

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
КАФЕДРА ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ ТА ГІДРОЕНЕРГЕТИКИ

Кваліфікаційна робота
другий магістерський
(рівень вищої освіти)

на тему Аналіз емісії парникових газів при використанні різних видів палива

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1449
спеціальності 144 Теплоенергетика
(код і назва спеціальності)
освітньої програми «Теплоенергетика»
(код і назва освітньої програми)
спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)

Горшкова Ю. Д.
(ініціали та прізвище)

Керівник доцент, к.т.н. В.В. Радченко
(посада, вчене звання, науковий ступінь, підпис, ініціали та прізвище)

Рецензент к.т.н., доц. М.Ю. Бердишев
(посада, вчене звання, науковий ступінь, підпис, ініціали та прізвище)

Запоріжжя
2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра теплоенергетики та гідроенергетики
Рівень вищої освіти другий магістерський
Спеціальність 144 Теплоенергетика
(код та назва)
Освітня програма Теплоенергетика
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

« 14 » грудня 2020 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Горшківій Юлії Дмитрівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проекту) Аналіз емісії парникових газів при використанні різних видів палива.

керівник роботи Радченко Віталій Васильович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від «25» травня 2020 року № 601-с


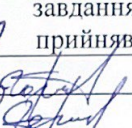
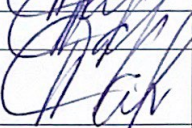
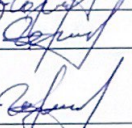
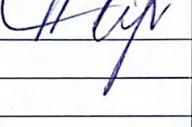
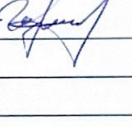
2 Строк подання студентом роботи 01 грудня 2020 р.

3 Вихідні дані до роботи тип котлів - КВ-ГМ-35-150М. Теплопродуктивність 41,31 ГДж/год. ККД котла (брутто) 91,68.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Загальна характеристика об'єкту дослідження. 2. Проведення теплових випробувань 3. Обробка результатів дослідження. 4. Розробка заходів з охорони праці і техніка безпеки.

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
1. Схема розташування точок виміру 2. Залежність коефіцієнта надлишку повітря в димових газах котла КВ-ГМ-35-150 від теплопродуктивності 3. Залежність втрат теплоти з відхідними газами від теплопродуктивності котла КВ-ГМ-35-150 4. Залежність температури відхідних газів. від теплопродуктивності котла КВ-ГМ-35-150. 5. Залежність втрат теплоти в навколишнє середовище від теплопродуктивності котла КВГМ-35-150. 6. Графік залежності ККД брутто котла від теплопродуктивності.

6 Консультанти розділів роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|---------------|---|--|---|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| 1 розділ | Радченко В.В. доцент ТГЕ |  |  |
| 1 розділ | Радченко В.В. доцент ТГЕ |  |  |
| Охорона праці | Радченко В.В. доцент ТГЕ |  |  |
| | | | |
| | | | |
| | | | |


7 Дата видачі завдання 1.06. 2020 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|--|-------------------------------|----------|
| 1 | Загальна характеристика об'єкту дослідження. | 1.06.2020-1.08.2020 | |
| 2 | Проведення теплових випробувань | 1.08.2020-1.09.2020 | |
| 3 | Обробка результатів дослідження | 1.09.2020-1.10.2020 | |
| 4 | Розробка заходів з охорони праці і техніки безпеки | 1.10.2020-1.11.2020 | |
| 5 | Розробка графічного матеріалу та презентації | 1.11.2020-1.12.2020 | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

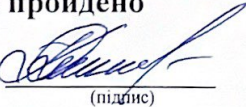
Студент  (підпис)

Горшкова Ю.Д.
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту)  (підпис)

Радченко В.В.
(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер  (підпис)

Ю.М. Каюков
(ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Горшкова Ю. Д. Аналіз емісії парникових газів при використанні різних видів палива.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 144 – Теплоенергетика, науковий керівник В.В. Радченко. Запорізький національний університет. Інженерний навчально – науковий інститут. Кафедра теплоенергетики та гідроенергетики, 2020.

Виконано аналіз впливу забруднюючих речовин на атмосферу при спалюванні природного газу на опалювальних котельнях. Виконано серію натурних експериментів у рамках еколого – теплотехнічних випробувань котлів. Визначені екологічні показники роботи котла. Побудовано ряд залежностей показників роботи котла від його продуктивності.

Ключові слова: коефіцієнт надлишку повітря, коефіцієнт корисної дії котла, парниковий ефект, продукти горіння.

ABSTRACT

Gorshkova Yu. Analysis of greenhouse gas emissions when using different types of fuel.

Qualification graduation work for the degree of higher education of master's degree in specialty 144 - Thermal power engineering, supervisor V. Radchenko Zaporizhzhya National University. Engineering educational and scientific institute. Department of Heat Power Engineering and Hydropower Engineering, 2020.

The analysis of the impact of pollutants on the atmosphere during the combustion of natural gas in heating boilers is performed. A series of field experiments within the ecological and thermal tests of boilers was performed. Ecological indicators of boiler operation are determined. A number of dependences of boiler performance indicators on its productivity are constructed.

Key words: excess air coefficient, boiler efficiency, greenhouse effect, combustion products.

АННОТАЦИЯ

Горшкова Ю. Д. Анализ эмиссии парниковых газов при использовании различных видов топлива.

Квалификационная выпускная работа для получения степени высшего образования магистра по специальности 144 - Теплоэнергетика, научный руководитель В.В. Радченко. Запорожский национальный университет. Инженерный учебно – научный институт. Кафедра теплоэнергетики и гидроэнергетики, 2020.

Выполнен анализ влияния загрязняющих веществ на атмосферу при сжигании природного газа в отопительных котельных. Выполнено серию натуральных экспериментов в рамках эколого - теплотехнических испытаний котлов. Определены экологические показатели работы котла. Построен ряд зависимостей показателей работы котла от его производительности.

Ключевые слова: коэффициент избытка воздуха, коэффициент полезного действия котла, парниковый эффект, продукты горения

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| ВСТУП..... | 7 |
| 1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ’ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ..... | 9 |
| 1.1 Спалювання палива та парниковий ефект..... | 9 |
| 1.2 Основні забруднювачі навколишнього середовища | 16 |
| 1.3 Характеристика котельної | 27 |
| 1.4 Технічна характеристика обладнання і палива | 28 |
| 1.5 Мета режимно-налагоджувальних робіт | 31 |
| 1.6 Обсяг та основні етапи налагоджувальних робіт | 33 |
| 1.7 Методика визначення валових викидів оксидів азоту та вуглецю і складання теплового балансу..... | 35 |
| 2 ЕКОЛОГО – ТЕПЛОТЕХНІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КОТЛА | 37 |
| 2.1 Методика і схема вимірів | 37 |
| 2.2 Методика і умови проведення теплових випробувань..... | 39 |
| 2.3 Обробка результатів експериментів (вимірів) | 39 |
| 2.3.1 Втрати теплоти від хімічної неповноти згоряння | 46 |
| 2.3.2 Втрати тепла в навколишнє середовище | 47 |
| 2.3.3 Визначення екологічних показників роботи котла | 54 |
| 2.4 Оцінка емісії парникових газів при використанні біогазу..... | 67 |
| 3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ НА КОТЕЛЬНІ..... | 74 |
| 3.1 Характеристика потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів..... | 74 |
| 3.2 Заходи зі зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів..... | 77 |
| 3.3 Виробнича санітарія..... | 77 |
| 3.4 Електробезпека..... | 78 |
| 3.5 Пожежна безпека..... | 82 |
| ВИСНОВКИ..... | 85 |
| ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ..... | 87 |

ВСТУП

Актуальність роботи. Інтенсивний розвиток цивільного і промислового будівництва, удосконалювання систем теплогазопостачання, підвищення вимог до мікроклімату будинків і споруджень, що оснащуються усе більш складними і різноманітними теплоспоживаннями, вимагають проведення робіт по вдосконаленню нового і реконструкції існуючих в експлуатації засобів, призначених для доставки різних видів теплової енергії до споживачів.

Об'єкт дослідження – підвищення продуктивності роботи котла центральної районної котельні - КВ-ГМ-35-150М, що працює на газовому паливі.

Предмет дослідження – районна котельня, що побудована за індивідуальним проектом та сконструйована для теплозабезпечення а також побутових потреб населення, підприємств, установ та організацій.

Мета роботи – Проаналізувати: сучасний стан експлуатації котелень і виявити недоліки, що виникають внаслідок незадовільного ведення топочного процесу; втрати в зв'язку з цим енергоносіїв. Визначення мінімально-стійкого і максимального фактичного навантаження котла, визначення присосів в газоповітряний тракт, та основних характеристик експлуатаційного режиму, проведення приблизних дослідів для визначення основних характеристик котла, топкової камери і пальників за даними аналізу вихідних газів.

Задачі дослідження. Для досягнення поставленої мети в роботі вирішуються наступні задачі:

- провести аналітичний огляд інформації по нормуванню витрат палива та інших техніко-економічних показників котельні.
- систематизувати інформацію по котельній установці, яка працює на природному газі.
- провести дослідження режимів роботи котельні;
- розробка рекомендацій для досягнення оптимальної економічності роботи основного та допоміжного устаткування котельної установки.

Методи та засоби дослідження. Використано розрахунково – дослідний метод, поєднуючи використання нормативних характеристик, заснованих на результатах дослідження і експлуатаційних даних, розрахунок окремих складових технологічного процесу.

Результати дослідження представляються у вигляді таблиць та графіків залежностей різних показників роботи обладнання котельної установки від теплопродуктивності котлоагрегату.

Практична цінність роботи полягає у тому, що результати роботи є основою для розробки рекомендацій з удосконалення режимів роботи основного і допоміжного обладнання котельні.

Апробація роботи. Результати роботи представлені на загальноуніверситетській конференції «Молода наука» 2020.

Структура та обсяг роботи. Магістерська робота включає вступ, три розділи, висновки та перелік джерел посилань з 42 позиції. Загальний обсяг складає 90 сторінок, у тому числі 12 рисунків та 7 таблиць.

1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Спалювання палива та парниковий ефект

Історія цивілізації тісно пов'язана із спалюванням палива, починаючи від використання вогню і закінчуючи сучасними системами вироблення електрики та тепла. Основним хімічним елементом твердого органічного палива, який бере участь в процесі горіння, є вуглець (рідкого і газоподібного – вуглеводні). У результаті спалювання викопних видів палива, таких як вугілля, та низки інших (деревина, солома тощо) утворюється вуглекислий газ (CO_2) по інтегральній реакції вуглецю з киснем: $\text{C} + \text{O}_2 = \text{CO}_2 + \text{енергія}$.

Зростання концентрації CO_2 і деяких інших газів в атмосфері може призвести до істотного потепління клімату, названого парниковим ефектом. В енциклопедіях його визначають так: «Парниковий ефект (оранжерейний) в атмосферах планет – нагрівання внутрішніх шарів атмосфери (Землі, Венери та інших планет), обумовлений прозорістю атмосфери для основної частини випромінювання Сонця». Цей термін увійшов у науковий обіг наприкінці ХХ століття, а в останні роки парниковий ефект став широко відомий як небезпечне явище, яке загрожує всій планеті [1].

Під образним висловом «парниковий ефект» мається на увазі цілком конкретне явище. Наша Земля знаходиться в тепловій рівновазі: вона випромінює в космічний простір енергію зі швидкістю, яка дорівнює швидкості поглинання енергії, що надходить від Сонця. Земна атмосфера отримує певну кількість сонячного випромінювання (ультрафіолетові промені). Близько 30 % цього випромінювання відразу відбивається у космічний простір хмарами, атмосферним пилом, молекулами повітря і подекуди поверхнею Землі (ділянки, вкриті снігом і льодом). Все це разом називається «альбедо» (лат. albedo – білизна) – число, що показує, яку частину сонячного світла відбиває дана поверхня.

Інша кількість сонячного випромінювання поглинається поверхнею океанів і материків та в меншому ступені водяною парою, аерозолями, озоном і

хмарами. Поглинена ними енергія випромінюється назад в космос у вигляді інфрачервоного випромінювання. При цьому частина випромінювання, що виходить від поверхні Землі (в інфрачервоній області спектру випромінювання), на зворотному шляху в космос поглинається хмарами та триатомними газами (CO_2 , SO_2 , NO_2 , O_3 та ін.), що містяться в атмосфері. Ці гази характеризуються селективною поглинальною здатністю саме в інфрачервоній області випромінювання.

Повторне поглинання інфрачервоного випромінювання (реабсорбція) й обумовлює парниковий ефект. Триатомні гази, що називаються «парниковими газами», генерують потік інфрачервоної енергії, частина якої повертається до поверхні Землі, а потім знову відбивається в атмосферу і т.д.

Температура біля поверхні Землі визначається кількістю інфрачервоної енергії, що утворюється вищеописаним способом. Згідно з наявними оцінками, природний парниковий ефект створюється приростом температури Землі на 30°C . Це означає, що при усуненні природного парникового ефекту середня температура становила б не $+15^\circ\text{C}$, а -15°C . І, навпаки, якщо об'єм одного з компонентів атмосфери, що викликає перетворення інфрачервоної енергії, збільшиться, то має зрости вплив парникового ефекту і може відбутися зростання температури земної поверхні.

Вважається, що до 2030 р. можна очікувати подвоєння вмісту вуглекислого газу в порівнянні з початком промислової ери. Це може призвести до підвищення середньої температури Землі на $(2\dots3)^\circ\text{C}$ в помірних широтах і до 10°C на полюсах.

У результаті такого потепління та пов'язаного з ним танення льоду може підвищитися на $(5\dots6)$ м і більше рівень вод Світового океану з подальшим поглинанням величезних територій суші. При цьому буде порушений режим дощів, кількість опадів у помірних та холодних кліматичних зонах різко збільшиться. Докорінно зміниться аграрна карта світу, порушиться харчовий ланцюг і т. д.

Дія парникового ефекту визначається не тільки вмістом вуглекислоти в атмосфері, але й іншими зазначеними вище чинниками. При аналізі «парникової моделі» слід враховувати більш складний механізм встановлення кліматичних умов нашої планети, особливо визначальну роль Сонця – джерела практично всієї теплової енергії Землі. У різні періоди часу Земля отримує від Сонця різну кількість енергії, що визначається трьома циклами тривалістю в 20, 40 та 100 тисяч років. До цих глобальних циклів слід додати локальні: одинадцятирічні та двадцятидвохрічні.

Поряд з парниковим ефектом, який може викликати потепління клімату Землі, можливий і альтернативний ефект, пов'язаний з порушенням теплового балансу атмосфери Землі в бік пониження температури. Цей ефект можливий при потраплянні найдрібніших твердих частинок у вигляді незгорілого вуглецю, частинок золи в верхні шари атмосфери, що знаходяться за тропопаузою, де відсутні помітні переміщення мас повітря. У цьому випадку найдрібніші тверді частинки в результаті їх накопичення утворюють шар зі зниженою оптичною прозорістю. Даний шар виконує функції своєрідного екрану, від якого відбивається частина променистої енергії Сонця, внаслідок чого в нижчих шарах атмосфери створюються умови, які сприяють зниженню середньорічної температури.

Існує припущення, що виникнення цього екранного шару багато в чому визначається висотою димових труб, яка може досягати 300 м. Тому енергетики свого часу відмовилися від проектування та будівництва надвисоких димових труб (до 1 км).

Щорічно в процесі спалювання органічного палива витрачається близько 10 млрд. т кисню, який перетворюється на еквівалентні кількості CO_2 . За останні 20 років ХХ століття концентрація CO_2 в атмосфері зросла на 15 %. Молекули CO_2 добре пропускають короткохвильове сонячне випромінювання, але поглинають випромінювання в довгохвильовому спектрі частот, що є природним регулятором температури поверхні Землі. Зниження концентрації CO_2 призводить до зменшення середньорічної температури планети: при повній

відсутності CO_2 в атмосфері вся поверхня Землі покрилася б льодом, а середньорічна температура не перевищувала б -10°C .

Протягом мільйонів років існувала природна рівновага вмісту CO_2 в атмосфері, яка сьогодні порушена досить істотно, в першу чергу техногенною діяльністю людства. Окислювально-відновні реакції горіння органічного палива щонайменше до середини наступного століття залишаться основою швидко зростаючої енергетики світу. За цей час вміст CO_2 в атмосфері може зрости ще в кілька разів. Як наслідок, у доступному для огляду майбутньому слід очікувати потепління клімату Землі.

У 1861 році англійський фізик Джон Тіндаль (1820–1893) першим вказав, що оскільки атмосферна вуглекислота поряд з водяною парою поглинає довгохвильове випромінювання в атмосфері, то зміни концентрації вуглекислоти можуть призвести до коливань клімату. У подальшому питання про вплив атмосферної вуглекислоти на клімат привернув увагу шведського вченого Сванте Августа Арреніуса (1859–1927) – лауреата Нобелівської премії 1903 року. У роботах Арреніуса було досліджено поглинання радіаційних потоків в атмосфері і запропонована чисельна модель для визначення температури біля земної поверхні в залежності від властивостей атмосфери. Використовуючи цю модель, Арреніус встановив, що збільшення концентрації вуглекислого газу в (2,5...3) рази підвищує температуру повітря на (8...9) $^\circ\text{C}$, а зменшення кількості вуглекислоти (на 38...45) % знижує температуру на (4...5) $^\circ\text{C}$. Його розрахунки дещо завищили вплив зміни концентрації CO_2 на зміну температури повітря, але в цілому його висновки виявилися справедливими.

Однак існує й інша точка зору. З початку ХХ ст. до 40-х років (згідно з даними гідрометеорологічних спостережень) середньорічна температура Землі підвищилася приблизно на $0,7^\circ\text{C}$, а площа арктичних льодів зменшилася на 10 %. Пояснювали це збільшенням концентрації CO_2 в атмосфері, зростанням виробництва та споживання енергії, проте за останні 30 років ХХ ст., незважаючи на зростання вмісту CO_2 в два рази і триваюче збільшення виробництва та споживання енергії, температура Землі не підвищилася, а знизилася. Вважають,

що в міркуваннях про парниковий ефект не береться до уваги значення аерозолів – найдрібніших твердих частинок і крапель рідини, що знаходяться у зваженому стані в приземному шарі, тропосфері та стратосфері.

У 2007 році був опублікований останній (четвертий) оцінний звіт Міжурядової групи експертів з питань зміни клімату (МГЕЗК). У ньому говориться, що за період з 1906 по 2005 рр. середня температура Землі піднялася на 0,74 °С. Дослідження показують, що чутливість рівноважного клімату до подвоєння концентрації CO₂ знаходиться в межах (2,0... 4,5) °С, але найбільш вірогідною вважається чутливість 3 °С.

Причиною парникового ефекту є ряд різних газів, що містяться в атмосфері Землі. Найважливішу роль при створенні парникового ефекту грає випаровування води; на другому місці стоїть CO₂. Потім йдуть метан (CH₄), закис азоту (N₂O), гідрофторвуглеці (ГФВ), перфторвуглеці (ПФВ), гексафторид сірки (SF₆).

На утримання водяної пари (H₂O) в атмосфері господарська діяльність людини не робить помітного прямого впливу внаслідок його великої кількості: в глобальній атмосфері міститься близько 1 % водяної пари за об'ємом. Його розподіл по земній кулі сильно залежить від температури повітря, яка в свою чергу визначає вологемність атмосфери. Тривалість життя водяної пари в атмосфері досить невелика і складає приблизно 10 діб. Однак водяна пара може робити значний непрямий внесок в посилення парникового ефекту внаслідок сильного позитивного зворотного зв'язку: збільшення температури повітря викликає підвищення вмісту вологи атмосфери, що в свою чергу викликає посилення парникового ефекту і тим самим сприяє подальшому підвищенню температури повітря. Вплив водяної пари може також проявлятися через збільшення хмарності й зміни кількості опадів.

Діоксид вуглецю (CO₂) є найбільш важливим із перерахованих вище парникових газів за впливом на клімат.

