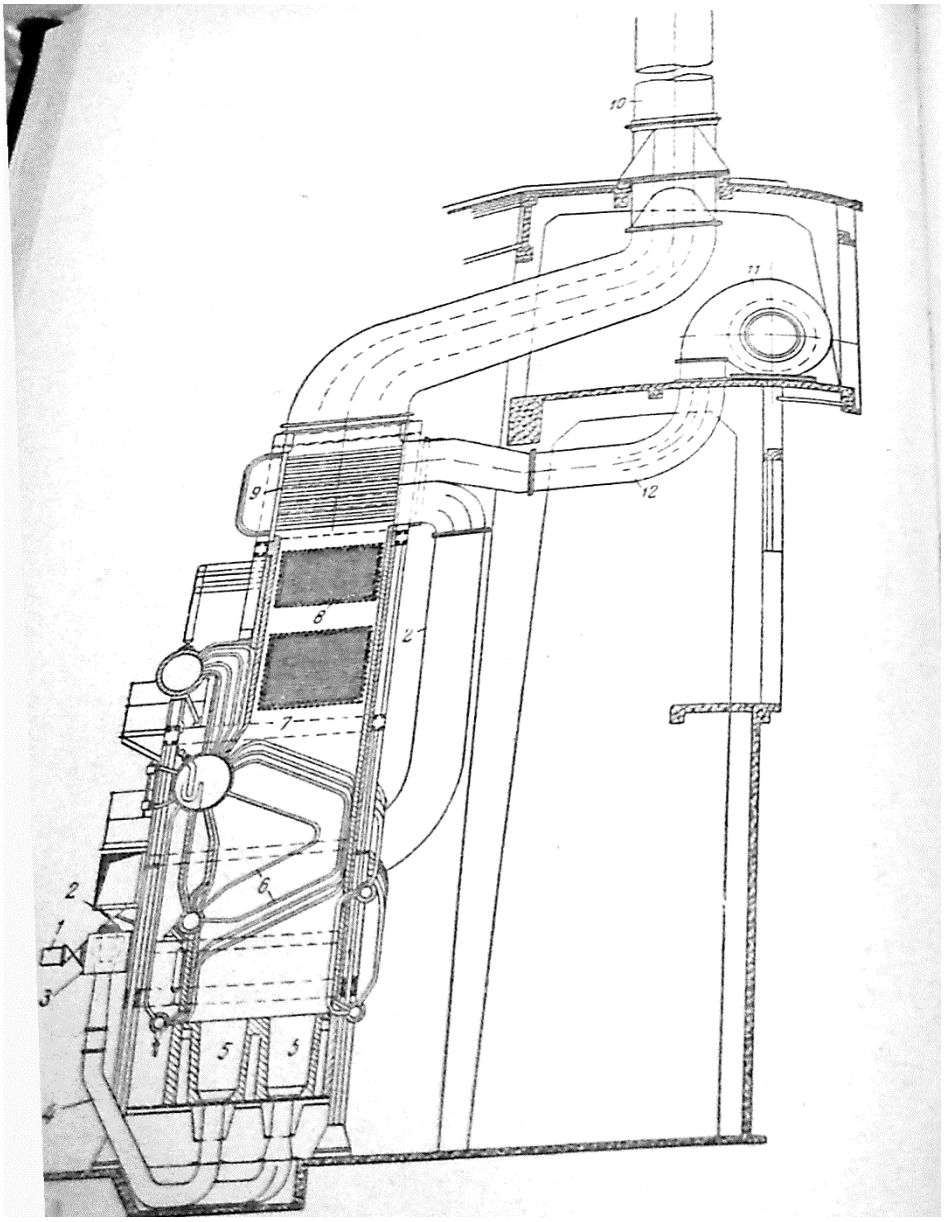


рис. 3 Проект вертикального водотрубного парового котла безполуменевого горіння

Проект припускає здійснити спалювання газу в топкових пальниках. Передача тепла радіацією за рахунок випромінювання розжарених вогнетривів що сприймають тепло поверхням, тут не забезпечена.

Насправді, процес горіння газо-повітряної суміші концентруватиметься у вогнетривких топках 1 з надто малорозвиненою поверхнею.

Топка 2 в даному випадку заповнюється продуктами повного згорання газоподібного палива з малою радіацією, а оскільки випромінювання газу порівняльне мало інтенсивно, центр тяжіння переноситься на конвективну поверхню нагріву. В результаті цього котел починає наближатися до громіздких котлів для утилізації тепла газів, що відходять, в промислових печах.

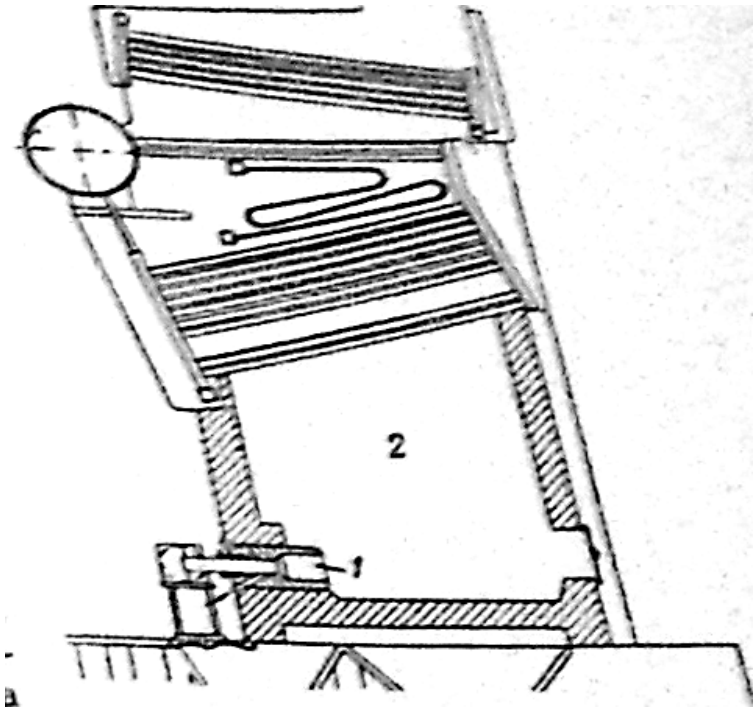


рис.4. Паровий котел Бабкок і Вількокс з безполуменевими пальниками.

Таким чином, в даному проекті можна забезпечити за допомогою застосування методів горіння повне спалювання газу при надто невеликому надлишку повітря, тобто поліпшити використання газоподібного палива, а також спалити, у разі потреби, під котлом велику кількість газу. Проте інші переваги методу поверхневого горіння, зокрема особливо важливе для працюючих на газі топок парових котлів умова забезпечення добре розвиненої радиіруючої поверхні, не використовуються.

Можна встановити, що вимогам, що пред'являються, добре задовольняє метод класифікації, заснований на спалюванні газу в соплах вогнетривкого блоку або в пальниках, забезпечених вогнетривкими насадками, радиіруючими тепло в робочий простір.

Завдання зводиться, отже, до створення надто малої компактної топки, що дозволяє здійснити спалювання газу з високою напругою активного топкового простору і разом з тим забезпечити сильно розвинену радиіруючу тепло поверхню вогнетривів, рівно як і екрановану поверхню котла, з тим щоб здійснити передачу значній частині тепла радіацією і забезпечити відповідно цьому високе парознімання.

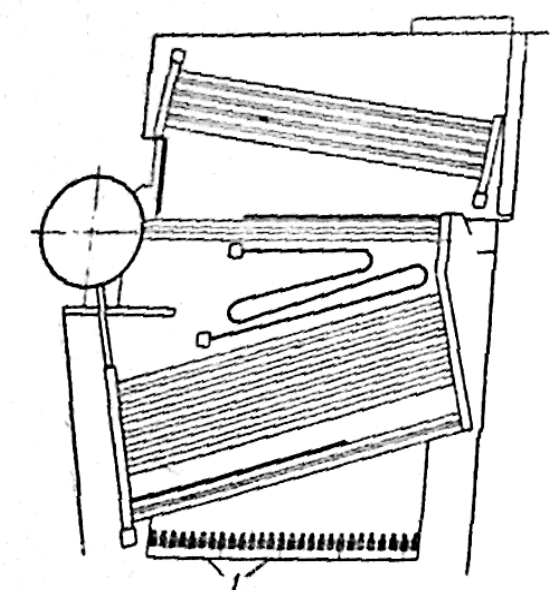


рис. 5. Схема топки парового котла поверхневого горіння

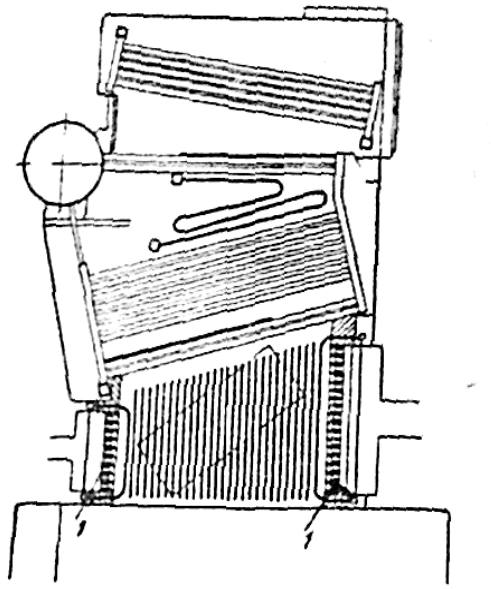


рис. 6. Схема екранованої топки парового котла поверхневого горіння

Принципові схеми топок парових котлів поверхневого горіння, що задовольняють, як здається, цим вимогам показані на рис.5 і 6.

Вищеописані дослідження дозволили встановити, що у разі застосування пальників з вогнетривкими насадками, вільнорадиіруючими тепло в робочий простір, процес горіння повністю закінчується в безпосередній близькості від розжарених вогнетривів. Встановлено також, що охолоджувані водою металеві поверхні, розташовані на відстані всього лише 40 мм від випромінюючої тепло

вогнетривкій поверхні, не порушують стабільності процесу горіння, причому забезпечується повнота згорання газоподібного палива.

