

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Розрахунок викидів на ТЕС

Є.В. Новаківський

**Навчальний посібник
для виконання розрахункової роботи**

Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського,
як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра
за спеціальністю 142 «Енергетичне машинобудування»
освітньо-професійної програми «Інженерія і комп'ютерні технології
теплоенергетичних систем»

Електронне мережне навчальне видання

КИЇВ
“КПІ ім. Ігоря Сікорського”
2022

Рецензент: Риндюк Д. В., канд. техн. наук, доц., КПІ ім. Ігоря Сікорського

Відповідальний редактор: Туз В. О., док.техн. наук., проф., КПІ ім. Ігоря Сікорського

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
(протокол № 3 від 26.10.2023 р.)*

*за поданням Вченої ради теплоенергетичного факультету
(протокол №3 від 01.12.2022 р.)*

Енергетика є основою розвитку сучасного суспільства. На долю теплової енергетики приходить до 30% всіх викидів в світі. Саме тому дисципліна захист навколишнього середовища актуальною для студентів енергетичного напрямку.

Даний навчальний посібник спрямовано на ознайомлення здобувачів з основними методиками розрахунку об'ємів викидів шкідливих речовин та їх концентрації в продуктах згорання при спалюванні твердих органічних палив на енергетичних та промислових об'єктах. В роботі стисло описано основне обладнання для уловлення твердих часток, методи уловлення та пригнічення шкідливих речовин що утворюються при спалюванні органічних палив.

Посібник орієнтовано на студентів 3 та 4 курсів технічних університетів, що навчаються за спеціальністю 142 «Енергетичне машинобудування» та 144 «Теплоенергетика».

.

Реєстр № **НП ХХ/ХХ-XXXX** Обсяг 1,67 авт.арк.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Проспект Перемоги, 37, м. Київ, 03056
<http://kpi.ua>

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів
видавничої продукції ДК № 5354 від 25.05.2017 р.

© Є.В.Новаківський
© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022

Зміст

Вступ.....	4
1. Завдання та оцінювання розрахункової роботи.....	5
1.1 Графік виконання та оцінювання розрахункової роботи.....	5
1.2 Вибір варіанта.....	6
1.2.1 Приклад вибору початкових даних згідно варіанту.....	8
1.3 Оформлення розрахункової роботи	8
2. Вибір основного обладнання станції.....	9
3. Розрахунок об'ємів викидів продуктів згорання.....	10
3.1 Розрахункові характеристики палива.	10
4. Сіркоуловлюючі системи.....	12
4.1 Оцінка викидів оксиду сірки.....	12
5. Розрахунок викидів оксидів азоту.	15
6. Розрахунок золоуловлюючих систем.....	23
6.1 Розрахунок пилоосадної камери.....	24
6.2 Розрахунок батарейного циклона.....	26
6.3 Розрахунок мокрих золоуловлювачів.	31
6.3.1 Визначення діаметра краплевловлювача.....	33
6.4 Вибір та розрахунок електрофільтра.	36
6.4.1 Приклад розрахунку.	41
6.5 Сумарна очистка від твердих часток.....	48
7. Розсіювання в атмосфері викидів електростанцій.	49
7.1 Димові труби.....	49
8. Приклад висновку розрахункової роботи	55
.....	56
Висновок	
Список використаних джерел.....	57
Додатки.....	58
Додаток А Турбіни та котли теплових електричних станцій.....	58
Додаток Б. Гранично допустимі концентрації забруднених речовин в атмосферному повітрі населених місць	63

Вступ

Навчальний посібник призначено для студентів теплоенергетичного факультету спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування», освітньо-професійної програми «Інженерія і комп'ютерні технології теплоенергетичних систем».

Метою розрахункової роботи є розрахунок об'ємів викидів шкідливих забруднюючих речовин від електричної станції, вибір методів уловлення та пригнічення утворення NO_x та SO_x , та розрахунок і вибір золоуловлюючого обладнання та димової труби.

В навчальному посібнику стисло викладені питання, необхідні для виконання розрахункової роботи з дисципліни «Захист навколишнього середовища».

В навчальному посібнику розглянуто основи розрахунку об'ємів димових газів та основних забруднюючих речовин при спалюванні твердого палива, підбору основного обладнання ТЕЦ або КЕС, розрахунок та підбір обладнання для очищення димових газів і зниження концентрації забруднюючих речовин.

Перед виконанням розрахункової роботи студентам рекомендується ознайомитись з відповідними розділами дисципліни за джерелами, наведеними у переліку посилань, тому що методичні вказівки містять головним чином тільки відомості, необхідні для практичного застосування відповідних теоретичних методів.

Кожний студент виконує свій варіант розрахункової роботи. У розрахунковій роботі передбачається виконання типового розрахунку, програма якого однакова для усіх студентів та індивідуального в виборі того чи іншого методу (технології) очищення димових газів від забруднюючих речовин, та типу обладнання, необхідного для заданої потужності станції.

