

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра електрифікації, автоматизації виробництва та інженерної екології

Кваліфікаційна робота

на правах рукопису

Олейніков Артем Олексійович

УДК 621.359.4

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Обґрунтування вибору та аеродинамічний 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

Олейніков А.О.

(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

Олейніков А.О. Обґрунтування вибору та аеродинамічний 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 аеродинамічного розрахунку котлоагрегату міні ТЕЦ.

Результатом роботи є аеродинамічний розрахунок котлоагрегату міні ТЕЦ. При аеродинамічного розрахунку був здійснений розрахунок тяги, опір газового тракту за казаном. Крім того, в роботі був здійснений розрахунок дуття, де визначались: (параметри всмоктуючого тракту вентилятора, опір тракту від вентилятора до повітропідігрівача, опір повітропідігрівача, опір тракту гарячого повітря тощо).

Ключові слова: тяга, опір газового тракту, опір фестону, ступінь пароперегрівача, економайзер, повітропідігрівач, опір тертя, динамічний натиск, дуття, золоуловлювач

ABSTRACT

Oleynikov A.O. Justification of the choice and aerodynamic 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 perform an aerodynamic calculation of the boiler unit of a mini TPP.

The result of the work is an aerodynamic calculation of the boiler unit of a mini TPP. During the aerodynamic calculation, the calculation of the thrust, the resistance of the gas path behind the boiler was carried out. In addition, the work included a calculation of the blow, where the following were determined: (parameters of the

fan suction path, resistance of the path from the fan to the air heater, resistance of the air heater, resistance of the hot air path, etc.).

Keywords: draft, gas path resistance, festoon resistance, superheater stage, economizer, air heater, friction resistance, dynamic pressure, blowing, ash catcher

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ	6
1.1. Основні характеристики палива, що використовується на ТЕС	8
1.2. Технологічні схеми теплових електростанцій	8
Висновки за розділом 1	10
РОЗДІЛ 2. АЕРОДИНАМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК КОТЛОАГРЕГАТУ БКЗ-75-39-440 ФБ.	11
2.1. Розрахунок тяги	12
Висновки за розділом 2	22
РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТУРБО ТА КОТЛОАГРЕГАТІВ	23
Висновки за розділом 3	25
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	27
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	28

ВСТУП

Актуальність роботи. Електроенергія потрібна для технологічних агрегатів (електропечі, електроліз та ін), приводу різних механізмів великої та малої потужності, а також освітлення, кондиціонування 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 забезпечення належної на міцності елементів котельної установки міні ТЕЦ є нагальною задачею.

Метою роботи є здійснення вибіру та аеродинамічний розрахунок котлоагрегату міні ТЕЦ.

Досягнення поставленої мети у роботі вирішуються наступні задачі:

1. Аналіз технологічних схем теплових електростанцій.
2. Вибір та аеродинамічний розрахунок тяги, дуття та опір газового тракту.

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

Предметом дослідження є значення тяги, дуття, опір газового тракту з обранням параметрів котлоагрегату.

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 аеродинамічного розрахунку котлоагрегату міні ТЕЦ, що дозволяють:

1. Удосконалити вибір і здійснити аеродинамічний розрахунок котлоагрегату з метою забезпечення належної надійності та міцності елементів міні ТЕЦ, в залежності від потреб споживача.

2. У подальшому реалізувати можливість вдосконалення котлоагрегату.

Перелік публікацій автора за темою дослідження:

Олейніков А.О. ОХОРОНА ПРАЦІ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ
КОТЛОАГРЕГАТИВ

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 58-60.

Олейніков А.О., Мартинюк А. І. ЗАХОДИ БЕЗПЕКИ ПРИ
ОБСЛУГОВУВАННІ ТРАНСФОРМАТОРІВ

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 56-59.

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ.

1.1. 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.

У загальному випадку склад органічного палива можна розділити на горючу (вуглець, водень і сірка) та негорючу (кисень, азот, мінеральні речовини

та волога) частини.

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].

Газоподібне паливо, що являє собою механічну суміш досить простих вуглеводнів та інших відомих сполук, оцінюється за часткою цих сполук (горючих та негорючих газів).

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].

