

Резюме до атестаційної випускної роботи студентки		Вербицький Михайло Станіславович	
Назва ЗВО	Київський національний університет будівництва і архітектури		
Тема	«Реконструкція енергетичного парогенератора для роботи на не проектному вугіллі»		
Освітній ступінь	Магістр		
Факультет	Інженерних систем та екології		
Кафедра	Теплотехніки		
Спеціальність	144 «Теплоенергетика»		
Спеціалізація	«Енергетичний менеджмент, енергоефективні муніципальні та промислові теплові технології»		
Керівник	доцент кафедри теплотехніки Гламаздин Павло Михайлович		
Обсяг роботи	пояснювальна записка	кількість розділів	кількість плакатів
	107	8	11
Розділ 1. Вступ	Розглянуто актуальність теми дипломної роботи. Розглянута проблема автоматизації теплового розрахунку жаротрубно-димогарних котлів.		
Розділ 2. Опис проблеми та пошук оптимального рішення	Було наведено детальний опис проблеми трудомісткості та недосконалості традиційних методів розрахунку парових, водогрійних та жаротрубних котлів. Описано вимоги до програмного продукту.		
Розділ 3. Інтерфейс програмного забезпечення	Наведено опис інтерфейсу програмного забезпечення, показано зовнішній вид програми, а також її використання.		
Розділ 4. Опис вихідних даних	Наведено опис вихідних даних потрібних для користування програмного забезпечення та важливість їх у машинних розрахунках		
Розділ 5. Порівняння ручного розрахунку та машинного	На основі ручного та машинного розрахунків було проведено аналіз отриманих даних та їх порівняння.		
Розділ 6. Висновки	На основі проведених розрахунків та аналізу було підбито висновки проведених дій та їх доцільність використання на підприємстві.		
Розділ 7. Додаток: Лістинг програми	Лістинг програмного забезпечення		
Розділ 8. Список літератури	Список літератури		
Ключові слова: жаротрубний котел; водогрійний котел; програмне забезпечення веб-застосунок автоматизація; газ; кисень; витрата палива; температура горіння в топці.			

___ грудня 2024р.

Укладач: _____ Вербицький М.С.

Керівник: _____ Гламаздин П. М.

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ
Факультет інженерних систем і екології
Кафедра теплотехніки**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ М.А. Кириченко
« ____ » _____ 2024р.

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО АТЕСТАЦІЙНОЇ ВИПУСКНОЇ РОБОТИ
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

на тему:

Автоматизація теплового розрахунку жаротрубно-димогоарних котлів

Виконав: студент групи ТЕМ-23
Спеціальність: 144 «Теплоенергетика»
Освітня програма: «Енергетичний
менеджмент, енергоефективні
муніципальні та промислові теплові
технології»

Вербицький Михайло Станіславович

Науковий керівник:
Гламаздін Павло Михайлович

Рецензент:
Чепурна Наталя Володимирівна

Київ 2024р.

Факультет: Інженерних систем та екології
Кафедра: Теплотехніки
Освітній рівень: «магістр за ОПП»
Спеціальність: 144 «Теплоенергетика»
Спеціалізація: «Енергетичний менеджмент, енергоефективні муніципальні та промислові теплові технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ М.А. Кириченко
« ____ » _____ 2024р.

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ АТЕСТАЦІЙНОЇ ВИПУСКНОЇ РОБОТИ НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

Вербицький Михайло Станіславович

1. Тема роботи: «Автоматизація теплового розрахунку жаротрубно-димогарних котлів»
затверджена наказом ректора КНУБА № _____ від _____
2. Керівник роботи: доцент кафедри теплотехніки Гламаздин Павло Михайлович.
3. Строк подання студентом роботи до захисту: 6 грудня 2024 р.
4. Зміст пояснювальної записки за розділами:
 - Розділ 1. Вступ
 - Розділ 2. Опис проблеми та пошук оптимального рішення.
 - Розділ 3. Інтерфейс програмного забезпечення.
 - Розділ 4. Опис вихідних даних.
 - Розділ 5. Порівняння ручного розрахунку та машинного.
 - Розділ 6. Висновки.
 - Розділ 7. Додаток: Лістинг програми.
 - Розділ 8. Список літератури.
5. Перелік графічного матеріалу:
 1. Блок-схема автоматичного розрахунку котлоагрегату.
 2. Блок-схема збору вихідних даних для палива та окиснювача.
 3. Блок-схема збору вихідних даних геометричних характеристик.
 4. До визначення відносного рівня розташування пальників.
 5. Особливості прийняття параметру М.
 6. Вплив навантаження на параметр М.

7. Функціональна схема розрахунку топки.
8. Функціональна схема та алгоритм розрахунку ступеня чорноти топки.
9. Результати ручного та машинного розрахунків котлів ТП-87 та NWK-18-16-300-08 BBS 18МВт
10. Поздовжній розріз котла ТП-87.
11. Жаротрубно димогарний котел NWK-18-16-300-08 BBS 18 МВт

6. Календарний план виконання роботи:

Види робіт та їх зміст	Дата виконання
Вступ	09/11
Опис проблеми та пошук оптимального рішення	10/11 – 18/11
Інтерфейс програмного забезпечення	18/11 – 19/11
Тепловий розрахунок для різних агрегатів	19/11 – 09/11
Аналіз розрахунків	09/12 – 10/12
Висновки	11/12 – 15/12
Остаточне оформлення роботи	15/12 – 23/12
Направлення роботи на перевірку на плагіат	26/12

7. Дата видачі завдання: 09 листопада 2024р.

Зав. кафедри _____ Кириченко М.А.

Керівник _____ Гламаздин П. М.

Студент _____ Вербицький М.С.

1. Вступ

За останні роки системи централізованого теплопостачання міст України вступили в кризисний період. Ця криза носить системний характер. Вона містить як технологічні, так і організаційно-фінансові проблеми.

Технологічні проблеми обумовлені моральною застарілістю обладнання систем теплопостачання та концептуальною відсталістю від сучасного рівня техніки і взагалі підходів до організації теплопостачання, а також фізичною застарілістю обладнання, зокрема, теплогенеруючих установок.

Це стосується в першу чергу основного обладнання опалювальних котелень - водогрійних котлів. Парк водогрійних котлів в Україні можна розбити на 3 категорії.

По-перше, це котли малої потужності – котли серії НІСТУ-5, Факел та інші, ще старіші. Всі ці котли вже випрацювали термін експлуатації. Їх бажано замінити на нові, більш енергоефективні (крім чавунних секційних котлів Факел, довговічних з більш-менш прийнятним ККД – до 90%).

Котли другої категорії – це котли середньої потужності до 30МВт. До них відносяться котли серії ТВГ та КВД та серій КВГМ до ПТВМ-30.

Нарешті котли великої потужності від 30МВт до 209МВт. До них можна віднести котли серії КВГМ та ПТВМ.

Всі перелічені серії котлів вже не відповідають діючим вимогам з екології та мають занадто низький ККД. Однак замінити їх на нові, більш економічні та екологічні одразу немає можливості через занадто велику вартість такого заходу. Поступово така заміна йде, але фактично замінюються котли малої потужності на імпорتنі жаротрубно-димогарні і тільки іноді замінюються котли середньої потужності.

Попередній аналіз конструкції котлів показав що цю проблему можна вирішувати іншим шляхом – модернізацією. Обсяг модернізації може бути різним, до того її можна проводити поступово, покроково. Поліпшити обмурування, замінити пальники, додати додаткову поверхню нагріву і т.і.

Для вибору оптимальних рішень з модернізації котлів необхідно прорахувати попередньо теплові та аеродинамічні характеристики котлів при реалізації різних варіантів реконструкції котла.

Для таких розрахунків в котельній техніці існують так звані «Нормативні методи», яких всього чотири:

- Тепловий розрахунок котельних агрегатів;
- Аеродинамічний розрахунок котельних установок;
- Гідравлічний розрахунок парових та водогрійних котлів
- Розрахунок на міцність елементів парових та водогрійних котлів

Однак користування цими документами займав багато часу, бо велика частка інформації, необхідної для розрахунків представлена у вигляді графіків та номограм, що знижує точність розрахунків і збільшує час, необхідний для виконання розрахунків. Але інженеру – проектувальнику треба порівняти декілька можливих варіантів модернізації, провести оптимізацію вибраного варіанту, що сильно розтягне час передпроектних робіт, тому розрахунки треба максимально автоматизувати. Дана робота направлена на складання розрахункового програмного методу для прискорення оцінки варіантів можливої модернізації котлів.

Дана робота присвячена процесу автоматизації розрахунку парових, водогрійних та жаротрубних котлів, що здійснюється за допомогою спеціально розробленого веб-застосунку.

Метою цієї роботи є створення інструменту, який дозволяє значно спростити та прискорити розрахункові процеси, пов'язані з проектуванням і експлуатацією котельного обладнання. Веб-застосунок, який був розроблений в рамках цієї роботи, інтегрує усі необхідні алгоритми та методи розрахунку, дозволяючи інженерам швидко і точно отримувати потрібні параметри котлів, зменшуючи ймовірність помилок і підвищуючи ефективність роботи.

2. Опис проблеми та пошук оптимального рішення

2.1 Формулювання проблеми

Проблема, яку розв'язує дана дипломна робота, полягає у значній складності, трудомісткості та недосконалості традиційних методів розрахунку парових, водогрійних та жаротрубних котлів, які використовуються на практиці в інженерії. Розрахунок параметрів котельного обладнання є важливим етапом у проектуванні котелень, а також у забезпеченні безпеки, ефективності та надійності їх експлуатації. Проте ці розрахунки часто є надзвичайно складними, вимагають високого рівня спеціалізованих знань та великої уваги до дрібниць, що, в свою чергу, створює великий потенціал для помилок.

Сучасні методи розрахунку, які здебільшого базуються на ручних обчисленнях або використанні неінтуїтивно зрозумілих програм, мають низку недоліків. По-перше, більшість існуючих програмних продуктів мають обмежену функціональність, не охоплюють весь спектр необхідних параметрів або не дозволяють врахувати специфічні особливості конкретного котла, що створює додаткові труднощі для інженерів. По-друге, традиційні підходи до розрахунків часто не забезпечують необхідної точності через людський фактор — будь-яка помилка при розрахунках може призвести до

серйозних наслідків, зокрема до зниження ефективності роботи котла або навіть до аварійних ситуацій.

Крім того, наявні програмні засоби, як правило, не володіють достатньою зручністю у використанні та не інтегруються з іншими інженерними інструментами, що ускладнює роботу спеціалістів і збільшує час на виконання проектних завдань. Враховуючи, що в сучасному світі ефективність та швидкість виконання проектів є критично важливими чинниками, така ситуація значно знижує продуктивність та може призвести до затримок у процесі проектування котельних установок або у виробництві обладнання.

Оскільки кількість котельних установок постійно зростає, а вимоги до їх ефективності та безпеки стають все суворішими, виникає необхідність у розробці інноваційного інструменту, який дозволить автоматизувати цей процес. Такий інструмент мав би бути здатний швидко і точно проводити необхідні розрахунки, забезпечуючи високу якість та точність результатів. Автоматизація цього процесу дозволить знизити ризик помилок, що з'являються внаслідок людського фактору, а також зекономить час інженерів, який вони могли б витратити на більш складні та важливі аспекти проектування.

З цієї причини важливо розробити веб-застосунок, який зможе інтегрувати всі необхідні алгоритми і методи розрахунку котлів, дозволяючи інженерам проводити точні обчислення в режимі реального часу без необхідності звертатися до складних теоретичних розрахунків вручну. Такий інструмент буде не тільки ефективним і зручним у використанні, але й значно підвищить

продуктивність праці, скоротивши час на виконання розрахунків, що є важливим фактором для компаній, які займаються проектуванням та експлуатацією котельного обладнання.

Отже, основною проблемою є недостатня автоматизація та оптимізація процесів розрахунку котельного обладнання, що потребує інтеграції сучасних технологій для підвищення точності, ефективності та швидкості проектування. Ця проблема вимагає вирішення шляхом розробки веб-застосунку, який зможе забезпечити зручний, швидкий та безпечний процес розрахунку парових, водогрійних і жаротрубних котлів.

2.2 Вимоги програмного продукту

Враховуючи специфіку завдання автоматизації повірного розрахунку котлоагрегатів, розробка веб-застосунку вимагає визначення ключових функціональних, нефункціональних і технічних вимог. Даний розрахунковий інструмент має сприяти значному зменшенню часу та складності виконання інженерних розрахунків, що є важливим для спеціалістів у галузі теплоенергетики.

2.2.1 Функціональні вимоги

1. Реалізація повірного розрахунку котлів:

- Веб-застосунок має забезпечити можливість розрахунку теплових, аеродинамічних, гідравлічних параметрів котлів відповідно до діючих нормативів.
- Усі необхідні формули та алгоритми повинні бути реалізовані згідно з прийнятими методиками в теплоенергетиці.

- Інструмент повинен підтримувати різні типи котлоагрегатів, зокрема водогрійні, парові та жаротрубні котли.

2. Гнучке введення параметрів:

- Користувачі повинні мати змогу вводити необхідні технічні параметри (тип котла, потужність, теплові характеристики, параметри теплоносія тощо) через просту й зрозумілу форму.
- Передбачити можливість введення даних для різних типів палинкових пристроїв, матеріалів теплообміну та характеристик робочого середовища.

3. Автоматичний розрахунок:

- Розрахунки повинні виконуватися автоматично після введення всіх необхідних параметрів. Всі результати мають відображатися прямо на сторінці без необхідності завантаження або встановлення додаткового програмного забезпечення.

4. Виведення результатів:

- Результати розрахунків повинні включати всі ключові показники: ККД, теплові втрати, аеродинамічний опір, параметри міцності елементів котлоагрегату тощо.

5. Перевірка введених даних:

- Застосунок має автоматично перевіряти коректність введених параметрів, щоб уникнути помилок, таких як некоректні числові значення, невідповідність одиниць вимірювання тощо.

6. Модульність розрахунків:

- Веб-застосунок має дозволяти проводити розрахунки окремих модулів (теплого, аеродинамічного, гідравлічного) або повний комплекс розрахунків за вибором користувача.

2.2.2 Нефункціональні вимоги

1. Зручність використання:

- Інтерфейс має бути адаптованим для користувачів без спеціалізованих знань у програмуванні.
- Усі функції повинні бути доступними через веб-браузер, що забезпечує швидкий доступ до застосунку з будь-якого пристрою.

2. Швидкість обробки:

- Час виконання розрахунків повинен бути мінімальним (до кількох секунд) навіть для складних задач.

3. Доступність і кросплатформність:

- Продукт має бути сумісним з усіма сучасними браузерами (Chrome, Firefox, Edge, Safari) без необхідності встановлення додаткових плагінів.

4. Стабільність і надійність:

- Застосунок повинен стабільно працювати при різних обсягах введених даних, включаючи гранично допустимі значення параметрів.

5. Підтримка української мови:

- Інтерфейс має бути локалізований українською мовою, що відповідає вимогам користувачів у сфері теплоенергетики України.

2.2.3 Технічні вимоги

1. Фронтенд:

- Для побудови користувацького інтерфейсу можна використовувати HTML, CSS, JavaScript із застосуванням фреймворку Bootstrap для забезпечення адаптивного дизайну.

2. Обробка даних:

- Використання бібліотек, таких як jQuery, для виконання математичних обчислень.
- Забезпечення точності розрахунків до заданих інженерних вимог.

3. Структура коду:

- Розробка із застосуванням модульного принципу, щоб забезпечити можливість легкої модифікації та розширення функціоналу.

4. Хостинг і доступність:

- Застосунок повинен бути розміщений на хмарній платформі (наприклад, AWS, Heroku чи інший аналог), щоб забезпечити доступність і масштабованість.

2.2.4 Вимоги до інтеграції

1. Взаємодія з нормативною базою:

- Веб-застосунок має включати базу нормативних даних, яка автоматично оновлюється для забезпечення відповідності сучасним вимогам у сфері теплоенергетики.

2. **Можливість оновлення:**

- Система повинна передбачати легке додавання нових функцій або методик розрахунків у майбутньому.

3. **Інтерфейс програмного забезпечення**

3.1 **Опис інтерфейсу**

Розроблений веб-застосунок для повірного розрахунку котлоагрегатів пропонує сучасний, інтуїтивно зрозумілий та добре структурований інтерфейс, який забезпечує ефективну взаємодію користувача із системою. Інтерфейс орієнтований на максимальну зручність інженерів-теплоенергетиків, що працюють із розрахунками котельного обладнання.

Основні характеристики інтерфейсу

1. **Структурована навігація**

- Інтерфейс чітко поділений на тематичні блоки, що відповідають етапам введення даних та обробки результатів:
 - **Вибір палива:** поле для вибору типу палива (наприклад, газ), що дозволяє налаштувати всі наступні розрахунки відповідно до обраного джерела енергії.
 - **Склад палива:** секція для введення хімічного складу палива, включаючи відсотковий вміст основних компонентів (CH_4 , C_2H_6 , CO_2 тощо) та нижчої теплоти згоряння.
 - **Параметри топки:** введення геометричних характеристик котла, таких як повна поверхня стін, висота топки, крок труб, діаметр труб, висота до факела тощо.

- **Результати розрахунків:** розділ для відображення результатів з різних параметрів (об'єми повітря, продукти згорання, теплова ефективність і тепловий баланс).

2. Введення даних

- Кожне поле введення має чіткі підписи, які вказують назву параметра, одиниці вимірювання та діапазон очікуваних значень. Це зменшує ризик помилкового введення даних.
- Поля для введення організовані у зручні групи, що допомагає користувачеві швидко орієнтуватися навіть при великій кількості параметрів.

3. Динамічна обробка даних

- Розрахунки виконуються після натискання кнопки "**Розрахувати**", і результати одразу відображаються у відповідних секціях на сторінці. Це забезпечує швидкий зворотний зв'язок без необхідності оновлювати сторінку чи переходити між вкладками.

4. Результати

- Результати подаються у зрозумілому вигляді без зайвих графічних елементів, що робить їх максимально придатними для інженерного аналізу. Наприклад, у розрахунках об'ємів повітря й продуктів згорання демонструється не лише значення, але й формули, що використовувалися, з відповідними підстановками.

5. Графічний стиль

- Темна кольорова схема з використанням світлих акцентів забезпечує комфорт для роботи в умовах низької освітленості та зменшує навантаження на очі під час тривалої роботи.
- Рамки з підсвічуванням використовуються для виділення важливих елементів інтерфейсу, таких як активні поля або результати розрахунків.

6. Адаптивний дизайн

- Інтерфейс повністю адаптований для роботи на різних пристроях, включаючи десктопи, планшети та мобільні телефони. На мобільних пристроях елементи інтерфейсу автоматично підлаштовуються для забезпечення зручного користування.
- Розташування блоків та полів змінюється залежно від розміру екрану, що дозволяє користувачам комфортно працювати навіть на невеликих екранах смартфонів.

Переваги інтерфейсу

1. Інтуїтивність

- Логічна структура інтерфейсу забезпечує швидке освоєння навіть користувачами, які не мають досвіду роботи з подібними програмними продуктами.