У четвертій оцінній доповіді МГЕЗК відзначається безпрецедентне за швидкістю збільшення концентрації CO₂ в атмосфері за останні 250 років. Згідно

з даними льодовикових кернів в Антарктиці, концентрація CO₂ в атмосфері в льодовикові періоди становила ~190 ppm (мільйонних часток), а в міжльодовикові періоди ~280 ppm. Протягом останніх 10000 років вона змінювалася не більше ніж на 20 ppm, причому ці зміни були обумовлені природними причинами. Після 1750 р. концентрація CO₂ збільшилася на 35 % і зараз становить приблизно 385 ppm. Оцінки глобальних природних та антропогенних джерел метану за останні 20 років наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 Оцінки глобальних природних та антропогенних джерел метану за останні 20 років

| Найменування | Показник |
|----------------------|---|
| Природні джерела | (168...260) млн. т CH ₄ /рік |
| Антропогенні джерела | (264...428) млн. т CH ₄ /рік |
| Океан | (4...15) млн. т CH ₄ /рік |
| Спалювання біомаси | (14...88) млн. т CH ₄ /рік |
| Видобуток вугілля | (32...48) млн. т CH ₄ /рік |
| Заболочені землі | 145...231 млн. т CH ₄ /рік |

Метан (CH₄) є другим за значимістю парниковим газом після CO₂. Його концентрація збільшилася в 2,5 рази в порівнянні з концентрацією в доіндустріальний період і склала в 2005 р. 1774 ppb (млрд.). На відміну від CO₂ метан – хімічно активний газ. Антропогенні джерела відповідальні за (55...60) % його загальної емісії в атмосферу.

Закис азоту (N₂O). Вміст цього газу в атмосфері збільшився на 18 % до 2005 р. в порівнянні з його вмістом в доіндустріальний період (270 ppb) та склав 319 ppb. Швидкість збільшення становила 0,8 ppb на рік протягом кількох десятиків років. N₂O належить важлива роль у хімії атмосфери, оскільки цей газ є джерелом NO₂, що руйнує стратосферний озон.

Парникові гази техногенного походження. До газів техногенного походження відносяться галогеноємні гази метанового та етанолового рядів, а

також гексафторид сірки SF_6 , які відзначаються дуже великою «тривалістю життя» та високим парниковим потенціалом, що, незважаючи на їх малі концентрації в атмосфері, призводить до досить великого сумарного вкладу в парниковий ефект. Більшість з них увійшли до складу антропогенних викидів в атмосферу тільки у ХХ столітті, оскільки стали використовуватися в якості холодоагентів у холодильниках, в аерозольних розпилювачах як розчинники, а також при виробництві пластмас.

Структура викидів парникових газів показана на рисунку 1.1.

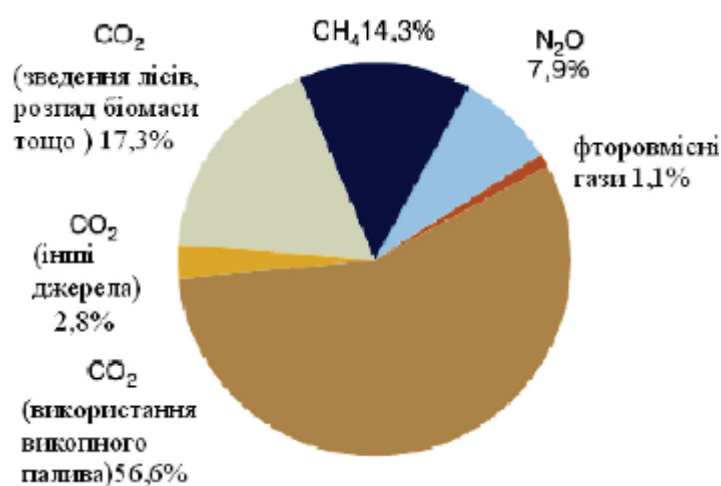


Рисунок 1. 1 – Структура викидів парникових газів

Викиди парникових газів у значній мірі визначаються споживанням енергоресурсів, в першу чергу викопного палива. Україна належить до країн з найбільш енергоємною економікою. Внесок України в парниковий ефект можна характеризувати такими показниками: країна споживає 150 млн. т у.п. на рік, викидає ~400 млн.т CO_2 на рік, рослинність поглинає 145 млн.т CO_2 на рік. Молекула CO_2 може зберігатися в незмінному стані в атмосфері Землі протягом 120 років.

Україна послідовно виступає за запобігання глобальної зміни клімату та прийняла на себе зобов'язання в рамках низки міжнародних угод. Європейську

енергетичну хартію Україна підписала в 1991 р., Рамкову конвенцію ООН зі зміни клімату – в 1992 р., Кіотський протокол підписала в 1999 р. і ратифікувала 4 лютого 2004 року. Для досягнення зазначених цілей Україна використовує обидва доступних їй механізми Кіотського протоколу – як міжнародну торгівлю квотами на викиди з наступним «озелененням» отриманих коштів, так і механізм спільного впровадження, що дозволяє реально знизити викиди на території України.

Потенціал енергозбереження для України становить близько 60 млн. т у.п. на рік при необхідних капітальних вкладеннях 2,5 млрд. дол. США на рік і близько 10 млрд. дол. США на рік на Програму енергозбереження в цілому.

Енергетика є найбільшим джерелом викиду CO_2 в атмосферу. Шляхи зниження викиду вуглекислого газу в атмосферу полягають в збільшенні частки атомних електростанцій, підвищення к.к.д. вироблення електроенергії на теплових електростанціях (нові котли, турбіни, спалювання вугілля в циркулюючому киплячому шарі, по можливості збільшення частки природного газу і т.д.), використання нетрадиційних джерел енергії, уловлювання CO_2 в продуктах згорання.

1.2 Основні забруднювачі навколишнього середовища

Атмосферне повітря є основним середовищем існування біосфери, в тому числі людини. В результаті розвитку цивілізації утворене протягом еволюції Землі постійне співвідношення між головними компонентами повітря (див. табл. 1.2) істотно не змінилося. Основні гази атмосфери (азот, кисень, аргон) по суті прозорі для довгохвильової та короткохвильової радіації та розсіюють її. На екологію істотно впливають газові домішки, які за походженням можуть бути природними і антропогенними. До їх природних джерел відносяться вітрова ерозія, винесення солей з поверхні морів і океанів, вулканічні та біологічні процеси, надходження з космосу.

Таблиця 1.2 – Склад постійних компонентів сухого повітря на рівні моря

| Речовина | Об'ємна концентрація в чистому сухому повітрі на рівні моря, % | Загальна кількість газів в атмосфері, $\cdot 10^6$ т |
|------------------------------------|--|--|
| Азот N ₂ | 78,09 | 3900000 |
| Кисень O ₂ | 20,95 | 1200000 |
| Аргон Ar | 0,932 | 67000 |
| Моноксид вуглецю CO | Сліди | 0,6 |
| Діоксид вуглецю CO ₂ | 0,032 | 2600 |
| Метан CH ₄ | $2 \cdot 10^{-6}$ | 4 |
| Ксенон Xe | $8,2 \cdot 10^{-8}$ | 2 |
| Оксид діазоту N ₂ O | $0,5 \cdot 10^{-6}$ | 2 |
| Діоксин азоту NO ₂ | $< 2 \cdot 10^{-8}$ | 0,013 |
| Оксид азоту NO | Сліди | 0,005 |
| Діоксин сірки SO ₂ | $< 10^{-6}$ | 0,002 |
| Аміак NH ₃ | Сліди | 0,020 |

Одним з основних джерел забруднення навколишнього середовища є теплові електростанції. Останні дані фахівців з комунальної гігієни свідчать, що токсична дія хімічних речовин у поєднанні з шумом та вібрацією зростає в (2,5...3) рази. В результаті хімічної взаємодії двох токсичних речовин можуть синтезуватися нові шкідливі інгредієнти, більш небезпечні для людини. При взаємодії канцерогенних вуглеводнів та оксидів азоту синтезуються сполуки, що діють на генний фонд людини. На рисунку 1.2 наведена структурна схема впливу забруднюючих шкідливих речовин на навколишнє природне середовище.

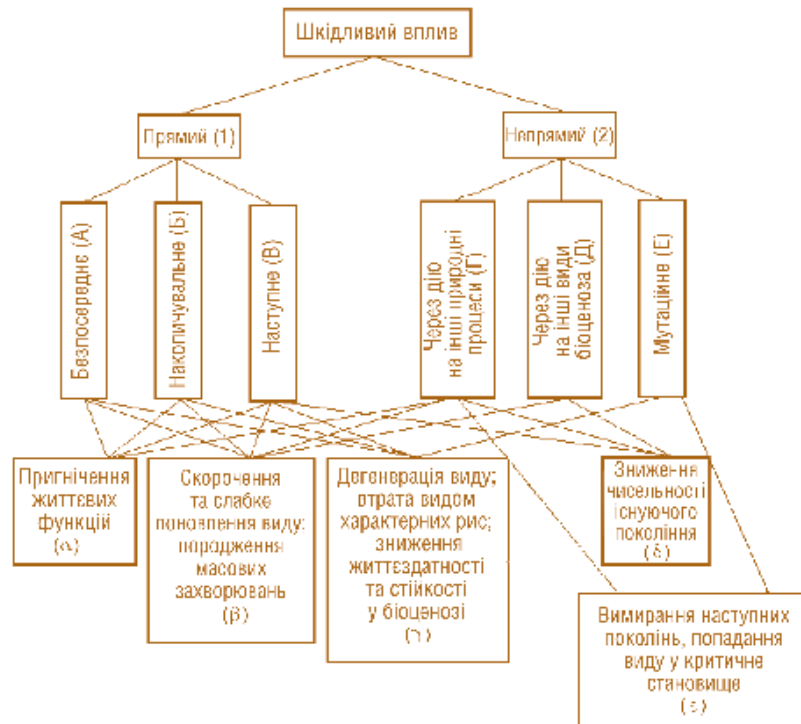


Рисунок 1.2 – Структурна схема системи шкідливого впливу на навколишнє природне середовище забруднюючих речовин та продуктів згоряння палива

Показані на схемі лінії впливу на навколишнє середовище залежать від сили та інтенсивності цього впливу. Слабкі компоненти даної системи, як правило, не привертають до себе уваги фахівців і тому ними зазвичай не займаються. Фахівці-екологи активно займаються сильними впливами, які помітно проявляються і відволікають на себе головну увагу.

Розглянемо основні з них з точки зору їх впливу на навколишнє середовище. Газові та аерозольні забруднюючі викиди та їх шкідливі впливи. При спалюванні рідкого та твердого палива відбуваються викиди у вигляді твердих частинок, які, потрапляючи в атмосферу, утворюють так звані аерозолі. Аерозолі можуть бути нетоксичними, порівняно малотоксичними та токсичними, наприклад частинки вуглецю, на поверхні яких може адсорбуватися бензопірен ($C_{20}H_{12}$) – сильнодіюче канцерогенне з'єднання.

Аерозолі та тверді частинки можуть потрапити в атмосферу сформованими (пил, зола, сажа). Значна ж їх частина утворюється безпосередньо в атмосфері в

результаті хімічних реакцій між газоподібними, рідкими і твердими речовинами, включаючи пари води. Вони утворюються в результаті природних процесів, хоча чимала їх частка має антропогенне походження. Із (1...3) млрд. т рік частинок різного хімічного складу розміром менше 1 мкм, які утворюються над поверхнею Землі, приблизно 20 % – результат практичної діяльності людини (пил, насичені речовини, токсичні метали: свинець, ртуть, кадмій та ін.; пестициди). Вуглеводні включають в себе дуже різні органічні сполуки, хімічне перетворення яких в природних умовах розширює число вуглеводневих частинок, небезпечних для людини, біосфери.

Аерозолі техногенного походження, подібно CO_2 , спроможні впливати на клімат Землі, але лише у протилежному напрямку.

Тверді частинки розсіюють сонячне світло, так що значна частина його не досягає поверхні Землі. В результаті тепловий баланс зміститься у бік зниження температури. Отже, техногенно можливо впливати на температур Землі: як нагріти (вуглекислий газ), так і охолодити (аерозоль) Землю.

У матеріальних балансах процесів горіння твердого та рідкого палива певну роль відіграють тверді продукти згорання – зола. Зольністю палива називають баласт в розрахунку на суху масу палива. Вона залежить від природи палива та якості його вироблення. Розрізняють первинну золу – залишки мінеральних домішок, що входили до складу палива при його обробці, вторинну золу – сторонні мінеральні речовини, рівномірно розподілені в горючій масі палива, та породу – мінеральні речовини, які потрапили в паливо при його видобутку. Зміст первинної золи в сухій масі палива зазвичай не перевищує (1...1,5) %, породи (2...2,5) %. Характеристиками золи з точки зору впливу на навколишнє середовище є дисперсність, змішуваність, сипучість, щільність, абразивність і електропровідність.

Різноманітні викиди теплових електростанцій можна кваліфікувати залежно від розмірів частинок: пил – тверді частинки розміром (1...150) мкм; туман – тверді або рідкі частинки розміром (0,2...1) мкм; дим – частинки

розміром (0,001...0,1) мкм; аерозолі – в основному скупчення газоподібних молекул з розмірами від сотих часток до десятків мікрометрів.

Газові викиди також можуть бути токсичними (NO_2 , SO_2 , NO , CO та ін.) і нетоксичними (CO_2 та H_2O). Всі трьохатомні гази (H_2O , NO_2 , SO_2 та особливо CO_2) належать до «парникових газів», оскільки вони характеризуються селективною поглинальною здатністю в інфрачервоній області теплового випромінювання та сприяють створенню парникового ефекту [2].

Вуглекислий газ (CO_2) утворюється в результаті спалювання викопних видів палива, таких як вугілля, нафта, природний газ, штучних і синтетичних палив та біомаси (деревина). Це основна компонента (з числа триатомних газів), що сприяє створенню «парникового ефекту». В результаті неповного згоряння виділяється також монооксид вуглецю CO – токсичний газ, який шкідливо впливає на серцево-судинну систему людини.

Діоксид сірки (сульфітний ангідрид) SO_2 – один з найбільш токсичних газоподібних викидів енергоустановок, який складає більше 90 % викидів сірчистих сполук з димовими газами котлоагрегатів (решта – SO_3). Найбільшу кількість сірки містять вугілля та важкі види нафтопродуктів; легкі нафтопродукти містять меншу кількість сірки і, нарешті, бензин та природний газ практично не мають її у своєму складі.

Діоксид сірки впливає на окислення, руйнує матеріали, шкідливо впливає на здоров'я людини. Тривалість його перебування в атмосфері відносно невелика: у порівняно чистому повітрі – (15...20) діб, в присутності великої кількості аміаку та інших речовин – декілька годин. При наявності кисню SO_2 переходить в SO_3 і, взаємодіючи з водою, утворює сірчану кислоту. Кінцеві продукти зазначених реакцій розподіляються таким чином: у вигляді опадів на поверхню літосфери – 43 %, на поверхню гідросфери – 13 %; поглинається: рослинами – 12 %, поверхнею гідросфери – 13 %. Накопичення сірковмісних сполук в основному відбувається у Світовому океані. Вплив цих продуктів на людей, тварини, рослини та інші речовини різноманітний і залежить від їх концентрації та багатьох факторів навколишнього середовища.

Оксиди азоту (NO_x) утворюються при спалюванні будь-якого з викопних видів палива, що містять азотні сполуки, а також тих, що не містять, за рахунок окислення азоту повітря. Азот утворює з киснем ряд сполук (N_2O , NO , N_2O_3 , NO_2 , N_2O_4 і N_2O_5), властивості яких, активність і тривалість існування різні та слабо залежать від виду і складу палива. Сумарну кількість оксидів азоту зводять до NO_2 . Їх концентрація визначається режимом та організацією процесів горіння палива.

Оксиди азоту шкідливо впливають на здоров'я людини, сприяють утворенню парникового ефекту та руйнуванню озонового шару. Крім того, оксиди азоту викликають «вимирання лісів», кислотні дощі й так далі.

Метан (CH_4) утворюється в результаті розкладання органічних речовин, наприклад у сільському господарстві, при вуглевидобутку, в процесі нафтої газовидобутку, газорозподілу і спалюванні біомаси. Метан також значно сприяє виникненню парникового ефекту.

Сполуки CFC. Chlorinated Flour Carbons, або фреони, відносяться до окремих малих газоподібних домішок в атмосфері. З'являються головним чином у результаті антропогенного впливу (при виробництві окремих теплоізоляційних матеріалів, пінопласту), виділяються з холодоагентів холодильників і морозильників. Фреони (основні руйнівники озонового шару атмосфери) підвищують рівень ультрафіолетового опромінення Землі з космосу. Їх присутність в атмосфері сприяє утворенню парникового ефекту.

Озон (O_3). Утворюється на великих висотах (близько 30 км) при взаємодії кисню O_2 та ультрафіолетового випромінювання Сонця, а також на низьких висотах в результаті фотохімічних реакцій (зокрема, при взаємодії оксидів азоту і гідрокарбонатів). Озон впливає на «парниковий ефект», негативно діє на здоров'я людини, культивування рослин, викликає «вимирання лісів».

Звеселяючий газ (N_2O). Утворюється з натуральних матеріалів при виробництві харчових продуктів та енергії. Робить деякий вплив на парниковий ефект.

Аміак (NH_3). Утворюється тільки в сільськогосподарському виробництві. Він чинить інтенсифікуючу та нейтралізуючу дію на окислення. Впливає на порушення балансу примикаючих морів, озер, річок через внесення надмірної кількості добрив (евтрофікації).

Сукупний вплив газових та аерозольних викидів енергетичних об'єктів може призвести до появи різних шкідливих екологічних наслідків, в тому числі кризових ситуацій у біосфері. До останніх відносяться: погіршення видимості атмосфери (локальний і регіональний характер); утворення опадів та кислотних дощів (локальний і регіональний характер); парниковий ефект (регіональний і глобальний характер).

Погіршення видимості атмосфери та фотохімічний смог. Прозорість атмосфери, що визначається шляхом візуальних спостережень, в метеорології називають «видимістю». Дальність видимості являє собою максимальну відстань в заданому напрямку, на якій неозброєним оком в денний час ще можна побачити і розрізнити рельєфний темний предмет, який перебуває над лінією горизонту.

Наявність в атмосфері звичайних для промислових міст аерозолів, діоксидів вуглецю та азоту в поєднанні з підвищеною вологістю призводить до зменшення видимості, знижує на (20...50) % кількість сонячних днів (в порівнянні з сільськогосподарськими районами), зменшує кількість ультрафіолетових променів (наприклад у Парижі на (25...30) %, у Берліні на (17...23) % в порівнянні з прилеглими сільськогосподарськими районами). Все це призводить до порушень руху і аварій автомобільного, морського і повітряного транспорту.

Основними серед багатьох забруднювачів, що впливають на видимість атмосфери, є наступні:

- викиди, що містять пил, дим, сажу та інші тверді частки та зазвичай позначаються як загальна кількість аерозолію (ЗКА);
- SO_2 та інші газоподібні сполуки сірки, які з високою швидкістю реагують в атмосфері, утворюючи частки сульфату та сірчаної кислоти, які знаходяться у вигляді аерозолію;

– NO та NO₂, які реагують з утворенням нітрату і HNO₃ у вигляді частинок, що входять до складу аерозолі; за певних умов червонобуре забарвлення NO₂ може послужити причиною зміни кольору димових викидів і димки в міських районах;

– фотохімічне забруднення повітря, пов'язане з утворенням в результаті фотохімічних реакцій аерозолів з частинками субмікрометрових розмірів.

Існують й інші забруднення, що впливають на видимість.

Діоксид азоту (NO₂) за наявності в атмосфері вуглеводнів у певних погодних умовах може стати джерелом ще однієї кризової екологічної ситуації під назвою смог, який вперше був зафіксований у вигляді лос-анджелеських туманів у 1948–1959 р.р.

Природа цього явища полягає в тому, що при ультрафіолетовому опроміненні діоксиду азоту в атмосфері протікають хімічні реакції з утворенням оксиду азоту NO та озону O₃. Надлишковий вміст у повітрі оксиду азоту може ініціювати процес розкладу озону.

При наявності в атмосфері вуглеводнів (C_xH_y) відбувається їх окислення з утворенням альдегідів, нітратів і т.д. Оксид азоту перетворюється на діоксид, з'являється озон, а також пероксиацилнітрат (PAN). При з'єднанні O₃, NO₂ та PAN утворюються фотохімічні оксиданти, які є однією з причин фотохімічного смогу.

Утворені сполуки чинять токсичну дію на людину, призводячи до порушення серцевосудинної діяльності, отруєння дихальних шляхів та інших захворювань організму.