1.2. Технологічні схеми теплових електростанцій

(на прикладі паротурбінних)

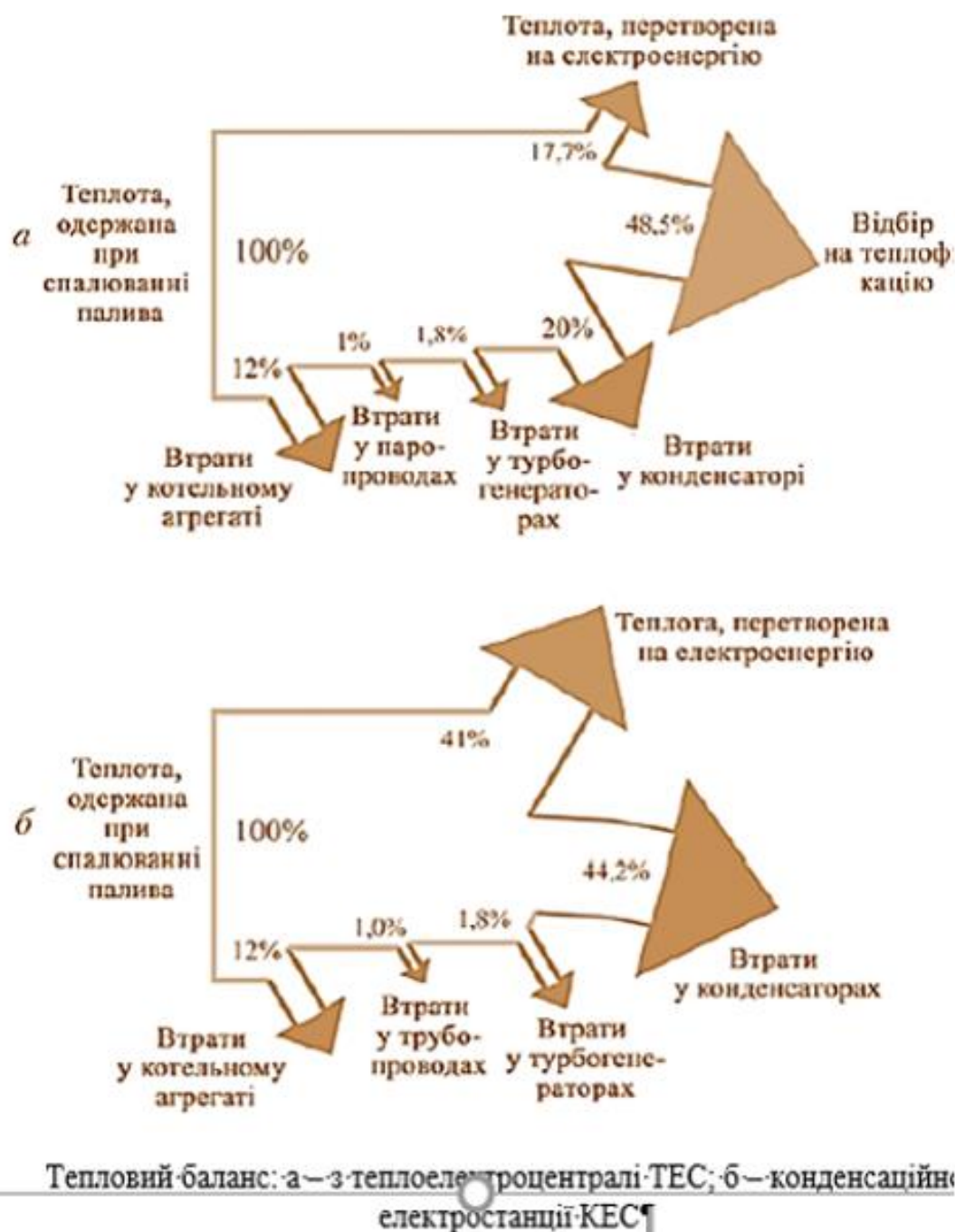
Як приклад розглянемо роботу паротурбінної теплової електростанції, що спалює природний газ та мазут.

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 [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 І РОЗДІЛОМ

Теплові електростанції перетворюють природну енергію в електричну та теплову. Вони класифікуються за джерелом енергії (викопні, 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

АЕРОДИНАМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК КОТЛОАГРЕГАТУ БКЗ-75-39-440 ФБ

Таблиця 2.1

Вихідні дані до аеродинамічного розрахунку

Газоходи Найменування	Позначення	Розмірність	Фестон	I ступінь пароперегрівача	II ступінь пароперегрівача	Поворотний	II ступінь водяного	в/підігр. р.		I ступінь водяного економізатора	I ст. в/підігр.		За економізатором
								Гази	Повітря		Гази	Повітря	
Середня температура газів	t_r	°C	824	715,5	584,9	518	450,9	321	120	223,4	0	0	180
Середня швидкість потоку	W	м/сек	4,65	5,324	6,35	7,74	7,74	10,9	3,6	7,5	0	0	
Діаметр труб із боку потоку	d	мм	60	38	38	-	32	31	40	32	0	0	
Розташ. труб щодо потоку	-	-	Шахматне	Змішане	Коридорне	-	Шахматне	Поздовжнє	Шахматне	Шахматне	-	-	
Число труб по ходу потоку	n	шт	4	$n^{\text{III}} = 4$ $N^{\text{K}} = 6$	12	-	21	$l=2,6$	48	36	0	0	
Кроки труб	S_1	мм	300	$S_1^{\text{III}} = 180$ $S_1^{\text{K}} = 90$	90	-	100	-	60	80	0	0	
	S_2	мм	250	$S_1^{\text{III}} = 180$ $S_1^{\text{K}} = 90$	80	-	55	-	42	55	0	0	
Відношення поперечного кроку до діаметру	S_1 / d	-	5,0	4,74 2,36	2,37	-	3,13	-	1,5	2,5	0	0	
Відношення поздовжнього кроку до діаметру	S_2 / d	-	4,17	3,95 2,36	2,1	-	1,72	-	1,05	1,72	0	0	