2. Зручність роботи

- Усі дані вводяться та результати розрахунків відображаються на одній сторінці, що виключає необхідність переходу між вкладками чи сторінками. Це значно спрощує аналіз і обробку інформації.

3. Прозорість розрахунків

- Для кожного розрахунку наведені формули та підстановки, що дозволяє користувачам перевірити правильність обчислень та відстежити методику.

4. Ергономічність

- Темна тема оформлення зберігає зручність використання при довготривалій роботі, а чітка типографіка полегшує зчитування даних.

5. Швидкодія

- Інтерфейс забезпечує миттєвий доступ до результатів завдяки оптимізованій обробці даних у реальному часі.

Особливості адаптації до мобільних пристроїв

- **Розташування елементів:** Поля введення та секції результатів автоматично переходять у вертикальне розташування на мобільних пристроях, що мінімізує необхідність прокрутки.
- **Чутливість до жестів:** Кнопки та елементи взаємодії мають достатній розмір для зручності натискання пальцями.
- **Оптимізація продуктивності:** Застосунок адаптований для роботи навіть на пристроях із обмеженими апаратними ресурсами.

Можливості вдосконалення

1. Експорт даних:

- Додати функцію експорту результатів розрахунків у форматах PDF або Excel для спрощення створення звітів.

2. Мовні опції:

- Реалізувати багатомовність інтерфейсу для зручності використання міжнародними користувачами.

3. Інтерактивні підказки:

- Додати спливаючі підказки до полів введення для пояснення значення кожного параметра.

3.2 Наведенні рисунки інтерфейсу програмнозабезпечення

ПАЛИВО

ГАЗ

Газ, тис. м³/год

CH ₄ , %	<input type="text" value="98.5"/>	C ₂ H ₆ , %	<input type="text" value="0.2"/>
C ₃ H ₈ , %	<input type="text" value="0.1"/>	C ₄ H ₁₀ , %	<input type="text" value="0"/>
C ₅ H ₁₂ , %	<input type="text" value="0"/>	C ₆ H ₁₄ , %	<input type="text" value="0"/>
N ₂ , %	<input type="text" value="1"/>	CO ₂ , %	<input type="text" value="0.2"/>
O ₂ , %	<input type="text" value="21"/>	Q _{чр} , ккал/кг	<input type="text" value="8480"/>

Повна поверхня стін, м ²	<input type="text" value="1148.06"/>	Об'єм топки, м	<input type="text" value="1847.767"/>
Крок труб, мм	<input type="text" value="64"/>	Діаметр труб, мм	<input type="text" value="60"/>
Висота до факелу, мм	<input type="text" value="4500"/>	Висота топки, мм	<input type="text" value="28250"/>
Температура димових газів на виході із топки (теоретично можлива), °C	<input type="text" value="1200"/>	Температура уходящих газів (попередня), °C	<input type="text" value="160"/>

Рис. 1.1 – Наведення на блок обрання виду палива

ГАЗ

СКЛАД

CH ₄ , %	98.5	C ₂ H ₆ , %	0.2
C ₃ H ₈ , %	0.1	C ₄ H ₁₀ , %	0
C ₅ H ₁₂ , %	0	C ₆ H ₁₄ , %	0
N ₂ , %	1	CO ₂ , %	0.2
O ₂ , %	21	Q _{HP} , ккал/кг	8480

Газ, тис. м³/год: 1.75

Повна поверхня стін, м ²	1148.06	Об'єм топки, м	1847.767
Крок труб, мм	64	Діаметр труб, мм	60
Висота до факелу, мм	4500	Висота топки, мм	28250
Температура димових газів на виході із топки (теоретично можливо), °C	1200	Температура уходящих газів (попередня), °C	160

Рис. 1.2 – Наведення на блок заповнення складу палива

GA3

ВИТРАТА

Газ, тис м³/год

1.75

CH ₄ , %	98.5	C ₂ H ₆ , %	0.2
C ₃ H ₈ , %	0.1	C ₄ H ₁₀ , %	0
C ₅ H ₁₂ , %	0	C ₆ H ₁₄ , %	0
N ₂ , %	1	CO ₂ , %	0.2
O ₂ , %	21	Q _{HP} , ккал/кг	8480

Повна поверхня стін, м ²	1148.06	Об'єм топки, м	1847.767
Крок труб, мм	64	Діаметр труб, мм	60
Висота до факелу, мм	4500	Висота топки, мм	28250
Температура димових газів на виході із топки (теоретично можлива), °C	1200	Температура уходящих газів (попередня), °C	160

Рис. 1.3 – Наведення на блок обрання номінальної витрати палива

ТОПКА

Повна поверхня стіні, м ²	1148.06	Об'єм топки, м	1847.767
Крок труб, мм	64	Діаметр труб, мм	60
Висота до факелу, мм	4500	Висота топки, мм	28250
Температура димових газів на виході із топки (теоретично можлива), °С	1200	Температура уходящих газів (попередня), °С	160
Продуктивність кг/год	420000		

ROЗPAXУBAТИ

Рис. 1.4 – Наведення на блок заповнення вхідних даних топки та кнопки «Розрахувати»

Температура димових газів на виході із топки (теоретично можлива), °С	1200	Температура уходящих газів (попередня) °С	160
Продуктивність кг/год	42000		
РОЗРАХУВАТИ			
Розрахунок об'ємів повітря і продуктів згорання			
Ентальпія продуктів згорання			
Тепловий баланс котлоагрегату			
Розрахунок топки котлоагрегату			
Перевірочний розрахунок температури газів топки			

Рис. 1.5 – Секція виводу підрозділів розрахунків

Розрахунок об'ємів повітря і продуктів згорання

Теоретичний об'єм сухого повітря, необхідний для повного згорання палива (газ)

Теоретична кількість повітря необхідного для спалювання 1 кг палива

$$V^o = 0.048 \times [0.5CO + 0.5H_2 + 1.5H_2S + \sum(m + n/4)CmHn - O_2] = 0.048 \times (0 + 0 + 0.0197 + 0.700 + 0.5 + 0 + 0 - 21) = 8.435 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Теоретичний об'єм азоту у продуктах згорання

$$V^o_{N_2} = 0.79V^o + 0.8N_2/100 = 0.79 \times 8.435 + 1/100 = 6.673 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Теоретичний об'єм водяної пари

$$V^o_{H_2O} = 0.01[H_2 + H_2S + \sum(n/2)CmHn] + 0.124d_{r,нал} + 0.017V^o = 0.01[0 + 0 + 197 + 0.600 + 0.4 + 0 + 0 + 0.124 \times 10 + 0.017 \times 8.435] = 1.994 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Теоретичний об'єм триатомних газів

$$V^o_{RO_2} = 0.01[CO_2 + CO + H_2S + \sum(m)CmHn] = 0.01[0.2 + 0 + 0 + 98.5 + 0.4 + 0.300 + 0 + 0 + 0] = 0.994 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Дійсний об'єм водяних парів

$$V_{H_2O} = V^o_{H_2O} + 0.016(\alpha_{г.сп.} - 1)V^o = 1.994 + 0.016 \times (1.05 - 1) \times 8.435 = 2.001 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Дійсний сумарний об'єм продуктів згорання

$$V_r = V^o_{RO_2} + V^o_{N_2} + V^o_{H_2O} + (\alpha_{г.сп.} - 1)V^o = 0.994 + 6.673 + 1.994 + (1.05 - 1) \times 8.435 = 10.083 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Дійсний об'єм продуктів згорання

Рис. 1.6 – Секція виводу розширених розрахунків

4. Опис вихідних даних

Для забезпечення точності та ефективності повірного розрахунку котлоагрегатів необхідно враховувати широкий спектр вихідних даних, які поділяються на три основні групи: характеристики палива, параметри оксиданта (повітря або кисню) та геометричні характеристики котельного обладнання. Кожна група даних є фундаментальною для розрахунків теплових, аеродинамічних та гідравлічних параметрів, що визначають роботу котлоагрегату.

Характеристики палива

Характеристики палива є одним із ключових аспектів у процесі розрахунку, оскільки саме від хімічного складу палива та його енергетичних властивостей залежить тепловий баланс котлоагрегату. До основних параметрів палива належать:

1. Тип палива:

- Тип палива визначає подальші параметри, необхідні для розрахунків. Зазвичай вибір здійснюється серед газоподібного, рідкого (мазут) та твердого (вугілля) палива. Кожен тип палива має свої специфічні властивості, що враховуються під час розрахунків.

2. Хімічний склад:

- Для кожного типу палива зазначається склад основних компонентів, таких як метан, етан, пропан, вуглекислий газ, азот тощо. Наприклад, для газоподібного палива це вміст горючих компонентів та домішок, які можуть впливати на ефективність процесу горіння.

3. Енергетичні властивості:

- Нижча теплота згоряння палива визначає кількість енергії, яку можна отримати в результаті його спалювання. Це один із ключових параметрів, який враховується під час розрахунків теплового балансу.

4. Витрата палива:

- Цей параметр використовується для обчислення кількості тепла, що виділяється в топці. Витрата палива залежить від заданих робочих умов котлоагрегату.

Параметри оксиданта

Оксидант, зокрема повітря чи кисень, забезпечує процес згоряння палива. Його характеристики відіграють вирішальну роль у формуванні об'ємів продуктів згоряння та теплових втрат.

1. Склад оксиданта:

- Враховується вміст кисню та азоту в повітрі. Ці показники важливі для визначення теоретичного об'єму повітря, необхідного для повного згоряння палива.

2. Коефіцієнт надлишку повітря:

- Цей параметр дозволяє визначити фактичну кількість повітря, яка надходить до топки порівняно з теоретично необхідною. Він впливає на ефективність горіння та рівень втрат тепла.

3. Температура оксиданта:

- Початкова температура повітря або кисню, що подається до топки, впливає на процес горіння. Чим вища температура, тим менші теплові втрати.

4. Подача повітря:

- Розрахунок кількості поданого повітря залежить від конструктивних особливостей пальникових пристроїв, які забезпечують оптимальне змішування палива й оксиданта.

Геометричні характеристики котельного обладнання

Геометричні параметри котлоагрегату є базовими для визначення ефективності теплопередачі та оцінки аеродинамічних процесів. Ці характеристики включають:

1. Параметри топки:

- Поверхня стін і об'єм топки є ключовими показниками, що впливають на процес поглинання тепла димовими газами. Вони визначають кількість енергії, яка може бути передана теплоносію.

2. Конвективні поверхні:

- Включають параметри труб, такі як їх кількість, розташування, крок і матеріал. Ці показники визначають ефективність теплообміну в конвективній зоні.

3. Поверхні перегріву:

- Характеризуються геометрією труб, їх довжиною, діаметром і типом ребрення. Перегрівні поверхні забезпечують додатковий нагрів пари до заданих температур.

4. Пальникові пристрої:

- Їх розташування, кількість і конструктивні особливості впливають на характер подачі палива і повітря, а також на формування температурного поля в топці.

Використання даних у розрахунках

Зібрані вихідні дані є основою для розрахунку таких ключових параметрів:

1. Критерій Больцмана:

- Використовується для визначення інтенсивності теплового випромінювання в топці. Формула критерію має вигляд:

$$Bo = \frac{\phi B_p V_{c_{cp}}}{4.9 \cdot 10^{-8} \psi_{cp} F_{ct} T_a^3}$$

Де:

- ϕ — коефіцієнт збереження теплоти.
- B_p — розрахункова витрата палива, кг/год.
- $V_{c_{cp}}$ — Середня сумарна теплоємність продуктів згорання, ккал/(кг*°C).
- ψ_{cp} — середнє значення коефіцієнта теплової ефективності екранів.
- F_{ct} — поверхня стін топки, м².
- $4.9 \cdot 10^{-8}$ — коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла, ккал/(кг*°C).

2. Температура димових газів на виході з топки:

- Температура на виході з топки обчислюється за формулою:

$$v''_T = \frac{T_a}{M\left(\frac{4.9\psi_{\text{ср}}F_{\text{ст}}\alpha_T T_a^3}{10^8 \phi V_p V_{\text{ср}}}\right)} - 273$$

Зазначені формули дозволяють отримати ключові показники роботи топки, які є необхідними для подальшого аналізу ефективності роботи котлоагрегату, а також для оцінки можливостей його модернізації та оптимізації.

Блок схеми збору вихідних даних

Блок-схема збору вихідних даних для палива та окиснювача

Матеріальний баланс	
Назва	Формула
Теоретична кількість палива необхідного для спалювання 1 кг палива	$V_0 = 0.048 \times [0.5CO + 0.5H_2 + 1.5H_2S + \Sigma(m + n/4)(\Sigma mHn - O_2)]$
Теоретичний об'єм газу у продуктах згорання	$V_{0H_2} = 0.79V_0 + 0.8N_2 / 100$
Теоретичний об'єм водяної пари	$V_{0H_2O} = 0.011H_2 + H_2S + \Sigma(m / 2)(\Sigma mHn) + 0.124C_{s,гек} + 0.017(V_0)$
Теоретичний об'єм припопачених газів	$V_{0H_{202}} = 0.01[\Sigma(CO_2 + CO + H_2S + \Sigma(m\Sigma mHn))]$
Дійсний об'єм водяних парів	$V_{H_2O} = V_{0H_2O} + 0.016(\alpha_{ср} - 1)V_0$
Дійсний сумарний об'єм продуктів згорання	$V_2 = V_{0H_{202}} + V_{0H_2} + V_{0H_2O} + (\alpha_{ср} - 1)V_0$
Дійсний об'єм продуктів згорання	$\Sigma V = V_{0H_{202}} + V_{0H_2} + V_{0H_2O} + (\alpha_{ср} - 1)V_0$

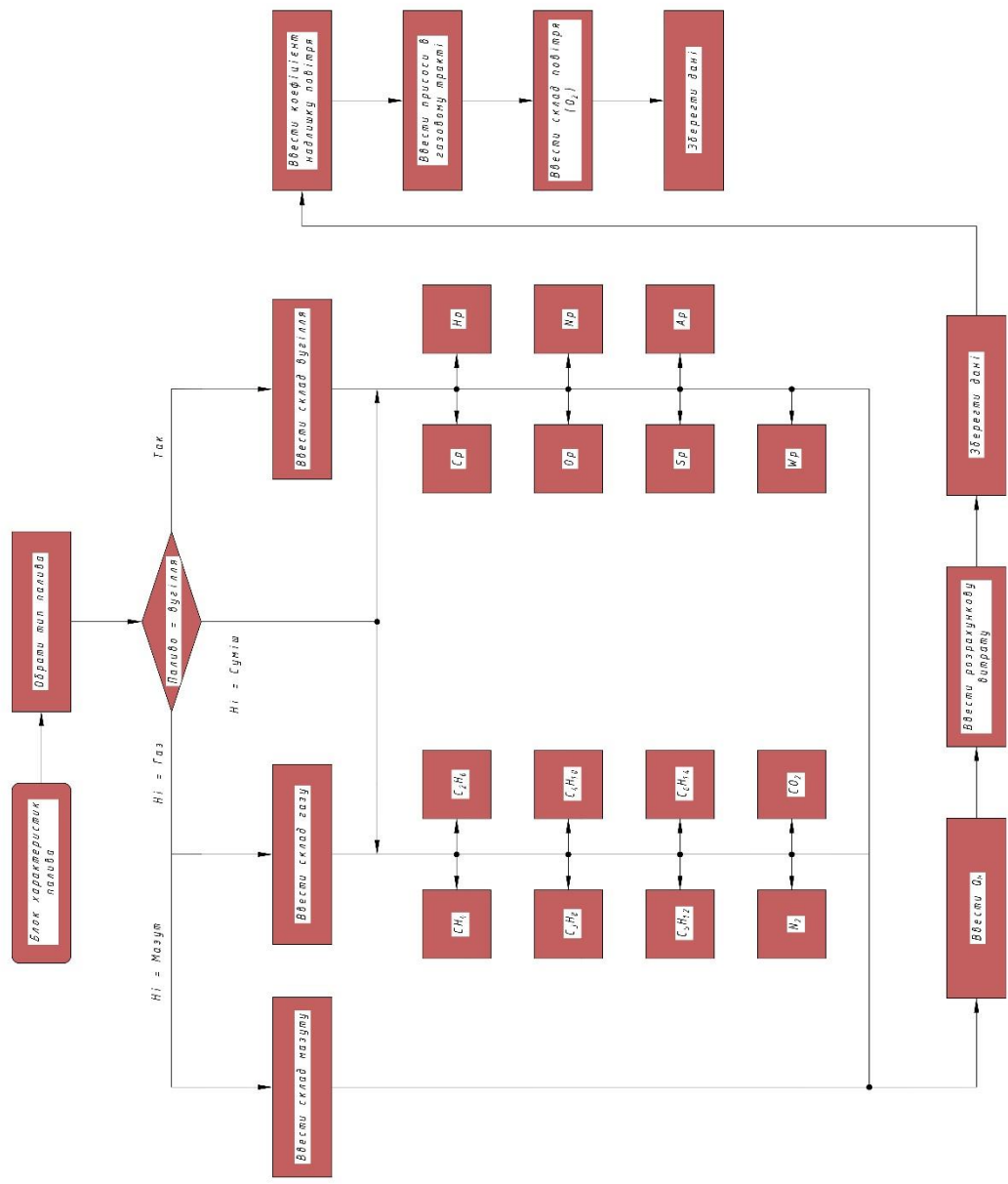


Рис.2.1 – Блок-схема вихідних даних для палива та окиснювача

Блок-схема збору вихідних даних геометричних характеристик

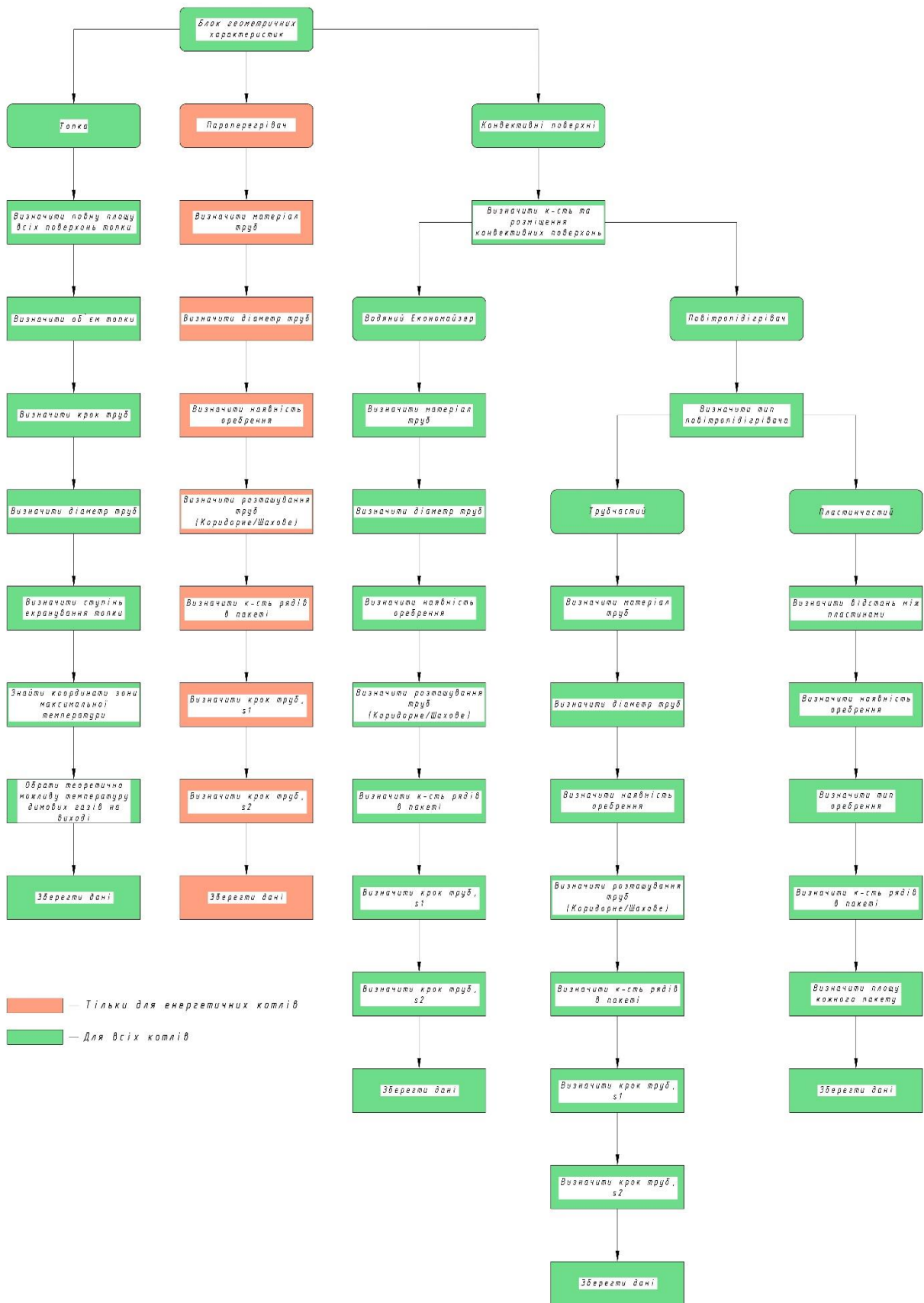


Рис.2.2 – Блок-схема збору вихідних даних геометричних характеристик

5. Порівняння ручного розрахунку та машинного

5.1 Ручний розрахунок котельного агрегату ТП-87

Котельний агрегат типу ТП-87, марка Е-420/140, барабанний з природною циркуляцією, призначений для одержання пари високого тиску під час спалювання в топці АШ, пісного вугілля, природного газу