В процесі виконання розрахункової роботи студенти набувають практичних навичок з розрахунку об'ємів викидів забруднюючих речовин, розрахунку та підбору типового обладнання для різних золоуловлюючих пристроїв, розрахунку та підбору кількості димових труб зі стандартного модельного ряду, які забезпечують гранично концентрацію забруднюючих речовин на рівні людського росту при повній потужності енергогенеруючого обладнання.

1. Завдання та оцінювання розрахункової роботи

1.1 Графік виконання та оцінювання розрахункової роботи

Мета введення індивідуального завдання до розрахункової роботи – розвинути та удосконалити навички теоретичних досліджень та більш глибоко вивчити окремі розділи курсу «Захист навколишнього середовища». При виконанні індивідуального завдання студент повинен виявити максимум самостійності, приймати найбільш доцільні, на його думку, рішення, та при захисті розрахункової роботи відстоювати їх доцільність.

Розрахункова робота виконується продовж навчального семестру у вигляді окремих практичних робіт на практичних заняттях пов'язаних між собою. Графік виконання окремих частин розрахункової роботи наведено в таблиці 1.1 Робота оформлюється в друкованому вигляді на листах А4

Рейтингова оцінка з розрахункової роботи має дві складові. Перша (стартова) характеризує роботу студента під час виконання розрахункової роботи та її результат – вчасність виконання розрахункової роботи та оформлення пояснювальної записки. Друга складова характеризує якість захисту студентом розрахункової роботи.

Розмір шкали стартової складової дорівнює 40 балів, а складової захисту – 60 балів.

1. Стартова складова:

- своєчасність виконання графіка роботи з розрахункової роботи – 12-7 балів;
- сучасність та обґрунтування прийнятих рішень – 12-7 балів;
- правильність застосування методів аналізу і розрахунку – 10-6 балів;
- якість оформлення, виконання вимог нормативних документів – 6-4 балів;

2. Складова захисту розрахункової роботи:

- якість доповіді – 10-6 балів;
- ступінь володіння матеріалом – 15-9 балів;
- ступінь обґрунтування прийнятих рішень – 15-9 балів;
- вміння захищати свою думку – 20-12 балів.

Таблиця 1.1

Графік виконання розрахункової роботи

Тиждень семестру	Назва етапу роботи
1	Отримання теми та завдання
2	Підбор та вивчення літератури
3	Підбір основного обладнання КЕС
4	Розрахунок об'ємів продуктів згорання
5	Розрахунок об'ємів та концентрації шкідливих продуктів згорання
6	Розрахунок пилоосадної камери
7	Розрахунок батарейних циклонів
	Розрахунок мокрого скрубера
8	Розрахунок електрофільтра
	Підбір димової труби
9	Подання розрахункової роботи на перевірку
	Захист розрахункової роботи

1.2 Вибір варіанта

Варіант обирається по номеру залікової книжки та першій букві прізвища згідно таблиці 1.1.

—

Таблиця 1.2

Завдання на розрахункової роботи з дисципліни «Захист навколишнього середовища»

Перша буква прізвища	№ палива [1]	α від. коеф. надлишку Повітря	Коеф. корисної дії блока	Номер заліковки	Електричн а потужність N ел. МВт	Питомий час роботи сіркоуловлюючих систем n_c/n_k	Габарити пилоосадної камери Висота/ширина /довжина м	Темпера- тура видаляє- мих димових газів
А,П	1	1.45	35	1 /17	800	0.5	3/4/6	150
Б,Р	2	1.48	34	2 /18	600	0.6	3/3/7	170
В,С	3	1.45	33	3 /19	900	0.7	4/4/5	140
Г,Т	4	1.35	35	4 /20	600	0.6	3/4/6	135
Д,У	5	1.52	34	5 /21	500	0.9	4/3/5	160
Е,Ф	6	1.39	36	6 /22	700	0.85	3/4/6	135
Є,Х	7	1.38	34	7 /23	500	0.65	3/4/6	140
Ж,Ц	8	1.38	37	8 /24	220	0.55	3/3/6	145
З,Ч	9	1.43	35	9 /25	300	0.75	2/4/6	150
І,Ш	10	1.45	35	10 /26	450	0.5	3/4/6	155
Й,Щ	11	1.38	33	11 /27	500	0.6	2/4/5	160
К,Ю	12	1.42	32	12 /28	400	0.7	3/4/6	165
Л,Я	13	1.50	37	13 /29	600	0.65	3/3/76	140
М	14	1.37	34	14 /30	900	0.8	3/4/5	150
Н	15	1.35	35	15 /31	600	0.75	4/4/4	160
О	16	1.43	34	16 /32	800	0.9	3/4/5	165

1.2.1 Приклад вибору початкових даних згідно варіанту

Для прикладу вихідні данні для розрахунку обрані згідно таблиці 1.2 для першої літери прізвища Г та номеру залікової книжки (студентського квитка) з останніми цифрами 20

Паливо: № 4 (Читинське вугілля марки Г) [1]