На рис.7 наведений сконструйований, побудований і випробуваний в лабораторії безполуменевого горіння пальник продуктивністю 20 - 25 м^3 міського газу, або близько 100 - 125 м^3 доменного газу в 1 годині

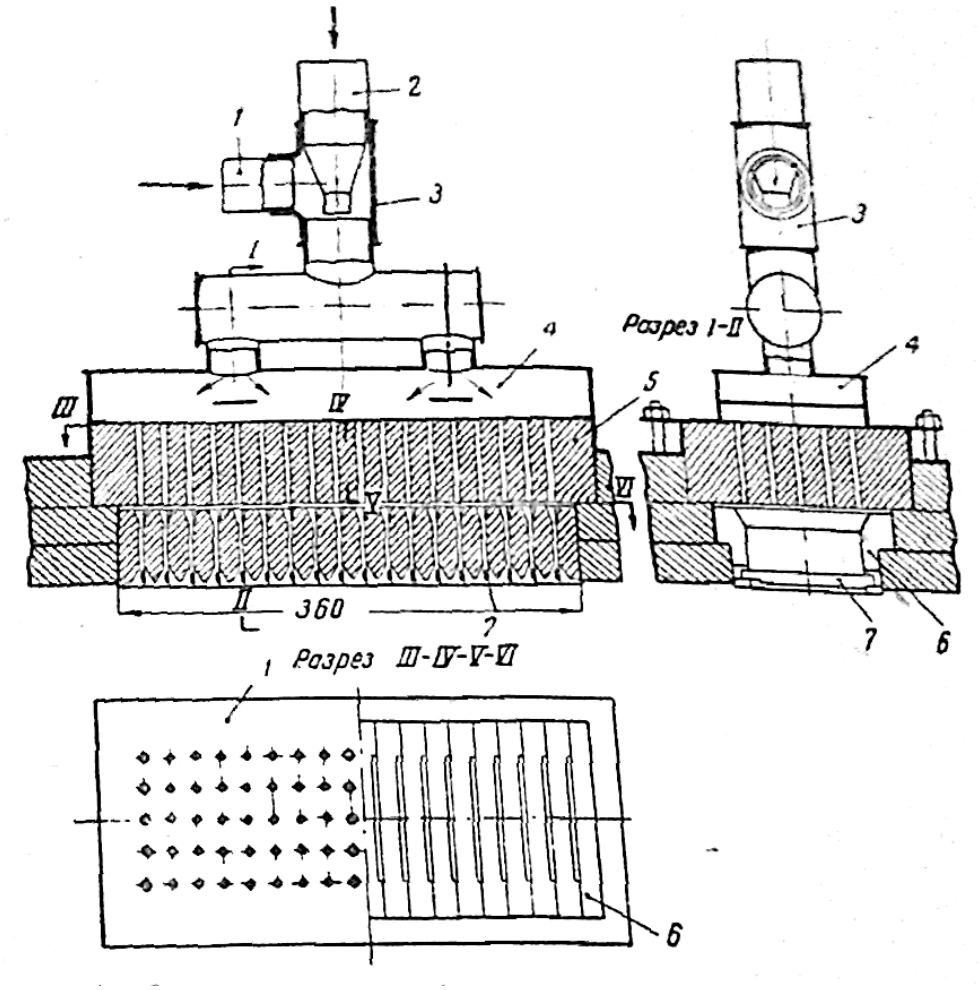


рис. 7. Експериментальний безполуменевий пальник для парового котла.

Газ поступає в пальник по трубі 1, а повітря по трубі 2. Із змішувача 3 газоповітряна суміш поступає в камеру 4 і розподіляється по тонких каналах вогнетривкого блоку 5 з швидкістю, що перевищує швидкість займання, після чого поступає в канали між вогнетривкими насадками 6. Процес горіння здійснюється поблизу від поверхні вогнетривких насадок 6 і вставок 7. Довжина робочої частини пальника 360 мм, ширина 100 мм, площа 0,036 м$^{2.}$

Вищезгаданий пальник був випробуваний при роботі на міському газі, причому отримані наступні результати: напруга поверхні пальника складає при спалюванні 20 $м^3$ міського газу у 1 годині близько 2300000 $Кал/м^3 \cdot год$ [15].

Пальник працював нормально при розміщенні над нею на відстані близько 100 мм охолоджуваного водою екрану.

На рис.5 показано застосування поверхневих пальників з вогнетривкими насадками для обігріву парового котла. В цьому випадку поверхня, радиіруюча тепло - 1, розташовується в безпосередній близькості від нижніх пучків труб котла.

Зіставляючи вказану схему топки з проектом розробленим Уральським відділенням Всесоюзного теплотехнічного інституту, можна встановити наступні переваги: різке зменшення габаритів топкі і підвищення теплопередачі випромінюванням завдяки освітленню трубок котла радиіруючими тепло вогнетривкими поверхнями, на яких концентрується процес горіння.

На рис. 6 наведено інший варіант топки поверхневого горіння парового котла.

У цьому випадку пальники з вогнетривкими насадками — 1 вмонтовані в стінках топкі. Безпосередньо проти них розташовані, топкові екрани. Крім того, збережені пальники, випромінюючі потік тепла безпосередньо на нижні пучки кип'ятильних трубок. Таким чином, створюється можливість передачі значній частині тепла за допомогою радіації від розжарених вогнетривких насадок і усунення серйозного недоліку, властивого газоподібному паливу, особливо низькокалорійному, і тепла, що полягає в малій віддачі, випромінюванням.

Перша схема топки може застосовуватися у тому випадку, коли особливо важливо зменшити до мінімуму висоту і об'єм топкової камери.

Друга схема може представити інтерес при реконструкції котлів, що діють, і їх переводі на газ, а також в тих випадках, коли бажане створення розвиненої екранованої поверхні.

Вказаний метод обігріву, мабуть, може бути застосований також для прямоточних парових котлів і котлів з примусовою циркуляцією.

Таким чином, при безполуменевому процесі були досягнуті значно кращі показники роботи, чим при полум'яному спалюванні газу.

У подальших працях до перекладу на безполуменевий метод спалювання доменного газу парових котлів А.В. Арсєєв ще в більшому ступені використовував радиіруючі і допалюючі безполуменеві насадки, що слід рахувати, як вище наголошувалося, цілком правильним.

Так, за допомогою застосування 18 вертикальних вогнетривких насадок розміром 600 х 450 х 75 мм був створений безполуменевий пальник продуктивністю 10 тис. м^3 доменного газу о 1 годині з 20 каналами, розташованими в два ряди по висоті. Довжина канала 600 мм, висота 450 і 435 мм, ширина 75 мм (рис. 8).

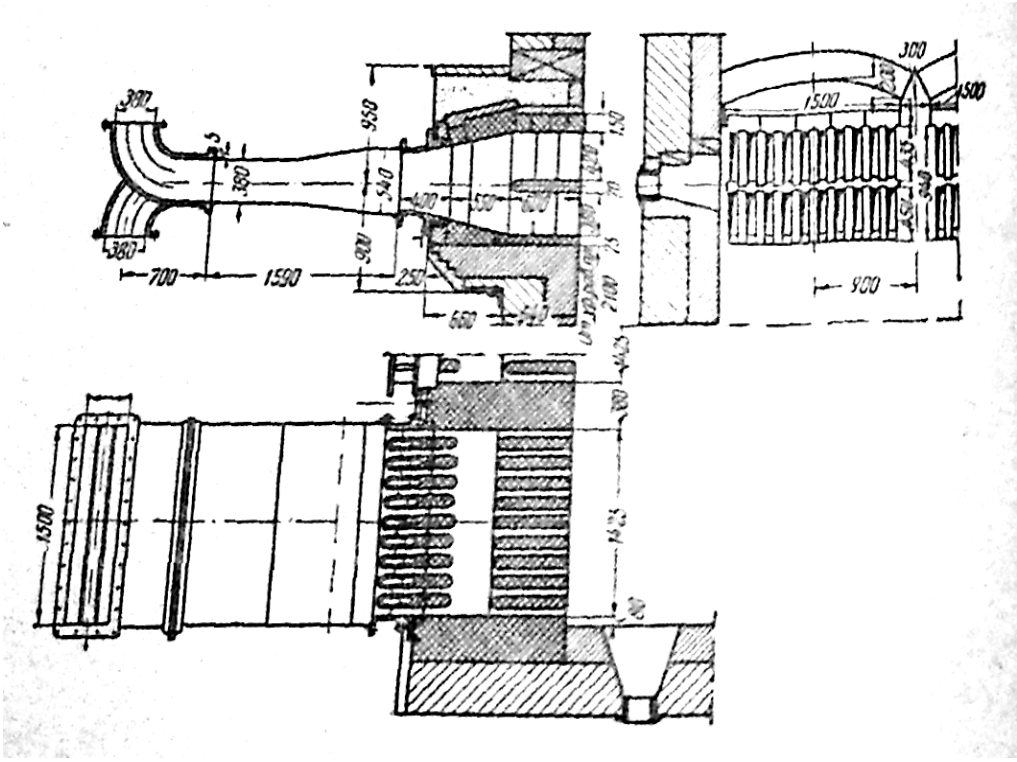
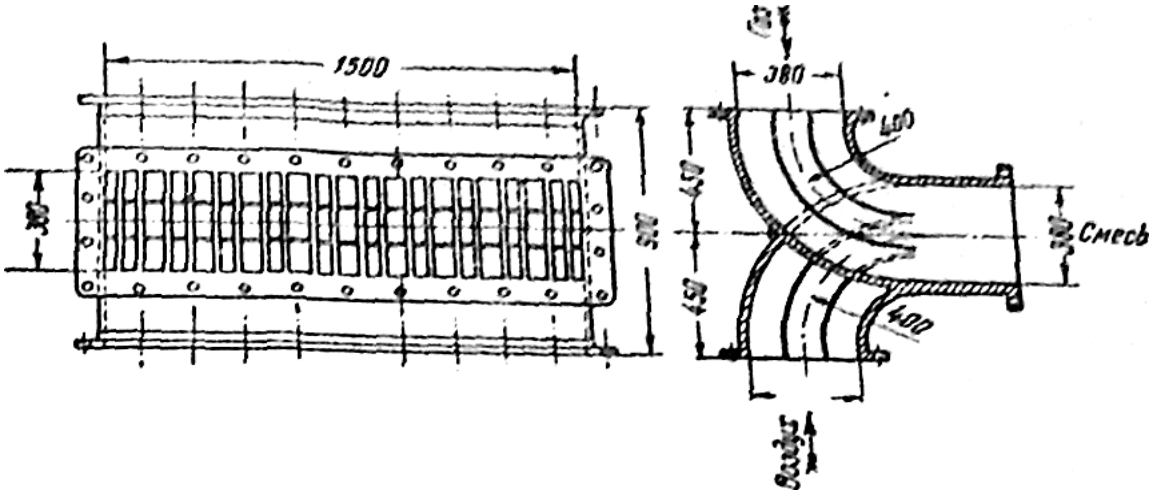


рис. 8. Безполуменевий пальник продуктивністю 10 тис. м^3 доменного газу в 1 годину.

Таким чином, спалювання доменного газу здійснювалося в даних випадках вже не в топкових пальниках, а в пальниках забезпечених вогнетривкими насадками.

Пальник, розроблений А.В. Арсєєвим і успішно застосований ним при переоснащенні на беспламенний процес парового котла СМ 16/22 на Чусовському заводі, в набагато більшому ступені, чим розглянуті раніше пальники.

рис. 9. Змішувач безполуменевий пальник продуктивністю 10 тис. м^3 доменного



газу в 1 годині

На рис. 9 приведений змішувач для вказаного пальника, а на рис. 10 - охолоджувана водою фурма.

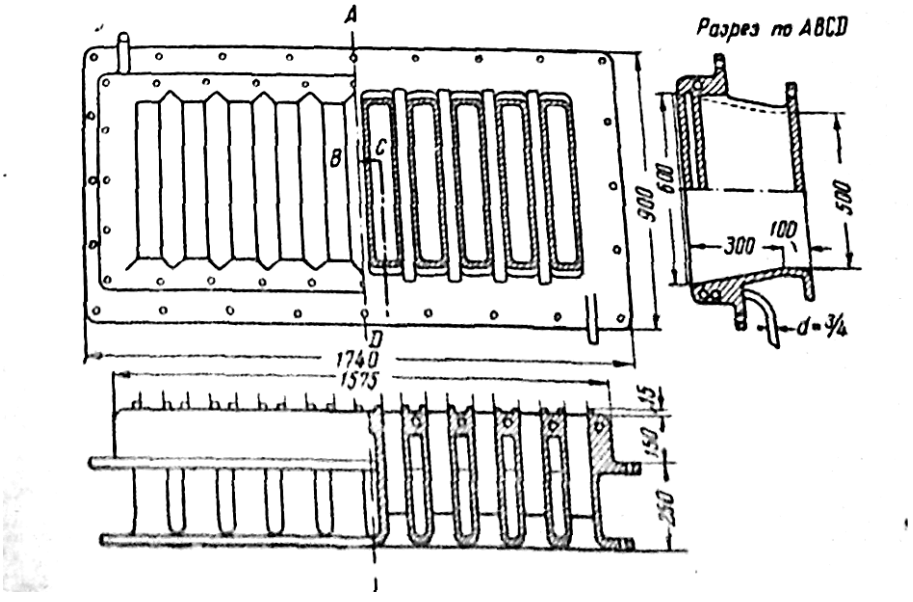


рис. 10. Фурма безполуменевого пальника продуктивністю 10 тис. м^3 доменного газу в 1 годину.