Випадання опадів та кислотні дощі також пов'язані з наявністю в атмосфері аерозолів та оксидів SO₂, NO₂. Кліматичний цикл випадання опадів має життєво важливе значення для всього людства. Великомасштабні впливи на процес випадання опадів можуть призвести до дуже серйозних наслідків. Проявом подібних впливів, що отримав досить широке поширення, є кислотні дощі, що мають низькі значення рН*. Зміна значення рН опадів може викликати багато

проблем, пов'язаних з біосферою; аналіз цих проблем на кількісному рівні становить в даний час область інтенсивних досліджень.

Викиди енергетичних об'єктів у вигляді оксидів сірки та азоту (SO_2 або NO_2), потрапляючи в атмосферу, утворюють відповідні кислоти, солі.

Солі сірчаної (сульфіди) та азотної (нітрати) кислоти, які характеризуються високою гігроскопічністю, є додатковим джерелом генерування ядер конденсації та ядер вимивання, що може бути причиною порушення природного циклу утворення опадів.

Важливим є вплив атмосферних забруднень на хімічні процеси, що протікають при утворенні опадів. Це пов'язано із захопленням забруднювачів краплями і частками опадів. Основний ефект полягає в зниженні величини рН опадів внаслідок накопичення кислих сполук.

Сірковмісні газові викиди можуть призвести до накопичення в опадах як газоподібного SO_2 , так і сульфатів або сірчаної кислоти у вигляді аерозолі. У результаті кислотність опадів значно зростає.

Оксиди азоту, зокрема NO та NO_2 , в атмосфері окислюються у нітрати та HNO_3 , в результаті накопичення яких в опадах також відбувається зменшення рН.

Вперше з проблемою випадіння опадів з низьким рН зіткнулися в Скандинавії наприкінці 60-х років ХХ ст. Причиною цього явища, що отримало назву кислотний дощ, було значне збільшення викидів сірковмісних забруднень в інших частинах Європи, хоча певну роль відігравали і місцеві викиди. У багатьох районах підвищена кислотність опадів не робить істотного впливу на властивості ґрунтів і води, оскільки значна буферна здатність ґрунту дозволяє компенсувати зміни рН опадів. Однак малопотужні льодовикові ґрунти, характерні, наприклад, для Нової Англії та Скандинавії, не володіють достатньою буферною здатністю. У цьому випадку опади з низьким значенням рН можуть привести до змін в ґрунті, що в свою чергу здатне викликати зміну рН та хімічного складу води у водоймищах. Хімічні зміни в ґрунті й воді слугують потенційними джерелами можливих змін в біосфері.

Руйнування озонового шару. Озон (O_3), що міститься в атмосфері, крім токсичного впливу (при підвищених концентраціях) на живі організми, в тому числі на людину, виконує і помітну захисну функцію. Накопичуючись у верхніх шарах атмосфери, він утворює озоновий шар, який оберігає поверхню Землі від жорсткого космічного випромінювання.

Зменшення товщини озонового шару і подальше його зникнення призводять до утворення так званих «озонових дір» в атмосфері, в результаті чого різко збільшується інтенсивність жорсткого космічного випромінювання, що надходить до поверхні Землі.

Природа появи і зникнення озонових дір в атмосфері ще недостатньо вивчена. Одним з механізмів руйнування озонового шару може бути протікання внаслідок високої хімічної активності озону (O_3) його реакції з монооксидом азоту (NO) при утворенні діоксиду азоту (NO_2) та кисню (O_2).

Підвищення проникності озонового шару, збільшення інтенсивності космічного випромінювання можуть призвести до незворотних негативних наслідків у вигляді мутації і переродження живих організмів, до канцерогенних захворювань людей, що піддаються підвищеній дозі космічного опромінення, зниження народжуваності населення та погіршення врожайності сільськогосподарських культур.

Тепловий вплив об'єктів енергетики на навколишнє середовище проявляється в порушенні теплової рівноваги навколишнього середовища і може бути прямим та непрямим. Прямий тепловий вплив викликається тепловими викидами в біосферу, його рівень визначається обсягами спалювання паливноенергетичних ресурсів.

В остаточному вигляді при спалюванні органічного палива практично вся його хімічна енергія перетворюється в теплову, причому частина цієї енергії викидається в концентрованому вигляді в навколишнє середовище на самому енергетичному об'єкті: з димовими газами, охолоджуючою водою, частково в системі золо і шлаковидалення. Інша частина розсіюється на різних стадіях

виробництва, передачі й споживання електричної або теплової енергії, які виробляються на енергооб'єкті.

Величина антропогенного теплового випромінювання не перевищує 0,04 % величини приходу до поверхні Землі сонячної енергії.

Прямі теплові викиди енергетичних об'єктів не можуть вплинути на тепловий баланс в глобальних масштабах. Проте вони здатні змінити локальний тепловий баланс в атмосфері та гідросфері, що є причиною зміни мікроклімату в місцях високої концентрації енерговиробництва та енергоспоживання. Відомий феномен більшої температури повітря у великих містах в порівнянні із сільською місцевістю на (2...3) °С. Він пов'язаний з утворенням областей з підвищеним локальним викидом теплової енергії в атмосферу – так званих «островів теплоти» (див. рис. 1.3). Такі «острова теплоти» нестійкі в часі внаслідок впливу вітру та інших атмосферних чинників.

Із середини 70-х років ХХ ст. на Землі сформувалася велика кількість регіонів з питомим тепловиділенням у діапазоні від 10 до 100 Вт/м² площею (104...105) км², а також окремі регіони з питомим тепловиділенням до 200 Вт/м² площею до 104 км².

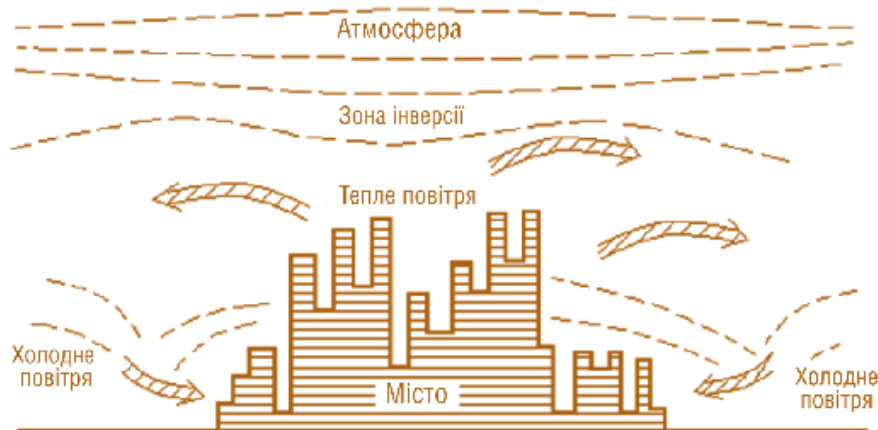


Рисунок 1.3 – Створення циркуляції атмосферного повітря поблизу «острова теплоти»

Основний результат теплової дії в цих регіонах полягає в утворенні стійкого (майже стаціонарного) просторового «куполу» повітря з більш високою

температурою – на (1...4) °C вище рівноважної природної температури. Вплив «острову теплоти» на інші атмосферні процеси різноманітний. Існує прямий зв'язок «острів теплоти» з утворенням туманів, збільшенням атмосферних опадів.

У реальних умовах вплив теплових викидів на окремі водойми, озера або ділянки річок може виявлятися різним чином залежно від біологічної, гідрологічної та фізико-хімічної обстановки в даному водоймищі, від діапазону, швидкості й частоти зміни температур та їх зв'язку з природними циклами. Більш істотним фактором теплового забруднення навколишнього середовища є непрямий вплив, до якого відноситься дія парникових газів, підвищена концентрація яких в атмосфері сприяє виникненню парникового ефекту.

Шумова дія об'єктів теплоенергетики на навколишнє середовище. Під шумом розуміється будь-який небажаний звук чи сукупність звуків з частотами та фазами, розподіленими нерегулярно у часі. Під звуком розуміють пружні хвилі, що поширюються в пружному середовищі у вигляді різноманітних коливань та викликані яким-небудь джерелом. Область середовища, в якому поширюються звукові хвилі, називається звуковим полем.

1.3 Характеристика котельної

Котельня (котельна установка) — система життєзабезпечення будівлі або групи будівель, джерело енергії для систем опалення, паропостачання, гарячого водопостачання, вентиляції, теплої підлоги та інших інженерних систем в будівлях, а також для технологічних потреб.

Котельня являє собою розташовану в одному технічному приміщенні установку, яка складається з котла і допоміжного обладнання (тягодуттьові машини, механізми і пристрої управління, димова труба тощо), для отримання водяної пари або гарячої води за рахунок теплоти палива, що спалюється. Основним пристроєм котельні є паровий, жаротрубний та/або водогрійний

котел, в якому нагрівання відбувається робочої рідини (теплоносія, як правило води або пари).

В якості палива на котельні Хортицького району використовується природний газ із середніми теплотехнічними характеристиками:

- нижча теплота згоряння 34022,8 Дж/м³;
- теоретично необхідна кількість повітря 9,52 м³;
- теоретичний об'єм сухих відхідних газів 0,12 м³.

Система тепlopостачання складається з: джерела тепла (котельня), системи транспортування (теплові мережі) і споживача. Споживачі отримують тепло у вигляді теплового навантаження на гаряче водопостачання (далі ГВП) та опалення. Для забезпечення ГВП та підтримки температури повітря в приміщеннях будинків згідно з вимогами СНіП та ГОСТ, теплоносій транспортується згідно з температурним графіком. В температурному графіку вказується температура подаючого і зворотного теплоносія, в залежності від температури зовнішнього повітря при розрахунковій витраті теплоносія.

Система тепlopостачання закрита, 4-х трубна, приєднання абонентів по залежній схемі з елеваторним змішанням. Прокладка трубопроводів в основному прийнята в прохідних і напівпрохідних каналах.

Загальна встановлена потужність складає 1277,95ГДж/год. У котельні, як джерелі тепlopостачання, в першому котельному залі встановлено 3 котла типу КВГМ-35-150М (ПТВМ- 30) сумарною тепловою продуктивністю 439,95ГДж/год, у другому - 2 котла типу КВГМ- 100.

Для забезпечення циркуляції води в системі тепlopостачання встановлено 7 мережних насосів: 4 насоса 200Д-60 (у першому котельному залі), 3 насоса Д1250х125 (у другому котельному залі).

1.4 Технічна характеристика обладнання і палива

Котел КВ-ГМ-35-150 (ПТВМ-30) №1 - прямоочний, П-подібної компоновки, радіаційного типу з примусовою циркуляцією. Трубна частина

котла встановлена на каркас, який складається з 6-ти колон з верхньою рамою на позначці 5,2 м. Каркас служить опорою для топкових блоків і конвективної шахти котла. Номінальна теплопродуктивність 146,65 ГДж/год, з робочим тиском до $127,4 \cdot 10^4$ Па, з температурою води на виході з котла 150 °С. Габаритні розміри котла: довжина - 9360 мм, ширина - 8240 мм, висота - 12280 мм.

Топкова камера об'ємом 81,5 м³ призначена для спалювання високосернистого мазуту і природного газу. Стіни камери згоряння повністю екрановані трубами діаметром 60x3 мм і кроком між трубами 64 мм. Труби заднього екрану топкової камери розведені у верхній частині і утворюють фестон. Конвективна частина складається з 32-х секцій: кожна частина складається з U-образних змійовиків з труб діаметром 28x3 мм. Змійовики розташовані в шаховому порядку з кроком 64 мм і 40 мм. Загальна площа поверхні нагрівання конвективної частини складає 635 м².

Котел КВ-ГМ-35-150 (ПТВМ-30) № 1 укомплектований двома дуттьовими вентиляторами і двома димососами.

Котел має прямоточну примусову циркуляцію і в основному режимі працює по 10-ти ходовій схемі: п'ять ходів води вниз і п'ять ходів вгору .

Котел обладнаний шістьма комбінованими газо-мазутними пальниками ГМГ-5,5 продуктивністю 660 нм³/год кожна. Розташовані на бічних стінках котла. Газ подається для змішування з повітрям периферійно, тобто на кінці пальника влаштована кільцева камера з отворами. Газ подається до камери знизу через отвори перпендикулярно потоку повітря. Змішання газу з повітрям відбувається в амбразурі пальника. Амбразури футеровані, що сприяє стабілізації горіння і оберігає корінь факела від охолоджуючого впливу екранних труб. Газопровід до кожного котла виконаний зі сталевий суцільнотягнутої труби Ду 200 мм.

На газопроводі перед кожним котлом встановлена наступна запірна, регулююча арматура і контрольно-вимірювальні прилади (по ходу газу):

- засувка з електроприводом (загальна на котел);
- вимірювальна діафрагма;

- запобіжно-запірний клапан (ПЗК) котла;
- манометр, що показує тиск газу перед котлом;
- дифманометр, що показує тиск газу перед котлом;
- дросельна поворотна заслінка;
- трубопроводи безпеки з запірною арматурою (для продувки колекторів газопроводу котла);
- вентиля на відводах до пальників;
- трубопроводи безпеки з запірною арматурою (для продувки газопроводу перед кожним пальником котла);
- пробкові крани на відводах до пальників;
- манометри, що показують тиск газу перед кожним пальником.

Обмуровка котла виконана полегшеною з кріпленням безпосередньо до труб. На труби покладений шар склотканини, потім вогнетривкий шамотобетон на глиноземному цементі, армований металевою сіткою. Поверх шамотобетона укладені мати з скловати у вигляді матраців і проведена обмазка ущільнювальною газонепроникною сумішшю. Загальна товщина обмурівки 115 мм. Коротка технічна характеристика котла наведена в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 - Технічна характеристика котла КВ-ГМ-35-150 (ПТВМ-30) №1 і допоміжного обладнання

| Найменування величин | Одиниця вимірювання | Величина |
|----------------------------------|----------------------|----------------------------------|
| Теплопродуктивність котла | ГДж/год | 146,65 |
| Робочий тиск | Па | $127,4 \cdot 10^4$ |
| Температура теплоносія на вході | °С | 150 |
| Температура теплоносія на виході | °С | 70 |
| Температура відхідних газів | °С | 162 |
| Витрата води через котел | т/год | 495 |
| Витрата газу | нм ³ /год | 5200 |
| Гідравлічний опір котла | Па | $(15,68 \dots 17,64) \cdot 10^4$ |
| ККД номінальному навантаженні | % | 90,6 |
| Топка | камерна | |
| Об'єм | м ³ | 81,5 |
| Площа поверхні нагрівання: | | |
| радіаційна | м ² | 128,6 |
| конвективна | м ² | 635 |

Продовження таблиці 1.3

| | | |
|---|---------------------|--------|
| Пальник газомазутний | ГМГ-5,5 | |
| Кількість на котлі | шт. | 6 |
| Місце встановлення | на бічних стінках | |
| Продуктивність | м ³ /год | 660 |
| Тиск газу при нормальному навантаженні | мм.в.ст. | 2500 |
| Тиск повітря на горіння | мм.в.ст. | 216 |
| Витрата повітря на горіння при нормальному навантаженні | м ³ /год | 5417 |
| Номинальна теплотехнічна продуктивність | ГДж/год | 20,95 |
| Перетин пальника по газу | м ² | 0,0019 |
| Перетин пальника по повітрю | м ² | 0,0942 |
| Дуттьовий вентилятор | ВДН-11,2 | |
| Продуктивність | м ³ /год | 28000 |
| Напір | кгс/см ² | 445 |
| Частота обертання | об/хв | 1500 |
| Потужність електродвигуна | кВт | 55 |
| Димосос | ДУ-15,5 | |
| Продуктивність | м ³ /год | 10500 |
| Напір | кгс/м ² | 240 |
| Потужність електродвигуна | кВт | 160 |
| Частота обертання | об/хв | 740 |

Кожен котел має свою режимну карту. Експлуатація парового або водогрійного газового котла повинна проводитися згідно його режимній карті. Мета режимної карти - показати потрібний тиск газу та повітря при певному навантаженні котла. Процес горіння при цьому повинен бути найбільш повним і стабільним, експлуатація котла ефективною і безпечною. Режимна карта складається за результатами теплотехнічних випробувань організацією, яка здійснює пусконаладжувальні роботи.

1.5 Мета режимно-налагоджувальних робіт

Звітна технічна документація складена на підставі матеріалів, отриманих при проведенні комплексних еколого-теплотехнічних і водно-хімічних випробувань водогрійного котла типу КВ-ГМ-35-150М, встановленого в котельній по вул. Задніпровська, 7.

У об'єм робіт входить: визначення оптимального режиму роботи водогрійного котла з мінімальними питомими витратами палива і викидами

шкідливих речовин в атмосферу, складання режимних карт роботи котлоагрегатів.

Режимно-налагоджувальні випробування проводяться з метою встановлення оптимальних еколого-економічних режимів роботи обладнання з урахуванням технологічних умов, мінімально можливих питомих витрат палива та викидів забруднюючих речовин в атмосферу, що не перевищують встановлених технічних і екологічних норм, перевірка водно-хімічного режиму котла і автоматики безпеки, визначення техніко-економічних і екологічних характеристик котлоагрегату, складання режимної карти.

У підготовчий період проводиться ознайомлення з проектною і технічною документацією, правильністю виконання монтажних робіт, станом експлуатації котельного устаткування. Проводиться перевірка роботи приладів КПП і А котла, автоматики безпеки на спрацьовування всіх параметрів захисту котлоагрегату.

У завдання еколого-теплотехнічних випробувань входить:

- визначення оптимальних параметрів роботи котла, його ККД і питомих витрат палива в робочому діапазоні навантажень;
- визначення залежності виходу оксиду азоту, оксидів вуглецю (CO і CO_2) від надлишку повітря і навантаження котла;
- визначення теплових втрат і к.к.д. бруто котла в робочому діапазоні навантажень;
- визначення залежності тиску повітря від тиску газу перед пальником, а також залежності витрати газу від його тиску;
- визначення оптимального співвідношення «газ-повітря» при роботі устаткування в автоматичному режимі;
- визначення валових викидів оксидів азоту та вуглецю;
- визначення мінімально-стійких і максимально-можливих навантажень котла;
- визначення меж регулювання і спрацьовування автоматики безпеки котла;

– розробка заходів, спрямованих на підвищення надійності, економічності котла.

Комплексні еколого-теплотехнічні випробування проводяться з метою встановлення оптимальних режимів роботи котлоагрегату з врахуванням технологічних умов, мінімально-можливих питомих витрат палива і викидів шкідливих речовин в атмосферу, що не перевищують встановлених технічних і екологічних норм.

1.6 Обсяг та основні етапи налагоджувальних робіт

В обсяг налагоджувальних робіт входить комплекс робіт, що включає: наладку топкового режиму котельного агрегату; визначення еколого-режимних характеристик котла.

Попередній вимір, визначення мінімально-стійкого і максимального фактичного навантаження котла, визначення присосів в газоповітряний тракт, визначення основних характеристик експлуатаційного режиму, проведення приблизних дослідів для визначення основних характеристик котла, топкової камери і пальників за даними аналізу вихідних газів.

Проведення режимних випробувань з одночасним виміром концентрації викидів в атмосферу.