Потужність блока 600 МВт

Коефіцієнт надлишку повітря $\alpha=1.35$

Коефіцієнт корисної дії блоку 35 %

Питомий час роботи сіркоуловлюючих систем 0.6

Температура вихідних газів 160°C

Габарити пилоосадної камери

Висота/ширина/довжина пилоосадної камери, м 3/4/6 відповідно

1.3 Оформлення розрахункової роботи

Розрахункової робота оформлюється на листах А4, 14 шрифтом Times New Roman або Arial з полуторним інтервалом. Приклад розрахунку та оформлення наведено в розділах 2-7

2. Вибір основного обладнання станції

Обираємо основне обладнання згідно додатку А, таблиці А.1 та А.2 [2]. Для електростанції потужністю 600 МВт обираємо три турбіни К-200-130У. Котли обираємо по витраті пари на турбіну (таблиці А.2) з розрахунку 3-3,5 кг пари на 1 кВт·год. встановленої потужності. Пропонується потужність станції поділити на три блоки по 200 мВт.

Витрата пари на турбіну потужністю 200 мВт складатиме:

$$G=3 \cdot N=3 \cdot 200000=600 \text{ т/год} \quad (2.1)$$

де N – потужність турбіни в кВт.

Згідно витрати пари обираємо котел Еп 640/140

Основне обладнання станції складає три моноблока з турбіною К-200-130У та котлом Еп 640/140 кожний

3. Розрахунок об'ємів викидів продуктів згорання

3.1 Розрахункові характеристики палива.

В таблицю 3.1 заносимо характеристики палива які обираються по номеру згідно джерела [1]

Таблиця 3.1

Характеристики твердого палива

<u>Читинський вугіль марки «Г»</u>								Низша теплота згорання
Вміст палива %								
W ^p	A ^p	S _к ^p	S _{ор} ^p	C ^p	H ^p	N ^p	O ^p	Q _н ^p
8.0	9.2	0.6		67.9	4.7	0.8	8.8	4190 Ккал/кг= =17560 КДж/кг

Теоретична кількість повітря, що потрібне для спалювання палива:

$$V^0 = 0.0889 \times K^p + 0.265 \times H^p - 0.033 \times O^p = 0.0889 \times 68.125 + 0.265 \times 4.7 - 0.033 \times 8.8 = 7.01 \text{ м}^3 / \text{кг} \quad (3.1)$$

$$\text{де } K^p = C^p + 0.375 \times S^p = 67.9 + 0.375 \times 0.6 = 68.125\%$$

Теоретичний об'єм азоту:

$$V_{N_2}^0 = 0.79 \cdot V^0 + 0.8 \frac{N^p}{100} = 0.79 \cdot 7.01 + 0.8 \cdot \frac{0.8}{100} = 5.54, \left(\text{м}^3 / \text{кг} \right) \quad (3.2)$$

Об'єм двоокису вуглецю :

$$V_{CO_2} = 1.866 \frac{C^p}{100} = 1.866 \frac{67.9}{100} = 1.26, \left(\text{м}^3 / \text{кг} \right) \quad (3.3)$$

Об'єм оксиду сірки

$$V_{SO_2} = 0.7 \frac{S^p_{op+\kappa}}{100} = 0.7 \frac{0.6}{100} = 0.0042, \left(\text{м}^3 / \text{кг} \right) \quad (3.4)$$

Об'єм трьохатомних газів в продуктах згорання:

$$V_{RO_2} = 1.866 \cdot \frac{C^p + 0.375 S^p_{op+\kappa}}{100} = 1.866 \cdot \frac{67.9 + 0.375 \cdot 0.6}{100} = 1.27, \left(\text{м}^3 / \text{кг} \right) \quad (3.5)$$

Теоретичний об'єм водяних парів:

$$V_{H_2O}^0 = 0.111 \cdot H^p + 0.0124 \cdot W^p + 0.0161 \cdot V^o = 0.111 \cdot 4.7 + 0.0124 \cdot 8.0 + 0.0161 \cdot 7.03 = 0.73, \left(\text{м}^3 / \text{кг} \right) \quad (3.6)$$

Дійсний об'єм водяних парів:

$$V_{H_2O} = V_{H_2O}^0 + 0.0161 \cdot (\alpha_{вих} - 1) \cdot V^0 = 0.73 + 0.0161 \cdot (1.35 - 1) \cdot 7.01 = 0.77, \left(\text{м}^3 / \text{кг} \right) \quad (3.7)$$

де $\alpha_{вих}$ – коефіцієнт надлишку повітря за останньої ступеню нагріву котла.

Об'єм сухих газів:

$$V_{\varepsilon} = V_{RO_2} + V_{N_2}^0 = 1.27 + 5.54 = 6.81, \left(\text{м}^3 / \text{кг} \right) \quad (3.8)$$

Повний об'єм продуктів згорання:

$$\begin{aligned} V_{\varepsilon} &= V_{RO_2} + V_{N_2}^0 + V_{H_2O} + (\alpha_{вих} - 1) \cdot V^0 = \\ &= 1.27 + 5.54 + 0.77 + (1.35 - 1) \cdot 7.01 = 10.03, \left(\text{м}^3 / \text{кг} \right) \end{aligned} \quad (3.9)$$

4. Сіркоуловлюючі системи

При оцінці викидів оксидів сірки по-перше задаються типами сіркоуловлення та золоуловлення. У випадку сухих систем золоуловлення (батареїні циклони та електрофільтр) вибираються сухі системи сіркоуловлення для мокрих систем золоуловлення (мокрі скрубера та мокрий електрофільтр) мокрі системи золоуловлення. Характеристика сухих та напівсухих методів десульфації димових газів наведена в таблиці 4.1 [3] та вологий способів наведена в таблиці 4.2 [3].