Основні технічні характеристики котлоагрегату ТП-87

Характеристика	Одиниці вимірювання	Величина
Тип котла	-	Е-420-14-560КГЖ (модель ТП-87)
Продуктивність	т/год	420
Тиск пари за котлом	МПа	14,0
Робочий тиск в барабані котла	МПа	15,5
Температура перегрітої пари	°С	560
Температура живильної води	°С	230
Основний вид палива	-	Природний газ
Температура димових газів	°С	160
Температура гарячого повітря	°С	400
ККД котла (брутто)	%	94

Котельний агрегат типу ТП-87 має П-подібне компонування. Камера згоряння є висхідним газоходом. У горизонтальному газоході розташовується конвективний пароперегрівач, у низхідному газоході розташовані врозсічку водяний економайзер і трубчастий повітропідігрівач.

Конструктивні характеристики топкової камери котельного агрегату

Величина, що розраховується	Позначення	Розмірність	Формула або обґрунтування	Розрахунок або дані креслень
<i>Топкова камера</i>				
Діаметр і товщина екранних труб	$d \times \delta$	мм	По кресленню	60x6
Крок труб	s_1	мм	По кресленню	64
Неекранована поверхня в області пальників	$F_{гор}$	m^2	По кресленню	12
Сумарна поверхня стін топкової камери	$F_{ст}$	m^2	По кресленню	1148,06
Об'єм топкової камери (до ширм)	V_T	m^3	По кресленню	1847,767

Коефіцієнти надлишку повітря і об'єми продуктів згоряння

Величина, що розраховується	Розмірність	ГАЗОХІД
		Топка
Коеф. надлишку повітря $\alpha_{\text{ср}}$	-	1,05
$V^0_{\text{с.пов.}} = (\alpha_{\text{ср}} - 1)V^0$	$\text{м}^3/\text{м}^3$	0.472
Дійсний об'єм водяних парів: $V_{\text{H}_2\text{O}} = V^0_{\text{H}_2\text{O}} + 0,0161 (\alpha_{\text{ср}} - 1)V^0 =$ $= V^0_{\text{H}_2\text{O}} + 0,0161 V^0_{\text{с.пов.}}$	$\text{м}^3/\text{м}^3$	2.152
Дійсний сумарний об'єм продуктів згоряння: $V_{\Gamma} = V^0_{\text{RO}_2} + V^0_{\text{N}_2} + V^0_{\text{H}_2\text{O}} + (\alpha_{\text{ср}} - 1)V^0$	$\text{м}^3/\text{м}^3$	11.076
Об'ємна доля трьохатомних газів: $r_{\text{RO}_2} = V^0_{\text{RO}_2} / V_{\Gamma}$	-	0.090
Об'ємна доля водяних парів: $r_{\text{H}_2\text{O}} = V^0_{\text{H}_2\text{O}} / V_{\Gamma}$	-	0.194
Сумарна об'ємна частка трьохатомних газів: $r_{\text{п}} = r_{\text{RO}_2} + r_{\text{H}_2\text{O}}$	-	0.283

Тепловий баланс

Величина, що розраховується	Позначення	Розмірність	Формула або обґрунтування	Розрахунок або дані креслень
Теплотворна здатність палива	Q_p^p	ккал/м ³	Q_n^p	8480
Температура димових газів	ϑ_{yx}	°С	Прийнята попередньо	160
Ентальпія димових газів	I_{yx}	ккал/м ³	По таблиці I-9	586,23
Температура холодного повітря	$t_{х.в.}$	°С	Прийнята	30
Ентальпія холодного повітря	$I_{х.в.}^0$	ккал/м ³	По таблиці I-9	100,205
Втрати теплоти від хімічного недопалу	q_3	%	По таблиці XVIII НМ	0,5
Втрати теплоти з димовими газами	q_2	%	$\frac{(I_{yx}^0 - \alpha_{yx} * I_{хв.}^0) * (100 - q_4)}{Q_p^p}$	$\frac{(586,23 - 1,05 * 100,205) * (100 - 0)}{8480} = 5,672$
Втрати теплоти в навколишнє середовище	q_5	%	Прийнята	0,41
Сума втрат теплоти	Σq_i	%	$\Sigma q_i = q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6$	6,582
ККД	η	%	$100 - \Sigma q_i$	93,418
Тиск перегрітої пари	$p_{пп}$	кгс/см ²	Заданий	140
Температура перегрітої пари	$t_{пп}$	°С	Задана	560
Ентальпія перегрітої пари	$i_{пп}$	ккал/кг	По таблиці XXVII НМ	833,2

Величина, що розраховується	Позначення	Розмірність	Формула або обґрунтування	Розрахунок або дані креслень
Температура живильної води	$t_{пв}$	°C	Задана	230
Ентальпія живильної води	$i_{пв}$	ккал/кг	По таблиці XXVII НМ	238,2
Паропроодуктивність котла	$D_{розр}$	кг/год	Заданий	420000
Тепло, що корисно використовується в котлоагрегаті	$Q_{ка}$	ккал/год	$D \cdot (i_{пп} - i_{пв})$	$420000 \cdot (833,3 - 238,2) = 249900000$
Повна витрата палива	B_p	м ³ /год	$\frac{Q_{к. а.} \cdot 100}{Q^p_p \cdot \eta_{к. а.}}$	$\frac{249900000 \cdot 100}{8480 \cdot 93,418} = 31546$
Коефіцієнт збереження теплоти	φ	-	$1 - \frac{q_5}{\eta_{к. а.} + q_5}$	$1 - \frac{0,41}{93,418 + 0,41} = 0,9956$

Топка

Величина, що розраховується	Позначення	Розмірність	Формула або обґрунтування	Розрахунок або дані креслень
Коефіцієнт надлишку повітря в топці	α_T	-	Із таблиці продуктів згоряння	1,05
Температура гарячого повітря	$t_{г.в.}$	°C	Прийнята попередньо	400
Ентальпія гарячого повітря	$I_{г.в.}^0$	ккал/кг	По таблиці І-9	1221,29
Тепло, що вноситься повітрям в топку	$Q_{в.}$	ккал/кг	$\alpha_{ср} * I_{г.в.}^0 + \Delta\alpha_i * I_{х.в.}^0$	$1,05 * 1221,29 + 0 * 100,205 = 1282,354$
Корисне тепловиділення в топці	Q_T	ккал/кг	$Q_{р.р} * (100 - q_3) / 100 + Q_{в.}$	$8480 * \frac{100 - 0,5}{100} + 1282,354 = 9719,954$
Теоретична температура горіння	ϑ_a	°C	По таблиці І-9	2187
Відносне розташування максимуму температур по висоті топки	x_T	-	h_T / H_T	$4,5 / 28,25 = 0,159$
Параметр	M	-	По п. 6-13 НМ	0,48
Температура газів на виході з топки	ϑ''_T	°C	Прийнята попередньо	1200
Ентальпія газів на виході з топки	I''_T	ккал/м ³	По таблиці І-9	4958,08
Середня сумарна теплоємність продуктів згоряння	$V_{ср}$	ккал/(м ³ *°C)	$\frac{Q_T - I''_T}{\vartheta_a - \vartheta''_T}$	$\frac{9719,954 - 4958,08}{2187 - 1200} = 4,823$
Добуток	$p_{пS}$	(м*кгс)/см ²	$p_{пS}$	$1 * 0,283 * 5,794 = 1,642$

Величина, що розраховується	Позначення	Розмірність	Формула або обґрунтування	Розрахунок або дані креслень
Коефіцієнт ослаблення променів триатомними газами	k_r	$1/(м*кгс/см^2)$	$\left(\frac{0,78 + 1,61rH_2O}{\sqrt{P_{II}S}} - 0,1\right) * \left(1 - 0,37 \frac{T''_T}{1000}\right)$	$\left(\frac{0,78 + 1,61 * 0,194}{\sqrt{1,642}} - 0,1\right) * \left(1 - 0,37 \frac{1200 + 273}{1000}\right) = 0,342$
Оптична товщина	k_{ps}	-	$k_r r_{II} ps$	$0,342 * 1,642 = 0,562$
Ступінь чорноти факела	a_ϕ	-	$1 - e^{-k_{ps}}$	$1 - e^{-0,562} = 0,430$
Коефіцієнт теплової ефективності екранів	$\Psi_{\text{екр}}$	-	По таблиці 6-2 НМ	$0,65 * 0,99 = 0,635$
Коефіцієнт, що враховує забруднення ширм, що розташовані у вихідному вікні топки	$\zeta_{ок}$	-	По таблиці 6-2 НМ	$0,57 * 0,65 = 0,371$
Коефіцієнт теплової ефективності ширм, розташованих у вихідному вікні топки	$\Psi_{ок}$	-	По таблиці 6-2 НМ	$0,57 * 0,65 = 0,367$
Середній коефіцієнт теплової ефективності	$\Psi_{\text{ср}}$	-	$\frac{\sum \Psi_i F_i}{\sum F_{\text{ст}}}$	$0,6435 * 339,99 + 0,6435 * (796,07 - 158,51) + 0,367 * 158,51 + 0 * 12 / 1148,06 = 0,599$
Ступінь чорноти топки	a_T	-	$\frac{a_\phi}{a_\phi + (1 - a_\phi) * \Psi_{\text{ср}}}$	$\frac{0,430}{0,430 + (1 - 0,430) * 0,599} = 0,557$
Температура газів на виході з топки	ϑ''_T	$^{\circ}\text{C}$	$\frac{T_a}{M \left(\frac{4,9 * 10^{-8} \Psi_{\text{ср}} \alpha_T F_{\text{ст}} T_a^3}{\phi B_p V_{\text{ср}}} \right)^{0,6} + 1} - 273$	$\frac{2187 + 273}{(4,9 * 10^{-8} * 0,599 * 0,577 * 0,48 \left[\frac{1148,06 * (2187 + 273)^3}{0,996 * 31546 * 4,823} \right]^{0,6} + 1} - 273 = 1180$

5.2 Машинний розрахунок котельного агрегату ТП-87

Розрахунок об'ємів повітря і продуктів згорання

Теоретичний об'єм сухого повітря, необхідний для повного згорання палива (газ)

Теоретична кількість повітря необхідного для спалювання 1 кг палива

$$V^{\circ} = 0.048 \times [0.5CO + 0.5H_2 + 1.5H_2S + \Sigma(m + n/4)CmHn - O_2] = 0.048 \times (0 + 0 + 0.197 + 0.700 + 0.5 + 0 + 0 + 0 - 21) = 8.435 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Теоретичний об'єм азоту у продуктах згорання

$$V^{\circ}_{N_2} = 0.79V^{\circ} + 0.8N_2/100 = 0.79 \times 8.435 + 1/100 = 6.673 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Теоретичний об'єм водяної пари

$$V^{\circ}_{H_2O} = 0.01[H_2 + H_2S + \Sigma((n/2)CmHn) + 0.124d_{r,пал} + 0.017V^{\circ}] = 0.01[0 + 0 + 197 + 0.600 + 0.4 + 0 + 0 + 0 + 0.124 \times 10 + 0.017 \times 8.435] = 1.994 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Теоретичний об'єм триатомних газів

$$V^{\circ}_{RO_2} = 0.01[CO_2 + CO + H_2S + \Sigma(mCmHn)] = 0.01[0.2 + 0 + 0 + 98.5 + 0.4 + 0.300 + 0 + 0 + 0] = 0.994 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Дійсний об'єм водяних парів

$$V_{H_2O} = V^{\circ}_{H_2O} + 0.016(\alpha_{i,сп.} - 1)V^{\circ} = 1.994 + 0.016 \times (1.05 - 1) \times 8.435 = 2.001 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Дійсний сумарний об'єм продуктів згорання

$$V_{\Gamma} = V^{\circ}_{RO_2} + V^{\circ}_{N_2} + V^{\circ}_{H_2O} + (\alpha_{i,сп.} - 1)V^{\circ} = 0.994 + 6.673 + 1.994 + (1.05 - 1) \times 8.435 = 10.083 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Розрахунок об'ємів повітря і продуктів згорання

Дійсний об'єм продуктів згорання

$$\Sigma V = V_{RO_2}^0 + V_{oN_2} + V_{oH_2O} + (\alpha_i \text{ср.} - 1)V_o, \text{ нм}^3/\text{кг}$$

Середній коефіцієнт надлишкового повітря

α	1.05
$\Sigma V, \text{ нм}^3/\text{кг}$	10.083

Ентальпія продуктів згорання

Формули підрахунку

$$I_{op} = V_o \times \text{спов} , \text{ ккал/м}^3$$

$$I_{ог} = V_o R O_2 \times c_{CO_2} + V_o N_2 \times c_{N_2} + V_o H_2O \times c_{H_2O}, \text{ ккал/м}^3$$

$$I = I_{ог} + (\alpha_i - 1) \times I_{op} , \text{ ккал/м}^3$$

t, oC	I _п	I _г	T
			1.05
100	266.54	319.01	332.34
200	536.45	644.26	671.08
300	811.42	977.65	1018.22
400	1091.45	1321.09	1375.66
500	1378.23	1673.40	1742.32
600	1671.76	2032.12	2115.71
700	1973.72	2401.41	2500.09
800	2277.37	2782.35	2896.22
900	2581.02	3170.96	3300.01
1000	2893.11	3566.55	3711.20
1100	3213.63	3963.13	4123.81
1200	3534.15	4362.70	4539.40
1300	3854.67	4772.93	4965.66
1400	4183.62	5190.82	5400.01
1500	4512.58	5606.04	5831.66
1600	4841.53	6027.92	6270.00
1700	5170.48	6452.79	6711.32
1800	5499.44	6879.66	7154.63
1900	5836.83	7313.20	7605.04
2000	6174.22	7745.05	8053.76
2100	6511.60	8181.57	8507.15

Тепловий баланс котлоагрегату

Тепло, що вноситься в топку котлоагрегату

$$Q_{\text{нр}} = Q(\text{газ}) = 8480 = 8480 \text{ ккал/кг}$$

$$100 = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6, \%$$

$$q_3 = 0.5\%$$

$$q_4 = 0\%$$

$$q_5 = 0.41\%$$

$$I_{\text{дп}}^0 = 0.24 \times c_{\text{дп}} \times t \times V^0 = 0.24 \times 0.32 \times 350 \times 8.435 = 226.725 \text{ ккал/м}^3$$

$$q_2 = (I_{\text{yx}} - a_{\text{yx}} \times I_{\text{дп}}^0) \times (100 - q_4) / Q_{\text{пр}} = (535.583 - 1.05 \times 226.725) \times (100 - 0) / 8480 = 3.509\%$$

$$q_6 = 0\%$$

Коефіцієнт корисної дії котлоагрегату (Брутто)

$$\eta_{\text{ка}} = q_1 = 100 - 3.509 - 0.5 - 0 - 0.41 - 0 = 95.581\%$$

Коефіцієнт збереження теплоти

$$\phi = 1 - q_5 / (\eta_{\text{ка}} + q_5) = 1 - 0.41 / (95.581 + 0.41) = 0.996\%$$

Витрата палива, що подається в топку котлоагрегату

$$B = (D_{\text{розДі}} + D_{\text{прДіпр}}) \times 100 / (Q_{\text{нр}} \times \eta) = (420000 \times 616 + 21000 \times 94.5) \times 100 / (8480 \times 95.581) = 32164.653 \text{ кг/год}$$

Розрахунок топки котлоагрегату

Відношення кроку труб до діаметру

$$s/d = 64 / 60 = 1.067$$

Відстань від осі екрану до стінки

$$l = 0,8d = 0.8 \times 0.06 = 0.048 \text{ м}$$

Кутовий коефіцієнт екрану - характеризує частку теплоти, що сприймається поверхнею, віднесеної до теплоти, яка могла б бути сприйнята суцільною екранованою стінкою (прийм.)

$$x = 0.99$$

Коефіцієнт забруднення екрану - враховує зниження теплосприймання екранних поверхонь нагріву внаслідок їх забруднення або закриття цеглою (прийм.)

$$\zeta = 0.65$$

Коефіцієнт теплової ефективності екрану – відношення кількості теплоти, яка сприймається екраном, до теплоти, яка падає на цю поверхню

$$\psi = x \times \zeta = 0.99 \times 0.65 = 0.643$$

Середній коефіцієнт теплової ефективності топки

$$\psi_{\text{ср}} = (\psi \times F_T) / F_T = (0.643 \times 1148.06) / 1148.06 = 0.643$$

Ефективна товщина випромінювання шару газу в топці

$$S = 3,6 \times V_T / F_T = 3.6 \times 1847.767 / 1148.06 = 5.794 \text{ м}$$

Розрахунок топки котлоагрегату

Коефіцієнт теплової ефективності екрану – відношення кількості теплоти, яка сприймається екраном, до теплоти, яка падає на цю поверхню

$$\psi = \chi \times \zeta = 0.99 \times 0.65 = 0.643$$

Середній коефіцієнт теплової ефективності топки

$$\psi_{\text{ср}} = (\psi \times F_T) / F_T = (0.643 \times 1148.06) / 1148.06 = 0.643$$