Параметр	$(S_1-d)/$ (S_2-d)	-	-	1,0	1,24	-	-	-	-	-	0		
----------	-------------------------	---	---	-----	------	---	---	---	---	---	---	--	--

Таблиця 2.2

2.1.Розрахунок тяги [4]

А. Опір газового тракту від топки до виходу газів з повітропідігрівача				
Найменування	Обозн.	Розм.	Формула	Величина
1	2	3	4	5
І. Опір фестону				
Поправковий коефіцієнт при шаховому розташуванні.	$C_s C_d$	-	[4]	$0,84 \cdot 1 = 0,84_0$
Опір одного ряду.	Δh_{zp}	Па	-	$0,28 \cdot 9,81 = 2,75$
Повний опір фестону.	Δh_I	Па	$C_s C_d$ $\Delta h_{zp} \cdot (n+1)$	$0,84 \cdot 0,28 \cdot 9,81 \cdot (4+1)$ $= 11,77$
ІІ. Опір пароперегрівача				
Перший ступінь пароперегрівача				
Опір одного ряду.	Δh_{zp}^u	Па	[4]	$0,364 \cdot 9,81 = 3,57$
Динамічний натиск.	H_g	Па	[4]	$0,85 \cdot 9,81 = 8,34$
Поправочні коефіцієнти при коридорному розташуванні;	$G_s \xi_{zp}$	-	[4]	0,52 0,555 ⁰
при шаховому розташуванні.	$C_s C_d$	-	[4]	$1 \cdot 0,95 = 0,95$
Опір І ступеня пароперегрівача	Δh_I	Па	$C_s C_d \Delta h_{zp}^u (\Pi_u + 1) +$ $C_s \xi_{zp} H_g \Pi_\kappa$	$3,2 \cdot 9,81 = 31,4_3$
Другий ступінь пароперегрівача				
Динамічний натиск.	H_g	Па	[4]	$1,9 \cdot 9,81 = 18,64$
Коефіцієнт опору при коридорному розташуванні;	ξ	-	$C_s C_{re} \xi_{zp} n$	$0,34 \cdot 1,16 \cdot 0,5 \cdot 8 = 1,58$
Опір ІІ ступеня пароперегрівача	Δh_2	Па	ξH_g	$1,58 \cdot 1,9 \cdot 9,81 = 29,43$

Поворот на 90° за пароперегрівачем				
Секундний об'єм газів	$V_{сек}$	$м^3 / сек$	$\frac{V_{3не} \cdot B(273 + t_{пот})}{3,6 \cdot 273}$	$\frac{4,19 \cdot 26,6 \cdot (273 + 713)}{3,6 \cdot 273} = 111,7$
Середня швидкість газів	W_{cp}	$м / сек$	$(\frac{1}{F_{nn}} + \frac{1}{F_{взк}}) \frac{V_{сек}}{2}$	$\frac{111,7}{2} (\frac{1}{11,7} + \frac{1}{9,01}) = 11,2$
Динаміч. натиск	H_g	$Па$	[9]	$2,3 \cdot 9,81 = 22,56$

Продовження табл. 2.2

1	2	3	4	5
Коефіцієнт опору повороту	ξ	-	[4]	1,0
Опір повороту	Δh_3	$Па$	$\xi \Delta h_3$	$1 \cdot 2,3 \cdot 9,81 = 22,56$
Загальний опір пароперегрівача з виправленням на експлуатаційні умови ($\kappa=1,2$)	Δh_{II}	$Па$	$(\Delta h_1 + \Delta h_2) \cdot \kappa + \Delta h_3$	$((3,2 + 3,0) \cdot 1,2 + 2,3) \cdot 9,81 = 95,16$
III. Опір II ступеня водяного економайзера				
Опір одного ряду	Δh_{zp}	$Па$	[4]	$0,88 \cdot 9,81 = 8,63$
Поправочні коефіцієнти при шаховому розташуванні	$C_s C_d$	-	-	$1 \cdot 1 = 1$
Опір II ступеня економайзера з поправкою на експлуатаційні умови ($\kappa=1,2$)	Δh_{III}	$Па$	$Па$ $C_s C_d \Delta h_{rp(n+1)} \cdot \kappa$	$1 \cdot 0,88 (21 + 1) \cdot 1,2 \cdot 9,81 = 227,6$
IV. Повітропідігрівач Опір входу та виходу				
Відношення перерізів	-	-	$F_2 / F_1 = F_2 F_3$	$5,46 / 13,2 = 0,414$
Коефіцієнт опору входу та виходу	ξ	-	$\xi_{вх} + \xi_{вих}$	$0,3 + 0,38 = 0,68$
Середня швидкість газів	W_{cp}	$м / сек$	$U_{3тепл.раси}$	15,6
Динамічний натиск	H_g	$Па$	[4]	$6,0 \cdot 9,81 = 58,86$

