

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра електрифікації, автоматизації виробництва та інженерної екології

Кваліфікаційна робота

на правах рукопису

Лугін Олександр Володимирович

УДК 621.359.4

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Обґрунтування вибору та тепло-енергетичний розрахунок котлоагрегату
міні ТЕЦ
(тема роботи)

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Лугін О.В.

(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи

Денисюк Анатолій Юрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

к.т.н., доцент кафедри електрифікації,
автоматизації виробництва та інженерної екології
(науковий ступінь, вчене звання)

Житомир – 2025

АНОТАЦІЯ

Лугін О.В. Обґрунтування вибору та тепло-енергетичний розрахунок котлоагрегату міні ТЕЦ. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка – Поліський національний університет, Житомир, 2025.

Основною метою роботи є здійснення вибіру та розрахунок котлоагрегату міні ТЕЦ.

Результатом роботи є вибір парогенератора, з врахуванням встановлення резервного, здійснений аналіз та тепловий розрахунок предтопка для котлоагрегату з визначенням обмуровки передтопка, обранням термоізоляційного матеріалу, а також тепловий розрахунок котлоагрегату БКЗ з визначенням ступенів пароперегрівача та економайзера

Розглянуті заходи з охорони праці та техніки безпеки на ділянці видобутку та підготовки лігніну.

Ключові слова: парогенератор, теплофікаційні агрегати, турбоагрегат, котлоагрегат, ентальпія, втрати енергії, коефіцієнт корисної дії, вихідна потужність.

ABSTRACT

Lugin O.V. Justification of the choice and thermal calculation of the boiler unit of a mini Thermal power plant. Qualification work for obtaining a master's degree in specialty 141 - Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics - Polissia National University, Zhytomyr, 2025.

The main purpose of the work is to select and calculate the boiler unit of a mini TPP.

The result of the work is the selection of a steam generator, taking into account the installation of a backup, the analysis and thermal calculation of the pre-fireplace for the boiler unit with the determination of the pre-fireplace lining, the selection of

thermal insulation material, as well as the thermal calculation of the BKZ boiler unit with the determination of the superheater and economizer stages

The occupational health and safety measures at the site of lignin extraction and preparation are considered.

Keywords: steam generator, heating units, turbo unit, boiler unit, enthalpy, energy losses, efficiency, output power.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ	6
1.1. Класифікація теплових електричних станцій	6
1.2. Основні характеристики палива, що використовується на ТЕС	7
Висновки за розділом 1	12
РОЗДІЛ 2. ВИБІР ТА ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК КОТЛОАГРЕГАТУ	13
2.1. Вибір типу та числа парогенераторів	13
2.2. Тепловий розрахунок предтопка для котлоагрегату БКЗ-75-39-440 ФБ.	14
2.3. Тепловий розрахунок топки котлоагрегату БКЗ-75-37-440 ФБ	18
Висновки за розділом 2	20
РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТУРБО ТА КОТЛОАГРЕГАТІВ	21
Висновки за розділом 3	24
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	25
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	26

ВСТУП

Актуальність роботи. Електроенергія потрібна для технологічних агрегатів (електропечі, електроліз та ін), приводу різних механізмів великої та малої потужності, а також освітлення, кондиціювання повітря та ін.

На відміну від електроенергії теплота (особливо при теплоносії - парі) може бути економічно подана на дуже великі відстані, тому кожному підприємству чи групі близько розташованих підприємств потрібно своє джерело теплоти необхідних параметрів. Такими джерелами є теплоелектроцентралі (ТЕЦ), на яких здійснюється комбіноване (спільне) виробництво теплоти та електричної енергії.

Тому раціональний вибір котлоагрегату міні ТЕЦ є важливою задачею.

Метою роботи є здійснення вибіру та розрахунок котлоагрегату міні ТЕЦ.

Для її реалізації у роботі розглядаються такі задачі:

1. Дослідження технологічних схем теплових електростанцій.
2. Вибір типу та числа парогенераторів, розрахунок предтопка для котлоагрегату та тепловий розрахунок котлоагрегату міні ТЕЦ.

Об'єктом дослідження є аналіз технологічних схем теплових електростанцій, щодо вибору та розрахунку котлоагрегату.

Предметом дослідження є парогенератор, предтопок і котлоагрегат.

Методи досліджень. При виконанні досліджень, використовувалися методи системного аналізу, методи математичного моделювання, методи вибору компромісних рішень, засновані теорії ігор (теорія контрактів).

Практична значимість результатів роботи:

Отримані методи вибору та розрахунку котлагрегату міні ТЕЦ, які дозволяють вирішувати такі завдання:

1. Оптимізувати обрання парогенераторів та здійснити тепловий розрахунок предтопка для котлоагрегату та самого котлоагрегату, в залежності від потреб споживача та використаного палива.

2. Модернізувати котлоагрегат за мірою вдосконалення виробництва.

Перелік публікацій автора за темою дослідження:

Лугін О.В. ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ
НА ДІЛЯНЦІ ВИДОБУТКУ ТА ПІДГОТОВКИ ЛІГНІНУ

Матеріали науково практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та здобувачів вищої освіти факультету інженерії та енергетики «Студентські читання - 2024». 31 жовтня 2024 р. Житомир: Поліський національний університет, 2024. - С 56-58.

Лугін О.В., Залізницький Д.В. ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК
НЕРЕГУЛЬОВАНИХ СТУПЕНЕЙ ПАРОВОЇ ТУРБИНИ

Наукові читання – 2025: збірник тез доповідей науково-практичної конференції за підсумками І-го туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузей знань і спеціальностей. 23 квітня 2025 р. Житомир: Поліський національний університет, 2025. - С 61-63.