Попередня обробка матеріалів випробувань складається з обробки отриманих даних та аналізу результатів випробувань, складання таблиць, схем, графіків, режимних вказівок, аналіз роботи котла. За результатами перевірки складається відомість дефектів і недоробок з термінами їх усунень. Після усунення вказаних недоліків здійснюється попередня “фотографія” роботи котлів з визначенням його основних параметрів і показників на навантаженні близькою до номінальної. Фотографія (2 пальника) роботи водогрійного котла типу КВ-ГМ-35-150М № 1 представлена в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4. Фотографія (2 пальника) роботи водогрійного котла типу КВ-ГМ-35-150М №1

| Найменування параметра | Ум. позн. | Од. вим | Величина |
|---|---------------|---------------------|------------|
| Теплопродуктивність | Q_k | ГДж/год. | 41,31 |
| Витрата газу по приладу | G_k | м ³ /год | 1300 |
| Тиск газу перед котлом | $P_{гзг.}$ | МПа | 0,0338 |
| Тиск повітря після вентилятора | $H_{гор.}$ | МПа | 0,00026±4 |
| Тиск води перед котлом | P_1 | МПа | 0,706 |
| Тиск води після котла | P_2 | МПа | 0,569 |
| Гідравлічний опір котла | P | МПа | 0,137 |
| Витрати води через котел | G_k | м ³ /год | 380 |
| Температура води на вході в котел | t_1 | °С | 70 |
| Температура води на виході з котла | t_2 | °С | 97 |
| Температура відхідних газів | $T_{відх.г.}$ | °С | 100 |
| Температура зовнішнього повітря | $t_{х.п.}$ | °С | 25 |
| Розрідження в топці | S_T | МПа | 25,5 ±15,3 |
| Концентрація у вихідних газах: | | | |
| діоксид вуглецю | CO_2 | % | 9,38 |
| оксид вуглецю | CO | % | 0,0148 |
| кисень | O_2 | % | 8,0 |
| діоксид азоту | NO_x | % | 0,0026 |
| Коефіцієнт надлишку повітря в відх. газах | L | | 1,55 |
| Втрати тепла с відхідними газами | q_2 | % | 4,64 |
| Втрати тепла в навкол. середовище (факт). | $q_{5таб.}$ | % | 0,90 |
| Втрати тепла в навколишнє середовище | q_5 | % | 3,65 |
| ККД котла (брутто) | $ККД_{звор}$ | % | 91,68 |
| Питома витрата умовного палива на 1 Гкал | B_u | кг.у.т/Гал | 156,1 |

Випробування проводяться на навантаженнях з наступним витратою, газу по приладу, м³/год: 1500; 1600; 1800; 2000; 2200; 2400; 2600; 2800; 3000; 3200 для кожної з яких проводиться не менше 5-ти дослідів. Тривалість кожного дослідів визначається збіжністю результатів газового аналізу і коливається від 0,5 до 1,5 години. Тривалість перерв між дослідями - не менше 15 хвилин.

1.7 Методика визначення валових викидів оксидів азоту та вуглецю і складання теплового балансу

Визначення викидів забруднюючих речовин в атмосферу проводиться прямими вимірами від котлоагрегату на різних режимах роботи.

Вміст кисню і двоокису вуглецю визначається газоаналізаторами Spektra-1600, Testo-330LL, Delta-65.

Аналізи продуктів згоряння проводилися газоаналізатором типу ГХП-100 з визначенням CO₂ і O₂ перед димососом. Одночасно за допомогою індикаторних трубок ГХ-МУ 5 проводилося визначення СО. К.К.Д. котла визначається за методом зворотного балансу, теплові втрати - за методом М.Б. Равіча.

Після закінчення проведення робіт режимні карти і технічний звіт узгоджується з державною інспекцією з енергозбереження. Термін дії режимної карти і технічного звіту по наладці 3 роки відповідно до затверджених норм. Затверджені режимні карти і технічний звіт використовуються для інвентаризації шкідливих викидів. Основні параметри роботи котлів визначалися по приладах встановленим на щитах КІП і А і безпосередньо на котлоагрегатах. Перелік вимірюваних параметрів і вживаних приладів приведений в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 - Перелік вимірюваних параметрів і вживаних приладів

| Вимірювана величина | Тип приладу | Одиниця вимірювання | Шкала |
|--|-------------------|---------------------|--------------------------------|
| Тиск води на вході і на виході з котла | ОБМ-160 | Па | $(0 \dots 156,8) \cdot 10^4$ |
| Температура води на вході і на виході, температура відхідних газів | КСМ2-0201УХЛ4, 2 | °С | 0...200 |
| Витрата води через котел | КСД2-056-01УХЛ4,2 | м ³ /ГОД | 0...630 |
| Витрата газу в загальному колекторі | КСД2-056-01УХЛ4,2 | м ³ /ГОД | 0...6300 |
| Тиск газу в загальному колекторі | ВДМ 4882 | Па | $(0 \dots 3,92) \cdot 10^4$ |
| Тиск повітря після вентилятора | НМП-52 | Па | $(0 \dots 3920) \cdot 10^4$ |
| Розрідження в топковій камері котла | ТНМП-52 | Па | $(122,5 \pm 122,5) \cdot 10^4$ |
| Тиск газу перед пальником | НМП-52 | Па | $(0 \dots 24500) \cdot 10^4$ |
| Тиск повітря перед пальником | ТДЖ | мм.в.ст. | 0...400 |
| Тиск газу після рекуператора | КСД2-005 | Па | $(0 \dots 9,604) \cdot 10^4$ |
| Аналіз відхідних газів | Testo-330LL | | |

При проведенні випробувань застосовувалися газоаналізатори димових газів «Testo-330LL», що дозволяють визначати концентрацію O₂, CO₂, CO, NO, NO₂, SO₂, вимірювання диференціальної температури, у прямій та зворотній лінії, пошук місць витоків газу, вимірювання диференціального тиску газу, визначення витрати газу, дизельного палива, температуру газів і повітря, розрідження в місці відбору, а також коефіцієнт надлишку повітря і втрати тепла з відхідними газами.

2 ЕКОЛОГО – ТЕПЛОТЕХНІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КОТЛА

2.1 Методика і схема вимірів

Основні параметри роботи котлів визначалися по приладах встановленим на щитах КІП і А і безпосередньо на котлоагрегатах. Схема вимірюваних теплотехнічних параметрів роботи котлів і розташування точок відбору приведена на рисунку 2.1. Перелік вимірюваних параметрів і вживаних приладів приведений в таблиці 2.1.

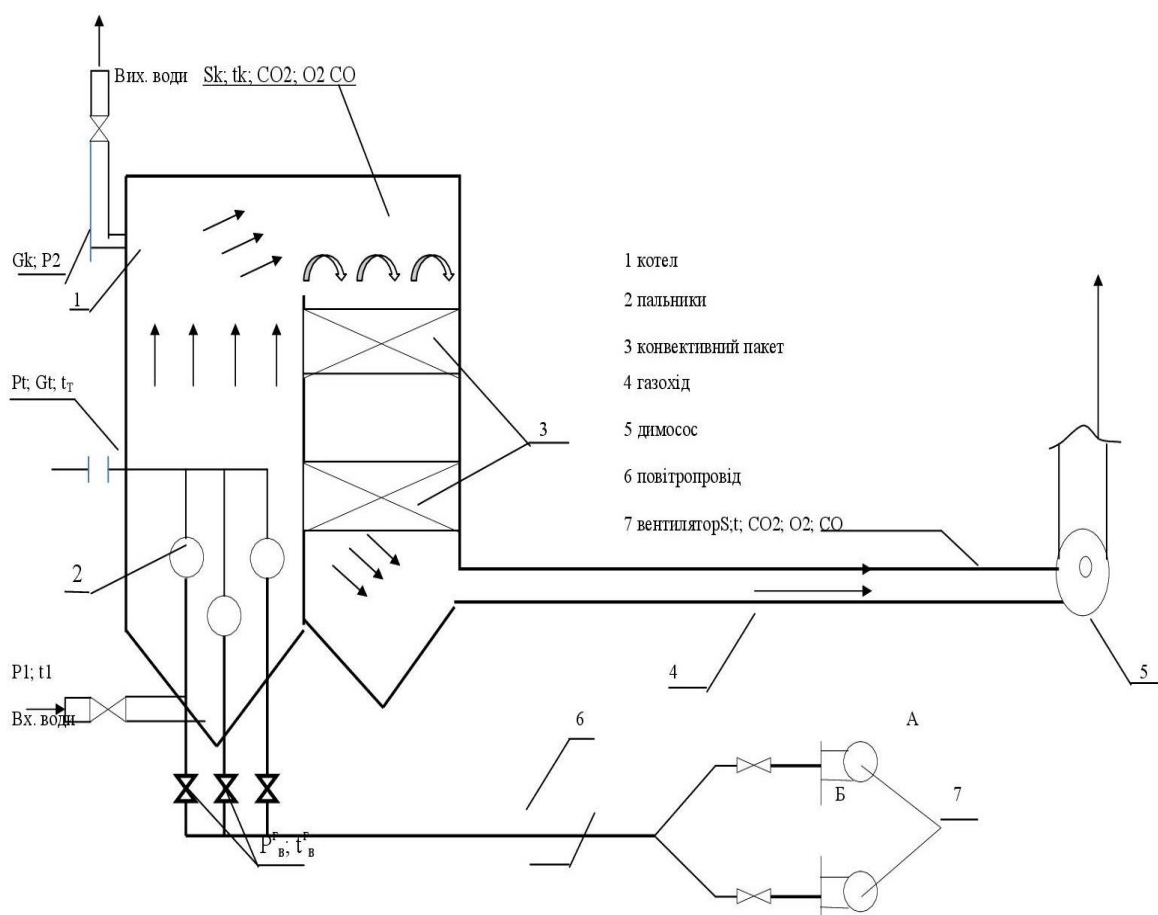


Рисунок 2.1 – Схема розташування точок виміру

При проведенні випробувань застосовувалися газоаналізатори димових газів «Testo-330LL», що дозволяють визначати концентрацію O_2 , CO_2 , CO , NO , NO_2 , SO_2 , вимірювання диференціальної температури, у подаючій та зворотній

лінії, пошук місць витоків газу, вимірювання диференціального тиску газу, визначення витрати газу, дизельного палива, температуру відхідних газів і повітря, розрідження в місці відбору, а також коефіцієнт надлишку повітря і втрати тепла з відхідними газами.

Таблиця 2.1 - Перелік приладів, використаних при проведенні дослідницьких робіт котла КВ-ГМ-35-150 №1

| Вимірювана величина | Тип приладу | Одиниця вимірювання | Шкала |
|--|-------------------|---------------------|---------------------------------|
| Тиск води на вході і на виході з котла | ОБМ-160 | Па | $0 \dots 156,8 \cdot 10^4$ |
| Температура води на вході і на виході, температура відхідних газів | КСМ2-0201УХЛ4, 2 | °С | $0 \dots 200$ |
| Витрата води через котел | КСД2-056-01УХЛ4,2 | м ³ /год | $0 \dots 630$ |
| Витрата газу в загальному колекторі | КСД2-056-01УХЛ4,2 | м ³ /год | $0 \dots 6300$ |
| Тиск газу в загальному колекторі | ВДМ 4882 | Па | $0 \dots 3,92 \cdot 10^4$ |
| Тиск повітря після вентилятора | НМП-52 | Па | $0-3920 \cdot 10^4$ |
| Розрідження в топковій камері котла | ТНМП-52 | Па | $-122,5 \dots 122,5 \cdot 10^4$ |
| Тиск газу перед пальником | НМП-52 | Па | $0 \dots 24500 \cdot 10^4$ |
| Тиск повітря перед пальником | ТДЖ | мм.в.ст. | $0 \dots 400$ |
| Тиск газу після рекуператора | КСД2-005 | Па | $0 \dots 9,604 \cdot 10^4$ |
| Аналіз відхідних газів | Testo-330LL | | |

2.2 Методика і умови проведення теплових випробувань

Балансові теплові випробування проводилися на оптимальних режимах, попередньо встановлених режимно-налагоджувальними випробуваннями.

За попередньо перевіреним приладам, встановленим на щиті котла, визначалися: температура води на вході в котел і виході з котла, розрідження в топці котла, тиск повітря після вентилятора, тиск газу в загальному колекторі, температура газів, витрата газу, витрата води через котел. У період проведення теплових випробувань котла дотримувалася техніки безпеки на працюючому обладнанні.

Втрати тепла в довкілля визначатимуться по графічній залежності зміни $q_5 = f(Q_k)$ від теплопродуктивності котла.

При проведенні балансових випробувань будуть виміряні параметри по технологічних системах котлоагрегату, необхідні для визначення теплових втрат, ККД котла.

Всі балансові дослідження проводяться з визначенням ККД і реєстрацією додаткових режимних параметрів, необхідних для визначення впливу заходу на показники роботи котла.

У дослідженнях визначається технічна, техніко-економічна та екологічна ефективність роботи котла.

За результатами випробувань будуть складені звідні відомості, графічні залежності техніко-економічних показників від паропроодуктивності котла, розраховані поправки на відхилення фактичних параметрів від розрахункових і побудовані криві, що коригують.

Обробка результатів випробувань проводилися за спрощеною методикою професора М.Б. Равіча.

2.3 Обробка результатів експериментів (вимірів)

При спалюванні в котельних агрегатах газоподібного та рідкого палива значне зниження трудомісткості замірів і скорочення часу їх проведення може

бути досягнуто при використанні, для визначення складових теплового балансу котельного агрегату і допоміжного обладнання котелень, спрощеної методики розрахунку.

Згідно методики для визначення теплового балансу котельного агрегату необхідно приладно-аналітичним методом визначити такі характеристики палива:

– жаропродуктивність палива – максимальна температура, яка досягається при повному спалюванні палива з теоретично необхідною кількістю повітря без підігрівання палива і повітря $t_{ж}, ^\circ\text{C}$;

– кількість теплоти, яка виділяється при повному згоранні палива, в перерахунку на 1 м^3 сухих продуктів згорання, $P = 4190 \text{ кДж/м}^3$;

– хімічний склад сухих продуктів повного згорання палива. Максимальний вміст CO_2 в сухих продуктах згорання природного газу $\text{CO}_{2\text{max}} = 11,8 \%$, (для мазуту 16% , для вугілля $19...20 \%$) [26].

За допомогою зазначених характеристик можна точно виконувати порівняльні теплотехнічні розрахунки і визначати втрати теплоти котельним агрегатом з відхідними газами q_2 і від хімічної неповноти горіння q_3 , не виконуючи при цьому приладних аналізів складу палива і теплоти його згорання. Об'єм приладних замірів зводиться до визначення складу відхідних продуктів згорання і їх температури.

Коефіцієнт корисної дії котла буде підрахований по зворотному балансу, який є більш точним.

Коефіцієнт корисної дії визначається за формулою, %

$$\eta = 100 - q_2 - q_3 - q_5, \quad (2.1)$$

де q_2 - втрати тепла з газами, % ;

q_3 - втрати тепла від хімічної неповноти згорання палива, %;

q_5 - втрати тепла в навколишнє середовище, %.

Вихідними даними для визначення втрат тепла з газами, і від хімічної неповноти згоряння палива були температура газів і холодного повітря, а також зміст триатомних газів, кисню і окису вуглецю у вихідних газах.

Визначення теплопродуктивності котла, ГДж/г

$$Q_k = G_B \cdot C_B \cdot Y_B \cdot (t_{\text{вих}} - t_{\text{вх}}) \cdot 10^{-6}, \quad (2.2)$$

$$Q_k = 380 \cdot 4,19 \cdot 957 \cdot (102 - 70) \cdot 10^{-6} = 48,75.$$

де G_B - витрата води через котел, м³/г;

C_B - теплоємність води, Дж/(кг·К);

Y_B - щільність води при температурі на виході води з котла, кг/м³;

$t_{\text{вх}}, t_{\text{вих}}$ - температура води на вході і виході з котла, °С.

Коефіцієнт надлишку повітря[28].

$$\alpha = \frac{1}{1 - 3,76 \cdot (O_2 - 0,5CO - 2CH_4) / N_2}, \quad (2.3)$$

де O_2, CO, CH_4, N_2 - вміст компонентів в димових газах, %

$$N_2 = 100 - CO_2 - O_2 - CO, \quad (2.4)$$

$$N_2 = 100 - 8,3 - 6,3 - 0,005 = 85,395,$$

$$\alpha = \frac{1}{1 - 3,76 \cdot (6,3 - 0,5 \cdot 0,005 - 2 \cdot 0) / 85,395} = 1,38.$$

Основним фактором, що впливає на температуру диму, є умови газообміну. При збільшенні коефіцієнта надлишку повітря температура продуктів горіння знижується, як це показано на рисунку 2.2.

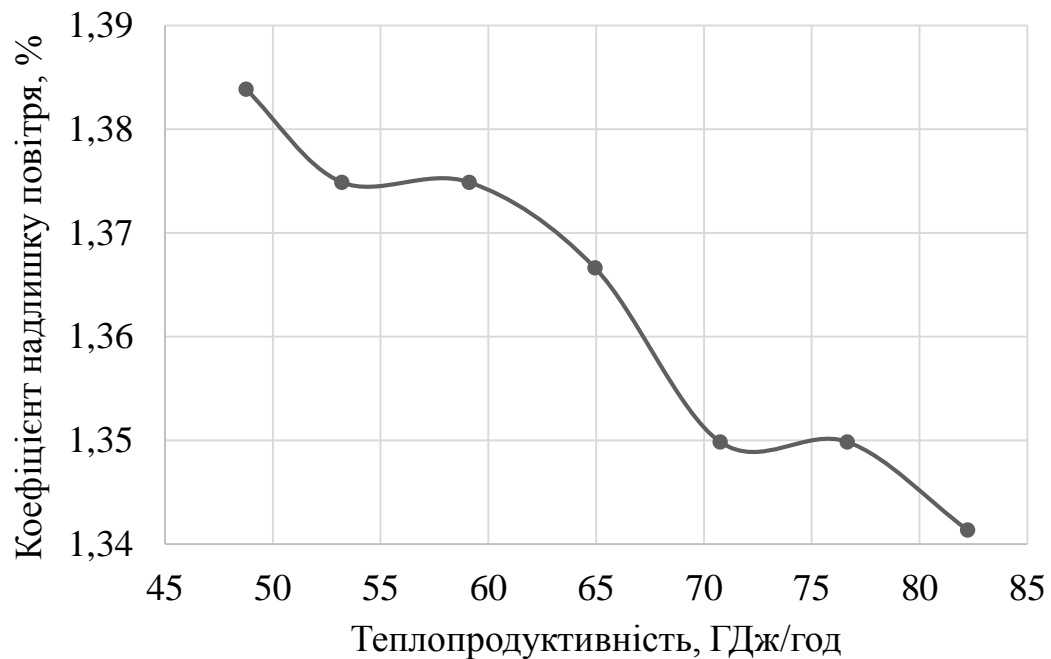


Рисунок 2.2 - Залежність коефіцієнта надлишку повітря в димових газах котла КВ-ГМ-35-150 від теплопродуктивності

При надлишку повітря паливо згоряє повністю, але частина теплоти витрачається на підігрів зайвої кількості повітря. Відбувається зниження температури відхідних газів і внаслідок цього зниження теплопродуктивності котла і його ККД. Оптимальний режим роботи котла досягається коли значення α знаходиться в межах 1,34...1,35.

Втрати тепла з газами, визначалися таким чином, %:

$$q_2 = \frac{t_{\text{відх.г.}} - l \cdot t_{\text{з.п.}}}{t_{\text{max}}} \cdot [C + (h - 1) \cdot B \cdot K] \cdot 100, \quad (2.5)$$

де $t_{\text{відх.г.}}$ - температура відхідних газів, °С;

l - поправочний коефіцієнт на температуру зовнішнього середовища,
 $l=0,85$;

$t_{\text{з.п.}}$ - температура зовнішнього повітря, °С;

t_{max} - жаропродуктивність палива °С, для природного газу $t_{\text{max}} = 2040^\circ\text{C}$;

C - співвідношення середньої теплоємності нерозбавлених повітрям продуктів згорання в температурному інтервалі від $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ до температури відхідних газів та їх теплоємності в температурному інтервалі від $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ до T_{max} ;

B - співвідношення об'єму сухих і вологих продуктів горіння при повному згорянні палива і теоретично необхідній кількості повітря, $B = 0,81$ для природного газу;

K - відношення середньої теплоємності 1 м^3 повітря в температурному інтервалі від $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $T_{\text{відх}}$ до теплоємності 1 м^3 нерозбавлених повітрям продуктів горіння в температурному інтервалі від $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ до T_{max} . C , K - коефіцієнти, що приймаються залежно від температури відхідних газів;

h - коефіцієнт розбавлення продуктів згорання, який характеризує зміну об'єму сухих продуктів горіння в порівнянні з теоретичним внаслідок розведення повітрям, а також неповноти горіння [29].