При установці безполуменевих пальників, що володіють авторегулюванням, що забезпечує підтримку оптимального співвідношення газоповітряної суміші при зміні тиску газу в газопроводі, виключається можливість роботи з великим

надлишком повітря за наявності мінімальної пускової наладки. Завдяки цьому, можуть бути значно зменшені втрати тепла з газами, що відходять, унаслідок запобігання збільшенню об'єму продуктів горіння, що часто має місце, за рахунок надходження в топку великої кількості надмірного повітря.

Застосування безполуменевих пальників попереднього змішування у поєднанні з вогнетривкими насадками і роботою при невеликому надлишку повітря, тобто при високих температурах в зоні горіння, забезпечує повноту горіння газу і відсутність втрат, пов'язаних з наявністю в продуктах горіння окислу вуглецю, водню і вуглеводів.

Завдяки усуненню втрат від неповноти горіння і підтримці об'єму продуктів горіння на належному рівні усуваються основні втрати тепла, обумовлюючи такий низький коефіцієнт корисної дії промислових котлів.

Таким чином, застосування безполуменевих пальників, що володіють авторегулюванням у поєднанні з вогнетривкими насадками, повинне забезпечити різке підвищення коефіцієнта корисної дії промислових котлів.

Слід зазначити, що в деяких випадках газ, супутній нафті, подається до котлів з високим вмістом кисню унаслідок домішки повітря до газу.

Вказана обставина примушує прийняти заходи для забезпечення безпеки експлуатації установок.

До вказаних заходів належать:

1) застосування охолоджуваних водою фурм щоб уникнути проникнення зони горіння в газопровід змішувача;

2) надходження газу з достатньо великою швидкістю і, отже, з відповідним тиском, що встановлюється за проектом;

3) застосування відсікаючих запобіжних клапанів, що припиняють надходження газу при зниженні тиску нижче мінімального;

4) пристрій мідних сіток в декількох перетинах газової магістралі для запобігання можливості проникнення зони горіння в газову магістраль під час вступу газу з високим вмістом кисню.

Слід зазначити, що при спалюванні газу з високим вмістом кисню в полум'яних пальниках, що працюють без попереднього змішування газу з повітрям, небезпека проникнення зони горіння в газопровід, що підводить газ, у багатьох випадках більше, ніж при пристрої безполуменевих пальників попереднього змішування.

Річ у тім, що безполуменеві пальники розраховані на спалювання газоповітряної суміші, близької до стехіометричної, і на запобігання можливості проникнення зони горіння в газопровід змішувача завдяки надходженню газоповітряної суміші з достатньо великими швидкостями, що перевищують швидкість розповсюдження полум'я.

Безполуменеві пальники, таким чином, пристосовані для спалювання газо-воздушних сумішей з високим вмістом кисню.

Полум'яні пальники багатьох типів не розраховані на необхідність запобігання проникненню зони горіння в газопровід, оскільки це явище не представляється можливим під час вступу газу, що не містить кисень або що містить лише невелику кількість кисню. Тому живлення полум'яних пальників газом з високим вмістом кисню є небезпечнішим.

При спалюванні газу з високим вмістом кисню особлива увага повинна бути приділена запаленню пальників.

Необхідно вести процес запалення в умовах, що забезпечують неможливість проникнення зони горіння в газопровід.

Підсумовуючи викладене, про котли поверхневого горіння слід додати, що ефективність переоснащення котлів на даний метод обігріву може бути в деяких випадках значно підвищена за допомогою утилізації чистих продуктів горіння, що складаються з вуглекислого газу, азоту і водяної пари.

Окисел вуглецю і інші продукти неповного згорання відсутні в продуктах горіння при належній, зрозуміло, регулюванню режиму роботи топці.

Вільний кисень міститься в продуктах горіння лише в межах одного відсотка.

Завдяки цьому, при установці парових котлів поверхневого горіння на хімічних, нафтоперегінних і інших вибухонебезпечних і вогненебезпечних заводах продукти горіння можуть знайти застосування як інертні гази, надто цінні для протипожежних цілей.

При установці парових котлів поверхневого горіння на заводах харчової промисловості чисті продукти горіння можуть бути використані для зберігання харчових продуктів в газовій атмосфері.

4.Моделювання факельного спалювання газу в котлах ТВГ та КВГ.

Попередні розрахунки інтеграції пальника у вогняний простір котла показали, що найдоцільніше встановити пальник на вертикальній осі котла в перетині, що знаходиться в середині між подом котла і низом переднього екрану.

Повна потужність пальника (100%).

Факел горіння досить вузький, а його форма несиметрична по кутовій координаті. За цих умов потік гарячих продуктів з високою швидкістю ударяється об задній екран котла і частково розгортається у зворотному напрямі. Основна маса гарячих продуктів згорання піднімається вгору уздовж заднього екрану, а потім, частково огинаючи бічні екрани, потрапляє в бічні димарі. Вигорання палива відбувається достатньо швидко.

Дані комп'ютерного моделювання свідчать про те, що задній екран котла знаходиться в термічно «важких» умовах, температура продуктів згорання тут максимальна і значно перевищує температуру плавлення матеріалу трубного пучка. Таким чином, робота пальника на режимі повної потужності (100%) може привести до швидкого прогару заднього екрану і виходу котла з ладу.

Часткова потужність пальника (50%). Зниження потужності пальника моделювалося зменшенням витрати природного газу і повітря через пальник. Результати розрахунку показують, що за рахунок зниження швидкості на виході пальника гарячий потік під дією гравітаційних сил починає «спливати», рухаючись у верхню частину заднього екрану.

Основне термічне навантаження гарячих продуктів згорання (Т = 1250 К) доводиться на верхню центральну частину заднього екрану. Таким чином, даний сегмент екрану працюватиме в умовах підвищеного теплового навантаження, що приведе до локального скипання котельної води, накопичення відкладень і виходу з ладу частини заднього екрану.

Таким чином, режим роботи котла на (50%) максимальній потужності пальника також не задовольняє умовам надійної експлуатації котла.

Часткова потужність пальника (20%). Аналіз отриманих результатів показує, що факел вже не є далекобійним, а поблизу задньої стінки його швидкість близька до нульового значення. Факел під дією гравітаційних сил «спливає» до верхньої стінки котла, в цій же області відбувається повне вигорання палива. Хоча в цьому випадку поверхні нагріву працюю в термічно прийнятних умовах, потужність котла буде явно недостатньою.

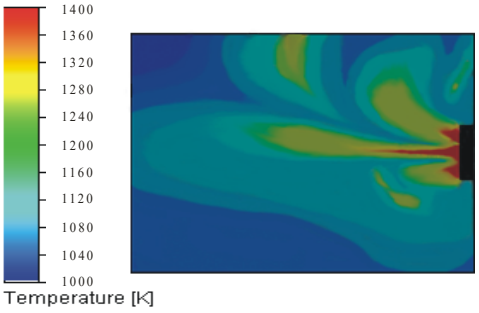
Приведений вище аналіз роботи факельного пальника, інтегрованого в котел ТВГ-8, дозволяє зробити наступні висновки про недоліки факельного пальника:

- задовільна робота пальника в котлі без проведення додаткових заходів щодо захисту заднього екрану котла можлива тільки у випадку роботи пальника при навантаженні не більш (20%) від номінальної потужності, що не є раціональним;
- для роботи пальника на максимальному навантаженні (100%) необхідно захистити задній екран котла приблизно на висоту 1,0 метра від поду або забезпечити пальник пристроєм, що закручує суміш, що дозволить зменшити довжину факела і запобігти удару гарячих газів об задній екран котла. Проте такі заходи вимагають значних капіталовкладень, що в умовах

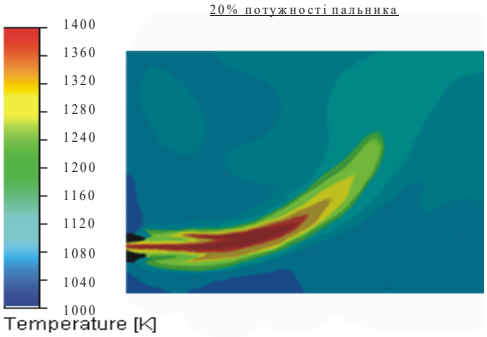
нестабільної фінансової обстановки на економічному ринку України на даний момент представляється нерентабельним.

Результати моделювання факельного пальника

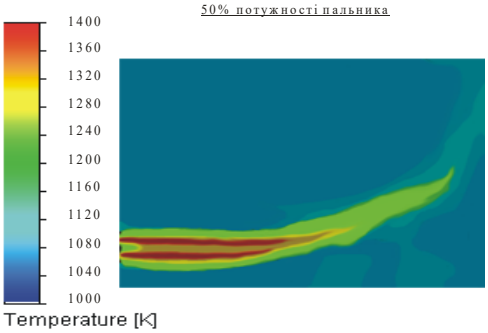
Старт пальника



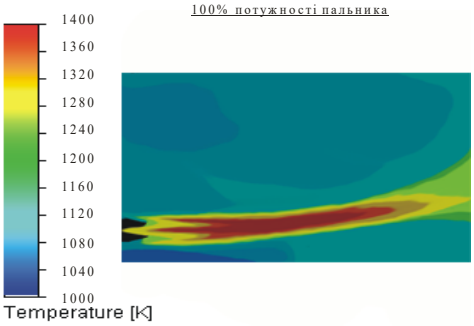
20% потужності пальника



50% потужності пальника



100% потужності пальника



5. Моделювання безполуменевого спалювання газу в котлах ТВГ та КВГ.

В останній час для математичного моделювання турбулентних потоків застосовуються чисельне розв'язання рівнянь Рейнольдса:

$$\left.\begin{aligned}
&\frac{\partial \rho}{\partial \mathrm{T}}+\frac{\partial\left(\rho u_k\right)}{\partial x_k}=0, \\
&\frac{\partial\left(\rho u_i\right)}{\partial \mathrm{T}}+\frac{\partial\left(\rho u_i u_k-\tau_{\iota,\kappa}\right)}{\partial x_k}+\frac{\partial p_c}{\partial x_i}=F_i, \\
&\frac{\partial(\rho W)}{\partial \mathrm{T}}+\frac{\partial}{\partial x_k}\left(\rho W+p_c\right) u_k+q_k-\tau_{\iota,\kappa} u_i=S_k u_k+Q_H,
\end{aligned}\right\}$$

де T – час;

u – швидкість потоку;

ρ – густина;

pc – статичний тиск;

Fi – зовнішні масові сили (гравітація, відцентрові сили тощо);

W – повна питома енергія потоку;

QH – питома теплота, що виділяється тепловим джерелом;

τi,k – тензор зсувних в'язких і турбулентних напружень;

q – дифузійний тепловий потік.

Для замикання рівнянь Рейнольдса при моделюванні аеродинамічних явищ у вентиляції найбільш уживаною є k–ε модель:

$$\tau_{\iota,j} = \mu_T \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \frac{\partial u_l}{\partial x_l} \delta_{i,j} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{i,j} = f_\mu \frac{C_\mu \rho k^2}{\varepsilon} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \frac{\partial u_l}{\partial x_l} \delta_{i,j} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{i,j},$$

де $\delta i,j$ – δ-функція Кронекера: дорівнює 1 при i = j і нулю при i ≠ j;

k – кінетична енергія турбулентності;

fμ – коефіцієнт турбулентної в'язкості;

Cμ – емпіричний коефіцієнт;

ε – турбулентна дисипація.