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ.

1.1. Класифікація теплових електричних станцій

Електричною станцією називається комплекс обладнання та пристроїв, призначених для перетворення енергії природного джерела в електричну енергію та теплоту.

Електричні станції (ЕС) класифікують за видом використовуваної природної (первинної) енергії [4]:

- теплові електричні станції (ТЕС), що використовують органічне паливо;
- атомні електростанції (АЕС), що використовують атомну енергію;
- електростанції, що використовують так звані відновлювані джерела енергії: гідро-ЕС (ГЕС), у яких електрична енергія виробляється за рахунок механічної енергії води рік; вітро-ЕС (ВЕС), у яких перетворюється енергія вітру; геліо ЕС, у яких перетворюється сонячна радіація, і навіть ЕС, у яких використовується геотермальна енергія, енергія біомаси тощо.

Теплові електростанції можна класифікувати за такими ознаками [2].

1. По виду енергії, що відпускається:

- конденсаційні електричні станції (КЕС), що відпускають лише (переважно) електричну енергію;
- теплоелектроцентралі (ТЕЦ), що відпускають електричну та теплову енергію (у вигляді пари чи гарячої води).

Централізоване теплопостачання споживачів з використанням відпрацьованої теплоти турбін та виробленням електроенергії на базі теплового споживання називають теплофікацією. Турбіни відповідного типу називають теплофікаційними.

Таким чином, розрізняють ТЕЦ з комбінованим виробленням електричної енергії та теплоти та енергоджерела з роздільним виробленням цих видів енергії на КЕС у котельнях.

2. По виду теплового двигуна:

- з паротурбінними установками (ПТУ) – паротурбінні ТЕС;
- з газотурбінними установками (ГТУ) – газотурбінні ТЕС;
- з парогазовими установками (ПДУ) - парогазові ТЕС;
- електростанції з двигунами внутрішнього згоряння дизельні електростанції (ДЕС), газопоршневі електростанції (ДПЕМ).

3. За призначенням:

- районні електростанції загального користування: конденсаційні електростанції (ДРЕС) та теплоелектроцентралі (ТЕЦ); при цьому розрізняють опалювальні ТЕЦ, що відпускають теплоту з мережевою водою для опалення та гарячого водопостачання населення, та промислово-опалювальні ТЕЦ, що відпускають як теплоту з мережевою водою для опалення та гарячого водопостачання населення, так і пар для потреб підприємств;

- промислові, що входять до складу виробничих підприємств.

4. За рівнем початкового тиску розрізняють паротурбінні установки:

- низького тиску: до 2,9 МПа;
- середнього тиску: 3,9 МПа;
- високого: 8,8 ... 12,75 ... 16,7 МПа;
- надкритичного: 23,5 МПа і вище.

1.2. Основні характеристики палива, що використовується на ТЕС

Енергетичні ресурси надходять на електростанції у вигляді палива речовини, що використовується з метою отримання теплової, механічної та електричної енергії.

Паливо можна поділити на дві основні групи [1]:

- органічне, що виділяє теплоту в результаті хімічних реакцій з окислювачем;

- ядерне, здатне виділяти теплоту при ланцюгових реакціях розпаду ядер деяких ізотопів важких елементів (урану, плутонію).

За способом одержання органічне паливо підрозділяють на природне та штучне, одержуване в результаті переробки природного палива.

Викопне природне паливо - це паливо, накопичене в надрах Землі є продуктом біохімічних та хімічних перетворень органічної речовини рослин та мікроорганізмів, що протікали з різною швидкістю у напрямку поступового обуглерожування (вуглефікації) палива, тобто. підвищення у ньому вмісту вуглецю та зменшення кількості кисню та водню.

На ТЕС та котельнях спалюється переважно природний газ, на частку якого припадає від 90 до 94% сумарного споживання палива у цьому секторі. На другому місці – мазут; його частка в паливному балансі знаходиться в межах 2... 4%. Середній вміст сірки в мазуті, що спалюється на електростанціях, становить 2,4...2,5% [1].

У відносно невеликих кількостях спалюється тверде паливо: переважно дрова, деревні відходи та торф.

Із подальшим введенням АЕС річний обсяг закупівель природного газу має суттєво скоротиться.

Особливістю твердих та рідких палив є складність хімічного складу входячих до них органічних сполук, тому склад палива визначається за відсотковим змістом ув'язнених у ньому хімічних елементів. При цьому умовно вважають, що паливо складається з перерахованих елементів, що знаходяться у вільному стані у вигляді механічної суміші [1].

У пальну частину можуть входити окис вуглецю, водень, граничні

вуглеводні і іноді сірководень. У негорючу частину можуть входити кисень, азот, двоокис вуглецю та різні домішки (водяні пари, смоли, пил тощо).

Основна характеристика палива-це теплота згоряння Q .

Під теплотою згоряння розуміють кількість тепла в кДж, яке виділяє за повного згоряння 1 кг твердого або рідкого палива, або 1 м³ газоподібного палива за нормальних фізичних умов.

Розрізняють вищу (Q_v) і (Q_f) нижчу теплоту згоряння.

У газоподібних продуктах згоряння будь-якого палива містяться водяні пари, що утворюються внаслідок згоряння водню та випаровування вологи палива. Якщо продукти згоряння охолодити до конденсації водяної пари, що в них міститься, звільниться тепло, витрачене на пароутворення вологи [1].

Під вищою теплотою згоряння розуміють все тепло, що виділилося при згорянні одиниці палива, включаючи тепло конденсації водяної пари.