Підраховуємо поправочний коефіцієнт C ,

$$C = 0,81 + 10^{-4} \cdot t_{\text{відх}}, \quad (2.6)$$

$$C = 0,81 + 10^{-4} \cdot 101 = 0,82.$$

Підраховуємо поправочний коефіцієнт K ,

$$K = 0,76 + 10^{-4} \cdot t_{\text{відх}}, \quad (2.7)$$

$$K = 0,76 + 10^{-4} \cdot 101 = 0,77.$$

При вмісті в продуктах горіння CO і CH_4 менше $0,1$ CO_2 коефіцієнт розбавлення h можна визначити з таблиці методом інтерполяції [30],

$$h = 1,4 + \frac{1,44 - 1,4}{8,4 - 8,2} \cdot (8,3 - 8,2) = 1,43.$$

При більшому вмісті $CO+CH_4$ коефіцієнт розбавлення h слід підрахувати за формулою:

$$h = \frac{CO_{2\max}}{CO_2' + CO' + CH_4'} \quad (2.8)$$

де $CO_{2\max}$ - максимальний вміст CO_2 в продуктах згорання палива при $\alpha=1$;

CO_2, CO, CH_4 – вміст складових газів за даними газоаналізатора, %;

$$h = \frac{11,86}{(8,3 + 0,005 + 0)} = 1,43.$$

Підраховуємо значення $CO_{2\max}$ для спалюваного природного газу, виходячи з аналізу продуктів згорання [31], %

$$CO_{2\max} = \frac{CO_2' \cdot 100}{100 - 4,76 \cdot O_2'} \quad (2.9)$$

$$CO_{2\max} = \frac{8,3 \cdot 100}{100 - 4,76 \cdot 6,3} = 11,86.$$

Втрати тепла з відхідними газами, %, визначаємо за формулою 2.5 [32]

$$q_2 = \frac{101 - 0,85 \cdot 12}{2040} \cdot [0,82 + (1,43 - 1) \cdot 0,81 \cdot 0,77] \cdot 100 = 4,84.$$

Втрати тепла з відхідними газами q_2 займають основне місце серед теплових втрат котла. Користуючись результатами розрахунків енергетичних характеристик котлоустановки, був побудований графік залежності втрат тепла з відхідними газами від теплопродуктивності котлів КВ-ГМ-35-150, що представлений на рисунку 2.3.

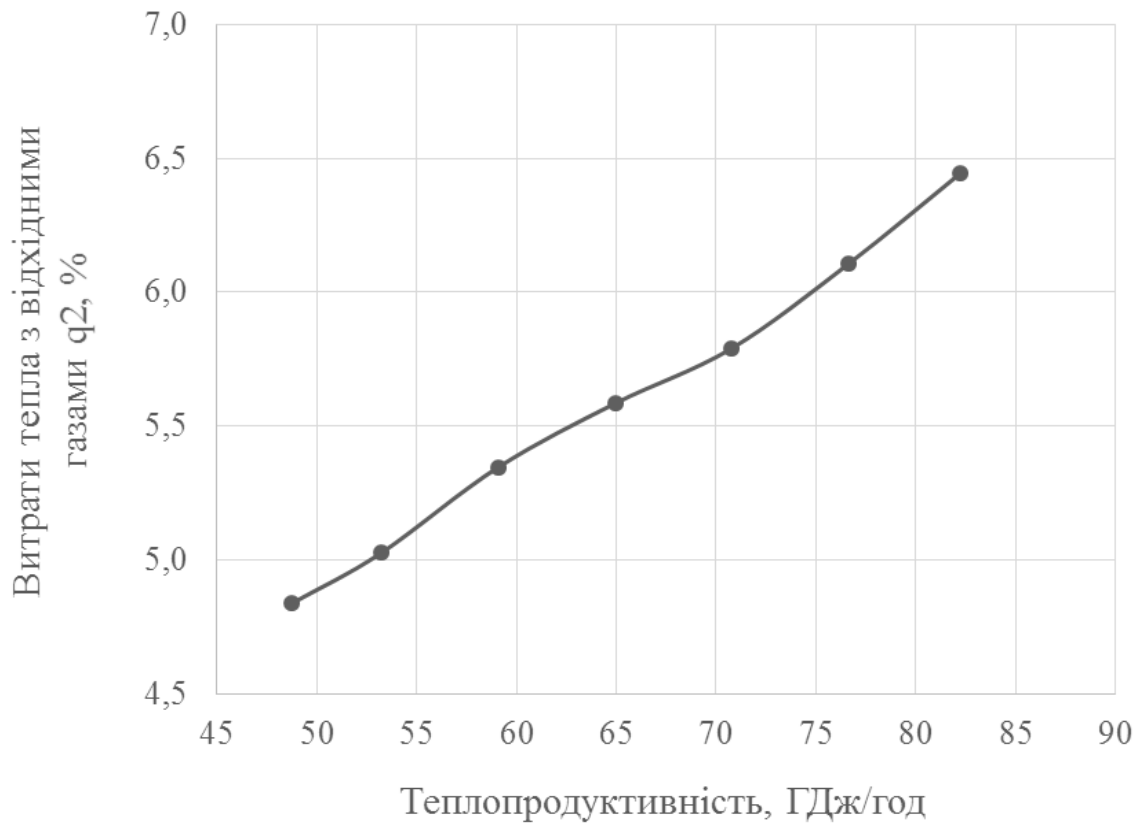


Рисунок 2.3 - Залежність втрат теплоти з відхідними газами від теплопродуктивності котла КВ-ГМ-35-150

З графіка видно, що залежність втрат теплоти з відхідними газами від теплопродуктивності котла КВ-ГМ-35-150 має лінійний характер.

Втрата теплоти з газами q_2 є найбільшою і визначається тим, що продукти згоряння після проходження газового тракту котла не охолоджуються до температури навколишнього повітря, а мають ще досить високу температуру.

Головним фактором, що впливає на значення втрат тепла з відхідними газами, є температура відхідних газів, це видно на рисунку 2.4.

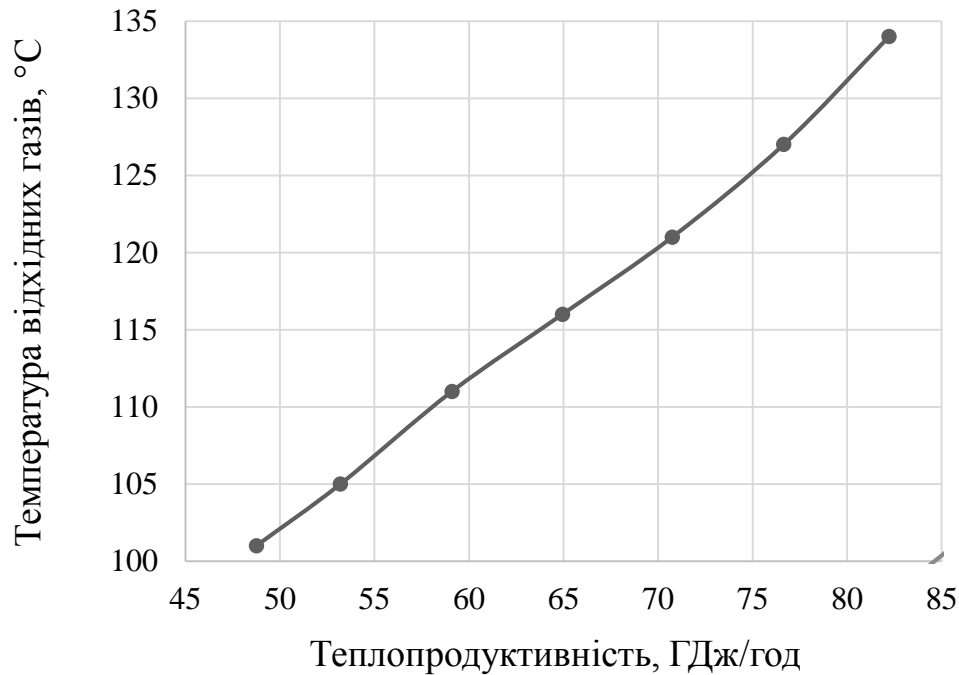


Рисунок 2.4 - Залежність температури відхідних газів. від теплопродуктивності котла КВ-ГМ-35-150

Цей графік має такий же характер, що і графік зображений на рисунку 2.2. З графіка видно, що чим вище теплопродуктивність котла, тим вище температура відхідних газів.

2.3.1 Втрати теплоти від хімічної неповноти згоряння

Втрати теплоти від хімічної неповноти згоряння виникають через незадовільне використання кисню повітря внаслідок недосконалого перемішування палива з повітрям і незадовільну аеродинаміку топки.

Крім того, можуть бути і інші причини: погане сумішоутворення, малі розміри топкової камери, що визначає недолік часу для завершення хімічної реакції, низька температура в топковому просторі, що призводить до зниження швидкості вигорання палива, висока температура, що може призвести до дисоціації продуктів згоряння. У топках раціональної конструкції при нормальній їх експлуатації q_3 становить (1...2) % [33].

Втрати теплоти від хімічної неповноти згоряння, %

$$q_3 = \frac{(30CO + 25.8H_2 + 85CH_4) \cdot h}{P} \cdot 100, \quad (2.10)$$

де h – розрахунковий параметр, який характеризує зміну об'єму продуктів згоряння у порівнянні з теоретичним об'ємом, тобто таким об'ємом, коли вони не розбавлені повітрям (визначається за даними аналізу газів);

P - кількість тепла, що виділяється при згоранні палива (віднесена до сухих продуктів згорання), кДж/м³.

Або за формулою

$$q_3 = \frac{(35CO + 30H_2 + 100CH_4)}{CO_2 + CO + CH_4}. \quad (2.11)$$

Тоді отримаємо, %

$$q_3 = \frac{(35 \cdot 0,005 + 30 \cdot 0 + 100 \cdot 0)}{8,3 + 0,005 + 0} = 0,02.$$

2.3.2 Втрати тепла в навколишнє середовище

Втрати тепла в навколишнє середовище q_5 в порівнянні з усіма іншими втратами тепла котельної установки є кількісно найбільш невизначеною, що пояснюється складністю проведення прямого вимірювання і багатоваріантністю методів розрахунку цього показника.

Реальна втрата q_5 залежить в основному від таких факторів:

- технічного стану та якості теплової ізоляції;
- величини паро- та теплопродуктивності котла;
- виду палива;
- конструктивних особливостей котельної установки;

- температурного рівня теплоносіїв, що контактують з теплоізоляцією (димові гази, гаряче повітря, вода);
- стану і якості теплоізоляції;
- температури повітря у котельні;
- температури зовнішнього повітря, яка відповідає існуючим кліматично-погоднім умовам [34].

При можливості зведення прямого балансу тепла котельної установки втрату тепла q_5 визначають, як залишкову складову теплового балансу. При зведенні теплового балансу втрати q_5 , як правило, визначають в залежності від паро- або тепло- продуктивності котла відповідно до нормативних графіків або за даними заводських і спеціальних налагоджувальних випробувань [35].

Втрати тепла в навколишнє середовище визначалися за формулою, %

$$Q_5 = q_{\text{ном.}} \quad (2.12)$$

Втрати тепла в навколишнє середовища ($q_{\text{ном.}} = 0,9$), % по паспорту.

Втрату теплоти стінками котлоагрегату приймають на рівні 1 %.

Втрати тепла в навколишнє середовище (факт.), %

$$q_5 = \frac{Q_{\text{ном.}}}{Q_k} \cdot q_{5\text{ном.}}, \quad (2.13)$$

де $Q_{\text{ном.}}$, Q_k - номінальна і фактична теплова потужність котла, ГДж/год

$$q_5 = \frac{146,65}{48,76} \cdot 0,9 = 2,71.$$

На основі проведених режимних випробувань котлоустановок побудовано графік залежності втрат тепла в навколишнє середовище через огорожувальні поверхні і елементи котла q_5 залежно від теплопродуктивності, що представлений на рисунку 2.5 [37].

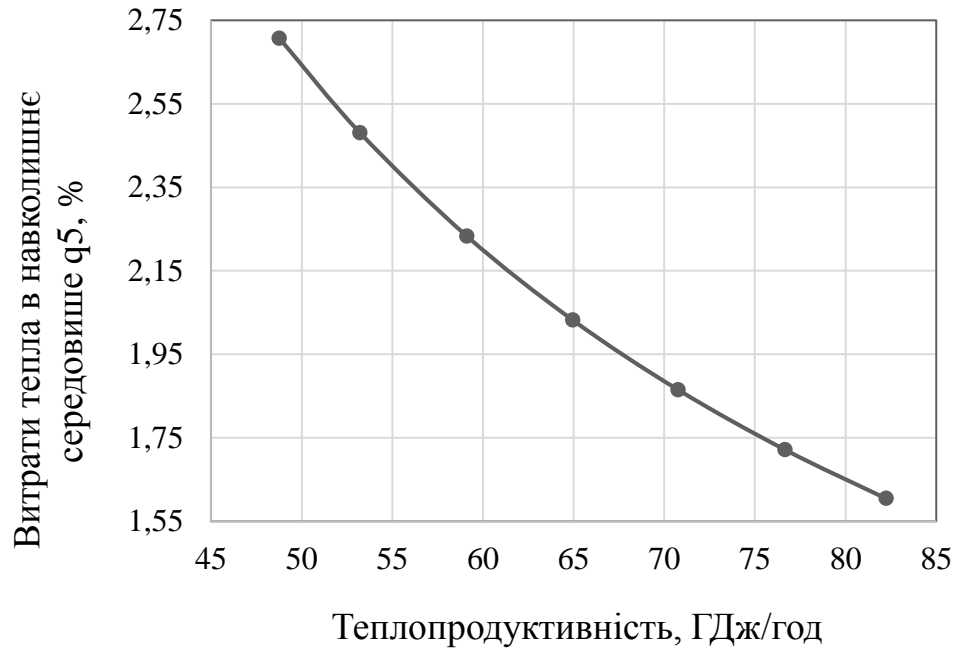


Рисунок 2.5 - Залежність втрат теплоти в навколишнє середовище від теплопродуктивності котла КВГМ-35-150.

З графіка видно, що з ростом теплопродуктивності відбувається зменшення втрат від зовнішнього охолодження. Збільшення втрат має місце за умови експлуатації котлів при навантаженнях, які менші за паспортну номінальну потужність котлів, що приводить до збільшення втрат теплоти у навколишнє середовище.

Поправочний коефіцієнт, що враховує фактичні параметри газу в порівнянні з розрахунковими даними витратомірного пристрою [39]

$$K_{\text{поп}} = \sqrt{\frac{(P^{\phi}_{\text{г}} + P_{\text{бар}}) \cdot \rho_{\text{рас}} \cdot (273 + T_{\text{рас}})}{(P^{\text{р}}_{\text{г}} + P_{\text{бар}}) \cdot \rho_{\text{ф}} \cdot (273 + T_{\text{ф}})}} \quad (2.14)$$

де $P^{\phi}_{\text{г}}$, $P^{\text{р}}_{\text{г}}$ - фактичний і розрахунковий надлишковий тиск газу, кПа;

$P_{\text{бар}}$ - барометричний тиск, Па

$$P_{\text{бар}} = \frac{P_{\text{с}} \cdot 13}{10000} \cdot 10^5, \quad (2.15)$$

де P_{ϕ} - барометричний тиск, мм рт. ст.;

$T_{рас}, T_{\phi}$ - фактична і розрахункова температура газу °С;

$\rho_{рас}, \rho_{\phi}$ - фактична і розрахункова щільність газу, кг/м³.

$$K_{поп} = \sqrt{\frac{(3,72 + 102123,12) \cdot 0,706 \cdot (273 + 20)}{(98523,48 + 3,92) \cdot 0,706 \cdot (273 + 15)}} = 1,03.$$

При лічильнику газу

$$K_{поп} = \frac{(P^{\phi}_{г} + P_{бар}) \cdot 293}{1,0336 \cdot (273 + T_{\phi})}, \quad (2.16)$$

$$K_{поп} = \frac{(0,4 + 766) \cdot 293}{1,0336 \cdot (273 + 15)} = 1,017.$$

Визначення фактичних витрат природного газу, приведених до нормальних умов (20°С, 760 мм рт. ст.), м³/год

$$G^{\phi}_{г} = G^п_{г} \cdot K_{поп}, \quad (2.17)$$

де $G^п_{г}$ - витрата газу по приладу, м³/год.

$$G^{\phi}_{г} = 1500 \cdot 1,03 = 1540,35.$$

Визначення кількості тепла від згорання палива, ГДж/год

$$Q_{т} = G^{\phi}_{г} \cdot Q^п_{н} \cdot 10^{-6}, \quad (2.18)$$

де $Q^п_{н} = Q_{н}$ - теплотворна здатність палива, яка під час випробувань становила 34022,8 кДж/м³ (за даними ВАТ «Запоріжгаз»),

$$Q_{т} = 1540,35 \cdot 34022,8 \cdot 10^{-6} = 54,40.$$

Питома витрата умовного палива, кг ум. палива/ГДж, визначається за формулою [38]

$$B_y = \frac{142,857}{\eta}, \quad (2.19)$$

де 142,857- теоретично необхідні питомі витрати умовного палива на вироблення 1 ГДж теплової енергії;

η - коефіцієнт корисної дії даної установки (котла) при роботі на цьому виді палива.

$$B_y = \frac{142,857}{0,9204} = 155,2.$$

Питома витрата використовуваного природного газу, м³/ГДж визначається за формулою

$$B' = \frac{B_y}{1,16}, \quad (2.20)$$

$$B' = \frac{155,2}{1,16} = 133,8.$$

Визначаємо ККД котлоагрегату по зворотному балансу, %, за формулою (2.1)

$$\eta_{зв} = 100 - 4,83 - 0,02 - 3,09 = 92,44.$$

Повнота передачі теплоти палива в котлі до робочого середовища визначається коефіцієнтом корисної дії (ККД) котла бруто. ККД бруто котельного агрегату характеризує ступінь його технічної досконалості. Залежність ККД котла від навантаження визначається сполученням багатьох факторів: конструкцією котла, маркою палива, що спалюється, повітряним

режимом та інше. На основі результатів розрахунку характеристик котельної установки був побудований графік залежності ККД брутто котла від теплопродуктивності (рисунок 2.6).



Рисунок 2.6 - Графік залежності ККД брутто котла від теплопродуктивності.

Отримані результати показують, що ККД котла зменшується із зростанням теплопродуктивності, оскільки із зростанням теплопродуктивності збільшуються втрати теплоти q_2 . Зменшення втрат теплоти в навколишнє середовище через огорожувальні поверхні і елементи котла q_5 менше, ніж збільшення втрат q_2 , тому не відбувається збільшення ККД котла.

Отримана величина ККД котла на навантаженнях близьких до номінальної (92,05...92,10) % близька до розрахункової величини коефіцієнта корисної дії котла КВ-ГМ-35-150 - 92,4 %.

Надмірне зменшення коефіцієнту надлишку повітря призводить до появи хімічної неповноти згорання. Втрата теплоти при цьому буде тим більші, чим

менше коефіцієнт надлишку повітря. На рисунку 2.7 показано найбільше значення ККД котла при визначеному коефіцієнті надлишку повітря.

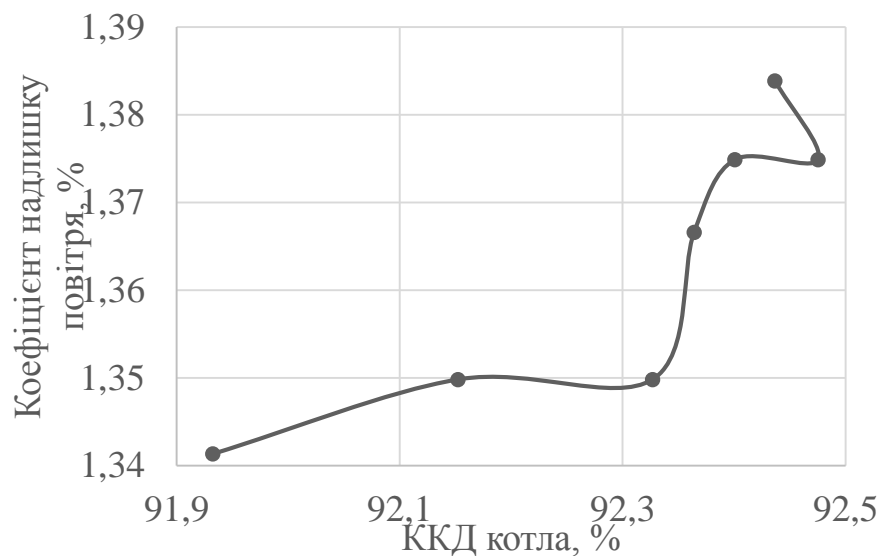


Рисунок 2.7 – Графік залежності коефіцієнту надлишку повітря від ККД котла

При надмірному збільшенні коефіцієнту надлишку повітря значення втрати теплоти із відхідними газами збільшуються більш різко, ніж знижуються втрати від хімічної неповноти спалювання, ККД котла зменшується.