Ефективна товщина випромінювання шару газу в топці

$$S = 3,6 \times V_T / F_T = 3.6 \times 1847.767 / 1148.06 = 5.794 \text{ м}$$

Площа променесприймаючої поверхні нагріву

$$F_{\text{пр}} = \chi \times F_T = 0.99 \times 1148.06 = 1136.579 \text{ м}^2$$

Ступінь екранування топки

$$\chi = F_{\text{пр}} / F_T = 1136.579 / 1148.06 = 0.990$$

Перевірочний розрахунок температури газів топки

Наближення 1

Задаємося попередньо температурою димових газів на виході із топки (теоретично можлива)

$$t_{\text{г}} = 1200 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Корисне тепловиділення в топці

$$Q_{\text{кор}} = Q_{\text{пр}} \times (100 - q_3 - q_4 - q_6)/(100 - q_4) + Q_{\text{п}} = 8480 \times (100 - 0.5 - 0 - 0)/(100 - 0) + 238.062 = 8675.662 \text{ ккал/м}^3$$

$$Q_{\text{п}} = \text{ат.ср.} \times I^{\circ}\text{дп} = 1.05 \times 226.725 = 238.062 \text{ ккал/кг}$$

Температура горіння в топці

$$T_{\text{г}} = 2137.166$$

Коефіцієнт ослаблення променів не світними триатомними газами

$$k_{\text{г}} = ((0.78 + 1.161 \times r_{\text{H}_2\text{O}})/\sqrt{(p_{\text{г}} \times S) - 0.1}) \times (1 - 0.37 \times T_{\text{г}}/1000) = ((0.78 + 1.161 \times 0.198)/\sqrt{(0.283 \times 5.794) - 0.1}) \times (1 - 0.37 \times 1473.15/1000) = 0.345$$

Коефіцієнт ослаблення проміння зольними частинками

$$k_{\text{зл}} = 0$$

$$e_{\text{зл}} = 0$$

$$k_{\text{кокс}} = 1$$

$$\chi^1 = 1$$

$$\chi^2 = 0.1$$

Перевірочний розрахунок температури газів топки

$$k_c = 0.03 \times (2 - \alpha_T) \times (1.6 \times T^*T/1000 - 0.5) \times C_p/H_p = 0.03 \times (2 - 1.05) \times (1.6 \times 1473.15/1000 - 0.5) \times 2.968 = 0.157$$

$$C_p/H_p = 0.12 \times \sum(m/n)C_mH_n = 2.968$$

Коефіцієнт ослаблення променів світним промінням

$$k_{св} = k_g \times \eta + k_{зл} \times \eta_{зл} + k_{\text{кокс}} \times \chi_1 \times \chi_2 + k_c = 0.345 \times 0.283 + 0 \times 0 + 1 \times 1 \times 0.1 + 0.157 = 0.355$$

Ступінь чорноти факела

$$a_f = 1 - e^{-k_{св}} = 1 - e^{(-0.345 \times 1 \times 5.794)} = 0.432$$

Ступінь чорноти топки

$$\alpha_T = a_f / (a_f + (1 - a_f) \times \psi_{ср}) = 0.432 / (0.432 + (1 - 0.432) \times 0.643) = 0.542$$

Визначення параметру М, який характеризує положення максимуму температури полум'я по висоті топки

$$M = 0.56 - 0.5 \times x_T = 0.56 - 0.5 \times 0.159 = 0.480$$

$$x_T = h_T/H_T = 4500 / 28250 = 0.159$$

Середня сумарна теплоємність продуктів згорання палива

$$V_{сер} = (Q_{кор} - I^*T) / (u_a - u^*T) = (8675.662 - 4539.405) / (2137.166 - 1200) = 4.414 \text{ ккал/кг}^\circ\text{C}$$

u_a - адіабатична температура газів на виході із топки, визначається з таблиць ентальпій за $Q_{кор}$
 I^*T – ентальпія димових газів при попередньо прийнятій температурі u^*T

Дійсна температура димових газів на виході з топки

$$u^*T_d = T_a / (M \times ((4,9 \times \psi_{ср} \times a_T \times F_{ст} \times T_a^3) / (10^8 \times \varphi \times V_p \times V_{ср}))^{0.6} + 1) - 273 =$$
$$= 2410.316 / (0.480 \times ((4,9 \times 0.643 \times 0.542 \times 1148.06 \times 2410.316^3) / (10^8 \times 0.996 \times 32164.653 \times 4.414))^{0.6} + 1) - 273 = 1167.643 \text{ }^\circ\text{C}$$

5.3 Ручний розрахунок котельного агрегату NWK18-16-300-08

Триходовий жаротрубно-димогарний котел марки NWK18-16-300-08 сконструйовано як горизонтально-циліндричний. Котлоагрегат працює в водогрійному режимі.

Основні технічні характеристики і параметри котла

Назва показника	NWK18-16-300-08
Потужність, МВт (номинальна/минимальна)	18/3,6
Розрахунковий тиск , Бар	25,1
Робочий тиск , Бар	16
Температура води , °С : на вході на виході	70 До 160
Тип топки	Камерна
Марка пальника	RAY BGEC

Конструктивні характеристики топкової камери котельного агрегату

Величина, що розраховується	Позначення	Розмірність	Формула або обґрунтування	Розрахунок або дані креслень
<i>Топкова камера</i>				
Діаметр і товщина екранних труб	$d \times \delta$	мм	По кресленню	60x6
Крок труб	s_1	мм	По кресленню	64
Сумарна поверхня стін топкової камери	$F_{ст}$	m^2	По кресленню	28,7
Об'єм топкової камери (до ширм)	V_T	m^3	По кресленню	19,1

Об'єми продуктів горіння та об'ємні долі триатомних газів

Величина	Позначення	Розмірність	Поверхня нагріву котла
			Топка, поворотна камера, пучки димогарних труб
Коефіцієнт надлишку повітря	α	б/р	1,2
Теоретичний об'єм повітря	V^0	м ³ / м ³	9,424
Теоретичний об'єм азоту	$V_{N_2}^0$	м ³ / м ³	7,455
Об'єм триатомних газів	V_{RO_2}	м ³ / м ³	0,992
Теоретичний об'єм водяних парів	$V_{H_2O}^0$	м ³ / м ³	1,979
Об'єми водяних парів	V_{H_2O}	м ³ / м ³	2,009
Повний об'єм подуктів горіння	V_2	м ³ / м ³	12,341
Об'ємна доля триатомних газів	r_{RO_2}	б/р	0,08
Об'ємна доля водяних парів	r_{H_2O}	б/р	0,163
Загальна об'ємна доля	r_{Σ}	б/р	0,243

Тепловий баланс

Найменування величини	Позначення	Розрахункова формула	Розмірність	Розрахунок
				пот
1	2	3	4	5
Тепло, що вноситься в жарову трубу котла	Q_p^c	Q_n^c [4, таблиця II]	МДж/м ³	35,5
			кДж/м ³	35527
Температура вихідних газів	t_{yx}	За завданням	°С	130
Ентальпія вихідних газів	$I_{гз}$	Таблиця 4.3	кДж/м ³	2204,1
Ентальпія теоретично необхідної кількості холодного повітря	$I_{х.л.}^0$	Таблиця 4.3	кДж/м ³	375,1
Втрата теплоти з уходящими газами	q_2	$\frac{(I_{yx} - \alpha_{yx} \cdot I_{хв}^0) \cdot (100 - q_4)}{Q_p^p}$	%	4,9
Втрата теплоти від хімічного недопалу	q_3	[4, таблиця XXI]	%	0,3
Втрата теплоти від механічного недопалу	q_4	[4, таблиця XXI]	%	0,0
Втрати в навколишнє середовище	q_5	$q_5 = \frac{Q_5}{Q_{к.а}} \cdot 100\%$	%	0,04
Сума теплових втрат	Σq_i	$q_2 + q_3 + q_4 + q_5$	%	5,3
ККД агрегату	η_k	$100 - \Sigma q_i$	%	94,7
Корисно використана теплота (потужність котла)	$Q_{кор}$	Вихідні дані	МВт	18,0
Повна витрата палива	B	$\frac{Q_{кор}}{Q_p^p \cdot \eta_k} \cdot 100\%$	м ³ /с	0,535
			м ³ /год	1925,6
Розрахункова витрата палива	B_p	$\frac{B \cdot (100 - q_4)}{100}$	м ³ /с	0,535
			м ³ /год	1925,6
Коефіцієнт збереження тепла	φ	$\varphi = 1 - \frac{q_5}{\eta + q_5}$	-	0,9996

Топка

Найменування величини	Позначення	Розрахункова формула	Розмірність	Результат
1	2	3	4	5
Попереднє значення температури продуктів горіння на виході з жарової труби	ϑ''_m	Приймаємо у відповідності до типу палива	°C	1200
	T''_m		К	1473
Ентальпія продуктів горіння на виході з жарової труби	I''_m	Таблиця 4.3	кДж/м ³	22931,2
Ентальпія холодного повітря	$I^0_{x,n}$	Те ж саме	кДж/м ³	375,1
Площа всіх стінок	$F_{ст}$	3 креслень	м ²	28,7
Променесприймаюча площа	H_n	$H_n = H_T \cdot x$	м ²	28,7
Об'єм	V_m	3 креслень	м ³	19,1
Середній коефіцієнт теплової ефективності екрану	ψ_{cp}	$\psi_{cp} = \xi \cdot \frac{H_n}{F_{ст}}$	-	0,9
Коефіцієнт, що враховує забрудненість екрану	ξ	Згідно рекомендаціям BBS	-	0,9
Ефективна товщина випромінюючого шару	S	$S = \frac{3,6 \cdot V_T}{F_{ст}}$	м	2,4
Корисне тепловиділення	Q_m	$Q_m = Q_p^p \cdot \frac{100 - q_3}{100} + Q_n$	кДж/м ³	35870,5
Теоретична температура продуктів горіння на виході з жарової труби	ϑ''_a	Таблиця 4.3	°C	1795,3
	T''_a		К	2068,3
Коефіцієнт ослаблення променів трьохатомними газами	k_r	$k_r = \left(\frac{7,8 + 16 \cdot \eta_{H_2O}}{\sqrt{10 \cdot p \cdot r_{г} \cdot S}} - 1 \right) \cdot \left(1 - 0,37 \cdot \frac{T''_m}{1000} \right) \cdot r_{г}$	1/(м·МПа)	1,395
Коефіцієнт ослаблення променів сажистими частками	k_c	$k_c = \frac{1,2}{1 + \alpha_r^2} \cdot \left(\frac{C_p}{H_p} \right)^{0,4} \cdot \left(1,6 \cdot \frac{T''_m}{1000} - 0,5 \right)$	1/(м·МПа)	1,411
Коефіцієнт ослаблення променів	k	$k = k_r + k_c \cdot m$	1/(м·МПа)	1,536
Ступінь чорноти освітленої частини факела	$a_{св}$	$a_{св} = 1 - e^{-(k \cdot p \cdot s)}$	-	0,309
Ступінь чорноти факелу з несвітлим полум'ям	a_r	$a_r = 1 - e^{-(k_r \cdot r_{г} \cdot p \cdot s)}$	-	0,285
Ступінь чорноти факела	$a_{ф}$	$a_{ф} = m \cdot a_{св} + (1 - m) \cdot a_r$	-	0,297
Теплове напруження об'єму топки	q_v	Згідно рекомендаціям BBS	МВт/м ³	1002,7
Ступінь чорноти жарової труби	a_m	$a_r = \frac{a_{ф}}{a_{ф} + (1 - a_{ф}) \cdot \psi_{cp}}$	-	0,319
Середня сумарна теплоємність продуктів згорання	$V_{ср}$	$V_{ср} = \frac{Q_m - I''_m}{T_a - T''_m}$	кДж/(К·м ³)	21,7

Параметр M_2	M_2	$M = 0,54 - 0,2 \cdot x_T$	-	0,37
Температура продуктів горіння на виході з жарової труби	ϑ''_{ml}	$\vartheta''_m = \frac{T_a}{1 + M \cdot B \bar{u}^{0,3} \cdot \left(\frac{5,67 \cdot 10^{-1} \cdot \psi_{cp} \cdot F_{cr} \cdot T_a^3}{\psi \cdot B_p \cdot (V_c)_{cp}} \right)^{0,6}} - 273$	°C	1473,1

5.4 Машинний розрахунок котельного агрегату NWK18-16-300-08

Розрахунок об'ємів повітря і продуктів згорання

Теоретичний об'єм сухого повітря, необхідний для повного згорання палива (газ)

Теоретична кількість повітря необхідного для спалювання 1 кг палива

$$V^0 = 0.048 \times [0.5CO + 0.5H_2 + 1.5H_2S + \Sigma(m + n/4)CmHn - O_2] = 0.048 \times (0 + 0 + 0.197.44 + 0.42 + 0.05 + 0.065 + 0 + 0 - 0) = 9.424 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Теоретичний об'єм азоту у продуктах згорання

$$V^0_{N_2} = 0.79V^0 + 0.8N_2/100 = 0.79 \times 9.424 + 1/100 = 7.455 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Теоретичний об'єм водяної пари

$$V^0_{H_2O} = 0.01[H_2 + H_2S + \Sigma((n/2)CmHn) + 0.124d_{г.пал} + 0.017V^0] = 0.01[0 + 0 + 197.44 + 0.36 + 0.04 + 0.05 + 0 + 0 + 0.124 \times 10 + 0.017 \times 9.424] = 1.993 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Теоретичний об'єм триатомних газів

$$V^0_{RO_2} = 0.01[CO_2 + CO + H_2S + \Sigma(mCmHn)] = 0.01[0.14 + 0 + 0 + 98.72 + 0.24 + 0.03 + 0.04 + 0 + 0] = 0.992 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Дійсний об'єм водяних парів

$$V_{H_2O} = V^0_{H_2O} + 0.016(\alpha_{i,сп.} - 1)V^0 = 1.993 + 0.016 \times (1.05 - 1) \times 9.424 = 2.000 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Дійсний сумарний об'єм продуктів згорання

$$V_r = V^0_{RO_2} + V^0_{N_2} + V^0_{H_2O} + (\alpha_{i,сп.} - 1)V^0 = 0.992 + 7.455 + 1.993 + (1.05 - 1) \times 9.424 = 10.910 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Розрахунок об'ємів повітря і продуктів згорання

Дійсний об'єм продуктів згорання

$$\Sigma V = V_{\text{RO}_2}^0 + V_{\text{O}_2} + V_{\text{H}_2\text{O}} + (\alpha \text{і.ср.} - 1)V_0, \text{ нм}^3/\text{кг}$$

Середній коефіцієнт надлишкового повітря

α	1.05
$\Sigma V, \text{ нм}^3/\text{кг}$	10.910

Ентальпія продуктів згорання

Формули підрахунку

$$I_{0п} = V_0 \times \text{спов} , \text{ ккал/м}^3$$

$$I_{0г} = V_0 R_{O2} \times c_{CO2} + V_0 N_2 \times c_{N2} + V_0 H_2O \times c_{H2O}, \text{ ккал/м}^3$$

$$I = I_{0г} + (a_i - 1) \times I_{0п} , \text{ ккал/м}^3$$

t, oC	I _п	I _г	T
			1.05
100	297.79	343.10	357.99
200	599.34	692.51	722.47
300	906.55	1050.36	1095.69
400	1219.42	1418.80	1479.77
500	1539.82	1796.58	1873.57
600	1867.76	2181.23	2274.61
700	2205.12	2576.90	2687.16
800	2544.37	2985.02	3112.23
900	2883.62	3401.57	3545.75
1000	3232.30	3825.10	3986.72
1100	3590.40	4249.62	4429.14
1200	3948.49	4677.12	4874.55
1300	4306.59	5116.07	5331.40
1400	4674.11	5563.46	5797.17
1500	5041.63	6007.38	6259.46
1600	5409.15	6458.76	6729.22
1700	5776.67	6913.12	7201.95
1800	6144.19	7369.47	7676.68
1900	6521.14	7833.28	8159.34
2000	6898.08	8294.61	8639.52
2100	7275.03	8761.41	9125.16

Тепловий баланс котлоагрегату

Тепло, що вноситься в топку котлоагрегату

$$Q_{nr} = Q(\text{газ}) = 8479 = 8479 \text{ ккал/кг}$$

$$100 = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6, \%$$

$$q_3 = 0.5\%$$

$$q_4 = 0\%$$

$$q_5 = 4.956\%$$

$$I_{дп}^0 = 0.24 \times c_{дп} \times t \times V^0 = 0.24 \times 0.32 \times 350 \times 9.424 = 253.307 \text{ ккал/м}^3$$

$$q_2 = (I_{yx} - \alpha_{yx} \times I_{дп}^0) \times (100 - q_4) / Q_{pp} = (467.336 - 1.05 \times 253.307) \times (100 - 0) / 8479 = 2.375\%$$

$$q_6 = 0\%$$

Коефіцієнт корисної дії котлоагрегату (Брутто)

$$\eta_{ка} = q_1 = 100 - 2.375 - 0.5 - 0 - 4.956 - 0 = 92.169\%$$

Коефіцієнт збереження теплоти

$$\phi = 1 - q_5 / (\eta_{ка} + q_5) = 1 - 4.956 / (92.169 + 4.956) = 0.949\%$$

Витрата палива, що подається в топку котлоагрегату

$$B = (D_{роздi} + D_{прдiпр}) \times 100 / (Q_{nr} \times \eta) = (18000 \times 616 + 900 \times 94.5) \times 100 / (8479 \times 92.169) = 1429.689 \text{ кг/год}$$

Розрахунок топки котлоагрегату

Відношення кроку труб до діаметру

$$s/d = 64 / 60 = 1.067$$

Відстань від осі екрану до стінки

$$l = 0,8d = 0.8 \times 0.06 = 0.048 \text{ м}$$

Кутовий коефіцієнт екрану - характеризує частку теплоти, що сприймається поверхнею, віднесеної до теплоти, яка могла б бути сприйнята суцільною екранованою стінкою (прийм.)

$$x = 0.99$$

Коефіцієнт забруднення екрану - враховує зниження теплосприймання екранних поверхонь нагріву внаслідок їх забруднення або закриття цеглою (прийм.)

$$\zeta = 0.65$$

Коефіцієнт теплової ефективності екрану – відношення кількості теплоти, яка сприймається екраном, до теплоти, яка падає на цю поверхню

$$\psi = X \times \zeta = 0.99 \times 0.65 = 0.643$$

Середній коефіцієнт теплової ефективності топки

$$\psi_{\text{ср}} = (\psi \times F_{\text{T}}) / F_{\text{T}} = (0.643 \times 28.7) / 28.7 = 0.643$$

Ефективна товщина випромінювання шару газу в топці

$$S = 3,6 \times V_{\text{T}} / F_{\text{T}} = 3.6 \times 19.1 / 28.7 = 2.396 \text{ м}$$