4.1 Оцінка викидів оксиду сірки

Масові викиди оксидів сірки оксидів:

$$M_{so_2} = 0.02 \cdot B \cdot S^p \cdot (1 - \eta_{so_2}^l) \cdot (1 - \eta_{so_2}^c \cdot \frac{n_c}{n_k}) \cdot (1 - \eta_{so_2}^m \cdot \frac{n_c}{n_k}), \quad (4.1)$$

Де B - витрата натурального палива, кг/с

$$B = \frac{3600 \cdot E}{Q_n^p \cdot \eta} \quad (4.2)$$

Де E - потужність станції, МВт ; Q_f^p - нижча теплота згорання палива, МДж/кг
 η - середній ККД блоків станції.

або B - витрата натурального палива, т/г

$$B = \frac{E \cdot n_{pik}}{Q_n^p \cdot \eta \cdot 1000} \quad (4.3)$$

n_{pik} - кількість годин роботи електростанції за рік, обирається в залежності

від потужності блоків, типу котлів та турбін:

для базових блоків - 6.5 – 8 тис.год/рік,

для полупікових блоків – 4.5 – 6.5 тис.год/рік,

для пікових блоків – 3-4.5 тис.год/рік.

S^p - вміст сірки в паливі, %

$\eta_{so_2}^l$ - частка SO₂ що зв'язується летючою золою в котлі, $\eta_{so_2}^l = 0.2$

$\eta_{so_2}^c$ - частка SO₂, що вловляється сухими методами очистки, обираємо

згідно таблиці 4.1*,

$\eta_{so_2}^m$ - частка SO₂, що уловлюється мокрими скруберами, обираємо згідно таблиці 4.2*

* Обирається один з двох методів.

n_c - кількість годин що працювала система сіркоуловлення на котлі;

n_k час праці котла.

n_c / n_k - питомий час роботи сіркоуловлюючих систем приймаємо згідно варіанту.

Таблиця 4.1

Загальна ефективність сухих та напівсухих методів десульфації димових газів [3]

Технологія	Ефективність уловлення SO ₂ , %	Основні характеристики	
		Параметри	Значення
Сухе введення сорбенту у топку	90...95	Робоча температура	800...900
		Сорбент	Вапняк
		Надійність	99.9
		Падіння ККД котла	2%
		Енергоспоживання % ел. Потужності	0.01-0.5
		Продукт	Суміш солей кальцію та золи

Таблиця 4.2

Десульфатія димових газів у мокрому скрубєрі вапняком [3].

Технологія	Ефективність уловлення SO ₂	Основні характеристики	
		Параметр	Значення
Мокрий скрубєр (сорбент вапно/вапняк)	90...95	Робоча температура	50-80
		Сорбент	Вапно- вапняк
		Енергоспоживання	Потужність 1-3%
		Падіння тиску	2-3 кПа
		Надійність	97-99%
		Відношення Ca/S	1.1-1.6
		Час перебування	10 с
		Тривалість роботи футеровки	> 10 років
		Ефективність видалення SO ₃	< 50 %
		Ефективність видалення HCl	98%
		Ефективність видалення HF	99% в абсорбері
		Ефективність видалення твердих частинок	> 50% в залежності від частинок
		Субпродукт	Гіпс
		Чистота гіпсу	95-99%

За формулами 4.1-4.3 наведено приклад розрахунку викидів сірки кг/с та т/рік.

Витрата натурального палива:

$$B = \frac{E}{Q_H^p \cdot \eta} = \frac{600}{0.35 \cdot 17.56} = 97.65, (\text{кг} / \text{с}) .$$

$$B = \frac{3600 \cdot E \cdot n_{\text{рік}}}{1000 \cdot Q_H^p \cdot \eta} = \frac{3600 \cdot 600 \cdot 7000}{1000 \cdot 17.56 \cdot 0.35} = 2460.68, (\text{тис.т} / \text{рік})$$

Обираємо мокрий скруббер з додаванням вапна в якості сорбенту. Надійність уловлення SO_2 складає 90-95%. Енергоспоживання методу 1-3% від потужності блоку.

$\eta_{SO_2}^m$ - частина, уловлена сухими циклонними електрофільтрами: $\eta_{SO_2}^m = 0.9$

$\frac{n_c}{n_k} = 0.6$ питомий час роботи сіркоуловлюючої системи.