Також додається залежність коефіцієнта турбулентної в'язкості від відстані до твердого тіла, рівняння зв'язку між кінетичною енергією турбулентності k та турбулентною дисипацією ε. Ці рівняння містять п'ять емпіричних коефіцієнтів. Рівняння розв'язуються чисельно за допомогою кінцеворізницевих методів.

На базі k-ε моделі розроблені комерційні програмні продукти. У даній роботі використано SolidWorks Flow Simulation 2010 sp1 ©CEO SolidWorks Corp., можливості якої дозволяють моделювати радіаційний, конвективний теплообмін та теплопровідність; потоки у котельних установках; потоки повітря в елементах вентиляційних систем, струминні течії, обтікання тіл, повітряні потоки в приміщеннях, струмини тощо. Контрольними прикладами є найпростіші випадки: конічний кран, потік в трубі, потік біля плоскої пластини, відвід на 90°, раптове розширення, обтікання круглого циліндра, потік над гарячою пластиною, конвективний потік навколо циліндра, в круглій та кільцевій трубі. У більш складних випадках результати можуть бути лише оціночними і вимагають експериментальної перевірки. Недоліком методу є неможливість безпосередньо з рівнянь виділити основні впливові чинники, оцінити вплив кожного з них і оптимізувати їхні значення. Багатофакторні задачі розв'язуються побудовою плану експериментів за відомими статистичними методами і математичного моделювання за планом з подальшою статистичною обробкою як для фізичного

моделювання. Тому при можливості користуються інтегральними рівняннями аеродинаміки.

У цій програмі ми використовували наступні допущення:

1) Теплофізичні властивості продуктів згоряння відповідають теплофізичним властивостям повітря.

2) Пальник подано як повітророзподільник, що подає продукти згоряння з температурою горіння рівномірно по площі.

3) Температура поверхні пальника дорівнює температурі згорання.

4) Екранні поверхні є суцільними та мають температуру на 2 градуси більше ніж температура теплоносія.

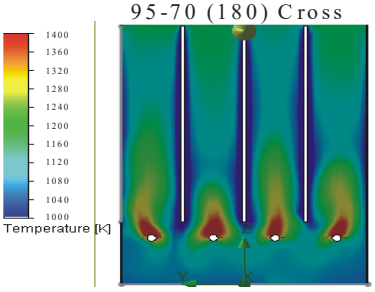
5) Температура теплоносія лінійно зростає по висоті від t_{ox} до $t_{гар}$.

6) Прийняті ідеальні умови виходу продуктів згоряння з топки.

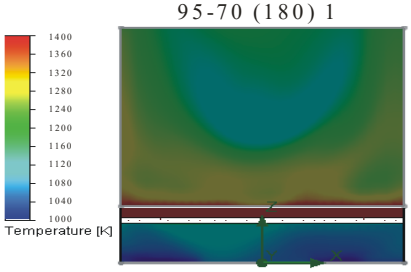
За основу були взяти пальники фірми Baltur, за умов їх можливої модернізації під котли ТВГ та КВГ та проведено моделювання при контрольних кутах розкриву 180 та 120 градусів. Оптимальний розрахунок вийшов при куті 120°, оскільки температурне поле на усіх 4-х пальниках майже однорідне. При інших значеннях кутів розкриву температурне поле наближається до температурних показників факельного пальника. Результати моделювання нижченаведені на малюнках.

Результати моделювання

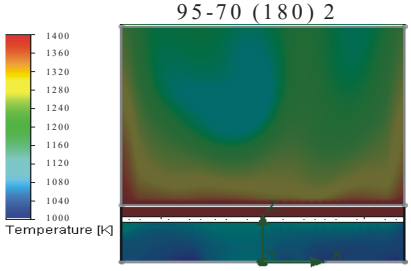
95-70 (180) Cross



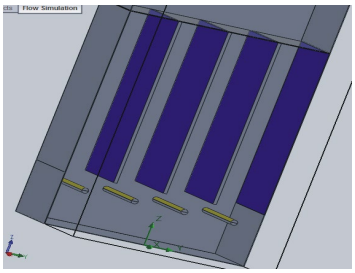
95-70 (180) 1



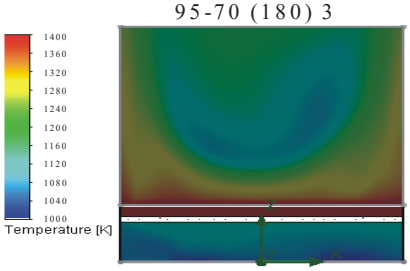
95-70 (180) 2



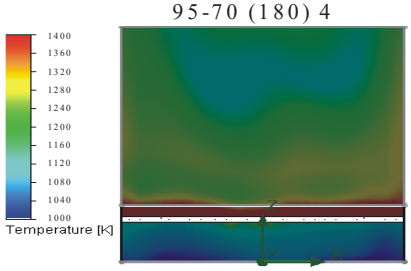
Модель топки



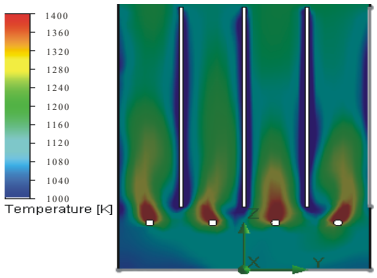
95-70 (180) 3



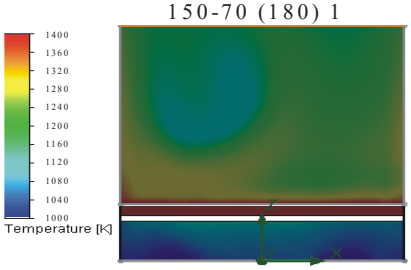
95-70 (180) 4



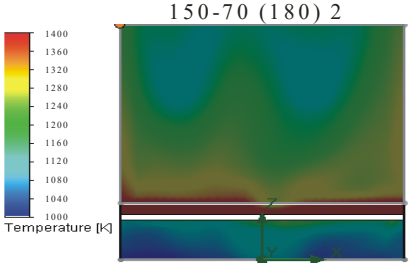
150-70 (180) Cross



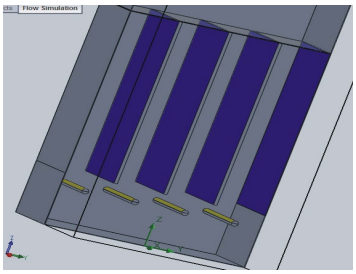
150-70 (180) 1



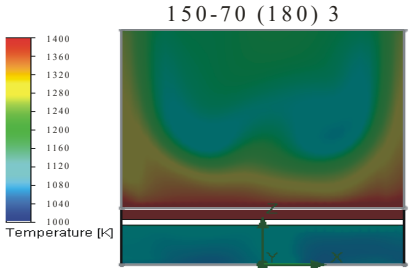
150-70 (180) 2



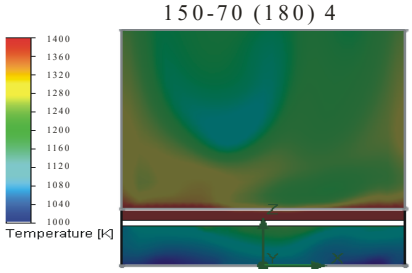
Модель топки



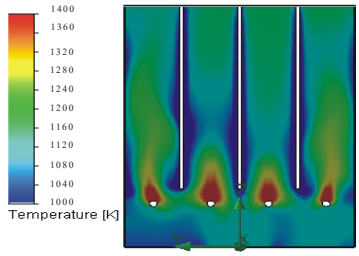
150-70 (180) 3



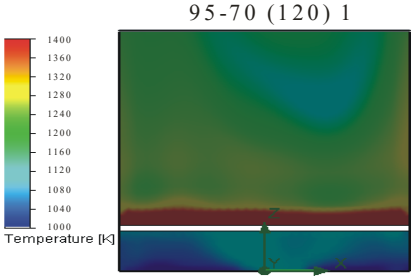
150-70 (180) 4



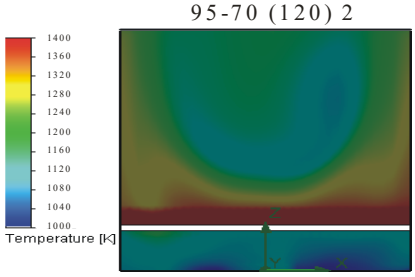
95-70 (120) Cross



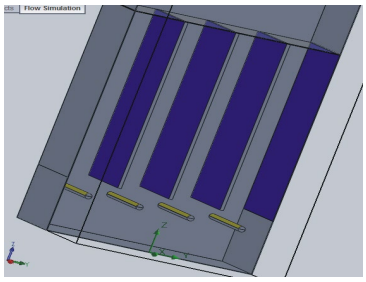
95-70 (120) 1



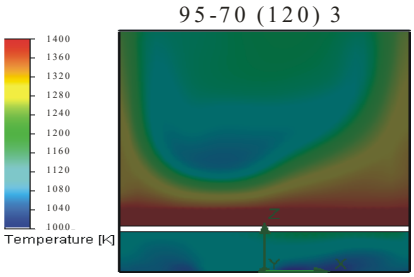
95-70 (120) 2



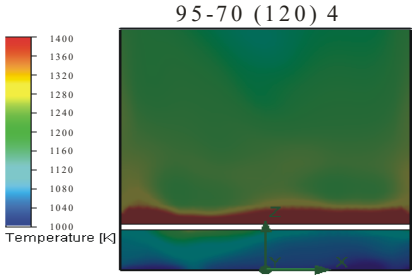
Модель топки



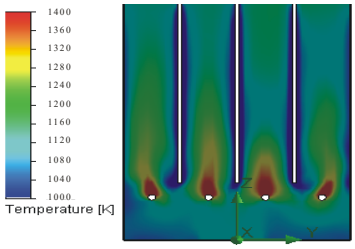
95-70 (120) 3



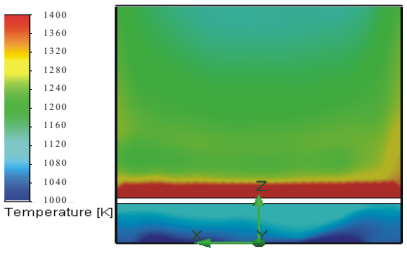
95-70 (120) 4



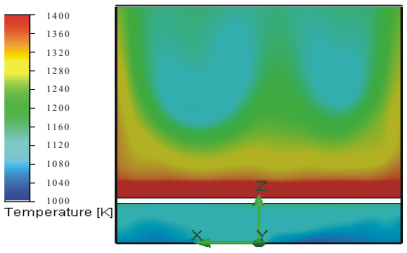
150-70 (120) Cross



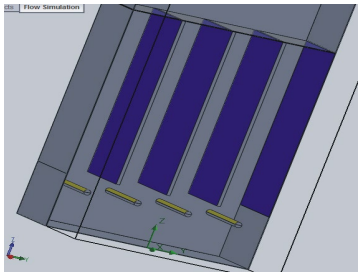
150-70 (120) 1



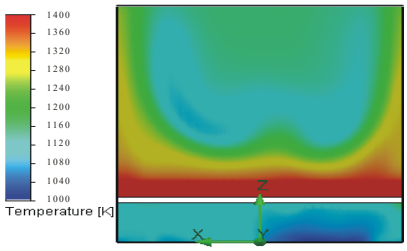
150-70 (120) 2



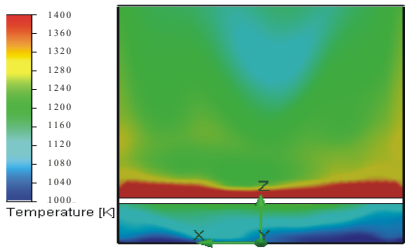
Модель топки



150-70 (120) 3



150-70 (120) 4



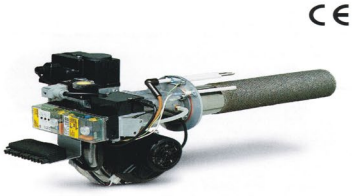
Комп'ютерне моделювання термогазодинамики внутрішньокотельного простору володіє високою точністю, надійністю і інформативністю. Воно дозволяє достатньо швидко розробити надійні інженерні заходи щодо ітеграции конкретного пальника в об'ємі котла і обгрунтувати режим його експлуатації.