Розрахунок топки котлоагрегату

Коефіцієнт теплової ефективності екрану – відношення кількості теплоти, яка сприймається екраном, до теплоти, яка падає на цю поверхню

$$\psi = \chi \times \zeta = 0.99 \times 0.65 = 0.643$$

Середній коефіцієнт теплової ефективності топки

$$\psi_{\text{ср}} = (\psi \times F_{\text{T}}) / F_{\text{T}} = (0.643 \times 28.7) / 28.7 = 0.643$$

Ефективна товщина випромінювання шару газу в топці

$$S = 3,6 \times V_{\text{T}} / F_{\text{T}} = 3.6 \times 19.1 / 28.7 = 2.396 \text{ м}$$

Площа променесприймаючої поверхні нагріву

$$F_{\text{пр}} = \chi \times F_{\text{T}} = 0.99 \times 28.7 = 28.413 \text{ м}^2$$

Ступінь екранування топки

$$\chi = F_{\text{пр}} / F_{\text{T}} = 28.413 / 28.7 = 0.99$$

Перевірочний розрахунок температури газів топки

Наближення 1

Задаємося попередньо температурою димових газів на виході із топки (теоретично можлива)

$$t^*_{г} = 1200 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Корисне тепловиділення в топці

$$Q_{кор} = Q_{рр} \times (100 - q_3 - q_4 - q_6)/(100 - q_4) + Q_{п} = 8479 \times (100 - 0.5 - 0 - 0)/(100 - 0) + 265.972 = 8702.577 \text{ ккал/м}^3$$

$$Q_{п} = ат.ср. \times I^{\circ}дп = 1.05 \times 253.307 = 265.972 \text{ ккал/кг}$$

Температура горіння в топці

$$T_{г} = 2012.984$$

Коефіцієнт ослаблення променів не світними триатомними газами

$$k_{g} = ((0.78 + 1.161 \times r_{H_2O})/\sqrt{(p \times S) - 0.1}) \times (1 - 0.37 \times T^*_{г}/1000) = ((0.78 + 1.161 \times 0.183)/\sqrt{(0.283 \times 2.396) - 0.1}) \times (1 - 0.37 \times 1473.15/1000) = 0.549$$

Коефіцієнт ослаблення проміння зольними частинками

$$k_{зл} = 0$$

$$\sigma_{зл} = 0$$

$$k_{кокс} = 1$$

$$\chi_1 = 1$$

$$\chi_2 = 0.1$$

Перевірочний розрахунок температури газів топки

$$k_c = 0.03 \times (2 - \alpha_T) \times (1.6 \times T^*_{T/1000} - 0.5) \times C_p/H_p = 0.03 \times (2 - 1.05) \times (1.6 \times 1473.15/1000 - 0.5) \times 2.967 = 0.157$$

$$C_p/H_p = 0.12 \times \sum(m/n)C_mH_n = 2.967$$

Коефіцієнт ослаблення променів світним промінням

$$k_{св} = k_g \times \eta_p + k_{зл} \times \eta_{зл} + k_{\text{кокс}} \times \chi_1 \times \chi_2 + k_c = 0.549 \times 0.283 + 0 \times 0 + 1 \times 1 \times 0.1 + 0.157 = 0.412$$

Ступінь чорноти факела

$$a_f = 1 - e^{-k_{св} s} = 1 - e^{(-0.549 \times 1 \times 2.396)} = 0.311$$

Ступінь чорноти топки

$$\alpha_T = a_f / (a_f + (1 - a_f) \times \psi_{ср}) = 0.311 / (0.311 + (1 - 0.311) \times 0.643) = 0.412$$

Визначення параметру М, який характеризує положення максимуму температури полум'я по висоті топки

$$M = 0.56 - 0.5 \times x_T = 0.56 - 0.5 \times 0.280 = 0.420$$

$$x_T = h_T/H_T = 78.795 / 281.41 = 0.280$$

Середня сумарна теплоємність продуктів згорання палива

$$V_{сер} = (Q_{кор} - I^*T) / (u_a - u^*T) = (8702.577 - 4874.549) / (2012.984 - 1200) = 4.709 \text{ ккал/кг}^\circ\text{C}$$

u_a - адіабатична температура газів на виході із топки, визначається з таблиць ентальпій за $Q_{кор}$

I^*T – ентальпія димових газів при попередньо прийнятій температурі u^*T

Дійсна температура димових газів на виході з топки

$$u^*T_d = T_a / (M \times ((4,9 \times \psi_{ср} \times a_T \times F_{ст} \times T_a^3) / (10^8 \times \varphi \times V_p \times V_{ср}))^{0.6} + 1) - 273 =$$
$$= 2286.134 / (0.420 \times ((4,9 \times 0.643 \times 0.412 \times 28.7 \times 2286.134^3) / (10^8 \times 0.949 \times 1429.689 \times 4.709))^{0.6} + 1) - 273 = 1435.070 \text{ }^\circ\text{C}$$

6. Висновки

У результаті виконаної роботи було розроблено веб-застосунок для автоматизації розрахунку парових, водогрійних та жаротрубних котлів. Це програмне забезпечення значно спрощує і прискорює процес розрахунків, що в свою чергу підвищує ефективність роботи інженерів та знижує ймовірність помилок, пов'язаних з людським фактором.

Веб-застосунок дозволяє здійснювати точні розрахунки котельного обладнання, враховуючи всі необхідні технічні параметри та специфікації. Простий і інтуїтивно зрозумілий інтерфейс програми забезпечує зручність використання як для досвідчених інженерів, так і для новачків, що суттєво знижує навчальний бар'єр і дозволяє швидко впроваджувати цей інструмент у практику.

Автоматизація процесу розрахунків дозволяє зменшити час, витрачений на рутинні обчислення, що дозволяє інженерам зосередитися на більш складних аспектах проектування. Це сприяє зниженню витрат на оплату праці та підвищує загальну продуктивність праці у компаніях, що використовують веб-застосунок.

Автоматизовані розрахунки значно знижують ймовірність помилок, пов'язаних з ручними обчисленнями, що забезпечує більш високу точність та надійність розрахункових результатів. Це особливо важливо для забезпечення безпеки котельного обладнання, що має безпосереднє значення для експлуатації та енергетичної ефективності систем.

Використання веб-застосунку призводить до економії часу та ресурсів, що в свою чергу дозволяє компаніям знижувати витрати на проектування, підвищувати ефективність робочих процесів і збільшувати кількість виконаних проектів. Завдяки зниженню витрат на персонал, скороченню часу розрахунків і зменшенню кількості помилок, економічна вигода від впровадження такого інструменту є значною.

Розроблений веб-застосунок є масштабованим та має значний потенціал для подальшого розвитку. У майбутньому можна додавати нові функції, оптимізувати алгоритми, адаптувати застосунок до змін у нормативних вимогах або розширювати його можливості для розрахунку інших типів котлів та енергетичних установок. Це дозволяє підтримувати актуальність програмного забезпечення і розширювати його застосування на ринку.

Веб-застосунок надає компаніям, що займаються проектуванням котельного обладнання, важливу конкурентну перевагу. Завдяки автоматизації процесів розрахунку компанії можуть швидше та ефективніше виконувати проекти, знижуючи час на їх реалізацію та зменшуючи витрати на розрахунки. Це сприяє підвищенню якості виконаних проектів та зміцненню репутації компанії на ринку.

Веб-застосунок не тільки підвищує ефективність роботи інженерів, але й може бути використаний як інструмент для навчання та підвищення кваліфікації нових співробітників. Зручність і доступність програми дозволяє швидко освоїти її навіть тим, хто не має глибоких знань в галузі теплотехніки, що сприяє більш швидкому залученню нових кадрів до роботи.

Розробка та впровадження веб-застосунку для автоматизації розрахунку котлів є значним кроком вперед у напрямку підвищення ефективності та зручності роботи інженерів. Він дозволяє забезпечити точність розрахунків, знизити витрати на трудові ресурси, скоротити час виконання проектів та підвищити конкурентоспроможність компаній, що використовують цей інструмент. У результаті, застосування цього веб-застосунку принесе економічні вигоди, покращить якість виконаних робіт і забезпечить безпеку котельних установок.

7. Додаток: Лістинг програми

Додаток 1: HTML частина

```
1 <!DOCTYPE html>
2 <html lang="en">
3
4 <head>
5   <meta charset="UTF-8">
6   <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0">
7   <title>Розрахунок</title>
8   <link rel="stylesheet" href="css/fonts.css">
9   <link rel="stylesheet" href="css/style.css">
10  <link rel="stylesheet" href="css/mobile.css">
11  <script src="js/jquery-3.1.1.min.js"></script>
12 </head>
13
14 <body>
15   <div class="dark_wrapper">
16     <div class="fuels_container">
17       <div class="card type_of_fuel">
18         <div class="card_title_abs">
19           <div class="card_title_content">
20             Паливо
21           </div>
22         </div>
23         <div class="card_content radio-buttons-container" style="position: relative;">
24           <div class="radio-button">
25             <input name="tf" id="radio1" value="gas" class="radio-button_input" type="radio" checked="">
26             <label for="radio1" class="radio-button_label">
27               <span class="radio-button_custom"></span>
28               Газ
29             </label>
30           </div>
31         </div>
32       </div>
33       <div class="card" data-change="gas">
34         <div class="card_title_abs">
35           <div class="card_title_content">
36             Склад
37           </div>
38         </div>
39         <div class="card_content">
40           <form id="gas">
```

```

41 <label>
42     <span class="el_name">CH<sub>4</sub>, % </span>
43     <input type="text" name="ch4" value="98.5">
44 </label>
45 <label>
46     <span class="el_name">C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, % </span>
47     <input type="text" name="c2h6" value="0.2">
48 </label>
49 <label>
50     <span class="el_name">C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>, % </span>
51     <input type="text" name="c3h8" value="0.1">
52 </label>
53 <label>
54     <span class="el_name">C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>, % </span>
55     <input type="text" name="c4h10" value="0">
56 </label>
57 <label>
58     <span class="el_name">C<sub>5</sub>H<sub>12</sub>, % </span>
59     <input type="text" name="c5h12" value="0">
60 </label>
61 <label>
62     <span class="el_name">C<sub>6</sub>H<sub>14</sub>, % </span>
63     <input type="text" name="c6h14" value="0">
64 </label>
65 <label>
66     <span class="el_name">N<sub>2</sub>, % </span>
67     <input type="text" name="n2" value="1">
68 </label>
69 <label>
70     <span class="el_name">CO<sub>2</sub>, % </span>
71     <input type="text" name="co2" value="0.2">
72 </label>
73 <label>
74     <span class="el_name">O<sub>2</sub>, % </span>
75     <input type="text" name="o2" value="21">
76 </label>
77 <label>
78     <span class="el_name">Q<sub>H</sub>, <sup>ккал</sup>/<sub>кг</sub> </span>
79     <input type="text" name="Q" value="8480">
80 </label>

```

```

81 </form>
82     </div>
83 </div>
84 <div class="card">
85     <div class="card_title_abs">
86         <div class="card_title_content">
87             Витрата
88         </div>
89     </div>
90     <div class="card_content">
91         <form id="fuel_quantity">
92             <label data-change="gas">
93                 <span class="el_name">Газ, <sub>тис</sub> <sup>м<sup>3</sup></sup></sup></span><sub>год</sub></span>
94                 <input type="text" name="gas" value="1.75">
95             </label>
96         </form>
97     </div>
98 </div>
99 </div>
100 <div class="construction_container">
101     <div class="card">
102         <div class="card_title_abs">
103             <div class="card_title_content">
104                 Тонка
105             </div>
106         </div>
107         <div class="card_content">
108             <form data-convective="true" id="furnaceConstr" data-delta="0.0" data-name="Т">
109                 <label>
110                     <span class="el_name">Повна поверхня стін, м<sup>2</sup></span>
111                     <input type="text" name="F" value="1148.06">
112                 </label>
113                 <label>
114                     <span class="el_name">06'єм топки, м<sup></sup></span>
115                     <input type="text" name="V_furnace" value="1847.767">
116                 </label>
117                 <label>
118                     <span class="el_name">Крок труб, мм</span>
119                     <input type="text" name="s_pipe" value="64">
120                 </label>

```

```

121 <label>
122     <span class="el_name">Діаметр труб, мм</span>
123     <input type="text" name="d_pipe" value="60">
124 </label>
125 <label>
126     <span class="el_name">Висота до факелу, мм</span>
127     <input type="text" name="h_hight" value="4500">
128 </label>
129 <label>
130     <span class="el_name">Висота топки, мм</span>
131     <input type="text" name="H_hight" value="28250">
132 </label>
133 <label>
134     <span class="el_name">Температура димових газів на виході із топки (теоретично можлива),
135     °C</span>
136     <input type="text" name="V_temp" value="1200">
137 </label>
138 <label>
139     <span class="el_name">Температура уходящих газів (попередня)
140     °C</span>
141     <input type="text" name="tempUhodGas" value="160">
142 </label>
143 <label>
144     <span class="el_name">Продуктивність
145     кг/год</span>
146     <input type="text" name="paroProd" value="420000">
147 </label>
148 </form>
149 </div>
150 </div>
151 </div>
152 <div class="btn_container">
153     <button id="mainBtn">
154         <span>Розрахувати</span>
155     </button>
156 </div>
157 <div id="output"></div>
158 </div>
159 <div class="hidden_serv">
160     <div class="convective_item" data-target="BE">

```

```

161 <form data-convective="true" data-copy="true" data-delta="0.025" data-name="BE">
162     <label>
163         <span class="el_name">Повна поверхня, м<sup>2</sup></span>
164         <input type="text" name="F" value="100">
165     </label>
166 </form>
167 <div class="delete_convective">
168     x
169 </div>
170 </div>
171 </div>
172 <div class="modal_page">
173     <div class="modal_wrapper">
174         <div class="modal">
175             <h2 class="modal_title">
176                 Оберіть конвективну поверхню
177             </h2>
178             <select id="convectipeType">
179                 <option value="BE">BE</option>
180             </select>
181             <button id="accessConvective">Додати</button>
182         </div>
183     </div>
184 </div>
185 <script src="js/script.js"></script>
186 </body>
187
188 </html>

```

Додаток 2: CSS частина

```
1  html {
2      background-color: #141414;
3  }
4
5  * {
6      box-sizing: border-box;
7  }
8
9  body {
10     font-family: 'Roboto', sans-serif;
11     background-color: #05062d;
12     color: #fff;
13     margin: 0;
14     min-height: 100vh;
15 }
16
17 .dark_wrapper {
18     background-color: rgba(0, 0, 0, 0.6);
19     backdrop-filter: blur(2px);
20     min-height: 100vh;
21 }
22
23 h1,
24 h2,
25 h3,
26 h4,
27 h5,
28 h6,
29 p {
30     margin: 8px 0;
31     padding: 0;
32 }
33
34 button {
35     display: inline-block;
36     padding: 16px;
37     border: none;
38     border-radius: 0.6em;
39     text-transform: uppercase;
40     background-color: #a340fd;
41     color: #fff;
42     font-weight: 700;
43     cursor: pointer;
44 }
```

```

45
46 h1.block_title {
47     cursor: pointer;
48     padding-bottom: 12px;
49     border-bottom: 2px solid #4e58f2;
50     position: sticky;
51     position: -webkit-sticky;
52     top: 0;
53     background-color: #030215;
54 }
55
56 .fuels_container,
57 .construction_container {
58     display: flex;
59     gap: 40px;
60     padding: 40px 20px 20px;
61 }
62
63 .convective_container {
64     display: flex;
65     gap: 40px;
66 }
67
68 .card {
69     min-width: 190px;
70     width: 340px;
71     flex-grow: 1;
72     border-radius: 20px;
73     padding: 5px;
74     box-shadow: rgba(151, 65, 252, 0.2) 0 15px 30px -5px;
75     background-image: linear-gradient(144deg, #AF40FF, #5B42F3 50%, #00DDEB);
76     transition: .5s;
77     position: relative;
78 }
79
80 .card[data-change] {
81     flex-grow: 2;
82 }

```

```
83
84 .card__content {
85     background: rgb(5, 6, 45);
86     border-radius: 17px;
87     width: 100%;
88     height: 100%;
89     box-sizing: border-box;
90     padding: 20px 16px;
91 }
92
93 .card:hover .card_title_abs {
94     height: 40px;
95     padding: 5px 5px 0;
96     transition: height .1s .1s, padding .1s;
97 }
98
99 .card_title_abs {
100     box-sizing: border-box;
101     position: absolute;
102     color: #fff;
103     z-index: 999;
104     left: 20px;
105     bottom: 100%;
106     height: 0;
107     overflow: hidden;
108     background-image: linear-gradient(#5846f3, #ab40fe);
109     border-radius: 20px 20px 0 0;
110     padding: 0;
111     min-width: 120px;
112     transition: height .1s, padding .1s .1s;
113 }
114
115 .card_title_content {
116     background: rgb(5, 6, 45);
117     border-radius: 17px 17px 0 0;
118     width: 100%;
119     height: 100%;
120     box-sizing: border-box;
121     padding: 8px;
122     text-transform: uppercase;
123     text-align: center;
124 }
```

```
125
126 .radio-buttons-container {
127     display: flex;
128     align-items: left;
129     justify-content: start;
130     gap: 4px;
131     flex-direction: column;
132 }
133
134 .radio-button {
135     display: flex;
136     align-items: center;
137     position: relative;
138     cursor: pointer;
139     min-height: 44px;
140 }
141
142 .radio-button__input {
143     position: absolute;
144     opacity: 0;
145     width: 0;
146     height: 0;
147 }
148
149 .radio-button__label {
150     width: 100%;
151     box-sizing: border-box;
152     display: inline-block;
153     padding-left: 38px;
154     position: relative;
155     font-size: 16px;
156     color: #fff;
157     cursor: pointer;
158     transition: all 0.3s cubic-bezier(0.23, 1, 0.320, 1);
159     text-transform: uppercase;
160     text-align: left;
161 }
```

```

162
163 .radio-button__custom {
164     position: absolute;
165     top: 50%;
166     left: 0;
167     transform: translateY(-50%);
168     width: 20px;
169     height: 20px;
170     border-radius: 50%;
171     border: 2px solid #4a5ff1;
172     transition: all 0.3s cubic-bezier(0.23, 1, 0.320, 1);
173 }
174
175 .radio-button__input:checked+.radio-button__label .radio-button__custom {
176     transform: translateY(-50%) scale(0.9);
177     border: 5px solid #4c8bf5;
178     color: #4c8bf5;
179 }
180
181 .radio-button__input:checked+.radio-button__label {
182     color: #4c8bf5;
183     padding-left: 36px;
184 }
185
186 .radio-button__label:hover .radio-button__custom {
187     transform: translateY(-50%) scale(1.2);
188     border-color: #4c8bf5;
189     box-shadow: 0 0 10px #4c8bf580;
190 }
191
192 form {
193     display: flex;
194     flex-wrap: wrap;
195     --label-basis: 200px;
196     gap: 20px;
197 }
198
199 form#furnaceConstr {
200     --label-basis: 460px;
201     gap: 40px 80px;
202     justify-content: start;
203 }