$\eta_{SO_2}^c$ - частина, яка переробляється в золоочисному апарату: $\eta_{SO_2}^c = 0$;

$$M_{SO_2} = 0.02 \cdot 97.65 \cdot 0.6 \cdot (1 - 0.2) \cdot (1 - 0.9 \cdot 0.6)(1 - 0) = 0.431, \left(\frac{кг}{с} \right) = 431, \left(\frac{г}{с} \right).$$

Концентрація оксидів сірки в димових газах:

$$C_{SO_2} = \frac{M_{SO_2}}{B \cdot V_z} = \frac{431}{97.65 \cdot 10.03} = 0.44, \left(\frac{г}{м^3} \right) = 440, \left(\frac{мг}{м^3} \right). \quad (4.4)$$

5. Розрахунок викидів оксидів азоту.

Оцінки базуються на емпіричних формулах з помилкою викиду 15-20%.

Маса викидів діоксида азоту (в перерахунку на NO_2), M_{NO_2} , т/год., г/с

$$M_{NO_2} = B \cdot K_{NO_2} \cdot Q_H^P \cdot (1 - \beta), \quad (5.1)$$

де B - витрата палива, тис. $м^3/год.$, т/год., $м^3/с$, кг/с;

Q_H^P - теплота згорання палива, МДж/ $м^3$, МДж/кг;

K_{NO_2} - параметр, що характеризує масу оксидів азоту, утворених на 1 ГДж теплоти, г/ГДж;

β - коефіцієнт, що враховує ступень зниження викидів в результаті застосування технічних розв'язків. Метод зниження викидів NO_2 вибирається згідно таблиці 7

Концентрації оксидів азоту, $г/м^3$, в сухій пробі газу, при стандартних умовах і при визначеному коефіцієнті надлишку повітря α . Рекомендується всі розрахунки концентрації NO_x при спалюванні твердого палива, газу и мазуту перераховувати на $\alpha = 1.4$;

$$C_{NO_2} = K_{NO_2} \cdot Q_n^p / V_{C.G.} \quad (5.2)$$

Питомі викиди оксидів азоту K_{NO_2} (г/МДж) складаються із паливних $K_{NO_2}^{ПП}$ та повітряних $K_{NO_2}^{ВЗД}$ оксидів азоту:

$$K_{NO_2} = K_{NO_2}^{ПП} + K_{NO_2}^{ПОВ} \quad (5.3)$$

Паливні оксиди азоту підраховуються за формулою:

$$K_{NO_2}^{ПП} = 0,7 \cdot N_T \cdot \beta_{\alpha_T} \cdot \beta_{\alpha_1} \cdot \beta_{r_T} \cdot \beta_9 \cdot \beta_{CM} \quad (5.4)$$

де N_T - вміст азоту в паливі, г/МДж

$$N_T = 10N^p / Q_n^p \quad (5.5)$$

В таблиці 5.1 приведено діапазон придатності методики визначення коефіцієнтів для розрахунку паливних оксидів азоту

Таблиця 5.1

Діапазон придатності методики

Фактор, що враховується коефіцієнтом	Залежність	Діапазон придатності залежності
Вплив коефіцієнта надлишку повітря в вихровому пальнику $\beta_{\alpha_{II}}$	$(0.35\alpha_{II} + 0.4)^2$	$0.9 \leq \alpha_{II} \leq 1.3$
Вплив коефіцієнта надлишку повітря в прямоточному пальнику $\beta_{\alpha_{II}}^{ПРМ}$	$(0.53\alpha_{II} + 0.12)^2$	$0,9 \leq \alpha_{II} \leq 1,3$
Вплив долі первинного повітря в пальнику β_{α_1}	$1.73\alpha_1 + 0.48$	$0.15 \leq \alpha_1 \leq 0.55$
Вплив рециркуляції димових газів в первинному повітрі (без урахування зниження температури в зоні активного горіння) β_{r_r}	$1 - 0.016\sqrt{r_{II}}$	$0 \leq r \leq 30\%$
Вплив максимальної температури на ділянці утворення паливних оксидів азоту β_g	$0.11\sqrt[3]{T_{AG}^* - 1100}$	$1250 \leq T_{AG}^* \leq 2050 \text{ К}$
Вплив сумішоутворення в корні факела вихрових пальників β_{CM}^{BXP}	$0.4(W_2 / W_1)^2 + 0.32$	$1.0 \leq W_2 / W_1 \leq 1.6$
Вплив сумішоутворення в корні факела прямоточних пальників $\beta_{CM}^{ПРМ}$	$0.98 \cdot W_2 / W_1 - 0.47$	$1.4 \leq W_2 / W_1 \leq 4.0$

При транспортуванні пилу до пальників високої концентрації значення $K_{NO_2}^{ПАН}$, підраховане за формулою 5.4), множать на коефіцієнт 0.8. При цьому долю первинного повітря α_1 і відношення W_2 / W_1 , приймають рівним рекомендованим значенням при звичайній подачі пилу до пальників первинним повітрям в залежності від типу палива та пальників.

Повітряні оксиди азоту утворюються в зоні максимальних температур, тобто там, де поля концентрацій, швидкостей та температур окремих пальників вже вирівнялись. Отже, $K_{NO_2}^{ПОВ}$ визначається в основному не особливостями пальників, а інтегральними параметрами процесу що відбувається в топці.