Під нижчою теплотою згоряння розуміють теплоту згоряння, яка враховує тепло конденсації водяної пари, що міститься у продуктах згоряння палива.

У промислових установках, що спалюють паливо, у теплових двигунах різного типу газоподібні продукти згоряння викидаються в атмосферу, як правило, при температурах коли конденсації водяної пари не відбувається і, отже, теплота їх конденсації не вивільняється для використання [1].

1.3. Технологічні схеми теплових електростанцій

(на прикладі паротурбінних)

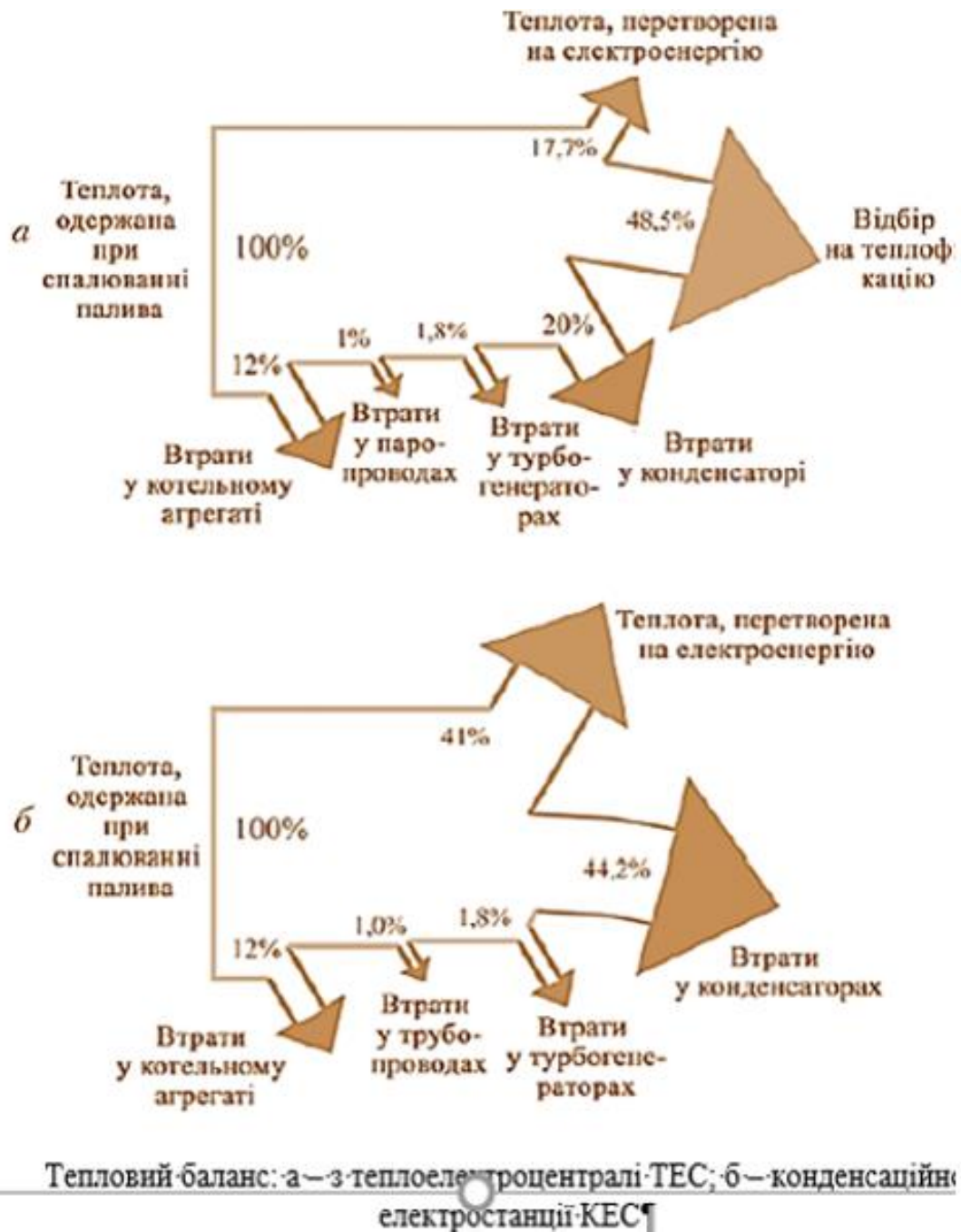
Як приклад розглянемо роботу паротурбінної теплової електростанції, що спалює природний газ та мазут.

Основними елементами аналізованої електростанції є котельна установка, що виробляє пар високих параметрів [2];

У конденсаційних ТЕС (КЕС) створюються умови для максимально повного перетворення потенційної енергії пари, виробленого в котлі, механічну енергію обертання ротора турбогенератора (при максимально можливому розширенні пари в проточній частині турбіни), а потім і в електричну енергію [1].

Теплоелектроцентралі (ТЕЦ) мають вищі енергетичні показники проти КЕС, оскільки частина теплоти, отработавшего у турбіні пари, корисно використовується. При повному використанні теплоти, яка відпрацювала в турбіні пари (турбіни з протитиском), втрати тепла в холодному джерелі відсутні, а при частковому - в холодному джерелі (конденсаторі) втрачається менше тепла, ніж на КЕС [1].

Принципова відмінність атомних електростанцій (АЕС) від ТЕС у тому, що замість котельних установок, що використовують органічне паливо, використовується ядерний реактор — пристрій, в якому здійснюється керована ланцюгова ядерна реакція поділу (розщеплення) ядер атомів радіоактивної речовини, що супроводжується виділенням енергії [1].