```

```

204
205 form#furnaceConstr>label {
206     flex-grow: 0;
207     justify-content: space-between;
208 }
209
210 form>label {
211     flex-basis: var(--label-basis);
212     flex-grow: 1;
213     text-align: left;
214     display: flex;
215     justify-content: start;
216     align-items: center;
217     gap: 10px;
218 }
219
220 form>label>.el_name {
221     display: inline-block;
222     min-width: 75px;
223     font-size: 16px;
224     flex-shrink: 1;
225 }
226
227 form>label .el_percent {
228     font-size: 14px;
229     width: 20%;
230     min-width: 50px;
231     text-align: center;
232 }
233
234 input[type="text"] {
235     --input-focus: #2d8cf0;
236     --font-color: #fefefe;
237     --font-color-sub: #7e7e7e;
238     --bg-color: #111111;
239     --main-color: #fefefe;
240     max-width: 140px;
241     height: 38px;
242     border-radius: 5px;
243     border: 2px solid var(--main-color);
244     background-color: var(--bg-color);
245     box-shadow: 3px 3px var(--main-color);
246     font-size: 15px;
247     font-weight: 600;
248     color: var(--font-color);
249     padding: 5px 8px;
250     outline: none;
251     flex-grow: 1;
252     transition: .2s;
253 }

```

```
254
255 input[type="text"]::placeholder {
256     color: var(--font-color-sub);
257     opacity: 0.8;
258 }
259
260 input[type="text"]:focus {
261     border: 2px solid var(--input-focus);
262     box-shadow: 1px 1px var(--input-focus);
263 }
264
265 .formula,
266 .block_container,
267 .block_subcontainer {
268     padding: 12px;
269 }
270
271 .formula {
272     border: none;
273 }
274
275 label {
276     text-align: right;
277 }
278
279 #output {
280     font-size: 14px;
281 }
282
283 table {
284     border-collapse: collapse;
285     max-width: 900px;
286     overflow-x: auto;
287     width: 100%;
288     display: block;
289 }
```

```

290
291 td {
292     padding: 10px 20px;
293     border: 1px solid #000;
294     text-align: center;
295 }
296
297 tbody>tr:nth-of-type(2n) {
298     background-color: #c5c5c5;
299 }
300
301 .td_titile,
302 thead tr {
303     background-color: #202020;
304     color: #fff;
305     text-align: center;
306 }
307
308 .btn_container {
309     padding: 20px;
310 }
311
312 #mainBtn {
313     min-height: 44px;
314     width: 100%;
315     border-radius: 12px;
316     text-transform: uppercase;
317     font-size: 20px;
318     font-weight: 900;
319     color: #fff;
320 }
321
322 #mainBtn {
323     --green: #4e58f2;
324     font-size: 20px;
325     padding: 0.7em 2.7em;
326     letter-spacing: 0.06em;
327     position: relative;
328     font-family: inherit;
329     border-radius: 0.6em;
330     overflow: hidden;
331     transition: all 0.3s;
332     line-height: 1.4em;
333     border: 2px solid var(--green);
334     background: linear-gradient(to right, rgba(78, 89, 242, 0.1) 1%, transparent 40%, transparent 60%, rgba(78, 89,
242, 0.1) 100%);
335     color: var(--green);
336     box-shadow: inset 0 0 10px rgba(78, 89, 242, 0.7), 0 0 9px 3px rgba(78, 89, 242, 0.7);
337 }

```

```

338
339 #mainBtn:hover {
340     color: #6e76df;
341     box-shadow: inset 0 0 10px rgba(78, 89, 242, 0.7), 0 0 9px 3px rgba(78, 89, 242, 0.2);
342 }
343
344 #mainBtn:before {
345     content: "";
346     position: absolute;
347     left: -20em;
348     width: 20em;
349     height: 100%;
350     top: 0;
351     transition: transform .6s ease-in-out;
352     background: linear-gradient(to right, transparent 1%, rgba(78, 89, 242, 0.1) 40%, rgba(78, 89, 242, 0.1) 60%, tr
ansparent 100%);
353 }
354
355 #mainBtn:hover:before {
356     transform: translateX(98em);
357 }
358
359 .gosling {
360     max-width: 360px;
361     width: 50%;
362     position: absolute;
363     right: 0;
364     bottom: 0;
365     border-radius: 17px;
366 }
367
368 .hidden_serv {
369     display: none;
370 }
371
372 .modal_page {
373     position: fixed;
374     top: 0;
375     left: 0;
376     bottom: 0;
377     right: 0;
378     background-color: rgba(35, 35, 35, 0.269);
379     backdrop-filter: blur(15px);
380     display: none;
381 }

```

```
382
383 .modal_wrapper {
384     height: 100%;
385     width: 100%;
386     display: flex;
387     justify-content: center;
388     align-items: center;
389 }
390
391 .modal {
392     padding: 40px;
393     border-radius: 24px;
394     display: flex;
395     justify-content: center;
396     align-items: center;
397     flex-direction: column;
398     gap: 60px;
399     background-color: #05062d;
400     width: 100%;
401     max-width: 340px;
402     border: 5px solid #8341f9;
403 }
404
405 .modal_title {
406     text-align: center;
407 }
408
409 #convectipeType {
410     min-height: 44px;
411     width: 100%;
412     font-size: 24px;
413     font-weight: 700;
414     background-color: #592876;
415     color: #fff;
416     border: none;
417     border-radius: 8px;
418     padding: 12px;
419 }
420
421 #acessConvective {
422     width: 100%;
423 }
```

```
424
425 .convective_add_block {
426     display: flex;
427     align-items: center;
428 }
429
430 .convective_bloks {
431     flex-grow: 1;
432     display: flex;
433     flex-direction: column;
434     gap: 40px;
435 }
436
437 .convective_item {
438     border-radius: 12px;
439     border: 2px solid #9e9e9e;
440     padding: 20px 12px;
441     width: 100%;
442     display: flex;
443     align-items: center;
444     justify-content: space-between;
445     gap: 12px;
446     position: relative;
447 }
448
```

```
449 .convective_item::before {
450     content: attr(data-target);
451     position: absolute;
452     left: -32px;
453     top: 12px;
454     border: 2px solid #9e9e9e;
455     padding: 4px;
456     text-align: center;
457     box-sizing: border-box;
458     width: 32px;
459     border-radius: 8px 0 0 8px;
460 }
461
462 .convective_item form {
463     flex-grow: 1;
464 }
465
466 .delete_convective {
467     color: #e2c5fe;
468     cursor: pointer;
469     font-size: 24px;
470 }
```

```
1 @media screen and (max-width: 520px) {
2   button {
3     width: 100%;
4   }
5
6   .fuels_container,
7   .convective_container {
8     flex-direction: column;
9     align-items: center;
10    gap: 52px;
11  }
12
13  .convective_container {
14    align-items: stretch;
15  }
16
17  .card_title_abs {
18    height: 40px;
19    padding: 5px 5px 0;
20  }
21
22  .gosling {
23    max-width: 160px;
24    width: 20%;
25    position: absolute;
26    right: 0;
27    bottom: 0;
28    border-radius: 17px;
29  }
30
31  .convective_item::before {
32    left: 6px;
33    border-radius: 8px 8px 0 0;
34    top: -31px;
35  }
36
37  .delete_convective {
38    position: absolute;
39    top: -30px;
40    right: 6px;
41  }
42 }
```

```
1 @font-face {
2     font-family: 'Roboto';
3     src: url('../fonts/Roboto-Black.ttf');
4     font-weight: 900;
5 }
6 @font-face {
7     font-family: 'Roboto';
8     src: url('../fonts/Roboto-Bold.ttf');
9     font-weight: 700;
10 }
11 @font-face {
12     font-family: 'Roboto';
13     src: url('../fonts/Roboto-Light.ttf');
14     font-weight: 300;
15 }
16 @font-face {
17     font-family: 'Roboto';
18     src: url('../fonts/Roboto-Medium.ttf');
19     font-weight: 500;
20 }
21 @font-face {
22     font-family: 'Roboto';
23     src: url('../fonts/Roboto-Regular.ttf');
24     font-weight: 400;
25 }
```

Додаток 3: JavaScript частина

```
1 window.addEventListener('load', () => {
2     const mainBtn = document.querySelector('#mainBtn');
3     mainBtn.onclick = () => {
4         const boiler = new Boiler('TP-220')
5         boiler.initParams()
6         boiler.getCompleteVolumeAir();
7         boiler.getIntalpOfProducts();
8         boiler.getThermalBalanceOfTheBoilerUnit();
9         boiler.getSizingOfTheFurnance();
10        boiler.getCalcuationOfTheFurnaceGasTemperature();
11        console.log('=====');
12        console.log(boiler);
13        console.log('=====');
14        $('.block_container .block_subcontainer').slideUp(0)
15        boiler.output.onclick = (e) => {
16            const target = e.target;
17            if (target.matches('.block_title')) {
18                $(target).siblings('.block_subcontainer').slideToggle(300)
19            }
20        }
21    }
22    $('[type="text"]').on('input', (e) => {
23        let input = e.target;
24        input.value = input.value.replace(/^[^0-9.]/g, '')
25    })
26    $('.type_of_fuel input').on('change', function () {
27        let fuelType = $(this).val();
28        $('[data-change]').hide();
29        if (fuelType == 'mix') {
30            $('[data-change]').fadeIn(500);
31        } else {
32            $('[data-change=${fuelType}]').fadeIn(500);
33        }
34    })
35    $('#convectiveAdd').on('click', function () {
36        $('.modal_page').fadeIn(300)
37    })
38    $('#accessConvective').on('click', function () {
39        let conectiveForm = $('.hidden_serv').find(`[data-target=${$('#convectipeType').val()}]`).clone();
40        conectiveForm.find('form').removeAttr('data-copy')
```

```

41 conectiveForm.appendTo('.convective_bloks');
42     $('modal_page').fadeOut(300)
43   });
44   $('modal_page').on('click', function (e) {
45     let target = e.target.closest('modal');
46     if (target) return;
47     $('modal_page').fadeOut(300)
48   });
49   $('convective_bloks').on('click', '.delete_convective', function (e) {
50     let target = $(e.target)
51     target.parent('convective_item').remove()
52   })
53 })
54 function formulaPaste(name, text, to) {
55   let formula = $('<div class="formula">'),
56     formattedString = formatString(text);
57   if (name.length > 0) {
58     formula.append(
59       $('<h3>').text(name)
60     );
61   }
62   formula.append(
63     $('<p>').html(formattedString)
64   )
65   to.append(formula)
66 }
67 function formatString(str) {
68   return str.replace(/(\d+\.\d{3,})/g, (match) => {
69     const roundedNumber = parseFloat(match).toFixed(3);
70     return roundedNumber;
71   }).replace(/s*\s*/g, " x ")
72     .replace(/s*\s*/g, " - ")
73     .replace(/s*\s*/g, " + ")
74     .replace(/s*\s*/g, " \ ")
75     .replace(/s*\s*/g, " = ");
76 }
77 function createContainer(text) {
78   let container = $('<div class="block_container">').append(
79     $('<h1 class="block_title">').text(text)
80   );

```

```

81 return container;
82 }
83 function createSubContainer(text) {
84     let container = $('<div class="block_subcontainer">').append(
85         text ? $('<h2 class="block_title">').text(text) : ''
86     );
87     return container;
88 }
89 function countInterpolation(x1, x2, y1, y2, x) {
90     return y1 + (x - x1) * ((y2 - y1) / (x2 - x1))
91 }
92 class Boiler {
93     constructor(name) {
94         this.name = name;
95         this.paroProd = 420_000
96         this.output = document.querySelector('#output');
97         this.coal = {
98             cp: 1,
99             hp: 1,
100            op: 1,
101            np: 1,
102            sp: 1,
103            ap: 1,
104            wp: 1,
105            Q: 1,
106        };
107        this.gas = {
108            ch4: 1,
109            c2h6: 1,
110            c3h8: 1,
111            c4h10: 1,
112            c5h12: 1,
113            c6h14: 1,
114            n2: 1,
115            co2: 1,
116            o2: 21,
117            Q: 1,
118        };
119        this.build = [
120

```

```

121 this.fuelType = 'coal';
122     this.fuel_quantity = {
123         coal: 1,
124         gas: 1
125     };
126     this.vol_obj = null;
127     this.volShare_gases = {
128         rH2O: 1,
129         rRO2: 1,
130     }
131     this.Ip = [];
132     this.Ig = [];
133     this.tableIntalp = [];
134     this.Qnr = 1;
135     this.X = 1;
136     this.warmBalance = {
137         q1: 1, // КПД
138         q2: 1, // втрати з дим газами
139         q3: 1, // втрати від хім неповноти (газ)
140         q4: 1, // втрати від механіч недопалу (вуг)
141         q5: 1, // втрати у навколишнє середовище
142         q6: 1, // втрати з фіз теплою шлаку (вуг)
143     };
144     this.kkd = 100;
145     this.alphaUhod = 1;
146     this.tempUhodGas = 160;
147     this.tempOutAir = 30;
148     this.Iuh = 1;
149     this.Ihv = 1;
150     this.alphaUn = 0.85;
151     this.alphaShl = 0;
152     this.fi = 1;
153     this.B = 1;
154 }
155 static tableCo = {
156     co2: [
157         40.6,
158         85.4,
159         133.5,
160         184.4,

```

161 238,
162 292,
163 349,
164 407,
165 466,
166 526,
167 587,
168 649,
169 711,
170 774,
171 837,
172 900,
173 964,
174 1028,
175 1092,
176 1157,
177 1222,
178 1287,
179 1352
180],
181 n2: [
182 31,
183 62.1,
184 93.6,
185 125.8,
186 158.6,
187 192,
188 226,
189 261,
190 297,
191 333,
192 369,
193 405,
194 442,
195 480,
196 517,
197 555,
198 593,
199 631,
200 670,
201

```
201         708,  
202         747,  
203         786,  
204         825  
205     ],  
206     h2o: [  
207         36,  
208         72.7,  
209         110.5,  
210         149.6,  
211         189.8,  
212         231,  
213         274,  
214         319,  
215         364,  
216         412,  
217         460,  
218         509,  
219         560,  
220         611,  
221         664,  
222         717,  
223         771,  
224         826,  
225         881,  
226         938,  
227         994,  
228         1051,  
229         1107.33  
230     ],  
231     air: [  
232         31.6,  
233         63.6,  
234         96.2,  
235         129.4,  
236         163.40,  
237         198.2,  
238         234,  
239         270,  
240         306,  
241
```

```

241     343,
242     381,
243     419,
244     457,
245     496,
246     535,
247     574,
248     613,
249     652,
250     692,
251     732,
252     772,
253     812,
254     852
255 ],
256 z1: [
257     288,
258     325,
259     378,
260     420,
261     448,
262     493,
263     522,
264     570,
265     600
266 ]
267 };
268 static realVolumeH2OSteam(Vo_H2O, Vo, answer) {
269     let alpha = 1.05
270     let V_H2O = Vo_H2O + 0.0161 * (alpha - 1) * Vo
271     formulaPaste(
272         `Дійсний об'єм водяних парів`,
273         `V<sub>H2O</sub> = V<sup>o</sup><sub>H2O</sub> + 0.0161(α<sub>i sp.</sub> - 1)V<sup>o</sup>= ${Vo_H2O} + 0.0
161 * (${alpha} - 1) * ${Vo} = ${V_H2O} м3/кг`,
274         answer
275     )
276     return V_H2O
277 }
278 static realSumVolumeProd(Vo_R02, Vo_N2, Vo_H2O, Vo, answer) {
279     let alpha = 1.05;
280     let Vg = Vo_R02 + Vo_N2 + Vo_H2O + (alpha - 1) * Vo;

```

```

281     formulaPaste(
282         `Дійсний сумарний об'єм продуктів згоряння`,
283         `V<sup>0</sup><sub>R02</sub>+V<sup>0</sup><sub>N<sub>2</sub></sub>+ V<sup>0</sup><sub>H2O</sub>+(α<sub>i</sub>
ср.</sub> - 1)V<sup>0</sup> = ${Vo_R02} + ${Vo_N2} + ${Vo_H2O} + (${alpha} - 1) * ${Vo} = ${Vg} м3/кг`,
284         answer
285     )
286     return Vg
287 }
288 static columnEnthusiasmMaker(alpha, Ip, Ig) {
289     let column = [];
290     for (let i = 0; i < Ip.length; i++) {
291         let x = Ig[i] + Ip[i] * (alpha - 1);
292         column.push(x);
293     }
294     return column
295 }
296 static findIntalpByTemp(id, temp, table) {
297     const min_t = Math.floor(temp / 100),
298           max_t = (Math.floor(temp / 100) + 1),
299           min_I = table[id - 1][min_t - 1],
300           max_I = table[id - 1][max_t - 1];
301     return countInterpolation(min_t * 100, max_t * 100, min_I, max_I, temp);
302 }
303 static findTempByIntalp(id, intalp, table) {
304     const row = table[id - 1];
305     let intalpMax = 0,
306         maxTempIndex = -1;
307     for (let i = 0; i < row.length; i++) {
308         if (row[i] > intalp) {
309             intalpMax = row[i];
310             maxTempIndex = i;
311             break;
312         }
313     }
314     if (maxTempIndex < 0) {
315         maxTempIndex = row.length - 1;
316         intalpMax = row[maxTempIndex];
317     }
318     const max_t = (Math.floor(maxTempIndex + 1)) * 100,
319           min_t = maxTempIndex == 0 ? 0 : max_t - 100,
320           max_I = intalpMax,

```

```

321 min_I = maxTempIndex == 0 ? 0 : row[maxTempIndex - 1];
322     return countInterpolation(min_I, max_I, min_t, max_t, intalp);
323 }
324 initParams() {
325     $(this.output).empty();
326     for (const form of document.forms) {
327         this.tempUhodGas = +($('#[name="tempUhodGas"]').val());
328         this.paroProd = +($('#[name="paroProd"]').val());
329         if (!form.dataset.convective && form.id != 'test') {
330             for (const input of form.elements) {
331                 this[form.id][input.name] = +input.value
332             }
333         } else if (!form.dataset.copy) {
334             let name = form.dataset.name,
335                 alphaDelta = +form.dataset.delta,
336                 obj = {},
337                 id = this.build.length + 1;
338             for (const input of form.elements) {
339                 obj[input.name] = +input.value
340             }
341             this.build = [
342                 ...this.build,
343                 { name, id, alphaDelta, alpha: 0, ...obj, construct_calc: {} }
344             ]
345         }
346     }
347     console.log(this.build);
348     this.fuelType = document.querySelector('.type_of_fuel input:checked').value;
349 }
350 getCompleteVolumeAirCoal(container) {
351     let Vo,
352         Vo_N2,
353         Vo_H2O,
354         Vo_R02,
355         V_H2O,
356         Vg,
357     answer = createSubContainer(`Теоретичний об'єм сухого повітря, необхідний для повного згорання палива (в
угілля)`),
358     { cp, hp, op, np, sp, ap, wp } = this.coal;
359     Vo = 0.0899 * (cp + 0.375 * sp) + 0.265 * hp - 0.0333 * op;
360     formulaPaste(