Для підрахунку $K_{NO_2}^{ВЗД}$ використовують залежності, враховуючи відоме рівняння Зельдовича:

$$K_{NO_2}^{ПОВ} = 1.54 \cdot 10^{16} \cdot \sqrt{\frac{\alpha_{AG}'' - 1}{\alpha_{AG}''}} \cdot e^{\frac{67000}{T_{AG}''}} / \sqrt{T_{AG}''} \quad (5.6)$$

де α_{AG}'' - коефіцієнт надлишку повітря в зоні активного горіння, умовно прийнятий як сума організовано подаваного повітря через пальники і присосів через нижню частину топкової камери, тобто

$$\alpha_{AG}'' = \alpha_{AG} + 1/2\Delta\alpha_T \quad (5.7)$$

В таблицях 5.1 та 5.2 характеристики первинних та вторинних заходів зменшення викидів оксидів азоту відповідно .

Таблиця 5.2

Основні характеристики первинних заходів зменшення викидів оксидів азоту

Перший захід		Основний ступінь зниження NO _x	Обмеження застосування	Обмеження використання
Знижений надлишок повітря		1044 %	Усі види палива	Неповне вигорання палива
Стадійна (ступінчата) подача повітря в топку котла	Нестехіометричне спалювання (BBF)	10...70%	Тільки для модернізації	Неповне вигорання палива (і , відповідно високий рівень СО й незгорілого вуглецю)
	Введення повітря для догорання через спеціальні додаткові сопла (двоступінчате спалювання СПП)		Усі види палива	
Рециркуляція димових газів		<20% для котлів на вугіллі	Усі види палива	Нестабільність факела
Зниження попереднього нагріву повітря		20...30 %		Не застосовується для вугільних котлів з рідким шлаковидаленням
Стадійна подача палива (Reburning)		50...60% (може бути відновлено 70...80 % NO _x , що утворилися в первинній зоні горіння)	Усі види палива	
Тангенціальне горіння		40...70 %	Усі види палива	Не застосовується для вугільних котлів з рідким шлаковидаленням

Таблиця 5.2

Основні характеристики вторинних заходів зменшення викидів оксидів азоту

Вторинний захід	Ступень зниження викидів NO _x	Інші параметри	
		Параметр	Величина
Селективне каталітичне відновлення (СКВ)	80...95	Робоча температура	350...450 °С (високий вміст пилю) 170..300 °С (кінцева обробка)
		Реагент	Аміак , карбамід
		Відношення NH ₃ /NO _x	0.8...1
		Проскок NH ₃	<5 мг/нм ³
		Доступність	>98%
		Ступень конверсії SO ₂ /SO ₃ з каталізатором	1.0...1.5 % (кінцева обробка)
		Енергоспоживання у % від електричної потужності	0.5 % для всіх застосувань
		Перепад тиску на каталізаторі	400...1000 Па
Селективне некаталітичне відновлення (СНКВ)	30..50	Робоча температура	800..1050 °С
		Реагент	Аміак , карбамід
		Відношення NH ₃ /NO _x	1.5...2.5
		Проскок NH ₃	<10 мг/нм ³
		Доступність	>97%
		Час реакції в температурному діапазоні	0.2...05 с
		Енергоспоживання у % від електричної потужності	0.1...0.3 %

За рівняннями (5.1-5.6) в таблиці 5.3 наведено приклад розрахунку викидів оксидів азоту на прикладі котлів БКЗ-210-140Ф та БКЗ-420-140-5 для легко та слабореакційних палив.

Таблиця 5.3.

Приклад розрахунку викидів NO_x

Розрахункова величина	Формула або обґрунтування	БКЗ-210-140Ф	Формула або обґрунтування	БКЗ-420-140-5
1	2	3		5
Марка вугілля	Технічне завдання на котел або експлуатаційні дані	Читинське вугілля марки Г	Технічне завдання на котел або експлуатаційні дані	Екибастузький СС
Вміст азоту в паливі, N^p %	Те ж	0.8	Те ж	1.6
Теплота згорання палива, Q_n^p , МДж/кг	17.56	17.56	15.87	15.87
Вміст азоту в паливі, N_T г/МДж	$=10 \cdot N^p / Q_n^p$ $=10 \cdot 0.8 / 17.56$	0.456	$=10 \cdot N^p / Q_n^p$ $=10 \cdot 1.6 / 15.87$	0.504
Тип пальників	Опис котла	Прямоточні		Вихрові
Коефіцієнт надлишку повітря в пальниках α_L	Тепловий розрахунок котла або експлуатаційні дані	1.1		1.15
Доля первинного повітря α_1	Те ж	0.24		0.3
Степінь рециркуляції димових газів через пальники, r_T %	""	4		20
Температура зоною активного горіння. $T_{A.L}''$, К	Приймаємо для твердого шлаковидалення 1600..1850 К, для рідкого шлаковидалення 1850..2050 К	1700	Приймаємо для твердого шлаковидалення 1600-1850 К, для рідкого шлаковидалення 1850..2050 К	1830
Відношення швидкостей вихідному перерізу пальників, W_2/W_1	Тепловий розрахунок котла або експлуатаційні дані	2.0	Тепловий розрахунок котла або експлуатаційні дані	1.48