На АЕС широко застосовується насичена пара. Це пояснюється тим, що у ряді випадків перегрів пари безпосередньо в ядерному реакторі дуже ускладнює конструкцію реактора і схему установки, що вимагає суттєвих додаткових капітальних витрат. Водночас на АЕС вартість палива (ядерного пального), віднесена до одиниці виробленої енергії, є значно нижчою, ніж на електростанціях звичайного типу. Тому тут виробництво електроенергії на менш дорогих установках

навіть за нижчих значень ККД економічно виправдане [1].

ВИСНОВКИ ЗА 1 РОЗДІЛОМ

Теплові електростанції перетворюють природну енергію в електричну та теплову. Вони класифікуються за джерелом енергії (виркопні, атомні, відновлювані) та типом (конденсаційні, теплоелектроцентралі, промислові). Теплові електростанції можна класифікувати за призначенням (районні, промислові) та технологічною структурою (блочні, неблочні). Основними характеристиками палива, що використовується на теплових електростанціях, є його теплотворна здатність, склад і тип (органічне, ядерне). Технологічна схема паротурбінної електростанції включає котельню, турбіну та конденсатор. Принципова відмінність між атомними та тепловими електростанціями полягає у використанні ядерного реактора замість котла.

РОЗДІЛ 2

2. Вибір та тепловий розрахунок котлоагрегату.

2.1. Вибір типу та числа парогенераторів.

Паропроодуктивність та кількість енергетичних парогенераторів для теплових електростанцій, що входять до енергосистеми, вибираються за потребою в парі та кількості турбін [3].

Для промислових ТЕЦ зазвичай вибирають теплофікаційні агрегати з початковими параметрами $p_0=4$ або 13 МПа і $t_0=435$ або 555 °С без проміжного перегріву пари [3]. Тому зазвичай на ТЕЦ з виробничим навантаженням застосовують схеми з поперечними зв'язками по гострій парі та з резервним парогенератором. Для ТЕЦ, розташованих в енергосистемі, правило резерву вимагає, щоб при виході з роботи одного потужного парогенератора інші забезпечували максимальну відпустку теплоти всім виробничим споживачам. Таким чином, кількість парогенераторів на промисловій ТЕЦ визначається насамперед надійністю постачання парою промислових споживачів, для чого встановлюють резервні парогенератори [3].

Дуже важливим під час проектування ТЕЦ є вибір типу парогенератора. Зазвичай для промислових ТЕЦ з великим виробничим споживанням пари вибирають барабанні парогенератори як гнучкіші і менш вимогливі до якості поживної води. Ці переваги особливо важливі в умовах великої засоленості сирової води, що надходить на хімводоочищення, і великого неповернення конденсату пари від промислових споживачів через забруднення при змішуванні та втратах через нещільність теплообмінних генераторів та транспорту [3].

Виходячи з вище сказаного і зважаючи на обраний турбоагрегат типу ПР-12-3,4/1,0/0,1 обираємо тип парогенератор БКЗ-75-39-440 ФБ і кількістю 3, з врахуванням встановлення одного резервного.

2.2. Тепловий розрахунок предтопка

1. Тепловий розрахунок передтопка почнемо з визначення витрати палива для котла БКЗ–75–39 ФБ, виходячи з рівняння теплового балансу, кг / год.

$$B = \frac{D \cdot Q_{KA}}{\eta_{KA}^{BP} \cdot Q_H^P}, \quad (2.1)$$

де D – паропродуктивність котлоагрегату, , $D = 75000$ кг/год, [3];

η_{KA}^{BP} – ккд котлоагрегату, $\eta_{KA}^{BP} = 81\%$, [5];

Q_H^P – нижча теплота згоряння палива,

$Q_H^P = 1567$ ккал/кг [6565,7 кДж/кг], (Довідка якості палива);

Q_{KA} – кількості тепла, надане в котлі поживній воді при перетворенні її на пару, віднесене до 1 кг виробленої пари:

$$Q_{KA} = (h_{III} - h_{IV}) + \frac{\Pi}{100} \cdot (h_{KB} - h_{IV}), \quad (2.2)$$

де h_{III} , h_{IV} , h_{KB} – відповідно ентальпії перегрітої пари, поживної та котлової води,

$h_{III} = 3315$ кДж/кг, $h_{IV} = 614$ кДж/кг, $h_{KB} = 1110,8$ кДж/кг;

Π – відсоток безперервного продування, $\Pi = 3\%$ [3].

$$Q_{KA} = (791,5 - 146,5) \cdot 4,19 + \frac{3}{100} \cdot (265,1 - 146,5) \cdot 4,19 = 2716,2 \text{ кДж/кг} \quad (2.3)$$

$$B = \frac{75000 \cdot 648,258 \cdot 4,19}{1567 \cdot 4,19 \cdot 0,81} = 38305 \text{ кг/год.}$$

Прийmemo орієнтовне значення температури газів за котлом 180°C за рекомендацією [7].

2. Визначимо величину об'єму топки за формулою [3], м^3

$$V_T = \frac{B \cdot Q_H^P}{Q/V}, \quad (2.4)$$

де Q/V – теплова напруга топкового простору,

$$Q/V = 350 \cdot 103 \text{ ккал/м}^3 \cdot \text{ч} [407,05 \text{ Вт/м}^3], [6].$$

$$V_T = \frac{38305 \cdot 1567}{350000} = 171,5 \text{ м}^3.$$

3. Визначимо площу колосникових ґрат (дзеркала горіння) за формулою [6], м^2

$$R = \frac{B \cdot Q_H^P}{Q/R}, \quad (2.5)$$

де Q/R – теплова напруга площі колосникових ґрат (дзеркала горіння),

$$Q/R = 4000 \cdot 10^3 \text{ ккал / м}^2 \cdot \text{год} [4652 \text{ Вт / м}^2], [6].$$

$$R = \frac{38305 \cdot 1567}{4000 \cdot 10^3} = 15 \text{ м}^2.$$

4. Температура вихідних продуктів горіння з передтопки 1000°C (Паспорт та інструкція з експлуатації топки DG).