```

```

361     'Теоретична кількість повітря необхідного для спалювання 1 кг палива',
362     `V<sup>o</sup> = 0.0899 * (Cp+0.375Sp)+0.265Hp-0.0333Op = 0.0899*({cp}+0.375*{sp})+0.265*{hp}-0.0333*{o
p}= {Vo} м3/кг`,
363     answer
364 );
365     Vo_N2 = 0.79 * Vo + 0.8 * np / 100
366     formulaPaste(
367     `Теоретичний об'єм азоту у продуктах згорання`,
368     `V<sup>o</sup><sub>N2</sub> = 0.79V<sup>o</sup>+0.8N<sub>2</sub>/100=0.79* {Vo} +0.8* {np}/100= {Vo_N2} м
3/кг`,
369     answer
370 )
371     Vo_H2O = 0.111 * hp + 0.0124 * wp + 0.0161 * Vo
372     formulaPaste(
373     `Теоретичний об'єм водяної пари`,
374     `V<sup>o</sup><sub>H2O</sub> = 0.111Hp+0.0124Wp+ 0.0161V<sup>o</sup> = 0.111*{hp}+0.0124*{wp}+0.0161*{Vo}
= {Vo_H2O} м3/кг`,
375     answer
376 )
377     Vo_R02 = 1.866 * (cp + 0.375 * sp) / 100
378     formulaPaste(
379     `Теоретичний об'єм триатомних газів`,
380     `V<sup>o</sup><sub>R02</sub> = 1.866(Cp+0.375Sp)/100=1.866*({cp} + 0.375 * {sp})/100= {Vo_R02} м3/ кг`,
381     answer
382 )
383     V_H2O = Boiler.realVolumeH2OSteam(Vo_H2O, Vo, answer);
384     Vg = Boiler.realSumVolumeProd(Vo_R02, Vo_N2, Vo_H2O, Vo, answer);
385     container.append(answer)
386     return { Vo, Vo_N2, Vo_H2O, Vo_R02, V_H2O, Vg }
387 }
388 getCompleteVolumeAirGas(container) {
389     let Vo,
390     Vo_N2,
391     Vo_H2O,
392     Vo_R02,
393     V_H2O,
394     Vg,
395     answer = createSubContainer(`Теоретичний об'єм сухого повітря, необхідний для повного згорання палива (газ)
`),
396     { ch4, c2h6, c3h8, c4h10, c5h12, c6h14, n2, co2, o2 } = this.gas;
397     Vo = 0.0476 * (
398     (1 + 1) * ch4 +
399     (2 + 6 / 4) * c2h6 +
400     (3 + 8 / 4) * c3h8 +

```

```

401     (4 + 10 / 4) * c4h10 +
402     (5 + 12 / 4) * c5h12 +
403     (6 + 14 / 4) * c6h14 -
404     o2
405 );
406 formulaPaste(
407     'Теоретична кількість повітря необхідного для спалювання 1 кг палива',
408     `V<sup>o</sup> = 0.0476 * [0.5C<sub>0</sub> + 0.5H<sub>2</sub> + 1.5H<sub>2</sub>S + Σ(m+n/4)CmHn - O<sub>2</sub>] = 0.0476 *
(0+ 0+ 0${(1 + 1) * ch4} + ${ (2 + 6 / 4) * c2h6} + ${ (3 + 8 / 4) * c3h8} + ${ (4 + 10 / 4) * c4h10} + ${ (5 + 12 / 4) * c5h
12} + ${ (6 + 14 / 4) * c6h14} - ${o2}) = ${Vo} м3/кг`,
409     answer
410 );
411 Vo_N2 = 0.79 * Vo + n2 / 100
412 formulaPaste(
413     'Теоретичний об'єм азоту у продуктах згорання`,
414     `V<sup>o</sup><sub>N2</sub> = 0.79V<sup>o</sup> + 0.8N<sub>2</sub>/100 = 0.79* ${Vo} + ${n2}/100 = ${Vo_N2} м3/кг`,
415     answer
416 )
417 Vo_H2O = 0.01 * (
418     (2) * ch4 +
419     (6 / 2) * c2h6 +
420     (8 / 2) * c3h8 +
421     (10 / 2) * c4h10 +
422     (12 / 2) * c5h12 +
423     (14 / 2) * c6h14 +
424     0.124 * 10 +
425     0.0168 * Vo
426 )
427 formulaPaste(
428     'Теоретичний об'єм водяної пари`,
429     `V<sup>o</sup><sub>H2O</sub> = 0.01[H<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>S + Σ((n / 2)CmHn) + 0.124d<sub>г.нал</sub> + 0.01
68V<sup>o</sup>] = 0.01[0 + 0 + ${ (2) * ch4} + ${ (6 / 2) * c2h6} + ${ (8 / 2) * c3h8} + ${ (10 / 2) * c4h10} + ${ (12 / 2)
* c5h12} + ${ (14 / 2) * c6h14} + 0.124*10 + 0.0168*${Vo}] = ${Vo_H2O} м3/кг`,
430     answer
431 )
432 Vo_R02 = 0.01 * (
433     co2 +
434     1 * ch4 +
435     2 * c2h6 +
436     3 * c3h8 +
437     4 * c4h10 +
438     5 * c5h12 +
439     6 * c6h14
440 )

```

```

441     formulaPaste(
442         `Теоретичний об'єм триатомних газів`,
443         `V<sup>o</sup><sub>R02</sub> = 0.01[CO<sub>2</sub> + CO + H<sub>2</sub>S + Σ(mCmHn)] = 0.01[{$co2} +0+0+
444     ${1 * ch4} + ${2 * c2h6} + ${3 * c3h8} + ${4 * c4h10} + ${5 * c5h12} + ${6 * c6h14}] = {$Vo_R02} м3/ кг`,
445     answer
446 )
447 V_H20 = Boiler.realVolumeH20Steam(Vo_H20, Vo, answer);
448 Vg = Boiler.realSumVolumeProd(Vo_R02, Vo_N2, Vo_H20, Vo, answer);
449 container.append(answer)
450 return { Vo, Vo_N2, Vo_H20, Vo_R02, V_H20, Vg }
451 }
452 getCompleteVolumeAirMix(container) {
453     let vol_gas = this.getCompleteVolumeAirGas(container),
454         vol_coal = this.getCompleteVolumeAirCoal(container),
455         X,
456         Vo,
457         Vo_N2,
458         Vo_H20,
459         Vo_R02,
460         V_H20,
461         Vg,
462         answer = createSubContainer(`Теоретичний об'єм сухого повітря, необхідний для повного згорання для суміш
і твердого палива з газоподібним`);
463     X = (this.fuel_quantity.gas * 10) / this.fuel_quantity.coal;
464     formulaPaste(
465         `Кількість газу на 1 кг твердого палива`,
466         `X={$this.fuel_quantity.gas * 10000}/{$this.fuel_quantity.coal * 1000}=${X}`,
467         answer
468     )
469     Vo = vol_coal.Vo + X * vol_gas.Vo;
470     formulaPaste(
471         ``,
472         `V<sup>o</sup>=V<sup>o</sup>+xV<sup>o</sup>`= {$vol_coal.Vo} + {$X * vol_gas.Vo} = {$Vo} м3/кг`,
473         answer
474     )
475     Vo_N2 = vol_coal.Vo_N2 + X * vol_gas.Vo_N2;
476     formulaPaste(
477         ``,
478         `V<sup>o</sup><sub>N2</sub>=V<sup>o</sup><sub>N2</sub>+xV<sup>o</sup><sub>N2</sub>`= {$vol_coal.Vo_N2}
+ {$X * vol_gas.Vo_N2} = {$Vo_N2} м3/кг`,
479         answer
480     )
481     Vo_H20 = vol_coal.Vo_H20 + X * vol_gas.Vo_H20;

```

```

481     formulaPaste(
482         `` ,
483         `V<sup>o</sup><sub>H2O</sub>=V<sup>o</sup><sub>H2O</sub>'+xV<sup>o</sup><sub>H2O</sub>`= ${vol_coal.Vo_
H2O} + ${X * vol_gas.Vo_H2O} = ${Vo_H2O} м3/кг` ,
484         answer
485     )
486     Vo_R02 = vol_coal.Vo_R02 + X * vol_gas.Vo_R02;
487     formulaPaste(
488         `` ,
489         `V<sup>o</sup><sub>R02</sub>=V<sup>o</sup><sub>R02</sub>'+xV<sup>o</sup><sub>R02</sub>`= ${vol_coal.Vo_R
02} + ${X * vol_gas.Vo_R02} = ${Vo_R02} м3/кг` ,
490         answer
491     )
492     V_H2O = vol_coal.V_H2O + X * vol_gas.V_H2O;
493     formulaPaste(
494         `` ,
495         `V<sub>H2O</sub>=V<sub>H2O</sub>'+xV<sub>H2O</sub>`= ${vol_coal.V_H2O} + ${X * vol_gas.V_H2O} = ${V_H2
0} м3/кг` ,
496         answer
497     )
498     Vg = vol_coal.Vg + X * vol_gas.Vg;
499     formulaPaste(
500         `` ,
501         `V<sub>r</sub>=V<sub>r</sub>'+xV<sub>r</sub>`= ${vol_coal.Vg} + ${X * vol_gas.Vg} = ${Vg} м3/кг` ,
502         answer
503     )
504     this.X = X
505     container.append(answer);
506     return { Vo, Vo_N2, Vo_H2O, Vo_R02, V_H2O, Vg }
507 }
508 getRealVolumeCombustionProducts(container) {
509     let answer = createSubContainer(`Дійсний об'єм продуктів згорання`),
510         alpha = 1.05,
511         alphaArr = [],
512         Vsum = [],
513         rH2O,
514         rR02,
515         { Vo, Vo_N2, Vo_H2O, Vo_R02, V_H2O, Vg } = this.vol_obj;
516     rH2O = V_H2O / Vg;
517     rR02 = Vo_R02 / Vg;
518     this.volShare_gases = {
519         rH2O,
520         rR02
521     }

```

```

521     }
522     for (const item of this.build) {
523         alpha = (alpha * 1000 + item.alphaDelta * 1000) / 1000;
524         item.alpha = alpha;
525         alphaArr.push(alpha);
526     }
527     this.alphaUhod = alphaArr[alphaArr.length - 1];
528     for (const a of alphaArr) {
529         let V = Vo_R02 + Vo_N2 + Vo_H20 + (a - 1) * Vo;
530         Vsum.push({ a, V });
531     }
532     formulaPaste(
533         ``
534         `ΣV =V<sup>0</sup><sub>R02</sub>+VoN2+VoH20+(αi.ср.-1)Vo, нм3/кг`,
535         answer
536     )
537     let table = $('<table>'),
538         thead = $('<thead>').append(
539             $('<tr>').append(
540                 $('<td>').text('Середній коефіцієнт надлишкового повітря')
541                 .attr('colspan', Vsum.length + 1)
542             )
543         ),
544         tr1 = $('<tr>'),
545         tr2 = $('<tr>');
546     tr1.append($('<td>').addClass('td_titile').text('α'));
547     tr2.append($('<td>').addClass('td_titile').text('ΣV, нм3/кг'));
548     for (const i of Vsum) {
549         tr1.append($('<td>').text(i.a));
550         tr2.append($('<td>').text(i.V.toFixed(3)));
551     }
552     table.append(thead)
553         .append(tr1)
554         .append(tr2);
555     answer.append(table);
556     container.append(answer);
557 }
558 getAllWarmBalances(container) {
559     let answer = createSubContainer(``),
560         Qnr, q1, q2, q3, q4, q5, q6, Iuh, Ihv, alphaShl, fi, B;
561

```

```

561     if (this.fuelType == 'mix') {
562         Qnr = this.coal.Q + this.X * this.gas.Q;
563         formulaPaste(
564             `Тепло, що вноситься в топку котлоагрегату`,
565             `Qнр= Q(вуг) + X * Q(газ) = ${this.coal.Q}+${this.X} * ${this.gas.Q}=${Qnr} ккал/кг`,
566             answer
567         )
568     } else if (this.fuelType === 'coal') {
569         Qnr = this.coal.Q
570         formulaPaste(
571             `Тепло, що вноситься в топку котлоагрегату`,
572             `Qнр= Q(вуг) = ${this.coal.Q}=${Qnr} ккал/кг`,
573             answer
574         )
575     } else {
576         Qnr = this.gas.Q;
577         formulaPaste(
578             `Тепло, що вноситься в топку котлоагрегату`,
579             `Qнр= Q(газ) =${this.gas.Q}=${Qnr} ккал/кг`,
580             answer
581         )
582     }
583     formulaPaste(
584         ``,
585         `100 = q1 + q2 + q3 + q4 + q5 + q6, %`,
586         answer
587     )
588     switch (this.fuelType) {
589         case 'gas':
590             q4 = 0;
591             break;
592         default:
593             q4 = 4;
594             break;
595     }
596     q3 = 0.5;
597     if (this.paroProd < 250_000) {
598         let Dnom = this.paroProd / 3600; // Номинальна паропрод
599         q5 = ((60 / Dnom) ** 0.5) / Math.log10(Dnom);
600     } else {
601

```

```

601         q5 = 0.41
602     }
603     formulaPaste(
604         ``,
605         `q3 = ${q3}%`
606         <br><br>
607         q4 = ${q4}%`
608         <br><br>
609         q5 = ${q5}%`,
610         answer
611     )
612     let min1 = Math.floor(this.tempUhodGas / 100) * 100,
613         max1 = (Math.floor(this.tempUhodGas / 100) + 1) * 100,
614         min2 = this.tableIntalp[this.tableIntalp.length - 1][min1 / 100 - 1],
615         max2 = this.tableIntalp[this.tableIntalp.length - 1][max1 / 100 - 1];
616     Iuh = countInterpolation(min1, max1, min2, max2, this.tempUhodGas);
617     Ihv = 0.24 * 0.32 * 350 * this.vol_obj.Vo
618     q2 = (Iuh - this.alphaUhod * Ihv) * (100 - q4) / Qnr;
619     formulaPaste(
620         ``,
621         `I<sup>o</sup><sub>дн</sub> = 0.24*c<sub>дн</sub> * t * V<sup>o</sup> = 0.24 * 0.32 * 350 * ${this.vol_o
        bj.Vo} = ${Ihv} ккал/м3
622         <br><br>
623         q2 = (I<sub>yx</sub>-α<sub>yx</sub>* I<sup>o</sup><sub>дн</sub>)*(100- q4)/ Qpp = (${Iuh} - ${this.alpha
        Uhod} * ${Ihv})* (100 - ${q4})/${Qnr} = ${q2}%`,
624         answer
625     )
626     if (this.fuelType == 'gas') {
627         q6 = 0;
628         formulaPaste(
629             ``,
630             `q6 = ${q6}%`,
631             answer
632         )
633     } else {
634         alphaShl = 1 - this.alphaUn;
635         q6 = (alphaShl * Boiler.tableCo.zl[2] * this.coal.ap) / Qnr
636         formulaPaste(
637             ``,
638             `αшл = 1-αун= 1 - ${this.alphaUn} = ${alphaShl}`
639             <br><br>
640             q6 = Qшл/Qpp=αшл*(сθ)зл*Ap/Qpp = ${alphaShl} * ${Boiler.tableCo.zl[2]} * ${this.coal.ap}/${Qnr} =
        ${q6}%`,
641

```

```

641         answer
642     )
643 }
644 q1 = 100 - q2 - q3 - q4 - q5 - q6;
645 formulaPaste(
646     `Коефіцієнт корисної дії котлоагрегату (Брутто)`,
647     `ηка = q1 = 100 - ${q2} - ${q3} - ${q4} - ${q5} - ${q6} = ${q1}%`,
648     answer
649 )
650 fi = 1 - q5 / (q1 + q5);
651 formulaPaste(
652     `Коефіцієнт збереження теплоти`,
653     `φ = 1 - q5/(ηка+q5)= 1 - ${q5}/(${q1} + ${q5}) = ${fi}%`,
654     answer
655 )
656 B = (this.paroProd * 616 + this.paroProd * 0.05 * 94.5) * 100 / (Qnr * q1)
657 formulaPaste(
658     `Витрата палива, що подається в топку котлоагрегату`,
659     `B = (DрозДi+DпрДiпр)*100/(Qnr*η)= (${this.paroProd} * 616 + ${this.paroProd * 0.05} * 94.5)*100/(${Qnr}
* ${q1}) = ${B} кг/год`,
660     answer
661 )
662 this.Qnr = Qnr;
663 this.warmBalance = { q1, q2, q3, q4, q5, q6 };
664 this.kkd = q1;
665 this.Iuh = Iuh;
666 this.Ihv = Ihv;
667 this.alphaShl = alphaShl;
668 this.fi = fi;
669 this.B = B;
670 container.append(answer)
671 }
672 getApproximateCalculationOfTheFurnaceGasTemperature(iteration, Furnance, temp, container) {
673     const answer = createSubContainer(`Наближення ${iteration}`),
674         { gas, fuelType, alphaUn, X, fi, B, Ihv } = this,
675         { Vo } = this.vol_obj,
676         { q3, q4, q6 } = this.warmBalance,
677         { rH2O, rR02 } = this.volShare_gases,
678         { effectiveRadiationThickness, midKoeffTermEfficiency } = Furnance.construct_calc,
679         { h_hight, H_hight, alpha, F } = Furnance,
680         { ap } = this.coal;
681

```

```

681     let Q_kor,
682         Qp,
683         T_g,
684         I_0dp,
685         kg,
686         T_k,
687         rp = 0.283,
688         k_zl = 0,
689         m_zl = 0,
690         Gr,
691         k_koks = 1,
692         x_1 = 1,
693         x_2 = 0.1,
694         k_c = 0,
695         Cp_Hp,
696         q_shtrc = fuelType == 'mix' ? 0.752 * X : 0.752,
697         k_sv,
698         a_f,
699         k_furn = 0.332,
700         a_t,
701         x_t,
702         M_param,
703         I_2shtrich,
704         v_a,
705         V_mid,
706         v_shtrich_true
707     T_k = temp + 273.15
708     formulaPaste(
709         'Задаємося попередньо температурою димових газів на виході із топки (теоретично можлива)',
710         `v''T= ${temp} °C`,
711         answer
712     )
713     Qp = Furnance.alpha * Ihv;
714     Q_kor = this.Qnr * (100 - q3 - q4 - q6) / (100 - q4) + Qp
715     formulaPaste(
716         'Корисне тепловиділення в топці',
717         `Qкор= Qпр*(100-q3-q4-q6)/(100-q4)+Qп= ${this.Qnr} *(100-${q3} -${q4} -${q6})/(100 - ${q4}) + ${Qp} =
718     ${Q_kor} ккал/м3
719     <br><br>
720     Qп= αт.ср.*I°дп = ${Furnance.alpha} * ${Ihv} = ${Qp} ккал/кг`,
721     answer