Завдяки проведеному аналізу даних комп’ютерного моделювання безполуменевого пальника було виявлено ряд наступних переваг:

- принцип безполуменевого горіння опирається на попереднє змішування газів горіння з димовими газами в такому співвідношенні, що навіть при

високому догріві повітря горіння можна уникнути таких великих температурних піків, як у фронті полум'я;

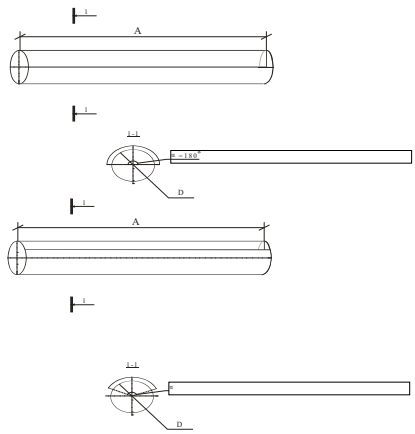
- при безполуменевому горінні відсутній фронт полум'я з властивими йому піковими температурами. Завдяки інтенсивному перемішуванню всього простору горіння, температура розподіляється дуже рівномірно. При цьому відсутні перегріви екранів, і самого пальника. Це властивість безполуменевого горіння істотно продовжує термін служби пальника і котла;
- в безполуменевому режимі горіння відбувається практично безшумно і відсутній шум горіння. Це пояснюється тим, що немає турбулентного фронту полум'я, що впливає на основний рев у високошвидкісних пальниках;
- завдяки використанню безполуменевих пальників утворення NOx знаходиться в межах 25-100 ppm, CO практично 0, а зміст O_2 знаходиться в межах від 2% до 4%.

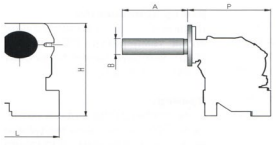


Переваги

- Зручна у користуванні: будь-яка модель може монтуватися або горизонтально, або вертикально
- Працюють з камерами згорання різних форм та розмірів;
- Можливе доопрацювання пальника за індивідуальним замовленням;
- Компактне радіальне полум'я під час розігріву пальника, зменшує його зіткнення зі стінками камери згорання;
- Низький рівень викидів NOx та CO;
- Можливість функціонування в одноступеневому, двоступеневому та модульованому режимах;
- Безшумне функціонування;
- Компактність;
- Широкий модельний ряд;
- Легке налаштування та технічне обслуговування;
- Можливість роботи як на природному газі так і на скрапленому газі (з форсункою);
- Можливість налаштування параметрів для відображення роботи пальника: режим функціонування інформації про помилки.

Розрахунковий модернізований пальник





6.Гідравлічний розрахунок ділянки газопроводу

Гідравлічний розрахунок виконується для газопроводу середнього тиску, схема – одноступенева.

Тиск за ГРУ – на самому початку ділянки – становить ≈ **0,6 кг/см^2 = 60 кПа.**

Витрата газу на початку ділянки складає **V = 6250 м^3/год.**

Таблиця 1.

№ ділянки	V, м^3/год	DN, мм	l, м	ΔРм, кПа	ΔPl, кПа	ΣΔР, кПа
0-1	6250	400	44	-	0,11	0,11
1-2	6250	300	1,9	-	0,02	0,02
2-3	6250	300	1,5	-	0,01	0,01
3-4	6250	300	4,7	-	0,04	0,04
4-5	6250	300	1,4	1,5	0,01	1,51
5-6	6250	300	0,7	7,0	0,01	7,01
6-7	6250	300	1,5	-	0,01	0,01
7-8	6250	300	0,8	-	0,01	0,01
8-9	3125	150	8,2	1,3	0,45	1,75
9-10	3125	150	6,3	10,23	0,35	10,58
10-11	3125	150	1,2	7,0	0,07	7,07
11-12	3125	150	3,2	8,5	0,18	8,68
12-13	3125	125	0,52	15,5	0,07	15,57
						52,36

Втрати тиску на обладнанні, що проектується, мають такі значення:

- фільтр = 1,5 кПа (1шт.)

- клапан = 7,0 кПа (3шт.)

- діафрагма = 10,23 кПа (1шт.)

- заслінка = 1,5 кПа (1шт.)

- перехід 150/125 = 3 кПа (1шт.)

- перехід 300/150 = 1,3 кПа (1шт.)

- пальник = 12,5 кПа (1шт.)

Втрати тиску по довжині ділянки розраховуємо за формулою:

$$\Delta P = \frac{\mu \cdot l \cdot v^2 \cdot \rho}{2d}$$

де, μ - коефіцієнт тертя = 12;

l – довжина ділянки, м;

v – швидкість газу, м/с;

ρ – густина газу = 800 кг/м^3

Витрата газу на початку ділянки складає **V = 4500 м^3/год.**

Таблиця 2.

№ ділянки	V, м^3/год	DN, мм	l, м	ΔPм, кПа	ΔPl, кПа	ΣΔP, кПа
0-1	4500	400	44	-	0,06	0,06
1-2	4500	300	1,9	-	0,01	0,01
2-3	4500	300	1,5	-	0,01	0,01
3-4	4500	300	4,7	-	0,02	0,02
4-5	4500	300	1,4	0,6	0,01	0,61
5-6	4500	300	0,7	0,8	0,003	0,80
6-7	4500	300	1,5	-	0,01	0,01
7-8	4500	300	0,8	-	0,004	0,004
8-9	2250	150	8,2	0,93	0,25	1,18

9-10	2250	150	6,3	4,8	0,20	5,00
10-11	2250	150	1,2	2,5	0,04	2,54
11-12	2250	150	3,2	3,2	0,10	3,26
12-13	2250	125	0,52	14,7	0,04	14,74
						28,23

Втрати тиску на обладнанні, що проектується, мають такі значення:

- фільтр = 0,6 кПа (1шт.)

- клапан = 0,8 кПа (1шт.), 2,5 кПа (2шт.)

- діафрагма = 4,8 кПа (1шт.)

- заслінка = 0,66 кПа (1шт.)

- перехід 150/125 = 2,2 кПа (1шт.)

- перехід 300/150 = 0,93 кПа (1шт.)

- пальник = 12,5 кПа (1шт.)

Витрата газу на початку ділянки складає **V = 2750 м^3/год.**

Таблиця 3.

№ ділянки	V, м^3/год	DN, мм	l, м	ΔPм, кПа	ΔPl, кПа	ΣΔP, кПа
0-1	2750	400	44	-	0,03	0,03
1-2	2750	300	1,9	-	0,003	0,003
2-3	2750	300	1,5	-	0,003	0,003
3-4	2750	300	4,7	-	0,01	0,01
4-5	2750	300	1,4	0,28	0,003	0,28
5-6	2750	300	0,7	0,4	0,001	0,40

6-7	2750	300	1,5	-	0,003	0,003
7-8	2750	300	0,8	-	0,001	0,001
8-9	1375	150	8,2	0,57	0,10	0,67
9-10	1375	150	6,3	2,9	0,08	2,98
10-11	1375	150	1,2	0,8	0,02	0,82
11-12	1375	150	3,2	1,0	0,04	1,02
12-13	1375	125	0,52	13,8	0,02	13,82
						20,03

Втрати тиску на обладнанні, що проектується, мають такі значення:

- фільтр = 0,28 кПа (1шт.)

- клапан = 0,4 кПа (1шт.), 0,8 кПа (2шт.)

- діафрагма = 2,9 кПа (1шт.)

- заслінка = 0,18 кПа (1шт.)

- перехід 150/125 = 1,3 кПа (1шт.)

- перехід 300/150 = 0,57 кПа (1шт.)

- пальник = 12,5 кПа (1шт.)

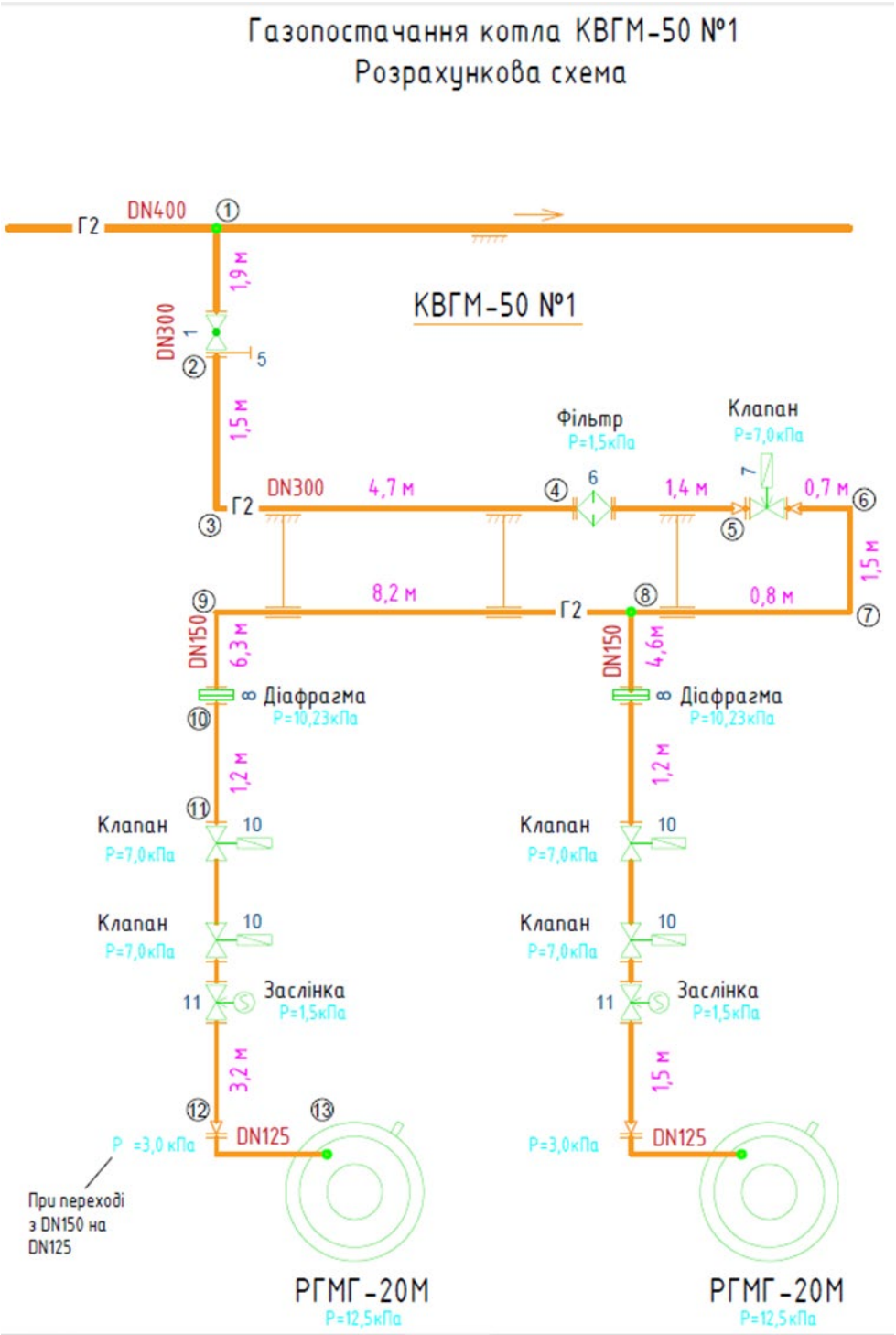


Рис. Розрахункова схема ділянки газопроводу

7.ОРГАНІЗАЦІЯ БУДІВЕЛЬНО-МОНТАЖНИХ РОБІТ

Календарне планування виконання робіт

Під календарним планом розуміють проектно-технологічний документ, яким встановлюються послідовність, інтенсивність та строки виробництва робіт, а також потребу в ресурсах. Кінцевим результатом календарного планування являється складання розкладу (графіка) плануючих робіт для виконавців будівельних організацій, бригад, змін, що визначають календарні строки початку та закінчення їх виконання, також виявлення кількості потрібних в проміжок часу матеріалів (труб, конструкцій та ін.) і технічних (машин, механізмів) ресурсів.