Продовження табл. 5.3

Присоси в топці $\Delta\alpha_T$ і третинне дуття $\Delta\alpha_3$	Те ж	0.10		0.1
Коефіцієнт надлишку повітря в зоні активного горіння $\alpha_{A\Gamma}$	$\alpha_{A\Gamma} = \alpha_{\Gamma} + 1/2\Delta\alpha_T =$ $= 1.1 + 0.1 \cdot 0.5$	1.15	$1.15 + 0.1 \cdot 0.5$	1.2
Вплив коефіцієнта надлишку повітря в пальнику $\beta_{\alpha_{\Gamma}}$	$\beta_{\alpha_{\Gamma}} = (0.53 \cdot \alpha_{\Gamma} + 0.12)^2 =$ $(0.53 \cdot 1.1 + 0.12)^2$	0.494	$(0.35 \cdot 1.15 + 0.12)^2$	0.27
Вплив долі первинного повітря β_{α_1}	$1.73 \cdot \alpha_1 + 0.48 =$ $1.73 \cdot 0.24 + 0.48$	0.895	$1.73 \cdot 0.3 + 0.48$	1.0
Вплив рециркуляції газів через пальники $\beta_{r_{\Gamma}}$	$\beta_{r_{\Gamma}} = 1 - 0.016\sqrt{r_{\Gamma}} =$ $= 1 - 0.016\sqrt{4}$	0.968	$1 - 0.016\sqrt{20}$	0.928
Вплив температури на утворення паливних NO_x , β_9	$\beta_9 = 0.11\sqrt[3]{T_{A\Gamma}^* - 1100} =$ $0.11\sqrt[3]{1700 - 1100}$	0.928	$0.11\sqrt[3]{1850 - 1100}$	0.99
Вплив сумішоутворення в корені факела β_{CM}	$0.98 \cdot W_2 / W_1 - 0.47 =$ $0.98 \cdot 2 - 0.47$ $1.4 \leq W_2 / W_1 \leq 4.0$	1.49	$0.4(W_2 / W_1)^2 + 0.32 =$ $0.4 \cdot (1.48)^2 + 0.32 -$ $1.0 \leq W_2 / W_1 \leq 1.6$	1.196
Паливні оксиди азоту, $K_{NO_2}^{ПЛЛ}$, г/МДж	$K_{NO_2}^{ПЛЛ} = 0.7 \cdot N_T \cdot \beta_{\alpha_{\Gamma}} \cdot \beta_{\alpha_1} \cdot \beta_{r_{\Gamma}} \cdot \beta_9 \cdot$ $= 0.7 \cdot 0.76 \cdot 0.509 \cdot 0.895 \cdot 0.968 \cdot 0.928 \cdot 0.99 \cdot 1.196$	0.194	$K_{NO_2}^{ПЛЛ} = 0.7 \cdot N_T \cdot \beta_{\alpha_{\Gamma}} \cdot \beta_{\alpha_1} \cdot \beta_{r_{\Gamma}} \cdot \beta_9 \cdot$ $= 0.7 \cdot 0.504 \cdot 0.672 \cdot 0.999 \cdot 0.928 \cdot 0.99 \cdot 1.196$	0.263
Повітряні оксиди азоту, $K_{NO_2}^{ВЗЛ}$, г/МДж	$K_{NO_2}^{ПОВ} = 1.54 \cdot 10^{16} \cdot \sqrt{\frac{\alpha_{A\Gamma}^* - 1}{\alpha_{A\Gamma}^*}} \cdot$ $e^{\frac{67000}{T_{A\Gamma}^*}} / \sqrt{T_{A\Gamma}^*}$ $= 1.54 \cdot 10^{16} \cdot \sqrt{\frac{1.15 - 1}{1.15}} \cdot$ $e^{\frac{67000}{1700}} / \sqrt{1700}$	0.001	$K_{NO_2}^{ПОВ} = 1.54 \cdot 10^{16} \cdot \sqrt{\frac{1.2 - 1}{1.2}} \cdot e^{\frac{67000}{1830}} / \sqrt{1830} =$ $= 1.54 \cdot 10^{16} \cdot \sqrt{\frac{1.2 - 1}{1.2}} \cdot e^{\frac{67000}{1700}} / \sqrt{1700}$	0.027
Сумарне значення оксидів азоту K_{NO_2} , г/МДж	$K_{NO_2} = K_{NO_2}^{ПЛЛ} + K_{NO_2}^{ПОВ}$ $= 0.194 + 0.001$	0.195	$K_{NO_2} = K_{NO_2}^{ПЛЛ} + K_{NO_2}^{ПОВ}$ $= 0.263 + 0.027$	0.29