Опір входу та виходу	Δh_I	-	$\xi \cdot H_g$	$0,68 \cdot 6,0 \cdot 9,81 = 40,22$
Опір тертя				
Питомий опір тертя	Δh_{zp}	Па / м	[4]	$6,25 \cdot 9,81 = 61,31$
Поправочний коефіцієнт на шорсткість	C_ϕ	-	-	1,01
Опір тертя II ступеня повітропідігрівача	Δh_2	Па	$\Delta h_{zp} C_\phi$	$6,25 \cdot 1,01 \cdot 2,6 \cdot 9,81 = 160,88$

Продовження табл. 2.2

1	2	3	4	5
Загальний опір II ступеня повітропідігрівача з поправкою на експлуатаційні умови ($\kappa = 1,1$)	Δh_{IV}	Па	$(\Delta h_I + \Delta h_2) \cdot \kappa$	$(4,1 + 16,4) \cdot 1,1 \cdot 9,81 = 221,7$
V. I ступінь водяного економайзера				
Опір одного ряду	Δh_{zp}	Па	[4]	$0,98 \cdot 9,81 = 9,61$
Поправочні коефіцієнти при шаховому розташуванні	$C_s C_d$	-	-	$1 \cdot 1 = 1$
Опір I ступеня економайзера з поправкою на експлуатаційні умови	Δh_v	Па	$\Delta h_{zp} C_s C_d (n-1) \kappa$	$0,98 \cdot 1 (16 + 1) \cdot 2 \cdot 1,2 \cdot 9,81 = 438,5$
VII. Самотяги в опускному газоході				
Висота газоходу	H	м	За кресленням	20
Самотяги на 1м висоти	Δh_{1c}	Па / м	[4]	$0,73 \cdot 9,81 = 7,16$
Самотяги в опускному газоході	Δh_c	Па	$\Delta h_c \cdot H$	$0,73 \cdot 20 \cdot 9,81 = 136,36$
Розрядження у топці	Δh_T	-	Прийнято	$2 \cdot 9,81 = 19,62$

Загальний опір котла з урахуванням самотягу та розрядження в топці	Δh_A	$Па$	$\Sigma(\Delta h_{1-VI})\mu_j - \Delta h_{VII} + \Delta h_r$	1780
Опір газового тракту за казаном.				
Б. Опір газового тракту від виходу з економайзера до золоуловлювача				
Температура газів.	t_{cp}	$^{\circ}C$	[4]	$Па\ 180$
Секундний об'єм газів за казаном	$V_{сек}$	$м^3 / сек$	$\frac{V_{yx} \cdot B(273 + t_{yx})}{273 \cdot 3,6}$	$\frac{9,69(273 + 180)}{3,6 \cdot 273} = 54,2$
Різкий поворот на 90° із зміною перерізу				
Переріз	F_1	$м^2$	$a_1 \cdot b_1$	$1,79 \cdot 3,15 = 5,65$
	F_2	-	$a_2 \cdot b_2$	$0,85 \cdot 3,15 = 2,68$
Швидкість газів	W_2	$м / сек$	$V_{сек} / 2F_2$	$54,2 / (2 \cdot 2,68) = 10,1$
Коефіцієнт опору	ξ	-	$K_{\Delta} \xi \cdot B \cdot C$	$0,61 \cdot 1 \cdot 1 = 0,61$
Опір повороту	Δh_1	$Па$	$\xi \cdot H_g$	$0,61 \cdot 4,2 \cdot 9,81 = 25,5$
Плавний поворот на 57°				
Перетин	F	$м^2$	$a \cdot b$	$0,85 \cdot 3,15 \cdot 2 = 5,36$
Швидкість газів	W	$м / сек$	$V_{сек} / F$	$54,2 / 5,36 = 10,1$
Коефіцієнт опору	ξ	-	$0,3\alpha / 90$	$0,3 \cdot 51 / 90 = 0,19$
Опір повороту	Δh_2	$Па$	$\xi \cdot H_g$	$0,19 \cdot 4,2 \cdot 9,81 = 7,848$
Зміна перерізу ($\alpha = 42^{\circ}$ конфузор)				
Переріз	F_1	$м^2$	$a_1 \cdot b_1$	$0,85 \cdot 3,15 = 2,68_0$
	F_2	-	$a_2 \cdot b_2$	$1,5 \cdot 1,000 = 1,5$
Швидкість газів	W_2	$м / сек$	$V_{сек} / 2F_2$	$54,2 / (2 \cdot 1,5) = 18,1$
Коефіцієнт опору	ξ	-	[9]	0,1
Динамічний натиск	Hg	$Па$	[4]	$13,4 \cdot 9,81 = 131,45$
Опір зміни перерізу	Δh_3	-	$\xi \cdot H_g$	$0,1 \cdot 13,4 \cdot 9,81 = 12,75$
Плавний поворот на 65° із зміною перерізу				
Переріз	F_1	$м^2$	$a_1 \cdot b_1$	$1,5 \cdot 1,000 = 1,5$
	F_2	-	$a_2 \cdot b_2$	$2,15 \cdot 1,075 = 2,32$