Головною задачею календарного планування являється складання такого розкладу робіт (календарного плану), який був би оптимальним по прийнятому критерію його оцінки та одностроково задовольнив би межі, що враховують реальні умови виробництва.

Порядок розробки календарного плану такий: визначають перелік і об’єм робіт, які необхідно виконати для зведення даного об’єкта, методи виконання кожного виду робіт і вибирають необхідні будівельні машини і механізми; розраховують у людино-днях і машино-змінах трудомісткість робіт; встановлюють змінність робіт; виявляють технологічну послідовність і тривалість кожної з робіт, визначають склад бригад (ланок); а потім складають праву частину плану і за необхідності коригують календарний план за термінами чи за ресурсами.

Шифр роботи (гр.1) відповідає шифру цієї ж роботи за сітьовим графіком, тому ця графа заповнюється після побудови та оптимізації сітьової моделі.

Перелік робіт (гр.2) складають у технологічній послідовності їхнього виконання. При цьому окремі дрібні суміжні роботи згруповують, а їхню трудомісткість підсумовують і показують у гр.8 чи в гр.9 одним рядком. Не слід поєднувати роботи, що виконують різні виконавці.

Трудомісткість робіт і витрати машинного часу розраховують за нормативними витратами часу на виконання кожної роботи з урахуванням

можливого росту продуктивності праці. Норми часу на виконання окремих будівельно-монтажних робіт наведені у відповідних збірниках ресурсних елементних норм ДБН Д.2.2. (дод. 5, 6). Мінімальний склад бригади чи ланки для виконання окремої роботи можна прийняти за дод. 7 [14], а необхідна кількість робітників (гр. 11) приймається залежно від необхідної тривалості виконання даної роботи.

Норми часу на виконання будівельних і монтажних робіт приймають за збірниками єдиних норм часу та розцінок (ЕНиР), які є більш детальними порівняно з ДБН.

Графік робіт (гр.14) являє собою лінійне зображення технологічного процесу монтажу систем. Кожній роботі відповідає лінія, довжина якої відповідає тривалості виконання даного процесу. При роботі в дві зміни показують дві паралельні лінії. Над лініями вказують кількість робітників, залучених до виконання робіт.

Побудова сіткового графіка

Елементами комплексу робіт, зображеного сітьовим графіком, є роботи і події. Робота – це трудовий процес, у якому беруть участь люди, машини, механізми (монтаж трубопроводів, повітропроводів, устаткування, випробування й ін.) чи процес очікування, тобто технологічна чи організаційна перерва (твердіння бетонного фундаменту під вентобладнання чи насоси, сушіння пофарбованих поверхонь, час витримки при випробуваннях трубопроводів, переїзд бригад робітників з одного об’єкта на інший). Робота, як трудовий процес, вимагає витрат часу і ресурсів, як очікування – тільки часу. Зображують роботу суцільною лінією зі стрілкою в напрямку послідовності технологічних процесів. Над лінією вказують найменування роботи, під лінією – тривалість виконання роботи, інші необхідні дані.

Для відображення правильного взаємозв'язку робіт при побудові сітьового графіка вводять поняття фіктивна робота (залежність), що означає залежність

початку однієї роботи від закінчення іншої. Фіктивна робота чи залежність не вимагає затрат часу і ресурсів. Зображують її на графіку пунктирною лінією зі стрілкою. Лінії, що зображують на графіку роботи, можуть бути як прямими, так і ламаними без масштабу. Роботи на графіку розташовують у напрямку зліва направо у порядку, що характеризує технологічну послідовність виконання робіт у виробничому процесі.

Подія – це факт закінчення однієї чи декількох робіт, необхідний і достатній для початку наступних робіт. На сітьових графіках є події, що не мають безпосередньо попередніх чи безпосередньо наступних робіт. Такими подіями є *вихідні* та *завершальні*. Події зображують на графіку кружками, цифра в кружку означає номер події.

Шифр роботи визначають двома цифрами, що позначають номер початкової і кінцевої події даної роботи.

Побудова графіків зміни чисельності робітників на об’єкті

1. Опалення;

Коефіцієнт зміни чисельності робітників на об'єкті:

$$K = \frac{n_{\max}}{n_{сер}} = \frac{n_{\max}}{\frac{n_1 \cdot t_1 + n_2 \cdot t_2 + n_3 \cdot t_3 + n_4 \cdot t_4 + n_5 \cdot t_5 + n_6 \cdot t_6 + n_7 \cdot t_7}{T}} =$$

$$= \frac{9}{\frac{6 \cdot 1 + 4 \cdot 1 + 9 \cdot 4 + 2 \cdot 2 + 3 \cdot 3 + 2 \cdot 2 + 2 \cdot 2}{15}} = 1{,}3$$

Де, n_{max} - максимальне число робітників, чол.

$N_{сер}$ - середня кількість робітників, чол.

t - час виконання роботи, днів.

2. Вентиляція:

Коефіцієнт зміни чисельності робітників на об'єкті:

$$K = \frac{n_{\max}}{n_{сер}} = \frac{n_{\max}}{\frac{n_1 \cdot t_1 + n_2 \cdot t_2}{T}} = \frac{7}{\frac{2 \cdot 2 + 7 \cdot 4}{6}} = 1{,}2$$

8.ОХОРОНА ПРАЦІ

Аналіз потенційних, небезпечних та шкідливих виробничих факторів, що виникають під час роботи

№	Небезпечні і шкідливі виробничі фактори	Джерела факторів (види робіт)	Кількісні оцінки	Нормативні документи
1	2	3	4	5
1	Транспортні машини та їх робочі органи	Транспортні роботи: підвезення матеріалів та конструкцій	Швидкість руху на прямих ділянках-10 км/год на поворотах 5км/год	ДБН А.3.2-2 2009 Розділ 8 ДБН А.3.1-5-2009
2	Падіння людини з висоти	Монтажні роботи Опоряджувальні: а)зовнішні а)внутрішні	h=32,0 м h=32,0 м h=2,7 м	ДБН А 3.2-2-2009 Розділ 14 розділ 15

Діюча система охорони праці (трудове законодавство, виробнича санітарія і техніка безпеки) забезпечує належні умови праці робітникам - будівельникам-монтажникам, підвищення культури виробництва, безпека робіт і їхнє полегшення, що сприяє підвищенню продуктивності праці. Створення безпечних умов праці в будівництві тісно зв'язано з технологією й організацією виробництва.

Відповідальність за безпеку робіт покладена в законодавчому порядку на технічних керівників будівництва - головних інженерів і інженерів по охороні праці, виконавців робіт і будівельних майстрів.

Керівники будівництва зобов'язані організувати планування заходів щодо охорони праці і протипожежній техніці і забезпечити проведення цих заходів у встановлений термін.

Поліпшення організації виробництва, створення на будівельному майданчику умов праці, що усувають виробничий травматизм, професійні захворювання й забезпечуючи нормальні санітарно - побутові умови - одна з найважливіших задач, від успішного рішення якої залежить подальше підвищення продуктивності праці на будівництвах.

Таблиця 7.1.1

3	Падіння конструкцій і матеріалів з висоти	Монтажні, покрівельні, опоряджувальні а)зовнішні б)внутрішні навант-розвант	h=32,0м h=8,0м h=32,0м h=2,7м h=32,0м	ДБН А 3.2-2-2009 Розділ 14 Розділ 17 Розділ 15
4	Ураження електричним струмом	електромонтажні, зварювальні, освітлення, машини й механізми	220В, 380В 6000/380В, <25В 380В	ДСТУ Б.А.3.2-13:2011 ПУЕ-2017 ДБН А.3.2-2-2009 НПАОП 40.1-1.21-98
5	Вплив шкідливих речовин	Зварювальні: ацетилен Опоряджувальні: Ацетон	ГДК 300мг/м^3 ГДК 200мг/м^3	НПАОП 0.00-5.23-16 ГОСТ 12.1.005-88

6	Виробничий шум	Роботи з інструментом, механізмами, експлуатація машин	< 80дБ А < 80дБ А < 80дБ А	ГОСТ 12. 1.003 -83* ДСН 3.3.6-037-99
7	Недостатнє освітлення робочих місць	монтаж конструкцій, монтажні, опоряджувальні: внутрішні, зовнішні,	30лк 30лк 30лк 50лк 30лк	ДСТУ Б.А.3.2-15-2011 ДБН А.3.2-2-2009 ДБН В.2.5-28-2018
8	Незадовільні параметри мікроклімату	Монтаж, експлуатація систем	t=20-22˚С f=60-46% v=0,3 м/с	ГОСТ 12.1.005-88 ДСН 3.3.6.042-99
9	Атмосферна електрика	Захист від блискавки	II катег.	ДСТУ Б.В.2.5-38-2008 ДСТУ EN 62305-3:2012
10	Пожежна безпека	Захист від пожежі	II ступ. вогнестійк. категор. пож.безп В	ДБН В.1.1-7-2016 ДБН В.1.2-7-2008 ДСТУ Б.В.1.1.-36:2016

Заходи профілактики виявлених факторів

Загальні вимоги безпеки

Проїзди, проходи та робочі місця необхідно регулярно чистити, не загороджувати, а в зимовий період посипати піском.

Майданчики для вантажних та розвантажувальних робіт повинні бути спланованої та мати уклін не більше 5.

Вхід до будинку, що споруджується, повинно бути захищено зверху суцільним козирком шириною не менше ширини входу з вилітом на відстань не менше 2 м від стіни будинку.

Робочі, інженерно-технічні працівники та службовці повинні бути забезпечені спецодягом, спецвзуттям та іншими засобами індивідуального захисту . До початку виконання основних будівельно-монтажних робіт повинні бути встановлені санітарно-побутові приміщення, в яких розташовані приміщення під влаштування аптечок з медикаментами та засобами для здійснення першої допомоги потерпілим.

Міри профілактики потенційно-небезпечних і шкідливих факторів

При організації будівельного майданчику проектом передбачено:

- будівельний майданчик обнесено захисно-охоронною огорожею висотою 3 м із захисними козирками для обмеження доступу сторонніх осіб;

- зони постійно і потенційно діючих небезпечних факторів огородженні інвентарною захисною огорожею висотою 1,2 м;

- безпечність роботи в темний період доби забезпечується освітленням проїздів, проходів, складських майданчиків, робочих місць. Виробництво робіт в неосвітлених місцях заборонено.