5. Вихідні дані теплового розрахунку предтопка наведено у таблиці 2.2.1

Таблиця 2.2.1

Вихідні дані

Найменування	Позначення	Розмірність	Розрахункова формула, спосіб визначення	Величина
1	2	3	4	5
Продуктивність	D	т / год	Задано	75
Тиск пари в барабані	P_0	МПа	– « –	4,4
Тиск пари за засувкою	P	– « –	– « –	4,0
Температура поживної води	$t_{пв}$	$^\circ\text{C}$	Технічна характеристика котла	104
Тепловміст поживної води	$h_{пв}$	– « –	За $H - v$ табл.	104,3

Температура насичення	t_{kin}	$^{\circ}C$	Технічна характеристика котла	225
Тепловміст	h_{kin}	кДж / кг	За $H-v$ табл.	1110
Тепловміст насиченої пари	h_{nn}	– « –	– « –	2803,2
Температура перегрітої пари	t_{nn}	$^{\circ}C$	Задано	440
Тепловміст	h_{nn}	кДж / кг	За $H-v$ табл.	3314,01
Питомий обсяг нас	V''	м ³ / кг	– « –	0,05
Питомий обсяг перегрітої пари	V_{nn}	– « –	– « –	0,0787
Температура холодного повітря	$t_{xв}$	$^{\circ}C$	Задано	30
Паливо			Задано	лігнін

6. Тепловий розрахунок обмурівки передтопка виконаємо за рекомендацією [3].

Тепловий потік в навколишнє середовище при даній температурі внутрішньої поверхні багат шарового обмуровування визначається за формулою:

$$q = \frac{t_{BH} - t_H}{\sum R} = \alpha_B \cdot (t_H - t_B), \quad (2.6)$$

де t_{BH} , t_H , t_B – температури внутрішньої поверхні обмуровки,

зовнішньої поверхні та навколишнього обмуровування повітря, $t_{BH} = 1000^{\circ}C$ (Паспорт та інструкція з експлуатації топки DG), $t_H = 45^{\circ}C$ та $t_B = 25^{\circ}C$ [3];

α_B – коеф. тепловіддачі від зовнішньої поверхні обмуровки до навколишнього середовища, Вт/(м² К):

$$\alpha_B = 8,4 + 0,06 \cdot (t_H - t_B), \quad (2.7)$$

$$\alpha_B = 8,4 + 0,06 \cdot (45 - 25) = 9,6 \text{ Вт/(м}^2 \text{ К)};$$

ΣR – сумарний тепловий опір обмуровки, $\text{м}^2 \text{ К/Вт}$.

Тоді тепловий потік дорівнює

$$q = 9,6 \cdot (45 - 25) = 192 \text{ Вт/м}^2.$$

Тоді необхідний термічний опір обмуровки можна визначити за формулою

$$\Sigma R = \frac{t_{\text{BH}} - t_{\text{H}}}{q} = \frac{1000 - 45}{192} = 4,98 \text{ м}^2 \text{ К/Вт}. \quad (2.8)$$

Приймаємо, що обмуровка складається з двох шарів:

- вогнетривкого;
- теплоізоляційного.

З іншого боку термічний опір обмуровки дорівнює

$$\Sigma R = \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}, \quad (2.9)$$

де δ_1, δ_2 - товщини шарів обмуровки, м;

λ_1, λ_2 - коеф. теплопровідності матеріалів, $\text{Вт/м} \cdot \text{К}$.

Термоізоляцію обмурівки передтопка виконуємо з двох шарів:

1. Шар із шамотної легковагої цегли товщиною 250 мм (0,25 м), з $\lambda_1 = 0,2326 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$ [4];
2. Плити перлітові на керамічній зв'язці товщиною 350 мм (0,35 м) з $\lambda_2 = 0,087 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$ [4].

Перевіряємо чи підходить даний матеріал як термоізоляційний:

$$\Sigma R = \frac{0,25}{0,2326} + \frac{0,35}{0,087} = 5,083 \text{ м}^2 \text{ К/Вт}.$$

Вибрані матеріали повністю задовольняють умови техніки безпеки, згідно з якими $t_{\text{H}} \leq 45^\circ \text{C}$.

2.3. Тепловий розрахунок топки котлоагрегату БКЗ-75-37-440 ФБ.

Таблиця 2.3.1

Розрахунок топки.

Найменування	Позначення	Розмірність	Формула чи обґрунтування	Величина
1	2	3	4	5
Коефіцієнт надлишку повітря у топці	α_m	-	Задано	1,4
Присмоктування повітря в топку	$\Delta\alpha_m$	-	Задано	0,05
Наявне тепло палива	Q_n^p	кДж / кг	З розрахунку теплового балансу	6561,03
Тепловміст холодного повітря	$h_{xв}$	кДж / нм ³	За Н – v табл	185
Втрата тепла з хімічним недопалом	q_3	%	Задано	3
Втрата тепла від механічного недопалу	q_4	%	Задано	3
Корисне тепловиділення у топці	$Q_{тп}$	кДж / кг	$Q_{нр} \cdot (100 - q_3 - q_4) / (100 - q_4) + \Delta\alpha_m \cdot h_{xв}$	6360,05
Коефіцієнт	M	-	Рекомендовано	0,5
Температура газів на виході з топки	$v''_{тп}$	°C	Приймається	800
Тепловміст газів і	$h''_{тп}$	кДж / нм	За Н – v табл	3061
Коеф. теплової ефективності екранів	ψ	-	$x \cdot \xi$	0,528
Кутовий коефіцієнт.	κ_{κ}	-	[3]	0,88
Коефіцієнт ослаблення променів частинками коксу	κ_{κ}	1 / (м·МПа)	[3]	0,5