Оптимальне значення коефіцієнту надлишку повітря визначається теплотехнічними і налагоджувальними випробуваннями котла на основі аналізу димових газів газоаналізаторами.

ККД котла по прямому балансу, %

$$\eta_{np} = \frac{Q_k \cdot 100}{Q_T}, \quad (2.21)$$

$$\eta_{np} = \frac{11,64 \cdot 4,19 \cdot 100}{12,64 \cdot 4,19} = 90,71.$$

Нев'язка теплового балансу, %

$$\eta_{\text{пр}} - \eta_{\text{зв}} = 92,44 - 90,71 = 1,73. \quad (2.22)$$

2.3.3 Визначення екологічних показників роботи котла

Концентрація шкідливої речовини в димових газах після котла, приведена до $\alpha = 1,0$, мг/м³ [40]

$$C^{\alpha=1} = 446,4 \cdot M \cdot C_i \cdot h, \quad (2.23)$$

де M - молекулярна вага шкідливої речовини;

C_i - концентрація шкідливої речовини в димових газах за даними виміру, % (при вимірі концентрації шкідливої речовини в ppm $C_i = C_{\text{ppm}} / 10000$, %);

h - коефіцієнт розбавлення.

Концентрація CO приведена до $L=1$, мг/м³

$$C^{\alpha=1} = 446,4 \cdot 0,0045 \cdot 1,43 \cdot 28 = 80,3.$$

Концентрація NO_x у перерахунку на NO₂, приведена до $d=1$, мг/м³

$$C^{\alpha=1} = 446,4 \cdot 0,0056 \cdot 1,43 \cdot 46 = 164,2.$$

Питомий викид шкідливої речовини, г/ГДж

$$b_i = \frac{C^{\alpha=1} \cdot 10^5}{P \cdot \eta}. \quad (2.24)$$

Питомий викид CO, г/ГДж

$$b_{CO} = \frac{80,3 \cdot 10^5}{1000 \cdot 92,44} = 86,9.$$

Питомий викид NO_x, г/ГДж

$$b_{NO_x} = \frac{164,2 \cdot 10^5}{1000 \cdot 92,05} = 177,6.$$

З усіх викидів в атмосферу енергетичними підприємствами найбільше токсичні оксиди азоту і канцерогенні речовини.

На робочих режимах роботи котлоагрегатів вміст окислу вуглецю (CO) в димових газах, приведене до $\alpha=1$ не перевищувало 87 мг/м^3 і діоксиду азоту (NO_x) не перевищувало 185 мг/м^3 що нижче встановленої норми показані на рисунку 2.8 та 2.9 [41].



Рисунок 2.8 - Графік залежності вміст CO у відхідних газах від теплопродуктивності котла

Оксид вуглецю при збільшенні теплопродуктивності зменшується (див. рис. 2.8).

Зменшення утворення оксиду вуглецю можна досягти інтенсифікацією процесу спалювання, але об'єми його утворення лімітуються коефіцієнтом надлишку повітря, так як процес згорання палива ведеться при надлишку повітря більше 1.

Наявність продуктів неповного згорання в значних концентраціях неприпустимо, оскільки призводить до забруднення атмосфери токсичними речовинами і до зниження ККД установок, що працюють на газовому паливі. Основні причини неповного згорання палива:

- спалювання газів з недостатньою кількістю повітря;
- погане змішання горючих газів і повітря до і в процесі горіння;
- надмірне охолодження полум'я до завершення реакцій горіння.

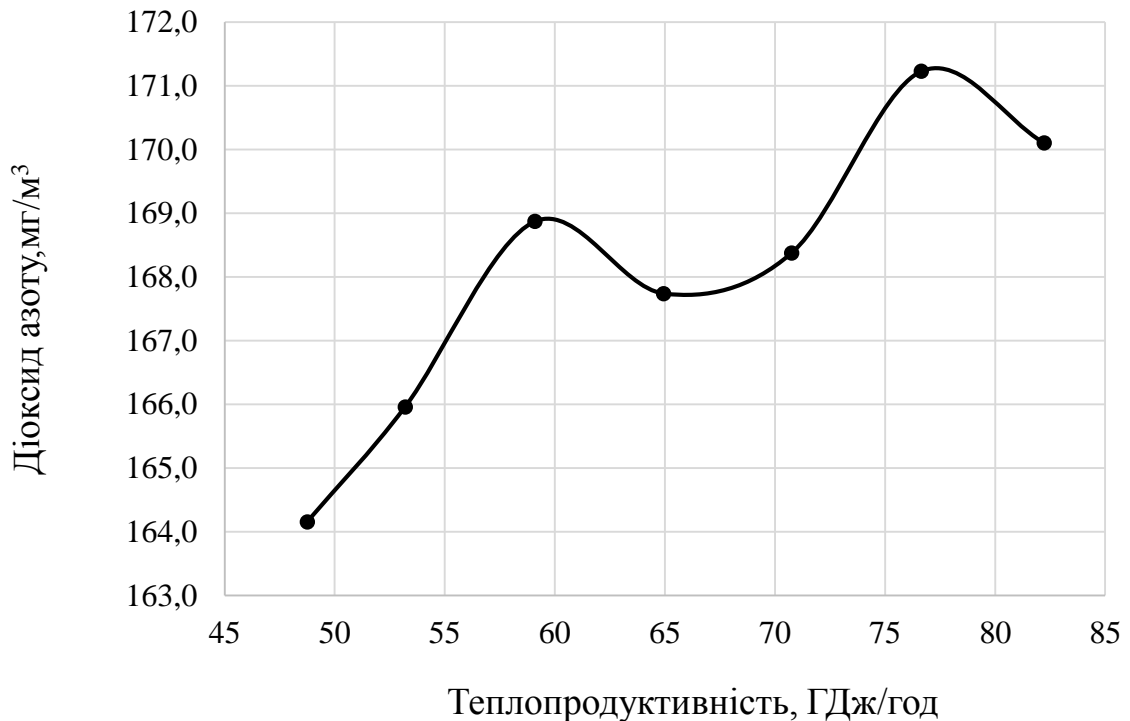


Рисунок 2.9 Графік залежності вміст NO_x у відхідних газах від теплопродуктивності котла

З графіку видно, що чим вище температура спалювання, тим більше оксидів азоту утвориться, але при достатньо високій температурі спалювання вміст NO_x зменшується.

Враховуючи умови утворення оксидів азоту при горінні палив за нижченаведеними схемами, можна виділити наступні фактори, що впливають на утворення NO_x :

- локальні температури газу в камері згоряння;
- час перебування газу в зоні високих температур;
- рівні концентрації кисню та азоту в зоні горіння;
- температура повітря на вході в камеру згоряння.

Масовий викид шкідливої речовини, г/сек

$$m_i = \frac{b_i \cdot Q_k}{3600} \quad (2.25)$$

Масовий викид CO, г/сек

$$m_{CO} = \frac{80,3 \cdot 48,76}{3600} = 1,18.$$

Масовий викид NO_x, г/сек

$$m_{NO_x} = \frac{177,6 \cdot 48,76}{3600} = 2,41.$$

Питомий викид шкідливої речовини на одиницю спалюваного палива,
кг/тис.м³

$$b^T = \frac{b_i}{b_{нал}}, \quad (2.29)$$

- діоксид азоту

$$b_{NO_x}^T = \frac{744,1}{558,2} = 1,33,$$

- оксид вуглецю

$$b_{CO}^T = \frac{364}{558,2} = 0,65.$$

Розрахунки при різних витратах природного газу, параметри на яких проводились теплотехнічні випробування та результати розрахунків наведений в таблиці 2.2.

Продовження таблиці 2.2

| | | | | | | | | | |
|---|--------------|---------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Тиск газу перед пальниками | P_r | Па | 0,127 | 0,147 | 0,196 | 0,245 | 0,294 | 0,343 | 0,412 |
| Тиск повітря після вентилятора А | $H_{гор}$ | Па | - | - | - | - | - | - | - |
| Тиск повітря після вентилятора Б | $H_{вен.}$ | Па | 186,3±49 | 225,4±49 | 284,2±49 | 333,2±49 | 411,6±49 | 480,2±49 | 617,4±49 |
| Розрідження в топці | S_T | Па | 24,5±14,7 | 24,5±14,7 | 24,5±14,7 | 24,5±14,7 | 24,5±14,7 | 24,5±14,7 | 24,5±14,7 |
| Кількість працюючих пальників | | шт. | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Температура зовнішнього повітря | $t_{х.в.}$ | °С | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| Температура відхідних газів | $t_{відх.г}$ | °С | 101 | 105 | 111 | 116 | 121 | 127 | 134 |
| Витрата води через котел | G_k | м ³ /год | 380 | 380 | 380 | 380 | 380 | 380 | 380 |
| Витрата води через котел (приведена) | G_k | м ³ /год | 364 | 363 | 362 | 361 | 359 | 359 | 356 |
| Температура води на вході в котел | t_1 | °С | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 |
| Температура води на виході з котла | t_2 | °С | 102 | 105 | 109 | 113 | 117 | 121 | 125 |
| Підігрів води в котлі | t | °С | 32 | 35 | 39 | 43 | 47 | 51 | 55 |
| Тиск води перед котлом | P_1 | Па | 73,50 | 73,50 | 73,50 | 73,50 | 73,50 | 73,50 | 73,50 |
| Тиск води після котла | P_2 | Па | 59,78 | 59,78 | 59,78 | 59,78 | 59,78 | 59,78 | 59,78 |
| Гідравлічний опір котла | P | Па | 13,72 | 13,72 | 13,72 | 13,72 | 13,72 | 13,72 | 13,72 |
| Концентрація у відхідних газах | | | | | | | | | |
| діоксид вуглецю | CO_2 | % | 8,3 | 8,3 | 8,3 | 8,4 | 8,5 | 8,5 | 8,5 |
| оксид вуглецю | CO | % | 0,0045 | 0,0045 | 0,0045 | 0,0045 | 0,0045 | 0,0045 | 0,0045 |
| кисень | O_2 | % | 6,3 | 6,2 | 6,2 | 6,1 | 5,9 | 5,9 | 5,8 |
| діоксид азоту | NO_x | % | 0,0056 | 0,0057 | 0,0058 | 0,0058 | 0,0059 | 0,006 | 0,006 |

Продовження таблиці 2.2

| | | | | | | | | | |
|--|----------------------------|--------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| азот | N ₂ | % | 85,396 | 85,496 | 85,496 | 85,496 | 85,596 | 85,596 | 85,696 |
| Коефіцієнт надлишку повітря | α | | 1,38 | 1,37 | 1,37 | 1,37 | 1,35 | 1,35 | 1,34 |
| Калорійність палива | Q _{н^p} | кДж/м ³ | 34022,8 | 34022,8 | 34022,8 | 34022,8 | 34022,8 | 34022,8 | 34022,8 |
| Жаропродуктивність | t _{max} | °C | 2040 | 2040 | 2040 | 2040 | 2040 | 2040 | 2040 |
| Коефіцієнт | B | | 0,81 | 0,81 | 0,81 | 0,81 | 0,81 | 0,81 | 0,81 |
| Коефіцієнт | L | | 0,85 | 0,85 | 0,85 | 0,85 | 0,85 | 0,85 | 0,85 |
| Максимальний вміст CO ₂ | CO ₂ | % | 11,86 | 11,78 | 11,78 | 11,84 | 11,82 | 11,82 | 11,74 |
| Ентальпія сухих газів | P | кДж/м ³ | 4190 | 4190 | 4190 | 4190 | 4190 | 4190 | 4190 |
| Поправочний коефіцієнт | K | | 0,77 | 0,77 | 0,77 | 0,77 | 0,77 | 0,77 | 0,77 |
| Поправочний коефіцієнт | C | | 0,82 | 0,82 | 0,82 | 0,82 | 0,82 | 0,82 | 0,82 |
| Коефіцієнт розбавлення | h | | 1,43 | 1,42 | 1,42 | 1,41 | 1,39 | 1,39 | 1,38 |
| Теплопродуктивність | Q _к | ГДж/год | 48,76 | 53,20 | 59,10 | 64,95 | 70,75 | 76,65 | 82,22 |
| Втрати тепла з відхідними газами | q ₂ | % | 4,84 | 5,02 | 5,35 | 5,58 | 5,79 | 6,11 | 6,44 |
| Втрати тепла від хім. недопалу | q ₃ | % | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| Втрати тепла в навколишнє середовище | q ₅ | % | 2,71 | 2,48 | 2,23 | 2,03 | 1,87 | 1,72 | 1,61 |
| Втрати тепла в навколишнє середовище (ном) | q _{5табл.} | % | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| ККД котла (брутто) | ККД зв | % | 92,44 | 92,48 | 92,40 | 92,36 | 92,33 | 92,15 | 91,93 |
| ККД котла (по прям.) | ККД пр | % | 89,63 | 91,69 | 90,53 | 89,54 | 88,68 | 88,06 | 87,20 |
| Нев'язка теплового балансу | | % | 2,81 | -0,79 | 1,87 | 2,82 | 3,65 | 4,09 | 4,73 |
| Тепло внесене в топку | Q _т | ГДж/год | 54,40 | 58,03 | 65,28 | 72,53 | 79,78 | 87,04 | 94,29 |

Продовження таблиці 2.2

| | | | | | | | | | |
|--|-------------------|------------------------|--------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Умовна витрата палива на 1 ГДж | Ву | кг у.п. | 1797,7 | 1917,50 | 2157,20 | 2396,90 | 2636,60 | 2876,30 | 3116,00 |
| Умовна витрата умовного палива на 1 ГДж | Ву | кг у.п./ГДж | 154,5 | 154,5 | 154,6 | 154,7 | 154,7 | 155,0 | 155,4 |
| Умовна витрата натурального палива на 1 ГДж | Ву | м ³ /ГДж | 133,2 | 133,2 | 133,3 | 133,3 | 133,4 | 133,6 | 134,0 |
| Теплонавантаження топочного об'єму | qv | кДж/м ³ год | 847,64 | 924,314 | 1028,226 | 1129,205 | 1230,603 | 1334,515 | 1433,399 |
| Фактична концентрація | | | | | | | | | |
| діоксид азоту | NO _x | мг/м ³ | 115 | 117 | 119 | 119 | 121,2 | 123,2 | 123,1 |
| оксид вуглецю | CO | мг/м ³ | 56,25 | 56,25 | 56,25 | 56,25 | 56,25 | 56,25 | 56,25 |
| Концентрація приведена до L=1 | | | | | | | | | |
| діоксид азоту | NO _x | мг/м ³ | 164,2 | 166,0 | 168,9 | 167,7 | 168,4 | 171,2 | 170,1 |
| оксид вуглецю | CO | мг/м ³ | 80,3 | 79,8 | 79,8 | 79,2 | 78,2 | 78,2 | 77,7 |
| Умовний викид NO _x | в NO _x | г/ГДж | 177,6 | 179,5 | 182,8 | 181,6 | 182,4 | 185,8 | 185,0 |
| Умовний викид CO | в CO | г/ГДж | 86,9 | 86,2 | 86,3 | 85,8 | 84,7 | 84,8 | 84,5 |
| Умовний викид на 1 тис. м ³ вмісту палива | | | | | | | | | |
| діоксид азоту | NO _x | кг/тис.м ³ | 1,33 | 1,35 | 1,37 | 1,36 | 1,37 | 1,39 | 1,38 |
| оксид вуглецю | CO | кг/тис.м ³ | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,64 | 0,63 | 0,63 | 0,63 |
| Масовий викид | | | | | | | | | |
| діоксид азоту | NO _x | г/сек | 2,41 | 2,65 | 3,00 | 3,28 | 3,58 | 3,96 | 4,23 |
| оксид вуглецю | CO | г/сек | 1,18 | 1,27 | 1,42 | 1,55 | 1,66 | 1,81 | 1,93 |
| щільність води на вих з котла | ρ | кг/м ³ | 957 | 955 | 952 | 949 | 945 | 944 | 939 |

2.3.4 Розрахунок викидів забруднюючих речовин

Розрахунок викидів шкідливих речовин виконується згідно з ГКД 34.02.305-2002 «Викиди забруднюючих речовин в атмосферу від енергетичних установок. Методика визначення», що діє з 01.07.2002 р. [42].

Масова витрата природного газу, тон/рік

$$B = B_v \cdot \rho_n, \quad (2.30)$$

де B_v – обсяг використаного газоподібного палива при нормальних умовах, тис.м³/рік;

ρ_n - густина палива, кг/м³.

$$B = 10652,932 \cdot 0,753 = 8021,251.$$

2.3.4.1 Валовий викид оксидів азоту NO_x

Під час спалювання органічного палива утворюються оксиди азоту NO_x (оксид азоту NO та діоксид азоту NO₂), викиди яких визначаються в перерахунку на NO₂.

Показник емісії оксидів азоту k_{NO_x} , з урахуванням заходів скорочення викиду розраховується як, г/ГДж

$$k_{NO_x} = (k_{NO_x})_0 f_n (1 - \eta_I) (1 - \eta_{II} \beta), \quad (2.31)$$

де $(k_{NO_x})_0$ – показник емісії оксидів азоту без урахування заходів скорочення викиду, згідно даним таблиці Д.14 [41, додаток Д], $(k_{NO_x})_0 = 100$ г/ГДж;

f_n – ступінь зменшення викиду NO_x під час роботи на низькому навантаженні;

η_I – ефективність первинних (режимно-технологічних) заходів скорочення викиду, відповідно до таблиці Д.7 [42, додаток Д], $\eta_I=0$;

η_{II} – ефективність вторинних заходів (азотоочисної установки), азотоочистна установка відсутня, тому $\eta_{II}=0$;

β – коефіцієнт роботи азотоочисної установки, азотоочистна установка відсутня, тому $\beta = 0$;

$$k_{NO_x} = 100^{((35,7/35,0)^{1,25} \cdot (1-0) \cdot (1-0))} = 102.506.$$

Ступінь зменшення викиду NO_x f_n під час роботи на низькому навантаженні визначається за формулою

$$f_n = \left(\frac{Q_\phi}{Q_n} \right)^z, \quad (2.32)$$

де z – емпіричний коефіцієнт, який залежить від виду енергетичної установки, її потужності, типу палива, значення z береться з таблиці Д.6 [42, додаток Д], для природного газу $z=1,25$;

Q_ϕ - фактична теплова потужність, МВт;

Q_n - номінальна теплова потужність, МВт.

$$f_n = \left(\frac{35,7}{35} \right)^{1,25} = 1,025.$$

2.3.4.2 Валовий викид оксидів азоту, тон/рік

$$E_{NO_x} = 10^{-6} \cdot k_{NO_x} \cdot Q_i^r \cdot B,$$

де Q_i^r - нижча робоча теплота згорання палива, МДж/кг;

B - масова витрата природного газу, тон/рік;

$$E_{NO_x} = 10^{-6} \cdot 102,506 \cdot 45,22 \cdot 8021,251 = 37,181.$$

2.3.4.3 Валовий викид оксиду вуглецю CO

Утворення оксиду вуглецю CO є результатом неповного згорання вуглецю органічного палива. Зі зменшенням потужності енергетичної установки концентрація CO в димових газах зростає.

Валовий викид оксиду вуглецю визначаємо наступним чином, тон/рік

$$E_{co} = 10^{-6} \cdot k_{co} \cdot Q_i^r \cdot B, \quad (2.34)$$

де k_{co} - показник викидів оксиду вуглецю, за даними таблиці Е.1 [42, додаток Е], $k_{co} = 17$ г/ГДж;

Q_i^r - нижча робоча теплота згорання палива, МДж/кг;

B - масова витрата природного газу, тон/рік

$$E_{co} = 10^{-6} \cdot 17 \cdot 45,22 \cdot 8021,251 = 6,166.$$

2.3.4.4 Валовий викид діоксиду вуглецю CO₂

Діоксид вуглецю (вуглекислий газ CO₂) відноситься до парникових газів і є основним газоподібним продуктом окислення вуглецю органічного палива. Обсяг викиду CO₂ безпосередньо пов'язано із вмістом вуглецю в паливі та ступенем окислення вуглецю палива в енергетичній установці.