Організація будівельного майданчика

Експлуатацію будівельних машин (механізмів, засобів малої механізації), включаючи технічне обслуговування, повинно здійснювати згідно вимогам ДБН

А.3.1-5-09 і індустрії заводів-виробників. Технічне обслуговування машин повинно здійснюватись тільки після зупинення двигуна і зняття тиснення в гідравлічній та пневматичній системах, крім тих випадків, які передбачені інструкцією завода-виробника.

При виїзді і в'їзді на будівельний майданчик встановлена схема руху автотранспорту. Місце роботи машин виявлено так, щоб було забезпечено простір, достатній для огляду робочої зони і маневрування.

При застосуванні ручних машин належить дотримуватись правил безпечної експлуатації, які передбачені, а також інструкціями заводів-виробників.

Падіння людей з висоти

Організація робочого місця повинна забезпечувати безпеку праці, а також безпечний та зручний доступ до робочого місця. Однією з основних вимог безпечної праці по відношенню до організації безпечних умов праці монтажників сантехнічного обладнання — є застосування захисних пристосувань в місцях виконання робіт.

Безпека працюючих на висоті при прийманні, встановленні та проектному закріпленні конструкції забезпечує, як правило, застосування засобів колективного захисту. При цьому найбільш часто застосовуються приставні сходи з робочими площадками, металеві площадки, підмостки і.т.п.

Поряд з вище перерахованими засобами колективного захисту в даний час застосовуються захисні сітки з синтетичних матеріалів : капронові та лавсанові.

Монтажні площадки, навісні драбини та інші засоби, необхідні для роботи монтажників на висоті, встановлюють і кріплять на монтуючих конструкціях до їх підйому. При монтажі конструкцій, при зварювальних роботах користуються монтажними каркасами. На підмостях є огородження висотою 0.9м. При покрівельних роботах робочі застосовують запобіжні паси та індивідуальні засоби захисту, необхідно зробити огородження висотою 1,5м.

Падіння конструкцій та інших предметів

Падіння предметів з висоти в процесі монтажу являється одним з найбільш вирішальних факторів профілактики виробничих травматизмів. Вдосконалення монтажу конструкцій ведеться по наступним основним напрямком: зниження маси конструкцій, укрупнення розмірів і зменшення кількості типорозмірів збірних елементів. Аналіз причин травматизму при монтажу показав , що більша частина нещасних випадків виникає з людьми таким чином: падіння монтажних конструкцій; падіння працюючих з висоти; не вдосконалення і помилки при виборі монтажної оснастки, недосконалий або несправний стан механізмів і машин, а також електричного устаткування та іншими факторами (недостатнє освітлення, незадовільною послідовністю виконаних робочих операцій і т.п.)

Падіння працюючих з висоти відбувається при наводці, установці і закріпленні елементів збірних конструкцій при растроповці, остаточному оформленні вузлів і особливо при переміщенні на нове робоче місце.

Елементи монтованих конструкцій або обладнання під час переміщення утримують від розгойдування і обертання гнучкими відтяжками. Під час перерв у роботі не дозволено залишати підняті елементи конструкцій і обладнання на висоті. Не дозволено знаходження людей під монтажними елементами конструкцій і обладнання до установки їх у проектне положення і закріплення. Розстропування конструкцій встановлених у проектне положення проводять лише після тимчасового або постійного закріплення. для підйому використовувати вантажо-захисні засоби, вибрані у відповідності з проектом.

Розташування зв'язків, які забезпечують стійкість закріплених конструкцій, вирішується в проекті виробництва робіт.

Заходи профілактики ураження електричним струмом

При виконанні електрозварювальних робіт існує небезпека ураження електричним струмом внаслідок несправності зварювального апарату чи мережі заземлення, невірного підключення зварювального обладнання до мережі, несправної електропроводки і невірного ведення зварювальних робіт. Ураження

електричним струмом може виникнути при торканні до напруговедучих частин зварювального обладнання.

Всі струмоведучі випадкового дотику металеві частини (зварювальний апарат) заземлені. В місцях монтажних ділянок встановлені розподільчі щити, що дають змогу включати все обладнання. При прокладання та переміщенні зварюючих проводів прийняти міри проти пошкодження їх ізоляції і доторкання води, масла, металевими канатами. Відстань від зварювальних проводів до гарячих трубопроводів і балонів з киснем не менше 0,5м, а з гарячими газами – не менше 1,0м. Захисне заземлення зварювального трансформатору із L50x50=2500 мм. Лінії електропередачі над дорогою виконати на висоті 6 м., над проходами 3,5м., над робочими місцями 2,5м.

При виконання робіт поблизу струмоведучих частин, які знаходяться під напругою, існує небезпека випадкового до них торкання.

Основні ізолюючі електрозахисні засоби, які можуть довгий час витримувати робоче напруження та їх використання дає можливість торкання до частин електроустановки яка знаходиться під напруженням (до 1000В). До них відносяться діелектричні гумові рукавиці, інструмент з ізольованими рукоятками, струмошукачі, в електроустановках напруженням вище 1000В - ізолюючі штанги, ізолюючі та струмоведучі клещі.

Шкідливі речовини

Основним джерелом виділення шкідливих газів при проведенні монтажу

сантехнічних систем є зварювальні роботи, при проведенні яких виділяється значна кількість шкідливих оксидів. Для уникнення впливу газів на організм працюючих при виконанні зварювальних робіт потрібно використовувати засоби індивідуального захисту органів дихання, а також слідкувати за наявністю природного видалення шкідливостей та асиміляції їх до ГДК.

Виробничий шум

Шумом називається різний небажаний звук. Це сукупність звуків різної частоти та інтенсивності.

До технологічних заходів по боротьбі з шумом відноситься вибір таких технологічних процесів, в котрих використовуються механізми та машини, які збуджують мінімальні динамічні навантаження.

Для захисту працюючих в виробничих приміщеннях з шумним обладнанням, застосовуються: звукоізоляція допоміжних приміщень, суміжних з шумною виробничою ділянкою; кабіни наглядання та дистанційного управління; акустичні екрани та звукоізоляційні кожухи; обробку стін та стелі звукопоглинаючим облицюванням або застосування штучних поглиначів.

В необхідних випадках засоби колективного захисту доповнюються застосуванням засобів індивідуального захисту від шуму у вигляді різних навушників, вкладишів, шлемів.

Для забезпечення нормативного шумового режиму проектом передбачено комплекс шумозахисних заходів, а саме:

- підлога теплового пункту виконується “плаваючою” (по шару піску товщиною 50 мм) та відокремлюється від стін пружними прокладками
- використовуються малошумні насоси й електродвигуни;
- насоси встановлюються на фундаментах.

Для забезпечення нормативного шуму в приміщеннях і на прилеглій території передбачаються наступні заходи:

- на припливних та витяжних повітропроводах систем вентиляції встановлені шумогасники;
- підключення повітропроводів до вентиляторів – за допомогою гнучких вставок;
- циркуляційні насоси застосовуються з еластичним підключенням трубопроводів;
- в підлозі венткамери передбачається влаштування теплозвукоізолюючого шару;

– швидкості повітря в повітропроводах і решітках, а також води в трубопроводах не перевищують нормативні.

Освітленість робочих місць

Освітленість на робочих місцях повинна відповідати характеру зорової роботи. Збільшення освітленості робочих поверхонь підвищує продуктивність праці. Однак існує межа, при якій подальше збільшення освітленості не дає ефекту та є економічно недоцільними.

Достатньо рівномірне розподілення яскравості на робочій поверхні. При нерівномірній яскравості в процесі праці очі вимушені переадаптуватися, що призводить до стомлення зору.

Для ділянок, де проводиться монтаж системи вентиляції та опалення передбачено рівномірне освітлення. При цьому освітленість повинна бути не менше 30 лК.

При недостатньому природному освітленні та для освітлення в той період, коли природного світла недостатньо або воно відсутнє, передбачено штучне електричне освітлення.

Атмосферна електрика

Залежно від імовірності викликаного блискавкою пожежі або вибуху, виходячи з масштабу можливих руйнувань і шкоди дана будівля належить до II категорії. Відповідно до норм, будівлі II категорії підлягають блискавкозахисту в місцевостях з грозовий діяльністю 20 год і більше на рік, а тип зони захисту блискавковідводів залежить від ступеня вогнестійкості будинку. Для даного об'єкта передбачена зона захисту типу А, що володіє ступенем надійності 99.5%. Для блискавкозахисту будівлі від прямих ударів блискавки (первинний вплив), блискавковідводи виконують окремостоячими або встановлюють на будинку (але ізольовано від нього) стержневі блискавковідводи, які виготовляють із смугової, круглої сталі, водогазопровідних труб площею перетину не менше 100мм^2 і довжиною не менше 200мм.

Пожежне забезпечення

Пожежна безпека – це стан об’єкта, при якому з заданою ймовірністю виключається ймовірність пожежі, а при її виникненні забезпечуються умови для виявлення, обмеження поширення, захист людей та матеріальних цінностей.

Джерелом пожежі може бути згоряння електроізоляції кабелів при короткому замиканні або дії обслуговуючого персоналу, що порушують правила пожежної безпеки (використання відкритого вогню, паління в недоступних місцях).

Технічні рішення системи запобігання пожежі:

- застосування електрообладнання, що задовольняє вимогам електростатичної електробезпеки по ГОСТ 12.1.018 – 79;
- застосування захисту від короткого замикання на розподільному щиті теплового пункту;
- будинок має громовідвід.

Технічні рішення системи протипожежного захисту:

Для всієї будівлі проектні рішення систем опалення, вентиляції та кондиціонування передбачають противибухові та протипожежні заходи у відповідності з вимогами норм та правил.

На виробництві і будівельній площадці повинно бути організовано навчання всіх робочих правил пожежної безпеки і діям на випадок виникнення пожежі. Працівників, які не пройшли інструктаж, не можна допускати на будівельні майданчики. Кожний працюючий на підприємстві повинен обов'язково виконувати вимоги пожежної безпеки, а також приймати міри протипожежних порушень і ліквідацію загорянь і пожеж, що виникають.

Незадовільні параметри мікроклімату

У приміщеннях, де проводяться монтажні роботи необхідно передбачити тимчасове опалення в холодний період року, надходження зовнішнього свіжого повітря та забезпечити нормовану швидкість руху повітря, відкриті прорізи

дверей або вікон завісити поліетиленом або щільною тканиною для запобігання протягам.

Для запобігання переохолодження робітників, їм виданий теплий одяг, взуття. Спецодяг повинен бути повітро- та вологопроникним (бавовняним, з льону, грубововняного сукна), мати зручний крій. Для захисту голови від теплового опромінення застосовують дюралеві, фіброві каски, повстяні капелюхи; очей - окуляри (темні, або з прозорим шаром металу); обличчя - маски з відкидним прозорим екраном. Захист від дії зниженої температури досягається використанням теплого спецодягу, а під час опадів - плащів та гумових чобіт.

Встановлений такий режим роботи, за яким є періодичні перерви для підігріву в спеціальних приміщеннях. Всі роботи на відкритому повітрі при швидкості вітру більше 15 м/с в умовах низьких температур заборонено за ГОСТ 12.1.005-88, ДБН А.3.2-2-2009.

При внутрішніх роботах, для нормалізації мікроклімату також необхідно організувати достатній повітрообмін в приміщенні шляхом провітрювання.