Швидкість газів	W_1	$м / сек$	$V_{сек} / 2F_1$	$54,2 / (2 \cdot 1,5) = 18,1$
Коефіцієнт опору	ξ	-	[4]	$0,7 \cdot 0,81 \cdot 1,1 = 0,62$
Динамічний натиск	Hg	$Па$	[4]	$0,7 \cdot 0,81 \cdot 1,1 = 0,62$
Опір повороту	Δh_2	$Па$	$\xi \cdot H_g$	$0,6 \cdot 13,4 \cdot 9,81 = 82,4$
Загальний опір тракту від в/підігрівати. до золоуловлювача	Δh_g	-	$\Sigma \Delta h_{\mu\gamma}$	$13,2 \cdot 0,96 \cdot 9,81 = 124,6$
<i>Плавний поворот на 90°</i>				
Перетин	F	$м^2$	$2a \cdot b$	$2 \cdot 1,5 \cdot 1,2 = 3,6$
Швидкість газів	W	$м / сек$	$V_{сек} / F$	$49 / 3,6 = 13,6$
Коефіцієнт опору	ξ	-	-	0,3
Опір повороту	Δh_1	$Па$	$\xi \cdot H_g$	$0,3 \cdot 9,4 \cdot 9,81 = 27,47$
<i>Різкий поворот на 15°</i>				
Перетин	F	$м^2$	$a \cdot b$	$1,5 \cdot 1,2 = 1,8$
Швидкість газів	W	$м / сек$	$V_{сек} / F$	$49 / 3,6 \cdot 2 = 13,$
Коефіцієнт опору	ξ	-	$1,4B_C$	$1,4 \cdot 0,07 = 0,1$

Продовження табл.2.2

1	2	3	4	5
Опір повороту	Δh_2	$Па$	$\xi \cdot H_g$	$0,1 \cdot 9,4 \cdot 9,81 = 8,83$
<i>Різкий поворот на 15°</i>				
Перетин	F	$м^2$	$a \cdot b$	$2,1 \cdot 0,9 = 1,89$
Швидкість газів	W	$м / сек$	$V_{сек} / F$	$49 / 1,89 \cdot 2 = 12,9$
Коефіцієнт опору	ξ	-	$1,4B_C$	$1,4 \cdot 0,07 = 0,1$
Динамічний натиск	H_g	$Па$	[4]]	$7,7 \cdot 9,81 = 75,54$
Опір повороту	Δh_3	$Па$	$\xi \cdot H_g$	$0,1 \cdot 7,7 \cdot 9,81 = 7,848_0$
<i>Плавний поворот на 45 ° °</i>				
Перетин	F	$м^2$	$a \cdot b$	$2,1 \cdot 0,9 = 1,89$
Опір повороту	Δh_4	$Па$	$\xi \cdot H_g$	$0,15 \cdot 7,7 \cdot 9,81 = 11,77$