Показник емісії діоксиду вуглецю k_{CO_2} під час спалювання органічного палива визначається за формулою, г/ГДж

$$k_{CO_2} = \frac{44}{12} \cdot \frac{C^r}{100} \cdot \frac{10^6}{Q_i^r} \varepsilon_c, \quad (2.35)$$

де C^r – масовий вміст вуглецю в паливі на робочу масу, %;

Q_i^r – нижча робоча теплота згоряння палива, МДж/кг;

ε_C – ступінь окислення вуглецю палива. За даними додатку А [42, додаток А] для природного газу рекомендоване значення ε_C становить 0,995.

$$k_{CO_2} = \frac{44 \cdot 73 \cdot 10^6}{12 \cdot 100 \cdot 45,22} \cdot 0,995 = 58896,137.$$

Валовий викид діоксиду вуглецю, тон/рік

$$E_{CO_2} = 10^{-6} \cdot k_{CO_2} \cdot Q_i^r \cdot B,$$

$$E_{CO_2} = 10^{-6} \cdot 58896,137 \cdot 45,22 \cdot 8021,251 = 21362,865.$$

2.3.4.5 Валовий викид ртуті та її сполук

Валовий викид ртуті та її сполук визначаємо за формулою, тон/рік

$$E_{Hg} = 10^{-6} \cdot k_{Hg} \cdot Q_i^r \cdot B,$$

де k_{Hg} - показник емісії ртуті та її сполук, згідно даних таблиці Д.14 [42, додаток Д] $k_{Hg} = 0,0001$ г/ГДж

$$E_{Hg} = 10^{-6} \cdot 0,0001 \cdot 45,22 \cdot 8021,251 = 0,000036.$$

2.3.4.5 Валовий викид оксиду азоту (1) N₂O

Оксид азоту (1) N₂O відноситься до парникових газів.

Валовий викид оксиду азоту (1) N₂O розраховується наступним чином, тон/рік

$$E_{N_2O} = 10^{-6} \cdot k_{N_2O} \cdot Q_i^r \cdot B,$$

де k_{N_2O} - показник емісії оксиду азоту (1) N_2O , за даними таблиці Е.3 [42, додаток Е] $k_{N_2O} = 0,1$ г/ГДж

$$E_{N_2O} = 10^{-6} \cdot 0,1 \cdot 45,22 \cdot 8021,251 = 0,03627.$$

2.3.4.6 Валовий викид метану CH_4

Метан CH_4 також відноситься до парникових газів. Утворення метану під час спалювання органічного палива в енергетичних установках дуже незначне. Воно пов'язане з неповним згорянням органічного палива і зменшується з підвищенням температури згоряння та масштабу енергетичної установки.

Валовий викид метану визначаємо за формулою, тон/рік

$$E_{CH_4} = 10^{-6} \cdot k_{CH_4} \cdot Q_i^r \cdot B,$$

де k_{CH_4} - показник емісії метану, згідно даних таблиці Е.4 [42, додаток Е], $k_{CH_4} = 1$ г/ГДж

2.3.5 Результати теплових випробувань

Для визначення основних техніко-економічних показників роботи котла були проведені балансові теплові випробування на оптимальних режимах, попередньо встановлених режимно-налагоджувальними випробуваннями.

Котел КВ-ГМ-35-150 працює досить економічно і його КПД при зміні теплопродуктивності від 48,76 ГДж/год до 82,22 ГДж/год змінювався відповідно від 92,44 % до 91,93 %. Основні втрати є втрати з газами в навколишнє середовище, які на встановлених режимах відповідно змінювалися від 4,84 % до 6,44 % і від 2,71 % до 1,61 %.

Втрати тепла від хімічної неповноти згорання палива на окремих режимах склали 0,02 %.

На підставі результатів випробувань котла КВ-ГМ-35-150 були побудовані графіки залежності наступних параметрів від теплопродуктивності:

- коефіцієнт надлишку повітря;
- втрата тепла з відхідними газами;
- температури відхідних газів;
- втрата тепла в навколишнє середовище;
- ККД;
- вміст CO у відхідних газах;
- вміст NO_x у відхідних газах.

Також побудований графік залежності ККД котла від коефіцієнту надлишку повітря.

Питома витрата умовного палива на 1 ГДж виробленого тепла (без урахування власних потреб) при збільшенні теплопродуктивності від 48,76 ГДж/год до 82,22 ГДж/год становив відповідно (154,5...155,4) кг ум. палива/ГДж. Для котла КВ-ГМ-35-150, який працює на різних теплових навантаженнях, гідравлічний опір склав 13,72 Па.

2.4 Оцінка емісії парникових газів при використанні біогазу

Безперервне зростання потреб сучасного суспільства в енергії призводить до збільшення споживання викопних паливно-енергетичних ресурсів і, відповідно, до збільшення викиду в атмосферу продуктів згорання, у тому числі, парникових газів, підвищення концентрації яких в атмосфері є однією з вірогідних причин безповоротної зміни клімату [43].

Упродовж останнього десятиліття відвертання загрози глобальної зміни клімату увійшла до числа основних завдань сучасного суспільства. Одним з шляхів рішення цих завдань є прийняття країнами національних зобов'язань

по зниженню викидів парникових газів. З урахуванням цих зобов'язань останнім часом країни починають формувати свої національні сценарії стійкого розвитку, ґрунтовані на принципах економки з низькою вуглецюродоємністю національного продукту [45].

Викиди парникових газів (ПГ) підприємствами енергетики є визначальний в національному кадастрі викидів більшості країн. Для України ці викиди так само складають основну долю викидів ПГ серед усіх сфер господарської діяльності. Природно тому, що облік викидів ПГ підприємствами енергетики має бути особливо ретельним, а невизначеність в оцінках – мінімальною [47].

Залежно від повноти інформації можлива оцінка (розрахунок) викидів ПГ на трьох рівнях. Чим більше інформації про вживану технологію спалювання палива, тим вищим може бути рівень оцінки. Так, якщо відомі тільки дані про кількість спаленого палива за рік, то розрахунки можливі тільки на рівні 1. При цьому ще необхідно буде користуватися коефіцієнтами викидів ПГ на одиницю спаленого палива, отриманими для Європи і США, т.з. коефіцієнтами викидів "за умовчанням".

Якщо ж є національні дані про питомі коефіцієнти викидів для цих джерел викидів і типу палива і, крім того, відомий вміст вуглецю у використовуваних видах палива, то розрахунки можливо виконати на рівні 2. В цьому випадку коефіцієнти викидів ПГ "за умовчанням" для рівня 1 замінюються на конкретні, отримані для цієї країни коефіцієнти викидів. Такі коефіцієнти можуть бути розраховані на основі конкретних даних для країни про вміст вуглецю в паливі, стан технології спалювання, що залишилося в золі вуглецю, які теж можуть мінятися з часом. Ефективна практика полягає в тому, щоб питомі коефіцієнти викидів для країни порівнювалися з коефіцієнтами "за умовчанням". Відмінність має бути, біля 5 % [49].

Однак таке порівняння виконують відповідні НДІ країни. Завдання підприємства - скористатися національними коефіцієнтами, якщо вони є. А такі коефіцієнти для палива України є. Тому при розрахунку викидів CO₂ цими

коефіцієнтами слід користуватися і тоді результати розрахунків відповідатимуть рівню 2. Коефіцієнт приведений в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Категорії палива і використовувані види палива, що відповідають їм

| Категорії палива | Теплотворна здатність, ТДж/тис.т, k | Коефіцієнт емісії, тС/ТДж, $k_{\text{пр}}$ |
|------------------|-------------------------------------|--|
| Природний газ | 34,08 | 15,17 |

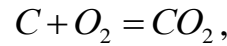
Рівень 3 найбільш прийнятний, як що дає мінімальні погрішності, можливо використати, якщо є наступні дані:

- інформація про якість використовуваного палива;
- технологія спалювання;
- умови експлуатації;
- технології контролю за процесами спалювання;
- якість технічного обслуговування;
- вік устаткування, використовуваного для спалювання палива.

У додатку до рівня 3 усе це враховується шляхом розбиття усієї процедури споживання палива на одноманітні по режиму роботи і типу палива ділянки і використання для кожного з них своїх питомих коефіцієнтів викидів. Особливо це важливо при оцінці викидів метану (CH_4) і закису азоту (N_2O). Коефіцієнти викидів двоокису вуглецю (CO_2) залежать від перелічених вище чинників у меншій мірі, оскільки викиди CO_2 майже не залежать від технології спалювання. Відповідно і використання рівня 3 для його розрахунків не вимагається. Безперервний моніторинг технології спалювання потрібний для точної оцінки викидів CH_4 і N_2O . Особливо він виправданий при спалюванні твердого палива або, якщо паливо відрізняється помітною різноманітністю своїх характеристик.

2.4.1 Порядок розрахунків емісії парникових газів

Розрахунки викидів вуглекислого газу (CO_2) краще всього піддаються контролю, оскільки вони базуються на рівнянні окислення вуглецю:



чи в молярних масах:

$$12 + 2 \cdot 16 = 12 + 16 \cdot 2 = 44.$$

Отже, на 12 молярних мас вуглецю доводиться 44 маса двоокису вуглецю. Відповідно, на одну молярну масу вуглецю доводиться $44/12$ мас двоокису вуглецю, тобто на кожну спалену тонну вуглецю викидається $44/12$ або $\approx 3,67$ т двоокису вуглецю. Теорія легко реалізується стосовно спалювання вугілля, яке після відділення всіляких домішок представляє чистий вуглець. Правда, тверде паливо не завжди згорає на 100 проте в останньому Керівництві рекомендується вести розрахунки викидів, виходячи саме з такої умови, чому ми теж слідуємо.

Фактичні теплотворна здатність палива і зміст в нім вуглецю регламентуються, проте, національними коефіцієнтами, що приведе до невеликих, в межах 5 відмінностям з результатами, отриманими на основі приведеного вище рівняння. Проте грубі прорахунки, які можуть виникнути, легко виявити саме на основі рівняння: кількість викидів CO_2 повинна приблизно в 3,67 разу перевищувати кількість спаленого вугілля і приблизно в 2 рази - мазуту і інших нафтопродуктів.

Як сказано вище, розрахунки викидів CO_2 ми виконуємо з використанням національних коефіцієнтів, тобто зазвичай на рівні 2. (Для деяких видів палива є тільки коефіцієнти підприємств.

Дещо складніше розрахувати викиди інших парникових газів - CH_4 і N_2O . Питома кількість викидів кожного з них визначається особливостями

технологічного процесу спалювання якість: температурою згорання і її розподілом за об'ємом камери, кількістю повітря, що подається, і так далі. Відповідно, невизначеності обчислень більше. В той же час технологічні процеси теплових станцій і великих котельних характеризуються високою стабільністю і контролем за ними, що сприяє утриманню рівня невизначеності в прийнятних межах. Необхідних даних про технологію спалювання ми доки не маємо. Тому ми скористаємося пропонованими нам питомими коефіцієнтами викидів парникових газів CH_4 і N_2O "за умовчанням", тобто виконаємо розрахунки на рівні 1.

Незалежно від виду палива схема підходу до оцінки викидів ПГ (схема ухвалення рішень) одна і та ж. Вона приведена на рисунку 3.1 (Власне рішення про рівень розрахунків викидів CO_2 , CH_4 і N_2O нами вже прийнято). У будь-якому випадку необхідно знати кількість спаленого палива за рік і види палив. Національні коефіцієнти, необхідні для розрахунку викидів CO_2 , приведені в таблиці 3.1. Питомі коефіцієнти викидів CH_4 і N_2O приведені в таблиці 2.4.

Таблиця – 2.4 Коефіцієнти викидів метану і закису азоту для підприємств енергетики (коефіцієнти за умовчанням)

| Основна технологія | Коефіцієнти викидів (кг/ГДж енергії, що підводиться) | |
|--------------------|---|----------------------|
| | CH_4 | N_2O |
| Котли | 1 | 1 |

2.4.2 Розрахунок викидів CO_2

У простому випадку при розрахунках на рівні 1 викиди будь-якого парникового газу $M_{\text{ПГ}}$ в першу чергу CO_2 складе

$$M_{\text{ПГ}} = \sum_1^n m \cdot k \cdot k_{\text{ПГ}} \cdot \phi.$$

де m - кількість спаленого палива цього типу, в тонах;

k - коефіцієнт для перерахунку палива з тис.т. в терраДж,

$k_{ПГ}$ - питомий коефіцієнт емісії вуглецю. Для CO_2 він дорівнює змісту в паливі вуглецю, помноженому на 44/12,

Φ - фракція окислення, нині приймається, що $\Phi=1$. Цей коефіцієнт потрібний для кращого узгодження з теорією і розуміння фізичної суті обчислень;

n - число видів палива, які були використані.

Для кожного виду розрахунку виконуються незалежно, а суми того або іншого ПГ потім складаються.

Викиди CH_4 і N_2O розраховуються по тій же формулі 1 і в простому випадку при розрахунках на рівні 1 питомі коефіцієнти викидів CH_4 і N_2O беруться з таблиці 2 "за умовчанням" (якщо розширених даних про технологію спалювання палива немає). На відміну від CO_2 , отриманий результат не треба множити на коефіцієнт 44/12.

2.4.3 Розрахунок емісії парникових газів

Оскільки ніяких даних про режим спалювання палива немає окрім його кількості, то розрахунки доведеться виконувати для CO_2 на рівні 2, а для CH_4 і N_2O на рівні 1. Оцінімо спочатку викиди CO_2 від спалювання природного газу. Для зручності складемо таблицю 2.5.

Таблиця 2.5 - Результати розрахунків викидів CO_2 від спалювання природного газу

| Паливо | Кількість, тис. нм ³ /год | Коефіцієнт перерахун ку в ТДж | Кількість, ТДж | Питомий коефіцієнт викидів, т/ТДж | Викиди CO_2 , т |
|------------------|--|-------------------------------------|-------------------|--|----------------------|
| Природний газ | 4076000 | 34,08 | 138910,08 8 | $15,17 \cdot \frac{44}{12}$ | 7726641, 68 |

Таким чином, викиди CO₂ від спалювання природного газу склали 7726641,68 тон.

Оскільки викиди CH₄ і N₂O здійснюються від тієї ж кількості палива, що і для CO₂, то скористаємося вже перерахованими даними палива з тон в терраДж. Величина викидів CH₄ і N₂O від спалювання природного газу показана в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 - Величина викидів CH₄ і N₂O від спалювання природного газу

| Паливо | Кіл-ть, тис. нм ³ /год | Питомий коефіцієнт викидів CH ₄ т/ТДж | Викид и CH ₄ , т | Питомий коефіцієнт викидів N ₂ O т/ТДж | Викиди N ₂ O, т |
|---------------|--------------------------------------|---|-----------------------------------|--|-------------------------------|
| Природний газ | 138910,088 | 0,001 | 138,91 | 0,001 | 138,91 |

Для отримання результату в CO₂-еквіваленте множимо викиди метану на потенціал глобального потепління метану - 21, а викиди закису азоту на потенціал глобального потепління 310. Таким чином, отримуємо сумарні викиди:

$$7726641,68 + (138,91 \cdot 21) + (138,91 \cdot 310) = 7772620,89 \text{ т CO}_2\text{-еквівалента.}$$

3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ НА КОТЕЛЬНІ

3.1 Характеристика потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів

При виробництві теплової енергії мають місце шкідливі виробничі фактори, які мають прямий або непрямий вплив на умови праці робітників. До числа цих факторів у котельній відносяться: теплові випромінювання, різні шуми та вібрація, наявність частин, що обертаються насосних установок, можливі витоки газу у приміщення котельні.

Джерелами теплового випромінювань є обмурування котла, нагріте до високої температури, неізольовані або погано ізольовані ділянки паропроводу також можуть представляти собою небезпечні зони теплового випромінювання.

Під впливом теплового випромінювання у людини спостерігається різке почастішання серцебиття, підвищення максимального і зниження мінімального артеріального тиску, почастішання дихання, підвищення температури тіла і посилення потовиділення.

Під час технологічного процесу вироблення теплоти в навколишнє середовище котельні можуть виділятися шкідливі газоподібні речовини.

У повітря робочої зони потрапляють такі газоподібні речовини: CO, SO₂, NO₂ і ін. Оксид вуглецю (II) є продуктом неповного згоряння палива. CO надходить в організм людини через дихальні шляхи. Через утворення карбоксигемоглобіну різко знижується здатність крові переносити кисень до тканин, може наступити кисневе голодування. Головним чином, це впливає на функції центральної нервової системи. Сірчаний ангідрид має подразливу дію. При контакті з біологічними органами він викликає запальну реакцію, причому в першу чергу страждають органи дихання, шкіра і слизові оболонки очей. Діоксид азоту потрапляє в організм через дихальні шляхи і утворює в крові метгемоглобін. У робітників може виникнути кашель, задуха. У важких

випадках може розвинутися набряк легень. Спостерігаються також головні болі, серцева слабкість.

Оцінка факторів виробничого середовища і трудового процесу наведена в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Оцінка факторів виробничого середовища і трудового процесу

| Фактори виробничого середовища і трудового процесу | Нормативне значення (ГДК) | Фактичне значення | III клас: шкідливі і небезпечні умови, характер праці | | | |
|--|---------------------------|-------------------|---|------------|-------------|------------------------------------|
| | | | I ступінь | II ступінь | III ступінь | Тривалість дії фактора за зміну, % |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Шкідливі хімічні речовини, мг/м ³ | | | | | | |
| I клас небезпеки | | | | | | |
| II клас небезпеки | | | | | | |
| III клас небезпеки: | | | | | | |
| SO ₂ | 10 | 7,99 | - | - | | 85 |
| NO ₂ | 2 | 2,4 | 1,2 | - | | 85 |
| IV клас небезпеки: | | | | | | |
| CO | 20 | 22 | 1,1 | - | | 85 |
| Кремнію діоксид кристалічний при вмісті в пилу від 2 до 10 % | 4 | 24,79 | - | - | 6,2 | 85 |
| Вібрація, дБ | 92 | 96 | - | 4 | - | 100 |
| Шум, дБ | 70 | 88 | - | 13 | - | 100 |

Продовження таблиці 3.1.

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|--|--|------|---|-----|---|----|
| Мікроклімат у приміщенні: - температура повітря, °С | 18-27 | 31,5 | - | 4,5 | - | 85 |
| - швидкість руху повітря, $\frac{m}{c}$ | 0,2-0,4 | 0,3 | - | - | - | 85 |
| - відносна вологість повітря, % | 60 | 54 | - | - | - | 85 |
| - інфрачервоне випромінювання, $\frac{Вт}{m^2}$ | 100 | 1000 | - | 900 | 1 | 85 |
| Важкість і напруженість праці | Категорія важкості – середньої важкості Па. Напруженість праці – помірно напружена. | | | | | |

Умови і характер праці відносяться до III класу 3 ступеня. Робоче місце має в наявності: 2 фактора I ступеня, 4 фактора II ступеня, 1 фактор III ступеня. За показниками робоче місце слід вважати з несприятливими умовами праці.

Робота обладнання створює в котельному залі шум і вібрацію, які перевищують гранично - допустимі значення 70 дБ - для шуму і 92 дБ - для вібрації. Ці фактори негативно впливають на людину, що знаходиться поблизу даного устаткування, а також негативно впливають на опорно-руховий апарат і слух людини. Незважаючи на ефективну теплоізоляцію котлів, трубопроводів пари і газоходів, в приміщенні виділяється надлишкове тепло, що створює в теплий період року в залі котельного цеху підвищену температуру (до 31,5 °С) і ускладнює віддачу тепла людським тілом при фізичній роботі в даному приміщенні.

3.2 Заходи зі зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Від розглянутих вище потенційно шкідливих факторів виробничого середовища в котельному цеху можуть бути вжиті наступні заходи захисту.

Для захисту від теплових випромінювань і створення необхідних умов праці застосовують: теплову ізоляцію котлів, трубопроводів пари і газоходів; загальну природну припливну вентиляцію і локальну механічну витяжну вентиляцію з використанням вентиляторів; спецодяг та інші засоби індивідуального захисту; встановлюють раціональний режим праці та відпочинку та ін.

Одним з основних заходів щодо запобігання можливого отруєння оксидом вуглецю (II), сірчистим ангідридом, діоксидом азоту та іншими газами є своєчасне виявлення місць їхнього виділення і скупчення. Необхідною умовою, щоб їх концентрація у повітрі була нижче гранично допустимої концентрації є герметизація газових об'єктів, газозахисної апаратури для ізолювання органів дихання людини від навколишнього середовища.

Для зниження рівня шуму передбачено установка звукоізованих кожухів на електродвигуни насосів.