РОЗРАХУНОК ТЕРМІНУ ОКУПНОСТІ РЕКОНСТРУКЦІЇ СИСТЕМИ

Розрахунок економії електроенергії при переході на якісно-кількісне регулювання

Якісно-кількісне регулювання здійснюється шляхом зміни температури в декількох діапазонах опалювального періоду та шляхом зміни витрати на границі цих діапазонів.

Тому для визначення величини економії необхідно визначити затрати електроенергії на перекачку мережної води для декількох варіантів:

1. -22℃ ⟶ 35,86 Гкал/год ⟶1437 м^3/год;
2. -13℃ ⟶ 27,79 Гкал/год ⟶1238 м^3/год;
3. -3℃ ⟶ 18,83 Гкал/год ⟶1018 м^3/год;
4. +8℃ ⟶ 8,96 Гкал/год ⟶774 м^3/год.

Затрати електроенергії на перекачку мережної води визначається за формулою:

$$З = \frac{G \cdot h}{3{,}6 \cdot \eta} \cdot Ц \text{ , грн}$$

G – витрата мережної води, м^3/год.

h – напір в мережі, м.вод.ст.

η – ККД насосної установки.

Ц – ціна електроенергії, грн.

1. $З = \frac{1437 \cdot 51}{3{,}6 \cdot 74} \cdot 4{,}0428 = 1112{,}18$ грн
2. $З = \frac{1238 \cdot 51}{3{,}6 \cdot 74} \cdot 4{,}0428 = 958{,}16$ грн
3. $З = \frac{1018 \cdot 51}{3{,}6 \cdot 74} \cdot 4{,}0428 = 787{,}89$ грн
4. $З = \frac{774 \cdot 51}{3{,}6 \cdot 74} \cdot 4{,}0428 = 599{,}04$ грн

Для більшого розуміння величини економії електроенергії, порівняємо два методи регулювання теплоти: якісний метод регулювання та якісно-кількісний метод регулювання.

Значення занесемо до таблиці 1.

Таблиця 1.

Назва методу регулювання	-22°С 1437 м^3/год	-13°С 1238 м^3/год	-3°С 1018 м^3/год	+8°С 774 м^3/год
Якісно-кількісний	1112,18	958,16	787,89	599,04

Якісне регулювання – здійснюється шляхом зміни температури теплоносія при постійній витраті.

Таблиця 2.

Назва методу регулювання	-22°С 1437 м^3/год	-13°С 1440 м^3/год	-3°С 1436 м^3/год	+8°С 1427 м^3/год
Якісний	1112,18	1114,50	1111,41	1104,44

З проведених розрахунків робимо висновок, що при переході на якісно-кількісне регулювання, затрати електроенергії на перекачку мережної води значно зменшуються.

Таблиця показує, що при температурі -13°С затрати електроенергії, при використанні якісно-кількісного методу регулювання, зменшуються на 156,34 грн, при температурі -3°С - на 323,52 грн, а при температурі +8°С - на 505,4 грн.

Висновок

Скорочення запасів паливно-енергетичних ресурсів приводить до стрімкого зростання дефіциту і вартості органічних видів палива. Часто відбуваються погіршення хімічного складу палива, зниження його калорійної здатності, відхилення від стандартів якості унаслідок введення низькокалорійних інгредієнтів і збільшення частки внутрішнього баласту. Прискорена корозія устаткування нерідко створює аварійно-небезпечні ситуації, а погана якість палива знижує ККД теплоагрегатов і приводить до забруднення атмосфери.

Негативно на експлуатацію котельного устаткування впливає необгрунтована децентралізація теплопостачання, несанкціонований відбір теплоносія, переоснащення без заходів щодо модернізації існуючого устаткування в низькотемпературні режими експлуатації, зниження потужності котлів за рахунок низького тиску газу, порушення режимних карт, відкладення накипу на конвективних поверхнях теплообміну, підвищені витрати споживаної електроенергії, порушення регламенту ремонту, матеріальний і моральний знос допоміжного устаткування і теплових мереж. Перераховані чинники приводять до недопалу палива, корозії і передчасного виходу з ладу устаткування, зниження якості теплопостачання і обгрунтованих претензій споживачів.

Ситуація, що склалася, вимагає негайного вирішення комплексу питань модернізації системи генерації і розподілу теплової енергії, а також використання маловитратних методів для продовження термінів служби існуючого устаткування. Остання обставина викликана тим, що повну заміну існуючого устаткування на нове неможливо провести в короткі терміни через відсутність необхідних грошових коштів. Тому, технічне переоснащення і модернізація котельного устаткування є на сьогоднішній день важливим завданням [16].

Визначення ефективності роботи котельного устаткування повинне починатися з проведення енергоаудиту, в ході якого вивчається не тільки

технічний стан устаткування, але і структурні, організаційні і економічні чинники, що впливають на його експлуатацію. Зокрема, необхідно визначити щорічне споживання енергії із з'ясуванням об'ємів закупівлі і власної генерації, а також використання і розподіли енергії з визначенням її вартості і співвідношення вартісних показників по різних видах енергії (електроенергія, газ, мазут, вода, теплота, пара, повітрязабезпечення, хладозабезпеченя і тому подібне). Круг питань необхідних для ухвалення правильних рішень включає:

- З'ясування сезонних, місячних, добових, годинних коливань споживання енергії і її похідних;
- Визначення тарифів на енергію і паливо з розглядом схеми оплати;
- Визначення способу використання енергії, залежно від виробничих і невиробничих потреб, виду продукції або робіт, складання балансу споживання енергії по видах;
- Визначення ефективності роботи систем і устаткування з використанням інструментального контролю, візуального огляду, проведення необхідних вимірів, обстеження стану устаткування;
- Визначення максимального, середнього і мінімального навантаження;
- Зіставлення фактичних і проектних характеристик устаткування і систем, вироблення переліку пропонованих заходів;
- Аналіз попередніх заходів, що проводяться на підприємстві для скорочення енергоспоживання;
- Аналіз можливостей енергозбереження в процесі поточної експлуатації і можливостей по їх реалізації;
- Опис можливостей енергозбереження, з розробкою варіантів використання різного устаткування і технологічних схем;
- Розрахунок мінімальної і максимальної вартості пропонованих варіантів модернізації і переоснащення устаткування;
- Розрахунок річних витрат і економії енергії по її видах;

- Розробку пропозицій по моніторингу роботи генераторів теплоти і температурного режиму тепловикористуючого устаткування з розрахунками його вартості, річній економії і оцінкою термінів окупності;
- Методи підвищення ефективності джерел теплової енергії;
- Зусилля по підвищенню ефективності роботи котельного устаткування, направлені на скорочення втрат теплової енергії з газами, що йдуть, втрат в результаті хімічного і механічного недопалу, ізоляцію котельного устаткування і трубопроводів. Механічний і хімічний недопал усуваються, як правило, проведенням эколого-теплотехничної наладки устаткування або заміною пальникового пристрою на досконаліший. Скорочення нераціонального виробництва і розподілу теплоти забезпечується установкою сучасних систем автоматики котлів з погодним регулюванням;
- Зниження температури димових газів, що йдуть, передбачають зміну режиму експлуатації, що не завжди здійснимо, у зв'язку з появою конденсату в устаткуванні і димарях, недогріванням теплоносія і нераціональним режимом експлуатації котлоагрегата [17].

Треба відзначити, що при конструюванні котлів в колишні роки, конструктори прагнули скоротити металоємність котлів і забезпечити їх високу ремонтопридатність, і, з цією метою, орієнтувалися на високотемпературні режими експлуатації котлів, мало піклуючись про економію паливно-енергетичних ресурсів. Результатом цього є те, що знаходиться в експлуатації сьогодні устаткування представлене в основному водотрубними котлами, що мають знижені об'єми котельної води, погано автоматизованими і часто обладнаними примітивними пальниковими пристроями. Проте в сьогоднішніх економічних умовах, це устаткування немає можливості вивести з експлуатації.

Тому необхідні технічні заходи, що дозволяють підвищити ККД котлів, понизити шкідливі викиди в атмосферу і продовжити терміни їх роботи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.2.5-67: 2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. – К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. – Чинні від 01.09.2013 – 167 с.
2. ДСТУ–Н Б В.1.1-27: 2010. Будівельна кліматологія.
3. Методичні вказівки до курсового проекту "Гаряче водопостачання та тепловий пункт жилого будинку" для студентів напряму підготовки 6.060101 «Будівництво» професійного спрямування "Теплогазопостачання та вентиляція" усіх форм навчання /Укладачі: О.В. Гвоздецький, В.І. Романтовський, І.І. Улан-ченко. – Харків: ХНУБА, 2015. – 88 с.
4. Теплові мережі. Інженерне обладнання будинків і споруд. Зовнішні мере- жі та споруди: ДБН В.2.5-39:2008. – [Чинні з 2008-01-07]. – Офіц. вид. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 56 с. – (Державні будівельні норми України).
5. ДСТУ Б А.2.4-1:2009. СПДБ. Умовні зображення і позначення трубопро- водів та їх елементів.
6. ДСТУ Б А.2.4-8:2009. СПДБ. Умовні графічні зображення і познаки еле- ментів санітарно-технічних систем.
7. П.М. Єнін, Н.А. Швачко. Теплопостачання. – К.: Кондор, 2007. – 242с.
8. Методичні вказівки до виконання розділу «Теплотехнічний розрахунок і підбір огороджувальних конструкцій» курсового проекту / уклад.: Ю.К. Росковшенко, О.П. Любарець, М.П. Сенчук, В.О. Мілейковський, В.О. Любарець. – К.: КНУБА, 2013. – 32 с.
9. Методичні вказівки до виконання розділу «Гідравлічний розрахунок систем водяного опалення» курсового проекту з дисципліни О85 опалення для студентів напрямку підготовки 6.060101 «Будівництво» за професійним спрямуванням «Теплогазопостачання і вентиляція» / Уклад.: О.П.Любарець, М.П.Сенчук, В.О.Мілейковський, В.О.Любарець. – К.: КНУБА, 2015. – 40с.
10. Методичні рекомендації до практичних занять, курсового та дпломногопроектування з курсу “Опалення” на тему: “Тепловий розрахунок

опалювальних приладів систем водяного опалення” для студентів спеціальності 7.092108 ."Теплогазопостачання і вентиляції"/Укл. Є.С.Зайченко – К.: КНУБА, 1999. – 36 с.

11. Методичні рекомендації до практичних занять, курсового та дипломногопроектування з курсу “Опалення” на тему: “Тепловий розрахунок опалювальних приладів

12. ДСТУ Б EN 12831:2008. Системи опалення будівель. Метод визначення проектного теплового навантаження.

13. Методичні вказівки до виконання розділу «Теплотехнічний розрахунок іпідбір огороджувальних конструкцій» курсового проекту / уклад.: Ю.К. Росковшенко, О.П. Любарець, М.П. Сенчук, В.О. Мілейковський, В.О. Любарець. – К.: КНУБА, 2013. – 32 с.

14. Любарець О.П., Зайцев О.М., Любарець В.О. Проектування систем водяного опалення. Посібник для проектувальників, інженерів і студентів технічних ВНЗ. – Відень-Київ-Сімферополь: Bello-print (Болгария), 2010, 200 с.

15. Методичні вказівки до виконання розділу «Теплова потужність систем водяного опалення» курсового та дипломного проектів з дисципліни опалення для студентів спеціальності «Будівництво та цивільна інженерія» спеціалізації

«Теплогазопостачання і вентиляція»./ Уклад.: О.П.Любарець, М.П.Сенчук, В.О.Любарець. – К.: КНУБА, 2016. – 34с.

16. Енергетична ефективність будівель: методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи / уклад. К.М.Предун, О.В.Скороход,А.С.Москвітіна - К.: КНУБА, 2018 - 76с.