Ефективна товщина випромінюючого шару	s	m	$3,6 \cdot V_T / F_{CT}$	5,5216
Оптична товщина полум'я, що не світиться.	$\kappa p s$	-	$\kappa \cdot p \cdot s$	2,5
Концентрація золених частинок у продуктах згорання	$\mu_{3л}$	$г / м^3$	[3]	33,17
Коефіцієнт ослаблення променів	κ	$1 / (м \cdot МПа)$	$\kappa_z \cdot r_{II} + \kappa_{3л} \cdot \mu_{3л} + \kappa_k$	4,53
1	2	3	4	5
Ступінь чорноти продуктів згорання	a	-	[3]	0,92
Ступінь чорноти камери згорання	a_m	-	[3]	1,048
Температура газів на виході з топки	ν''_m	$^{\circ}C$	[3]	860
Теоретична температура горіння	ν_a	$^{\circ}C$	[3]	1220
Повна поверхня стін топки	F_{cm}	$м^2$	Конструкція	296
Теплонапруження екранів	B_Q / F	$кВт / м^2$	$B_p \cdot Q_m / F_{cm}$	221,7
Питоме навантаження об'єму топки	q_l	$кВт / м^3$	$B_p \cdot Q_l / V_T$	140
Обсяг топкового простору	V_T	$м^3$	Конструкція	454

Визначимо проблему теплового балансу, $кДж / кг$

$$\Delta Q = Q_H^P \cdot \eta_K - (Q_L + Q_\Phi + Q_{III} + Q_{EK}^{11}), \quad (2.10)$$

де Q_L , Q_Φ , Q_{III} , Q_{EK}^{11} – кількості теплоти, сприйняті променевосприймаючими поверхнями топки, котельними пучками, пароперегрівачем та економайзером:

$$Q_L = \phi \cdot (Q_T - h_T^{11}) = 0,992 \cdot (6774,1 - 3317,51) = 3482,94 \text{ кДж/кг} \quad (2.11)$$

де $\phi = 0,992$ (розрахунок топки);

$$h_T^{11} = 3317,51 \text{ кДж/кг при } t_{\text{ух.г}} = 860 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$Q_T = 6774,1 \text{ кДж/кг (розрахунок топки).}$$

$$Q_\Phi = 307,85 \text{ кДж/кг (розрахунок фестону);}$$

$$Q_{\text{III}} = 611,78 + 454,5 = 1066,36 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \text{ (розрахунок двох ступеней пароперегрівача)}$$

$$Q_{\text{ЕК}}^{11} = 585,16 \text{ кДж/кг (розрахунок другого ступеня економайзера).}$$

$$\Delta Q = 1567 \cdot 4,187 \cdot 0,831 - (3482,94 + 307,85 + 1066,36 + 585,16) = 9,9 \text{ кДж/кг}$$

$$\frac{\Delta Q \cdot 100}{Q_H^p \cdot \eta_K} = \frac{9,9 \cdot 100}{1567 \cdot 4,187 \cdot 0,831} = 0,18\%, \quad (2.12)$$

При правильному розрахунку нев'язка має не перевищувати 0,5%, отже, розрахунок виконаний правильно.

ВИСНОВКИ ЗА 2 РОЗДІЛОМ

З метою забезпечення заданої продуктивності в роботі був здійснений аналіз та обраний парогенератор типу БКЗ-75-39-440 ФБ в кількості 3, з врахуванням встановлення одного резервного. Крім того, був здійснений аналіз, на підставі якого був проведений тепловий розрахунок передтопка для котлоагрегату БКЗ-75-39-440 ФБ. В результаті розрахунку були визначені: обмуровка передтопка, обраний термоізоляційний матеріал. В заключенні був здійснений тепловий розрахунок топки котлоагрегату БКЗ-75-37-440 ФБ. Була перевірена нев'язка, що підтвердило, що розрахунок виконаний правильно.

3 РОЗДІЛ

ОХОРОНА ПРАЦІ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТУРБО ТА КОТЛОАГРЕГАТИВ.

Видобуток та підготовка лігніну є пожежонебезпечним виробництвом і потребує підвищеної уваги та суворого дотримання правил пожежної безпеки. У зв'язку з цим на міні ТЕЦ передбачається виробничо-протипожежний водопровід з подачею води від берегової станції насосної з 3 насосами 300Д90 $Q=1260 \text{ м}^3/\text{год}$; протипожежний водопровід з 2 насосами виробничих потреб та внутрішнього пожежогасіння К65-50-160 $Q=20 \text{ м}^3/\text{год}$ та 2 насосами пожежних потреб 1Д315-71а $Q=300 \text{ м}^3/\text{год}$.

Безпечна експлуатація полягає у забезпеченні оптимальних умов роботи як для персоналу, так і для обладнання. Всі гарячі поверхні турбоустановок та паропроводів, розташовані поблизу маслопроводів і проти їх фланцевих з'єднань ізолювані та обшиті листовою сталлю або алюмінієм для запобігання ізоляції від просочування олією.

Підвальні приміщення парових турбін та котлоагрегатів робимо просторими та добре освітленими. Усі частини (конденсатори, насоси, труби та ін.), що знаходяться в цих приміщеннях, розташовані так, щоб їх можна було зручно і безпечно обслуговувати.