```

```

721     )
722     T_g = Boiler.findTempByIntalp(Furnance.id, Q_kor, this.tableIntalp);
723     formulaPaste(
724         'Температура горіння в топці',
725         `Tr = ${T_g}`,
726         answer
727     )
728     kg = ((0.78 + 1.61 * rH2O) / (Math.sqrt(rp * effectiveRadiationThickness)) - 0.1) * (1 - 0.37 * T_k / 1000)
729     formulaPaste(
730         'Коефіцієнт ослаблення променів несвітними триатомними газами',
731         `kg= ((0.78+1.161*rH2O)/√(rp*S) - 0.1)*(1-0.37*T'/1000)= ((0.78+1.161*${rH20})/√(${rp}*${effectiveRad
732         iationThickness}) - 0.1)*(1-0.37*${T_k}/1000) = ${kg} `,
733         answer
734     )
735     if (fuelType != 'gas') {
736         Gr = 1 - ap / 100 + 1.306 * Furnance.alpha * Vo;
737         m_zl = ap * alphaUn / (100 * Gr);
738         k_zl = (4300 * 1.3 * m_zl) / (((T_k ** 2) * (0.013 ** 2)) ** (1 / 3))
739         formulaPaste(
740             'Коефіцієнт ослаблення проміння зольними частинками',
741             `кзл = (4300*рг*мзл) / <sup>3</sup>√(T'<sup>2</sup>*d<sup>2</sup>зл) = (4300*1.3*${m_zl}) / <sup>3</sup>
742             </sup>√(${T_k}<sup>2</sup>*0.013<sup>2</sup>) = ${k_zl}
743             <br><br>
744             мзл = Ар*аун/(100*Gr) = ${ap} * ${alphaUn} / (100 * ${Gr}) = ${m_zl}
745             <br><br>
746             Gr = 1-Ар/100+1.306αт*Vос = 1 - ${ap} / 100 + 1.306 * ${Furnance.alpha} * ${Vo} = ${Gr}`,
747             answer
748         )
749     } else {
750         formulaPaste(
751             'Коефіцієнт ослаблення проміння зольними частинками',
752             `кзл = 0 <br>
753             мзл = 0`,
754             answer
755         )
756     }
757     formulaPaste(
758         '',
759         `ккккс=${k_koks} <br>
760         χ1=${x_1} <br>
761         χ2=${x_2}`,
762         answer
763     )

```

```

761     )
762     if (fuelType !== 'coal') {
763         let accumulator = 0;
764         for (const key in gas) {
765             if (key.startsWith('c') && key.includes('h')) {
766                 let m = +key.replace(/h\d{1,}/, '').replace('c', '') || 1,
767                     n = +key.replace(/c(\d{1,})?/, '').replace('h', '') || 1;
768                 accumulator += (m / n) * gas[key];
769             }
770         }
771         Cp_Hp = accumulator * 0.12;
772         k_c = 0.03 * (2 - Furnance.alpha) * (1.6 * T_k / 1000 - 0.5) * Cp_Hp
773         formulaPaste(
774             '',
775             `k_c = 0.03*(2-α)*(1,6*T''τ/1000-0,5)*Cp/Hp = 0.03*(2 - ${Furnance.alpha}) * (1.6 * ${T_k}/1000 - 0.
5) * ${Cp_Hp} = ${k_c}
776             <br><br>
777             Cp/Hp = 0,12*Σ(m/n)CmHn= ${Cp_Hp}`,
778             answer
779         )
780     } else {
781         formulaPaste(
782             '',
783             `k_c = ${k_c}`,
784             answer
785         )
786     }
787     if (fuelType === 'gas') {
788         k_sv = kg * rp
789             + k_zl * m_zl
790             + k_koks * x_1 * x_2
791             + k_c;
792         formulaPaste(
793             'Коефіцієнт ослаблення променів світним промінням',
794             `kсв = kг*rp+kзл*мзл+k<sub>кокс</sub>*x1*x2+kс = ${kg} * ${rp} + ${k_zl} * ${m_zl} + ${k_koks} * ${x
_1} * ${x_2} + ${k_c} = ${k_sv}`,
795             answer
796         )
797     } else {
798         k_sv = kg * rp
799             + q_shtrc * k_zl * m_zl
800             + q_shtrc * k_koks * x_1 * x_2
801     }

```

```

801         + (1 - q_shtrc) * k_c;
802     formulaPaste(
803         'Коефіцієнт ослаблення променів світним промінням',
804         `q' = ${q_shtrc} ккал/м3год
805         <br><br>
806          $k_{sv} = k_{г*п+q} * k_{зл} + q * k_{кк} + \chi_1 * \chi_2 + (1 - q) * k_c = \{kg\} * \{rp\} + \{q\_shtrc\} * \{k\_z1\} * \{m\_z1\} + \{q\_shtrc\} * \{k\_koks\} * \{x\_1\} * \{x\_2\} + (1 - \{q\_shtrc\}) * \{k\_c\} = \{k\_sv\}$ `,
807         answer
808     )
809 }
810 a_f = 1 - (Math.E ** (-kg * 1 * effectiveRadiationThickness * 0.283))
811 formulaPaste(
812     'Ступінь чорноти факела',
813     `аф = 1 - e-kps = 1 - e-${kg} * 1 * {effectiveRadiationThickness} = {a_f}` ,
814     answer
815 )
816 a_t = a_f / (a_f + (1 - a_f) * midKoeffTermEfficiency)
817 formulaPaste(
818     'Ступінь чорноти топки',
819     `ат = аф / (аф + (1 - аф) * ψср) = {a_f} / ({a_f} + (1 - {a_f}) * {midKoeffTermEfficiency}) = {a_t}` ,
820     answer
821 )
822 x_t = h_hight / H_hight
823 M_param = 0.56 - 0.5 * x_t
824 formulaPaste(
825     'Визначення параметру М, який характеризує положення максимуму температури полум'я по висоті топки',
826     `M = 0.56 - 0.5 * хт = 0.56 - 0.5 * ${x_t} = {M_param}
827     <br><br>
828      $x_t = h_t / H_t = \{h\_hight\} / \{H\_hight\} = \{x\_t\}$ `,
829     answer
830 )
831 I_2shtrich = Boiler.findIntalpByTemp(Furnance.id, temp, this.tableIntalp);
832 V_mid = (Q_kor - I_2shtrich) / (T_g - temp)
833 formulaPaste(
834     'Середня сумарна теплоємність продуктів згорання палива',
835     `Vсер = (Qкор - I''т) / (vа - v''т) = ({Q_kor} - {I_2shtrich}) / ({T_g} - {temp}) = {V_mid} ккал/кг°С
836     <br><br>
837     vа- адіабатична температура газів на виході із топки, визначається з таблиць ентальпій за Qкор
838     <br>
839     I''т – ентальпія димових газів при попередньо прийнятій температурі v''т`,
840     answer
841 
```

```

841     )
842     v_shtrich_true = (T_g + 273.15) /
843     (
844         M_param *
845         ((
846             (4.9 * midKoeffTermEfficiency * alpha * F * ((T_g + 273.15) ** 3))
847             /
848             ((10 ** 8) * fi * B * V_mid)
849         ) ** 0.6)
850         + 1
851     )
852     ;
853     formulaPaste(
854         'Дійсна температура димових газів на виході з топки',
855         `v''тд = Та / (М * ((4,9*ψср*ат*Fст*Т<sup>3</sup><sub>a</sub>)/( 10<sup>8</sup>*φ*Вр*V<sub>ср</sub>))<sup>0.6</sup>+1)-273 =
856         <br> =
857         ${T_g + 273.15} / (${M_param} * ((4,9*${midKoeffTermEfficiency})*${a_t})*${F})*${T_g + 273.15}<sup>3</sup>/s
858         up>0.6</sup>+1)-273 = ${v_shtrich_true} °C`,
859         answer
860     )
861     container.append(answer);
862     return v_shtrich_true;
863 }
864 getCompleteVolumeAir() {
865     let container = createContainer('Розрахунок об'ємів повітря і продуктів згорання');
866     if (this.fuelType == 'coal') {
867         this.vol_obj = this.getCompleteVolumeAirCoal(container)
868     } else if (this.fuelType == 'gas') {
869         this.vol_obj = this.getCompleteVolumeAirGas(container)
870     } else {
871         this.vol_obj = this.getCompleteVolumeAirMix(container)
872     }
873     this.getRealVolumeCombustionProducts(container);
874     this.output.append(container[0]);
875 }
876 getIntalpOfProducts() {
877     let container = createContainer('Ентальпія продуктів згорання'),
878         answer = createSubContainer(`Формули підрахунку`),
879         tableCo = Boiler.tableCo,
880         { Vo, Vo_N2, Vo_H2O, Vo_R02 } = this.vol_obj,
881         Ip = [],

```

```

881     Ig = [],
882     tableI = [];
883 formulaPaste(
884     ``
885     `Iop = Vo*спов , ккал/м3
886     <br><br>
887     Ior = VoR02*cCO2 + VoN2*cN2 + VoH2O*cH2O, ккал/м3
888     <br><br>
889     I = Ior + (αi - 1)*Iop , ккал/м3`,
890     answer
891 )
892 for (let i = 0; i < 21; i++) {
893     let x = Vo * tableCo.air[i],
894         y = Vo_R02 * tableCo.co2[i] + Vo_N2 * tableCo.n2[i] + Vo_H2O * tableCo.h2o[i];
895     Ip.push(x);
896     Ig.push(y);
897 }
898 let table = $('<table>'),
899     thead = $('<thead>'),
900     tbody = $('<tbody>'),
901     trName = $('<tr>').append($('<td rowspan="2">').text('t, oC'))
902         .append($('<td rowspan="2">').text('In'))
903         .append($('<td rowspan="2">').text('Ir')),
904     trKoeff = $('<tr>')
905 for (const item of this.build) {
906     let column = Boiler.columnEnthusiasmMaker(item.alpha, Ip, Ig);
907     trName.append($('<td>').text(item.name));
908     trKoeff.append($('<td>').text(item.alpha));
909     tableI.push(column);
910 }
911 thead.append(trName)
912     .append(trKoeff);
913 table.append(thead)
914     .append(tbody);
915 for (let i = 0; i < Ip.length; i++) {
916     let itemTr = $('<tr>').append($('<td>').text((i + 1) * 100))
917         .append($('<td>').text(Ip[i].toFixed(2)))
918         .append($('<td>').text(Ig[i].toFixed(2)));
919     for (let j = 0; j < this.build.length; j++) {
920         itemTr.append(
921

```

```

921         $('<td>').text(tableI[j][i].toFixed(2))
922     );
923     }
924     tbody.append(itemTr);
925 }
926 this.Ip = Ip;
927 this.Ig = Ig;
928 this.tableIntalp = tableI;
929 answer.append(table);
930 container.append(answer)
931 this.output.append(container[0]);
932 }
933 getThermalBalanceOfTheBoilerUnit() {
934     let container = createContainer('Тепловий баланс котлоагрегату');
935     this.getAllWarmBalances(container)
936     this.output.append(container[0]);
937 }
938 getSizingOfTheFurnance() {
939     const container = createContainer('Розрахунок топки котлоагрегату'),
940         answer = createSubContainer('');
941     const Furnance = this.build[0];
942     let S_to_D,
943         l_to_wall,
944         x,
945         scrnContamination,
946         koefTermEfficiency,
947         midKoeffTermEfficiency,
948         effectiveRadiationThickness,
949         F_pr,
950         x_shieldingFurnance
951     S_to_D = Furnance.s_pipe / Furnance.d_pipe;
952     formulaPaste(
953         'Відношення кроку труб до діаметру',
954         `s/d = ${Furnance.s_pipe} / ${Furnance.d_pipe} = ${S_to_D}`,
955         answer
956     )
957     l_to_wall = 0.8 * Furnance.d_pipe / 1000;
958     formulaPaste(
959         'Відстань від осі екрану до стінки',
960         `l = 0,8d = 0.8*${Furnance.d_pipe} / 1000= ${l_to_wall} м`,
961

```

```

961         answer
962     )
963     x = 0.99;
964     formulaPaste(
965         'Кутовий коефіцієнт екрану - характеризує частку теплоти, що сприймається поверхнею, віднесеної до те
плоти, яка могла б бути сприйнята суцільною екранованою стінкою (прийм.)',
966         `x=${x}`,
967         answer
968     )
969     scrnContamination = this.fuelType === 'coal' ? 0.45 : this.fuelType === 'gas' ? 0.65 : (0.45 + this.X * 0.6
5);
970     formulaPaste(
971         'Коефіцієнт забруднення екрану - враховує зниження теплосприймання екранних поверхонь нагріву внаслідо
к їх забруднення або закриття цеглою (прийм.)',
972         `ζ = ${scrnContamination}`,
973         answer
974     )
975     koefTermEfficiency = x * scrnContamination;
976     formulaPaste(
977         'Коефіцієнт теплової ефективності екрану - відношення кількості теплоти, яка сприймається екраном, до т
еплоти, яка падає на цю поверхню',
978         `ψ= X*ζ=${x}*${scrnContamination}=${koefTermEfficiency}`,
979         answer
980     )
981     midKoefTermEfficiency = (koefTermEfficiency * Furnance.F) / Furnance.F;
982     formulaPaste(
983         'Середній коефіцієнт теплової ефективності топки',
984         `ψср= (ψ*Fт)/Fт=${koefTermEfficiency}*${Furnance.F}/${Furnance.F}=${midKoefTermEfficiency}`,
985         answer
986     )
987     effectiveRadiationThickness = 3.6 * Furnance.V_furnace / Furnance.F;
988     formulaPaste(
989         'Ефективна товщина випромінювання шару газу в топці',
990         `S= 3,6*Vт/Fт=${3.6}*${Furnance.V_furnace}/${Furnance.F}=${effectiveRadiationThickness} м`,
991         answer
992     )
993     F_pr = x * Furnance.F;
994     formulaPaste(
995         'Площа променесприймаючої поверхні нагріву',
996         `Fпр= X*Fт=${x}*${Furnance.F}=${F_pr} м2`,
997         answer
998     )
999     x_shieldingFurnance = F_pr / Furnance.F;
1000     formulaPaste(
1001

```

```

1001         'Ступінь екранування топки',
1002         `χ = Fпр/Фт=${F_pr}/${Furnance.F}=${x_shieldingFurnance}`,
1003         answer
1004     )
1005     Furnance.construct_calc = {
1006         S_to_D,
1007         l_to_wall,
1008         x,
1009         scrnContamination,
1010         koefTermEfficiency,
1011         midKoeffTermEfficiency,
1012         effectiveRadiationThickness,
1013         F_pr,
1014         x_shieldingFurnance
1015     }
1016     container.append(answer)
1017     this.output.append(container[0]);
1018 }
1019 getCalculationOfTheFurnaceGasTemperature() {
1020     let iteration = 1;
1021     const container = createContainer('Перевірочний розрахунок температури газів топки');
1022     const Furnance = this.build[0];
1023     while (true) {
1024         let newTemp = this.getApproximateCalculationOfTheFurnaceGasTemperature(iteration, Furnance, Furnance.V_
temp, container),
1025         percentValue = Math.floor((Furnance.V_temp - newTemp));
1026         if (percentValue <= 120 || newTemp < 600 || isNaN(newTemp)) {
1027             break;
1028         }
1029         else {
1030             Furnance.V_temp = newTemp;
1031             iteration++;
1032         }
1033     }
1034     this.output.append(container[0]);
1035 }
1036 }

```

8. Список літератури

1. Закон України "Про енергозбереження" // Відомості Верховної Ради України, 1994, N 30, с.283 [Електронний ресурс] — Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/74/94-%D0%B2%D1%80>.
2. Закон України "Про енергетичну ефективність" (проект) [Електронний ресурс] — Режим доступу: <http://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2017/09/Proekt-Zakonu-Ukrayini1.pdf>.
3. Постанова Кабінету Міністрів України "Про затвердження Державної цільової економічної програми енергоефективності і розвитку сфери виробництва енергоносіїв з відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива на 2010-2020 роки". [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/243-2010-%D0%BF>.
4. "Кодекс газотранспортної системи". Постанова НКРЕКП від 30.09.2015 № 2493 [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://www.nerc.gov.ua/?id=19935>.
5. Олексюк О.Ю., Крамар В.М., Мельничук В.М. Теплоенергетика та енергоефективність: сучасні тенденції та технології // Навчальний посібник. — Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. — 350 с.
6. Шаповалов В.М. Сучасні методи проектування котлів. — Київ: НТУУ «КПІ», 2018. — 248 с.
7. EN 12952-1:2015 Water-tube boilers and auxiliary installations - General requirements // European Committee for Standardization.
8. EN 12953-1:2015 Shell boilers - General requirements // European Committee for Standardization.
9. Kaplan M., Seiler S. Advanced Boiler Technology and its Application in Power Generation // Journal of Energy Efficiency, Vol. 12, Issue 5, 2019. — pp. 410–426.

10. DOE (Department of Energy) Guidelines for Energy Efficiency Improvements in Industrial Boiler Systems [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://www.energy.gov/eere/>.
11. Українська академія наук. "Розрахунок теплових процесів у котлоагрегатах: нормативні методики". — Київ: НАН України, 2019. — 312 с.
12. Babcock & Wilcox. Steam: Its Generation and Use. 42nd Edition. — New York: The Babcock & Wilcox Company, 2019. — 1024 p.
13. ASME Boiler and Pressure Vessel Code: Section I - Power Boilers. 2021 Edition. — New York: American Society of Mechanical Engineers.
14. Український НДІ енергозбереження. Дослідження ефективності модернізації котлів малої та середньої потужності. — Київ, 2020. — 215 с.
15. Європейська комісія. Директива 2018/844/ЄС "Про енергоефективність та модернізацію будівельних об'єктів". [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:32018L0844>.
16. Сивак С.І., Коробко О.В., Карпенко Т.М. Основи енергозбереження: підручник. — Львів: ЛНТУ, 2021. — 280 с.
17. Білодід О.В., Петренко В.М. Теплові процеси у котлах: сучасні підходи до розрахунку та проектування. — Харків: НТУ «ХП», 2017. — 232 с.
18. International Energy Agency. Energy Efficiency 2021. — Paris: IEA Publications, 2021. — 128 p.
19. ДСТУ 7099:2020. Енергетична ефективність котлів: вимоги до проведення теплотехнічних випробувань. — Київ: Держспоживстандарт України, 2020. — 45 с.
20. Підручник з теплоенергетики. Основи котельного обладнання // Під ред. Л.М. Горбача. — Львів: ЛНТУ, 2020. — 260 с.

21. European Commission. Best Available Techniques (BAT) for Industrial Boilers [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/>.
22. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України. Рекомендації з підвищення енергоефективності теплових установок. — Київ, 2020. — 95 с.
23. Smith J., Turner R. Optimizing Boiler Performance for Modern Industrial Applications // Journal of Thermal Science, Vol. 25, Issue 2, 2020. — pp. 302–319.
24. ДСТУ EN 303-5:2021. Котли для централізованого опалення: стандарти безпеки та ефективності. — Київ: Держспоживстандарт України, 2021. — 52 с.
25. McKenna E., Andrews C. Combustion Processes in Industrial Boilers: Improving Energy Utilization and Reducing Emissions. — London: Taylor & Francis Group, 2021. — 378 p.
26. World Bank. Low Carbon Growth Studies: Energy Efficiency in Ukraine. — Washington D.C.: World Bank Publications, 2020. — 150 p.
27. Тепловий розрахунок котлів: Методичні рекомендації для студентів енергетичних спеціальностей. — Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. — 100 с.
28. Мельничук В.М., Ткаченко О.В. Модернізація котельного обладнання як засіб підвищення енергоефективності: Монографія. — Харків: Видавництво НТУ «ХПІ», 2018. — 224 с.
29. Вербицький М.С. Автоматизація теплового розрахунку котлоагрегатів International Scientific-Practical Conference of young scientists "Build-Master-Class-2023". December 2023, Kyiv, Ukraine.