Загальний опір тракту від золоуловлювача до димососу	Δh_r	-	$\Sigma \Delta h_{1-4} \mu\gamma$	$5,7 \cdot 0,955 \cdot 9,81 = 52,97$
В. Золоуловлювач				
Перетин патрубків, що підводять, до збірного короба золоуловлювача.	$F_{підв}$	m^2	-	$10,0 \cdot 1,2 = 12,0$
Переріз подовжній	$F_{підв}$	m^2	-	$17,0 \cdot 1,2 = 20,4$
Перетин патрубків, що відводять	$F_{отв}$	m^2	-	$4 \cdot 1,2 \cdot 1,51 = 7,32$
Коеф. опору виходу при $F_{підв} / F_k = 0,59$	$\xi_{вих}$	-	[4]	0,2
Коеф. опору входу при $F_{отв} / F_k = 0,36$	$\xi_{вх}$	-	[4]	0,32
Наведений коефіцієнт. опору виходу	$\xi_{вих}$	-	$\xi_{вих} (F_{отв} / F_{підв})^2$	$0,2 \cdot (7,32 / 12,0)^2 = 0,07$
Коеф. опору коліна 90° із закругленими кромками перед входом у золоуловлювач	$\xi_{пов}$	-	[4]	0,3
Швидкість у газопроводі	ω	$m / сек$	$V_{сек} / F_{отв}$	$\frac{47,39}{7,32} = 6,474$
Опір ділянки	$\Delta h_{уч}$	$Па$	$\Sigma \xi \cdot h_0$	$(0,32 + 0,07 + 0,3) \cdot 8,1 \cdot 9,81 = 55$
Опір власне електрофільтрів	Δh_{ef}	$Па$	[4]	15
Кількість елементів.	n	-	[4]	$256 \cdot 2 = 512$
Розрахунковий переріз всіх елементів $\varnothing 250 \text{ мм}$	F_0	m^2	$0,05 \cdot n$	$0,05 \cdot 512 = 25,6$
Розрахункова швидкість	ω_0	$m / сек$	$V_{сек} / F_0$	$\frac{47,39}{25,6} = 1,85$
Коеф. опору циклонів	ξ_l	-	[4]	90

Опір циклонів	$\Delta h_{\text{ц}}$	Па	$\xi_{\text{л}} \cdot h_0$	$90 \cdot 0,68 \cdot 9,81 = 600,37 \text{ } 90 \cdot$
Сумарний опір золоуловлювача	$\Sigma \Delta h_{\text{зу}}$	Па	$\Delta h_{\text{еф}} + \Delta h_{\text{ц}}$	$(15 + 61,2) \cdot 9,81 = 747,52$
¹ Встановлено двоступінчастий комбінований золоуловлювач ДВП – 2*16,5 – бц.[4]				
Г. Ділянка вихід із золоуловлювача – вхід у димосос				
Коеф. опору двох колін 90° із закругленими кромками на виході із золоуловлювача	$\Sigma \xi_{\text{пов}}$	-	$2 \cdot \xi_{90}$	$2 \cdot 0,3 = 0,6$
Швидкість у повороті 2	ω	м/сек	$\frac{V_{\text{Д}}^1}{4 \cdot F_{\text{ВЫХ}}}$	$\frac{105,5}{4 \cdot 1,41 \cdot 1,41} = 13,2$
Переріз збираючого газопроводу симетричного трійника	$F_{\text{С}}$	м ²	$0,785 \cdot dC_2$	$0,785 \cdot 1,952 = 2,98$
Швидкість у газопроводі	$\omega_{\text{С}}$	м/сек	$\frac{V_{\text{Д}}^1}{4 \cdot F_{\text{С}}}$	$\frac{105,5}{2 \cdot 2,98} = 17,7$
Ставлення	$\omega / \omega_{\text{С}}$	-	-	$13,2 / 17,7 = 0,75$
Ставлення	$\frac{F_{\text{вих}}}{F_{\text{С}}}$	-	-	$\frac{1,41 \cdot 1,41}{2,98} = 0,67$
Коеф. опору симетричного трійника, що збирає	ξ_0	-	[4]	0,30
Опір ділянки до загального газопроводу	$\Delta h_{\text{дл}}$	Па	$(\Sigma \xi_{\text{пов}} + \xi_0) \cdot h_0$	$(0,6 + 0,30) \cdot 8,1 \cdot 9,81 = 71,613$
Коеф. опору зварного коліна	ξ_{45}	-	$\xi_{90} \cdot 45 / 90$	$0,4 \cdot 45 / 90 = 0,20$
Коеф. опору тертя	λ	-	[4]	0,02
Довжина газопроводу	l	м	За кресленням	33
Переріз збірного каналу трійника	$F_{\text{С}}$	м ²	-	$1,95 \cdot 1,95 = 3,80$

Перетин відгалуження симетричного трійника, що роздає.	F_0	m^2	$F_0 \approx F_c / 2$	$1,95 \cdot 0,99 = 1,93$
Відношення швидкостей	ω_0 / ω_c	-	$F_c / 2 \cdot F_0$	$3,80 / (2 \cdot 1,93) = 0,98$
Коеф.	ξ_0	-	[4]	0,1
Коеф. неврахованих опорів	ξ_n	-	[4]	$3 \cdot 0,05 = 0,15$
Опір ділянки до входу в димосос	$\Delta h_{уч}$	Па	$\left[\lambda \cdot \frac{l}{d} + \xi_{45} + (\xi_n + \xi_0) \cdot \left(\frac{\omega_0}{\omega_c} \right)^2 \right] \cdot h_d$	110,85

² Газопроводи за золоуловлювачем розраховуються за температурою та обсягом газів перед димососом. Об'єм та температура газів перед димососом визначені з урахуванням присосів в електрофільтрі та газопроводі.