Для усунення вібрації передбачено: віброізоляція віброуючих пристроїв і устаткування; установка обладнання на амортизаторах; установка обладнання на самостійних фундаментах; віброізоляція майданчиків для обслуговування обладнання.

3.3 Виробнича санітарія

Використовуючи дані таблиці 3.1 можна зробити висновок, що швидкість руху повітря і відносна вологість в приміщенні знаходяться в межах

норми, інфрачервоне випромінювання перевищує норму в 10 разів, а фактична температура повітря перевищує нормативну на 4,5 °С.

Для виведення теплонадлишків, тобто підтримання припустимої температури повітря і підтримання гранично припустимих концентрацій речовин у повітрі робочої зони використовується загальна природна та локальна механічна витяжна вентиляції.

При механічній вентиляції використовуються вентилятори, а при природній вентиляції повітря переміщується внаслідок різниці тисків зовнішнього і внутрішнього повітря. Для посилення видалення повітря з приміщень на шахті встановлюється дефлектор.

Приміщення цеху повинно бути освітлено таким чином, щоб забезпечити якісний монтаж котла, а при експлуатації, можливість правильної роботи. Розряд зорової роботи IVa. Найменша освітленість при газорозрядних лампах і загальному освітленні складає 200 лк.

Згідно СНіПу II-4-79 «Природне і штучне освітлення» характеристику зорових робіт операторів котельні можна віднести до розряду VІІа - загальне спостереження за перебігом виробничого процесу з постійним перебуванням. Для такої характеристики табличне значення коефіцієнта природної освітленості 0,2%. На котельні також використовується штучне освітлення газорозрядними лампами високого тиску типу ДРЛ. Освітлювальні прилади в залежності від розташування обладнання знаходяться на різній висоті.

3.4 Електробезпека

Згідно Правил будови електроустановок приміщення котельного цеху можна віднести до сухих - приміщення, у яких відносна вологість повітря не перевищує 60%, пильних - приміщення, у яких виділяється технологічний пил у кількості, достатньої для того, щоб він проникав під кожухи електрообладнання і осідав на проводах.

Котельня оснащена різноманітним електроустаткуванням: щити управління процесом вироблення та транспортування гарячої води, електродвигуни, циркуляційні і підживлюючі насоси, електроінструменти та інше.

З урахуванням середовища в приміщенні котельні його можна віднести до особливо небезпечного приміщенню по ураженню електричним струмом. Тут присутні наступні фактори: підвищена температура повітря 31,5°C; струмопровідні підлоги; можливість одночасного дотику до металевих конструкцій електроустаткування і заземлених металевих конструкцій.

Живлення цих машин здійснюється від електромережі напругою 220 і 380В, яка є небезпечною для життя. При експлуатації електрообладнання в цеху може статися замикання на корпус. Дотик до такого устаткування є небезпечним. Тому необхідно передбачити відповідні засоби захисту від електричного струму.

В якості засобів захисту обладнання застосовуються захисне занулення, блокуванням апаратів для запобігання помилкових операцій, автоматичне захисне відключення, ізоляція струмоведучих частин та їх закриття, заземленням корпусів електрообладнання та елементів установок, які можуть опинитися під напругою.

В якості засобів індивідуального захисту від ураження електричним струмом в електромережах з напругою до 1000 В використовують: діелектричні рукавиці, інструмент з ізольованими ручками, вказівники напруги, діелектричні галоші, гумові килимки, ізолюючі підставки.

У мережі з заземленою нейтраллю напругою до 1000 В захисне заземлення неефективне, тому що струм глухого замикання на землю залежить від опору заземлення і зі зменшенням останнього струм зростає.

Розрахунок захисного занулення.

Занулення - навмисне електричне з'єднання металевих неструмоведучих частин електроустановок, що можуть виявитися під напругою з глухозаземленою нейтральною точкою обмотки джерела струму в однофазних

мережах і з глухозаземленою середньою точкою обмотки джерела енергії в мережах постійного струму. Якщо значення струму трифазного короткого замикання, $I_{кз}$ задовольняє значенню $I_{кз} \geq K \cdot I_{спрац}$, то при замиканні фази на занулений корпус, електроустановка, автоматично відключається.

Вихідні дані: $I_{спрац} = 400 \text{ А}$, $l = 200 \text{ м}$.

Дійсне значення струму короткого замикання ($I_{кз}$), в якому дійсні значення опорів трансформатора і петлі фаза-нуль Z_T і Z_n складаються арифметично розраховується за формулою, А

$$I_{\phi} = \frac{U_{\phi}}{\frac{Z_T}{3} + Z_n},$$

де Z_T - повний опір обмоток трифазного джерела струму (генератора чи трансформатора), Ом;

Z_n - повний опір петлі фаза - нуль, Ом.

Опір петлі фаза-нуль Z_n складається з ряду послідовно включених опорів і дорівнює, Ом:

$$Z_n = \sqrt{(R_{\phi} + R_{нз})^2 + (X_{\phi} + X_{нз} + X_n)^2},$$

де R_{ϕ} і $R_{нз}$ - активні опори фазного і нульового захисного провідників, Ом;

X_{ϕ} і $X_{нз}$ - внутрішні індуктивні опори фазного і нульового захисного провідників, Ом;

X_n - зовнішній індуктивний опір петлі фаза - нуль, Ом.

Розрахункова формула впливає з виразів (1), (2) та (3) і має вигляд:

$$kI_{спрац} \leq \frac{U_{\phi}}{\frac{Z_T}{3} + \sqrt{(R_{\phi} + R_{нз})^2 + (X_{\phi} + X_{нз} + X_n)^2}}$$

Потужність трансформатора дорівнює 1000 кВ А, номінальна напруга обмоток високої напруги дорівнює 10 кВ.

По таблиці (Додаток 7) [36] знаходимо для смуги перетином $50 \times 4 \text{ мм}^2$

$$\text{при } \delta = \frac{I_{\text{спрац.}}}{S} = \frac{400}{200} = 2 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}, \quad r_{\omega} = 1,24 \frac{\text{Ом}}{\text{км}}, \quad X_{\omega} = 0,74 \frac{\text{Ом}}{\text{км}},$$

де r_{ω} - активний опір сталевих провідників

Тоді, активний опір смуги $R_{н.з.}$, Ом

$$R_{н.з.} = r_{\omega} \cdot l = 1,24 \cdot 0,2 = 0,248 .$$

Лінія 380/220 В з мідними проводами 90 мм^2 живиться від трансформатора, потужністю 1000 кВ А.

Визначаю опір фазного і нульового захисного провідників R_{ϕ} , X_{ϕ} , $R_{н.з.}$, $X_{н.з.}$ на ділянці лінії $l = 200 \text{ м}$

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S},$$

де ρ - питомий опір матеріалу провідника, Ом·м;

l - довжина, м;

S - площа перетину, м^2 .

Для міді $\rho = 0,018 \text{ Ом мм}^2/\text{м}$

$$R_{\phi} = 0,018 \frac{200}{90} = 0,04 .$$

Оскільки фазний дріт мідний, приймаємо $X_{\phi}=0$

$$X_{н.з.} = X_{\omega} \cdot l ,$$

де $X_{н.з.}$ - внутрішній індуктивний опір смуги, Ом

$$X_{н.з.} = 0,74 \cdot 0,2 = 0,148$$

Зовнішній індуктивний опір 1 км петлі фаза-нуль приймаємо $X_{\pi}=0,6$ Ом/км, отже, $X_{\pi}=0,6 \cdot 0,2 = 0,12$ Ом.

Знаходимо дійсні значення струму однофазного короткого замикання, $I_{к.з.}$, А, що проходить по петлі фаза-нуль при замиканні фази на корпус трансформатора:

$$I_{к.з.} = \frac{220}{\frac{0,081}{3} + \sqrt{(0,04 + 0,248)^2 + (0 + 0,148 + 0,12)^2}} = \frac{220}{0,027 + 0,387} = \frac{220}{0,414} = 531$$

Висновок: оскільки дійсне (розраховане) значення струму однофазного КЗ (531 А) перевищує найменше допустиме значення (400 А) за умов спрацювання захисту, нульовий захисний провідник обраний правильно, тобто вимикаюча здатність системи занулення забезпечена.

3.5 Пожежна безпека

Основними джерелами пожежної небезпеки в цеху є: технічні мастила, природній газ, кисень, відкритий вогонь при проведенні вогневих робіт, несправність електрообладнання та електроустановок, неізольовані поверхні трубопроводів пари і обладнання, аварії при експлуатації котлів, допоміжного обладнання з викидом іскор, вогню.

На котельні застосовуються матеріали, рідини і гази, здатні до горіння або які можуть утворювати вибухонебезпечні суміші, такі як руберойд, машинне масло та інші.

Виробничі приміщення і склади з вибухової, вибухопожежної та пожежної небезпеки поділяються на категорії: А, Б, В, Г, Д.

Метою встановлення категорій приміщень є розробка і проведення заходів, що знижують небезпеку виробництва, приведення всього обладнання

відповідно до вимог для даної категорії. Згідно ПБЕ приміщення та установки підрозділяються на пожежонебезпечні і вибухонебезпечні зони. Пожежонебезпечні зони поділяються на класи зон: П- I, П- II, П- II А, П- III. Вибухонебезпечні зони поділяються на такі класи зон: В- I, В- I А, В- I Б, В- IГ, В- II, В- II А. Класифікація виробництв на категорії, приміщень і установок на класи наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - Класифікація виробництв на категорії, приміщень і установок на класи

| Об'єкти | Категорія | Клас за ПБЕ | Примітка (наявність пожежонебезпечних речовин) |
|----------------------------------|-----------|--------------|--|
| Приміщення утилізаторів | Г | П- I | Наявність масел |
| Приміщення для котлів | Г | П- I, В- I А | Наявність масел, спалювання газу |
| Адміністративно-побутовий корпус | Д | - | - |
| Майстерні | Д | П- I | - |

Примітка. Категорія Г - вогнетривкі речовини в гарячому і розпеченому стані; виділення променевого тепла, іскор та полум'я; речовини, що спалюються в якості палива. Категорія Д - вогнетривкі речовини і матеріали в холодному стані.

У котельні можливі пожежі 1-4 класу небезпеки. Для їх гасіння в котельні застосовуються первинні засоби гасіння пожеж, розміщені на пожежних щитах.

На пожежному щиті є: 1 вогнегасник типу ОП-5 або вуглекислотний типу ОУ для гасіння електромашин, 2 повітряно-пінні вогнегасники загального призначення типу ОВП-10 або ОВП-5 для гасіння інших пожеж, 1 лопата штикова, 1 відро конусне, сокира, брукхт ЛПТ. Встановлюється ящик з піском, об'ємом 1 м³. На території котельні існує пожежний гідрант.

Евакуаційні шляхи та виходи повинні постійно утримуватися вільними і в разі пожежі забезпечувати безпечну евакуацію всіх людей, що знаходяться в будівлях і приміщеннях.

Двері на шляхах евакуації повинні відчинятися в напрямку виходу з будівлі або приміщення. При наявності людей у приміщенні двері евакуаційних виходів можуть замикатися лише на внутрішні затвори. У виробничих приміщеннях, якщо площа перевищує 150 м^2 , евакуаційні виходи повинні бути забезпечені світловими приладами з написом "Вихід" білого кольору на зеленому фоні. У кожному приміщенні, де перебувають люди, повинні бути вивішені плани евакуації в разі аварійних ситуацій.

ВИСНОВКИ

На теплопостачання житлових будівель витрачається величезна кількість палива. У цілому по Україні на теплопостачання будівель витрачається більш однієї третини всіх енергетичних ресурсів, які поставляються державі як власною видобувною промисловістю, так і за купуванням за рубіжжям. Це викликає необхідність постійно вживати заходів по подальшому скороченню втрат теплоти.

Реальними шляхами скорочення, споживання енергії залишаються модернізація існуючих джерел теплопостачання . шляхом заміни морально та фізично застарілого обладнання, підвищення якості теплоізоляції будинків, удосконалення технологічних схем, систем і устаткування, утилізації вторинних енергоресурсів, використання нетрадиційних джерел енергії.

До дійсного часу різними науково-дослідними лабораторіями і інститутами виконані великі і різнобічні дослідження в області систем теплопостачання, а організаціям, що безпосередньо розробляють і експлуатують ці системи, накопичений чималий досвід у їхньому проектуванні і експлуатації , що дає можливість значно удосконалити методики розрахунку і поліпшити проектну документацію.

На підставі результатів випробувань на котлах КВГМ-35 можна зробити наступні висновки:

- зменшенні теплопродуктивності котла, зменшується коефіцієнт надлишку повітря;
- при збільшенні теплопродуктивності котла, збільшується температура відхідних газів;
- при збільшенні теплопродуктивності котла, збільшуються втрати тепла з відхідними газами;
- при збільшенні теплопродуктивності котла, зменшуються втрати тепла в навколишнє середовище;

- можна констатувати той факт, що при збільшенні теплопродуктивності котла, зменшується ККД;

- при збільшенні теплопродуктивності котла, збільшується вміст CO₂ у відхідних газах;

- зі збільшенням теплопродуктивності котельного агрегату практично прямо пропорційно збільшується витрата палива;

- графік залежності тиску газу перед пальником від теплопродуктивності демонструє збільшення тиску газу при збільшенні теплопродуктивності котла.

- при збільшенні теплопродуктивності котла, збільшується тиск повітря після вентилятора.

Виконано розрахунок емісії парникових газів у атмосферу. Сумарні викиди склали 7772620 т CO₂-еквівалента.

В роботі розглянуті основні небезпечні фактори при виробленні теплової енергії на котельні та розроблені заходи щодо їх усунення. Виконано розрахунок захисного занулення.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Концерн “Міські теплові мережі”: офіційний веб-сайт, Режим доступу: <http://teploseti.zp.ua/ua/about.php>. Запл. з екрану.
2. СНіП II-35-76. Котельные установки. Нормы проектирования.
3. Котельные установки и парогенераторы/ Справочное пособие для курсового и дипломного проектирования/ Сост. Е. А. Бойко, Т. И. Охорзина; - Красноярск: КГТУ, 2003. – 223
4. ООО Котломаш [Електронний ресурс]: офіційний веб-сайт, Режим доступу: <http://gmg-5-5.горелка-газوماзутная.рф/>
5. Вентиляторный завод Укрвентсистемы [Електронний ресурс]: офіційний веб-сайт, Режим доступу: <http://ukrvent.com/trade/vdn-11-2-html/>
6. СНіП 42-01 -2002, Правила безпеки систем газорозподілу і газоспоживання Держнаглядохоронпраці України.
7. Сігал А.Я. Методическое пособие по проведению комплексных эколого-теплотехнических испытаний котлов, работающих на газе и мазуте. — Киев: ВНИПИтрансгаз, Ротапринт, 1992
8. Энергетика. ТЭС и АЭС [Електронний ресурс]: офіційний веб-сайт, Режим доступу: <http://tesiaes.ru/>. Фильтры для очистки воды
9. Правила технічної експлуатації систем теплопостачання комунальної енергетики України, Державний комітет України у справах містобудування і архітектури. Правила № 9 від 19.01.1999
10. Все для котлов [Електронний ресурс]: офіційний веб-сайт, Режим доступу: <http://www.dlyakotlov.ru/>. Фильтры натрий-катионитные.
11. Н.Б. Кузнецов « Тепловий розрахунок котельних установок», Москва, «Енергія», 1973 р.
12. Герасіменко І.Є. « Довідник інженера з пуску, налаштування та експлуатації котельні», Київ, «Техніка», 1986 р.

13. Естеркін Р.І. «Експлуатація, налагодження та випробування теплотехнічного обладнання промислових підприємств».
14. Вукалович, М. П. Таблицы термодинамических свойств воды и водяного пара [Текст] / М. П Вукалович. - М.: Машгиз, 1963. 245с.
15. Роддатис, К. Ф., Соколовский Б. Я. Справочник по котельным установкам малой производительности [Текст] / К. Ф. Роддатис, Б. Я. Соколовский. - М.: Энергия, 1975. -370 с.
16. ДБН Б.2.5-20-2001. Газопостачання [Текст]. – Введ. 1-08-2001. – К.: Укрархбудінформ, 2001. – 130с.
17. ДБН-В.2.5-67:2013 Опалювання, вентиляція і кондиціонування [Текст]. – Введ. 1-01-2014. – К.: Укрархбудінформ, 2013. – 141с.
18. ДБН В.2.5-77:2014 Котельні установки. Норми проектування [Текст]. – Введ. 1-01-2015. – К.: Укрархбудінформ, 2014. – 49с.
19. Исаев, С.И Теория тепломассообмена [Текст] / С.И. Исаев, И.А. Кожинов, В.И. Кофанов и др; под ред. А.И. Леонтьева. - М: Высшая школа, 1979. - 495 с.
20. Исаченко, В.П. Теплопередача [Текст] / В.П. Исаченко, В.А Осипова, А.С. Сукомел. - М.: Энергия, -1969. - 440с.
21. Климов, Г.М. Повышение эффективности использования природного газа [Текст] / Г.М. Климов // Промышленная энергетика. - 1975. № 8. - С. 20-22.
22. Кудинов, А.А. Повышение эффективности использования газа в котельных установках [Текст] / А.А. Кудинов // Энергосбережение. Ульяновск: Изд-во «Пресса», 1998. - Выпуск № 4. - С 80-82.
23. Портной М.Ф. Использование тепла продуктов сгорания котлов, работающих на газообразном топливе [Текст] / М.Ф Портной, А.А. Клоков // Промышленная энергетика. - 1985. №6. - С. 11-12.

24. Равич, М.Б. Ступенчатое использование тепла природного газа в промышленности [Текст] / М.Б. Равич // Газовая промышленность. - 1966. № 3. - С. 37-40.
25. Шишков, И.А. Дымовые трубы энергетических установок [Текст] / И.А. Шишков В.Г. Лебедев, Д.С. Беляев. - М.: Энергия, 1976. - 176 с.
26. Юдаев, Б.Н. Теплопередача [Текст] / Б.Н. Юдаев. - М.: Высш. школа, 1981. - 319 с.
27. Купчик М.П., Гадзюк М.П., Степанець І.Ф., Вендичанський В.Н. Основи охорони праці. – К.: Основа, 2000. - 416 с.
28. Кнорринг Г.М. Справочная книга по проектированию электрического оборудования. – Л.: Энергия, 1976. – 391с.
29. Князевский Б.А., Долин П.А., Марусова Т.П. и др. Охрана труда / под ред. Б.А. Князевского . 2-е изд. М.: «Высшая школа», 1982. 311 с.
30. Безпека технологічних процесів та обладнання. Навчальний посібник / Укл. В.К. Тарасов. – Запоріжжя, 2005. – 117с.
31. Гогіташвілі Г.Г. Охрана праці на підприємствах : Навчальний посібник. Київ : ІСДО, 1993. 252 с.
32. Правила технической эксплуатации теплоиспользующих установок и тепловых сетей и правила техники безопасности при эксплуатации теплоиспользующих установок и тепловых сетей. Москва : «Энергия», 1973. 143 с.
33. Правила пожежної безпеки в Україні. МВС України. Управління державної пожежної охорони МВС України. – Київ. Укрархбудінформ, 1995. 195 с.
34. Рогач Ю.П. Пожежна безпека. Сімферополь : «Таврія Плюс», 2001. 124 с.
35. ДБН В.2.5-77:2014 Котельні.
36. ДБН В.2.6-31:2006 зі зміною №1 від 1 липня 2013 року. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель.

37. ДБН В 2.5-28-2006. Державні будівельні норми. Природне і штучне освітлення.
38. ДБН А.3.2-2-2009. Охорона праці і промислова безпека у будівництві.
39. Охорона праці та промислова безпека: Навч. посіб./ К.Н.Ткачук та ін. К.: Основа ,2009-350с.
40. Раздорожный А.А. Охрана труда и производственная безопасность.- М.: Экзамен, 2006.-510с.
41. Румянцев В.Р. Охорона праці і техногенна безпека / В.Р.Румянцев та ін., // Методичні вказівки до виконання розділу дипломних робіт для студентів ЗДІА всіх спеціальностей денної та заочної форми навчання.- Запоріжжя: ЗДІА, 2012.- 48с.
42. Жидецький В.Ц., Джигирей В.С., Сторожук В.М. Практикум з охорони праці - Львів, Афіша, 2000.-352с.