Експлуатація турбо та котлоустановки повинна проводитися у повній відповідності до інструкцій з експлуатації таких установок, допоміжного обладнання та систем, Правил технічної експлуатації електричних станцій та мереж, Правил пожежної безпеки для енергетичних підприємств, Правил техніки безпеки при експлуатації теплосилового обладнання електростанцій, відомств.

Забороняється експлуатувати несправне обладнання, а також обладнання з несправними або вимкненими пристроями аварійного відключення, блокування, захисту та сигналізації.

Робота турбо і котлоагрегатів не допускається:

- 1) у разі відхилення будь-яких параметрів за встановлені межі;
- 2) за тимчасовою або незакінченою схемою установки;
- 3) у разі порушення теплової ізоляції корпусу турбіни чи паропроводів у межах фундаменту;
- 4) при несправності хоча б одного із захистів, що припиняють подачу пари в турбіну;
- 5) при абсолютному тиску в камері регулюючого ступеня, що перевищує 2,55 МПа (26,0 кгс/см²);
- 6) при підвищенні віброшвидкості підшипників турбіни більше 7,1 мм/с, а також якщо при режимі, що встановився, відбувається раптова зміна вібрації одного з підшипників агрегату на 1 мм/с від будь-якого початкового значення віброшвидкості при встановленому режимі експлуатації.

Підйомні пристрої повинні відповідати вимогам правил пристрою та безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів.

Експлуатація турбо та котлоустановок повинна здійснюватись навченим персоналом, допущеним до експлуатації таких установок та допоміжного обладнання в установленому порядку.

Усі гарячі частини, трубопроводи, баки та інші елементи, дотик яких може викликати опіки, повинні мати теплову ізоляцію. Температура поверхні ізоляції має перевищувати 45 °С.

При прийманні зміни персонал, що обслуговує такі установки, повинен стежити за достатнім освітленням робочого місця та справністю аварійного освітлення та за щільністю масляної системи, щоб уникнути пожежі, не допускати підтікання масла та попадання його на гарячі поверхні.

З метою пожежної безпеки маслопроводи поблизу гарячих поверхонь полягають у коробах. Фланцеві з'єднання, трійники, штуцерні підключення

напірних маслопроводів поза коробами полягають у спеціальні кожухи. З коробів та кожухів масло відводиться в бак брудного масла.

При виконанні вогневих робіт на трубопроводах маслосистеми останні повинні бути звільнені від масла, очищені та пропарені.

Поблизу генератора з водневим охолодженням мають бути вивішені плакати «Не курити», «Вибухонебезпечно», «Робота з вогнем заборонена».

Усі вогневі роботи в радіусі 10 метрів від маслобака та маслопроводів, заповнених маслом, повинні проводитися за планом виконання вогневих робіт із зазначенням послідовності операції та обсягу робіт.

Вогневі роботи на відстані менше 10 метрів від ділянок газомасляної системи, що містять водень, повинні проводитися поряд з виконанням заходів, що забезпечують безпеку роботи (установка огорож, перевірка повітря у приміщенні на відсутність водню тощо).

Вогневі роботи безпосередньо на корпусі генератора, трубопроводах та апаратах газомасляної системи, заповнених воднем, забороняються.

Забороняється наступати на обірвані дроти, мотузки, троси, що стикаються з цими проводами або торкатися до них.

Корпуси електродвигунів мають бути заземлені.

Не допускати торкання електричних кабелів гарячих поверхонь обладнання, трубопроводів та арматури.

У разі виникнення пожежі на устаткуванні, що знаходиться під напругою, необхідно попередньо зняти напругу, а потім приступити до гасіння пожежі відповідно до протипожежної інструкції.

Якщо з будь-якої причини стався нещасний випадок, негайно вживіть заходів до зменшення наслідків нещасного випадку аж до аварійного відключення обладнання, зняття напруги, закриття подачі пари, води тощо.

Надаючи постраждалому першу допомогу, одночасно повідомте медпункт і начальника зміни цеху, при цьому не припиняти спостережень за працюючим обладнанням.

Для ТЕЦ, що проектується, важливе значення має не тільки охорона праці та техніка безпеки, але й екологічні питання, до вирішення яких необхідно виявити серйозний підхід, оскільки теплова електростанція використовує для спалювання тверде паливо – лігнін, відходи гідролізного заводу [5].

ВИСНОВОК ЗА 3 РОЗДІЛОМ

Під час експлуатації турбін та котлів забезпечується охорона праці та безпека шляхом підтримання оптимальних умов роботи персоналу та обладнання. Всі гарячі поверхні ізольовані і покриті листовою сталлю або алюмінієм для запобігання просочуванню масла.

На міні ТЕЦ передбачається виробничо-протипожежний водопровід з подачею води від берегової насосної станції з 3 насосами; протипожежний водопровід з 2 насосами виробничих потреб та внутрішнього пожежогасіння та 2 насосами пожежних потреб.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі розглянуто проект міні-ТЕЦ у типового райцентру з використанням в якості палива - лігніну, відходів гідролізних заводів.

З метою забезпечення заданої продуктивності в роботі був здійснений аналіз та обраний парогенератор типу БКЗ-75-39-440 ФБ в кількості 3, з врахуванням встановлення одного резервного. Крім того, був здійснений аналіз, на підставі якого був проведений тепловий розрахунок передтопка для котлоагрегату БКЗ-75-39-440 ФБ. В результаті розрахунку були визначені: обмуровка передтопка, обраний термоізоляційний матеріал. В заключенні був здійснений тепловий розрахунок котлоагрегату БКЗ-75-37-440 ФБ. В результаті було здійснено: розрахунок топки, розрахунок фєстону, розрахунок двох ступенів пароперегрівача, розрахунок другого ступеня економайзера. Була перевірена нев'язка, що підтвердило, що розрахунок виконаний правильно.