Д. Опір тракту від димососа до димової труби

Дифузор ($l = 4m$)

Переріз	F_1	m^2	$a_1 \cdot b_1$	$1,2 \cdot 1,4 = 1,68$
	F_2	-	$a_2 b_2$	$2,5 \cdot 1,5 = 3,75$
Ставлення			l / a_1	$4 / 1,2 = 3,33$
Коефіцієнт опору	ξ	-	[4]	0,15
Швидкість газів у перерізі F_1	W_1	м / сек	$V_{сек} / F_1$	$49 / 1,68 = 29,2$
Опір дифузора	Δh_1	Па	$\xi \cdot H_g$	$0,15 \cdot 39,4 \cdot 9,81 = 57,9$
Плавний поворот на 45°				
Перетин	F	m^2	$a \cdot b$	$1,5 \cdot 2,5 = 3,75$
Швидкість газів	W	м / сек	$V_{сек} / F$	$49 / 3,75 = 13,1$
Коефіцієнт опору	ξ	-	$0,3 \alpha / 90$	$0,3 \cdot 45 / 90 = 0,15$
Динамічний натиск	H_g	Па	[4]	$8,0 \cdot 9,81 = 78,48$
Опір повороту	Δh_2	-	$\xi \cdot H_g$	$0,15 \cdot 8,0 \cdot 9,81 = 11,77$

Плавний поворот на 90°					
Перетин		F	m^2	$a \cdot b$	$1,5 \cdot 2,5 = 3,75$
Швидкість газів		W	$m / сек$	$V_{сек} / F$	$49 / 3,75 = 13,1$
Коефіцієнт опору		ξ	-	$0,34 / 90$	0,3
Динамічний натиск		H_g	$Па$	[4]	$8,0 \cdot 9,81 = 78,48$
Опір повороту		Δh_2	-	$\xi \cdot H_g$	$0,3 \cdot 8,0 \cdot 9,81 = 23,54$
Трійник, що збирає, на 45°					
Перері з	Проходу	F_n	m^2	$a_1 \cdot b_1$	$1,5 \cdot 2,5 = 3,75$
	Сторона. відп.	F_6	-	$a_2 b_2$	$2,3 \cdot 5,0 = 11,5$
Швидкість газів		W	$m / сек$	$V_{сек} / F$	$49 / 3,75 = 13,1$
Коефіцієнт опору		ξ	-	[4]	0,6
пір збираючого трійника		Δh_3	$Па$	$\xi \cdot H_g$	$0,6 \cdot 8,0 \cdot 9,81 = 47,09$
Загальний опір тракту від димососа до труби		Δh_r	$Па$	$\Sigma \Delta h_{1-3} \mu \gamma$	$13,6 \cdot 9,81 = 133,42$
Е. Димова труба					
Висота труби (розрах.)		$H_{росч}$	$м$	Задано	120
Діаметр труби		$d_{уст}$	-	-	3,6
Вхід у трубу					
Перетин		F	m^2	$a \cdot b$	$2,3 \cdot 5,0 = 11,5$
Швидкість газів		W	$m / сек$	$V_{сек} / F$	$2 \cdot 49 / 11,5 = 8,5$
Коефіцієнт опору		ξ	-	-	1,0
Опір входу		Δh_1	$Па$	$\xi \cdot H_g$	$1 \cdot 3,4 \cdot 9,81 = 33,35$
Висота диму. труби		H	$м$	$H_{пол} - \Delta h$	$120 - 7,8 = 112,2$

Продовження табл. 2.2

1	2	3	4	5
Опір тертя та виходу з труби				
Діаметр гирла	d	$м$	-	3,6
Ухил труби	i	-	$(d - d_n) / 2H$	$(14 - 3,6) / 112,2 = 0,0281$

Секундний об'єм газів	$V_{сек}^2$	$м / сек$	$3 V_{сек}$	$3 \cdot 49 = 147,0$
Швидкість газів	W	$м / сек$	$V_{сек} / F$	$147 / 0,785 \cdot 32 = 20,8$
Динамічний натиск	H_g	$Па$	[4]	$20,1 \cdot 9,81 = 197,18$
Опір тертя та виходу з димової труби	Δh_2	$Па$	$\left(\frac{0,004}{l} + \xi_{\text{вых}} \right) \cdot H_g$	$\left(\frac{0,004}{0,0281} + 1,1 \right) \cdot 11 \cdot 9,81 = 134,06$
<i>Самотяга</i>				
Самотяга 1м висоти	Δh_c	$Па / м$	[4]	$0,34 \cdot 9,81 = 3,335$
Самотяг труби	Δh_c	$Па$	$\Delta h_c H$	$0,34 \cdot 59,4 \cdot 9,81 = 198,16$
Висота труби	H	$м$	-	59,4
Загальний опір труби без урахування самотягу	Δh_E	$Па$	$(\Delta h_1 + \Delta h_2) \mu \gamma$	$29,8 \cdot 9,81 = 292,34$
Загальний опір газового тракту котельної установки	Δh_{κ}	$Па$	$\Delta h_A + \Delta h_c - \Delta h_r + \Delta h_B + \Delta h_r + \Delta h_D + \Delta h_E - \Delta h_c^9 - \Delta h_c + \Delta h_r$	$285,5 \cdot 9,81 = 2800,8$
<i>Вибір димососу</i>				
Розрахункова продуктивність димососа із запасом 5%	$Q_{розр}$	$м^3 / год$	$1,05 V_{сек} 3600$	$1,05 \cdot 49 \cdot 3600 = 185 \cdot 103$
Розрахунковий опір із запасом 10%	$H_{розр}$	$Па$	$1,1 \cdot \Delta h_{\kappa}$	$1,1 \cdot 285,5 \cdot 9,81 = 3080,34$
Поправочний коефіцієнт	κ_{γ}	-	$\frac{\gamma_a^B}{\gamma_a^T} \cdot \frac{\tau_g}{\tau_{кар}}$	$\frac{1,293}{1,235} \cdot \frac{273 + 116}{273 + 200} = 0,864$
Наведений натиск	$H_{розр}^{np}$	$Па$	$\kappa_{\gamma} H_{розр}$	$0,864 \cdot 314 \cdot 9,81 = 2658,5$
Тип димососу	-	-	[4]	Д 15½х2
Число обетів	n	$об / хв$		730
<i>Розрахунковий режим</i>				
Продуктивність	Q_p	$м^3 / год$	-	184103
Натиск	H_p	$Па$	-	$314 \cdot 9,81 = 3080,34$
ККД	ζ	%	-	63

Потужність на валу	N_{ϵ}	κBm	$Q_p H_p / 3760 \zeta$	$\frac{184 \cdot 10^3 \cdot 314}{3760 \cdot 652} = 153,7$
Потужність електродвигуна	N_m	-	$1,1 N_{\epsilon}$	$1,1 \cdot 153,7 = 169$

ВИСНОВКИ ЗА 2 РОЗДІЛОМ

При аеродинамічного розрахунку був здійснений розрахунок тяги, де визначались: опір газового тракту від топки до виходу газів з повітропідігрівача (опір фестону, опір пароперегрівача, опір I і II ступеня водяного економайзера, параметри опору повітропідігрівача, самотяги в опускному газоході); опір газового тракту за казаном (опір газового тракту від виходу з економайзера до золоуловлювача, параметри золоуловлювача, ділянка вихід із золоуловлювача – вхід у димосос, опір тракту від димососа до димової труби, параметри димової труби з вибором димососу.

РОЗДІЛ 3

ОХОРОНА ПРАЦІ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТУРБО ТА КОТЛОАГРЕГАТИВ.

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.

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 ізолювані і покриті листовою сталлю або алюмінієм для запобігання просочуванню масла.

Ключові моменти включають: забезпечення рівномірного нагріву і вільного теплового розширення, запобігання місцевому охолодженню, надійне охолодження, теплоізоляцію і вибухозахисні пристрої. Пальникові пристрої повинні забезпечувати безпечну та економічну роботу, а контроль

якості зварювання та зварних з'єднань передбачає атестацію персоналу, інспекцію та неруйнівний контроль. Котли повинні бути обладнані запобіжними пристроями, запірною та регулюючою арматурою, пристроями електроживлення. Конструкція повинна передбачати наявність необхідної арматури, контрольно-вимірювальних приладів і засобів автоматизації.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В даній роботі був здійснений аеродинамічний розрахунок котлоагрегату міні ТЕЦ. При аеродинамічного розрахунку був здійснений розрахунок тяги, опір газового тракту за казаном. Крім того, в роботі був здійснений розрахунок дуття, де визначались: (параметри всмоктуючого тракта вентилятора, опір тракту від вентилятора до повітропідігрівача, опір повітропідігрівача, опір тракту гарячого повітря тощо). Всі ці розрахунки є підґрунтям для забезпечення належної надійності та міцності елементів котельних установок

У кваліфікаційній роботі викладено питання охорони праці під час експлуатації котельних установок з акцентом на вимоги до проектування, будівництва, реконструкції та експлуатації для забезпечення надійності та безпеки. Ключові моменти включають: забезпечення рівномірного нагріву і вільного теплового розширення, запобігання місцевому охолодженню, надійне охолодження, теплоізоляцію і вибухозахисні пристрої.

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.: Каменярь, 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-