Розглянуто питання пов'язані з заходами з охорони праці та техніки безпеки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. А. В. Борисенко, В. А. Пешко. Основи теплової енергетики: конспект лекцій [Електронний ресурс]: навч. посіб. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 149 с
2. Машанова О.Є. Теплові електричні станції: Навчально-методичний посібник. - Запоріжжя, ЗДІА. 2011.-166
3. Ткаченко С.Й., Степанов Д.В., Боднар Л.А. Котельні установки. Навч. посіб. - Вінниця; ВНТУ, 2016.-185с.
4. Рогачов В.А. Котельні установки теплових електричних станцій. Аеродинамічний розрахунок котельних установок [Електронний ресурс]: методичні вказівки до курсового проекту. – Київ : НТУУ «КПІ», 2010. – 134 с.
5. Правила будови та безпечної експлуатації парових котлів, водогрійних котлів і водопідігрівачів. Наказ Державного комітету України по нагляду за охороною праці від 10.03.2017.
6. Улаштування електроустановок./ Наказ Міненерговугілля України від 21.07.2017 № 476
7. Ю.Ф. Романюк. Електричні мережі та системи. Навчальний підручник. – Київ: “Знання”, 2007. – 292 с.
8. Лисяк В.Г. Оптимальні режими вузлів навантаження електропостачальних систем. Навчальний посібник,—Львів: “ННІ” 2007. – 251 с.
9. П.М. Монтік Електротехніка та електромеханіка. Навчальний посібник – Львів: “Новий Світ”, 2011. – 487 с.
10. Електричні мережі та системи.: Навч. посібник для студ. електроенерг. спец. / М. С. Сегеда; Державний ун-т "Львівська політехніка". - Л.: Каменяр, 1999. - 296 с. - Бібліогр.: с.292-296. - ISBN 5-7745-0766-1
11. Методичні вказівки до курсового проекту з дисципліни "Проектування електричних систем": для студ. спец. 7.090602 "Електричні системи і мережі" / Вінницький держ. технічний ун-т; уклад. Ж. І. Остапчук. - Вінниця: [б.в.], 1998. - 46 с.

12. Автоматика електроенергетичних систем. Практикум з дисципліни "Релейний захист та системна автоматика": Навч. посіб. для студ. спец. "Електричні мережі та системи"/О. Є. Рубаненко; Вінницький держ. технічний ун-т. - Вінниця: ВДТУ, 1999. - 63 с.

13. Релейний захист та автоматика в електроенергетиці: Навч. посіб. для студ. спец. "Електрична частина електричних станцій", "Електричні мережі та системи", "Електротехнічні системи та системи електроспоживання" / В. М. Кутін [та ін]; Вінницький держ. технічний ун-т. - Вінниця: ВДТУ, 2001. - 104 с.

14. Методичні вказівки до вибору схем розподільних пристроїв підстанцій напругою 35-750 кВ з курсу "Електричні системи та мережі" для студентів спеціальності "Електричні системи та мережі"/ Національний технічний ун-т "Харківський політехнічний ін-т" ; уклад. В. П. Волков. - Х.: НТУ "ХПІ", 2001. - 19 с.

15. Конструкції повітряних ліній електропередачі. Курсове проектування: навч. посібник для студ. спец. 7.090602 "Електричні системи і мережі" / М. О. Головатюк; Вінницький держ. технічний ун-т. - Вінниця: ВДТУ, 2001. - 107 с.: рис. - Бібліогр.: с. 106-107

16. Експлуатація повітряних ліній електропередачі: навч. посіб. для студ. спец. 7.090602 "Електричні системи і мережі" / М. О. Головатюк; Вінницький держ. технічний ун-т. - Вінниця: ВДТУ, 2001. - 129 с.: рис. - Бібліогр.: с. 129

17. Електромонтажні роботи. Електричні мережі до 1000 В: Навч. посібник для студ. електротехн. спец. з дисципліни "Робоча професія" / О. Д. Демов [і др.]; Вінницький держ. технічний ун-т. - Вінниця: ВДТУ, 2002. - 55 с.

18. Електричні системи та мережі [Текст]: методичні вказівки до виконання курсового проекту для студ. спец. 7.090603 "Електротехнічні системи електроспоживання" денної та заоч. форм навчання / Національний ун-т харчових технологій; уклад. С. Є. Вакуленко. - К.: НУХТ, 2002. - 51 с.: рис. - Бібліогр.: с. 51-52

19. Розрахунки електричних мереж при їх проектуванні: навч. посібник для студ. спец. 7.090601 - "Електричні станції, 7.090602 - "Електричні системи і мережі" / Ю. В. Лук'яненко [та др.]; Вінницький держ. технічний ун-т. - Вінниця: ВДТУ, 2002. - 111 с.: рис. - Бібліогр.: с.111.

20. Денисюк А.Ю., Хливнюк М.Г., Шестак І.М. Комп'ютерна електроніка: Навч. Посіб. - Житомир: ЖВІ, 2017. - с. 33-44.

21. Електричні мережі систем електропостачання [Текст]: навч. посібник для студ. вищих навч. закл. / Г. Г. Півняк [та ін.]; ред. Г. Г. Півняк; Національний гірничий ун-т. - Д.: НГУ, 2003. - 316 с.: рис. - Бібліогр.: с. 311. - ISBN 966-8271-45-