Продовження табл. 5.3

Об'єм сухих газів при $\alpha = 1.4$	$V_{C.G.} = V_G^\circ + (\alpha - 1) \cdot V^\circ - V_{H_2O}^\circ$ $= 6.8 + (1.4 - 1) \cdot 6.8 - 0.77$	8.83	$V_{C.G.} = V_G^\circ + (\alpha - 1) \cdot V^\circ - V_{H_2O}^\circ$	5.71
Концентрація оксидів азоту в димових газах C_{NO_2} г/м ³ , при нормальних умовах і $\alpha = 1,4$ без урахування "підсвічування"	$C_{NO_2} = K_{NO_2} \cdot Q_H^P / V_{C.G.}$ $= 0.195 \cdot 17.56 / 8.83$	0.389		0.807
Спосіб зменшення NO_x , ефективність, %	Таблиця №8 Селективне некаталітичне відновлення	40	Таблиця №8 Селективне каталітичне відновлення (СКВ)	85
Маса викиду NO_x , г/с	$M_{NO_2} = B \cdot K_{NO_2} \cdot Q_H^P \cdot (1 - \beta)$ $=$ $= 97,62 \cdot 0,195 \cdot 15.56 \cdot (1 - 0.4)$	400	$M_{NO_2} = B \cdot K_{NO_2} \cdot Q_H^P \cdot (1 - \beta) =$ $= 64.12 \cdot 0.71 \cdot 26.732 \cdot (1 - 0.85)$	207

6. Розрахунок золоуловлюючих систем.

Усі золоуловлюючі системи розраховуються на щабель уловлення кожної фракції золи. У таблиці 6.1 представлено фракційний склад золи для деяких видів палива в залежності від типу млина, що використовується.

Таблиця 6.1

Фракційний склад золи вугілля в залежності від типу млина, що використовується.

Місце родовища вугілля	Мар-ка пали-ва	Тип млин а	Розмір часток золи, мкм								
			0...5 2.5	5...1 0 7.5	10...2 0 15	20...3 0 25	30...4 0 35	40...6 0 50	60...8 0 70	80...10 0 90	>10 0
Донецький	АШ	ШБМ	8	9	14	11	11	20	17	5	5
Донецький	Т	ШБМ	12	20	31	11	7	8	6	2	3
Кузнецький	Т	ШБМ	12	19	31	9	6	10	5	3	5
Кемеровське	Т	ШБМ	8	13	22	17	10	14	8	3	5
Екибастузький	СС	ШБМ	6	9	46	21	8.3	6.7	-	-	-
Екибастузький	СС	ШБМ	9.5	15.5	20	11	7.5	9.5	-	-	-
Челябінський	Б	ШБМ	6.5	11.5	20	16	9	8	16	4	9
Підмосковний	Б	Бист-рох.	24	21	16.5	10.2	8.5	9	6.5	1.8	2.5
Підмосковний	Б	ШБМ	11	18	22	14	18	12	8.1	2.1	2
Підмосковний	Б	ММТ	5	15	23	16.5	10	12.5	4	4	10
Кансько-Ачинський	Б	ММТ	4	8	22	19	10	19	8	3	7
Фрезерний торф	-	ММТ	12	11	11	10	9	13	9	3	22

Якщо запилений потік газів рухається турбулентно, а частинки золи достатньо малі (менше 30 мкм) і активно беруть участь в турбулентних пульсаціях потоку, то з відомим допущенням можна прийняти, що концентрація частинок у поверхні мало відрізняється від середньої концентрації у перерізі золоуловлювача, що розглядається. В цьому випадку вираз для визначення степені уносу або проскоку має вигляд

$$\varepsilon = \frac{C_{ВИХ}}{C_{ВХ}} = \exp(-\Pi). \quad (6.1)$$

В таблиця 6.2 приведена залежність між параметром золоуловлювання Π і ступенем винесення ε згідно виразу (6.1).

Таблиця 6.2 Залежність проскоку (ступені винесення ε) золи через золоуловлювач від параметра Π

Пара метр Π	Параметр Π									
	.0	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9
0.	1.0000	0.9048	0.8187	0.7408	0.6703	0.6065	0.5488	0.4966	0.4493	0.4066
1.	0.3679	0.3329	0.3012	0.2725	0.2466	0.2231	0.2019	0.1827	0.1653	0.1496
2.	0.1353	0.1225	0.1100	0.1003	0.0907	0.0821	0.0743	0.0672	0.0608	0.0550
3.	0.0498	0.0450	0.0407	0.0369	0.0334	0.0302	0.0273	0.0247	0.0224	0.0202
4.	0.0183	0.0166	0.0150	0.0136	0.0123	0.0111	0.0100	0.00910	0.00823	0.00745
5.	0.00674	0.00610	0.00552	0.00500	0.00452	0.00409	0.00370	0.00335	0.00303	0.00274
6.	0.00248	0.00224	0.00203	0.00184	0.00166	0.00150	0.00136	0.00123	0.00111	0.00100
7.	0.00091	0.00082	0.00075	0.00068	0.00061	0.00055	0.00050	0.00045	0.00041	0.00037
8.	0.00033	0.00030	0.00027	0.00025	0.00022	0.00020	0.00018	0.00017	0.00015	0.00014
9.	0.00012	0.00011	0.00010	0.00009	0.00008	0.00007	0.00006	0.00006	0.00005	0.00004

6.1 Розрахунок пилоосадної камери

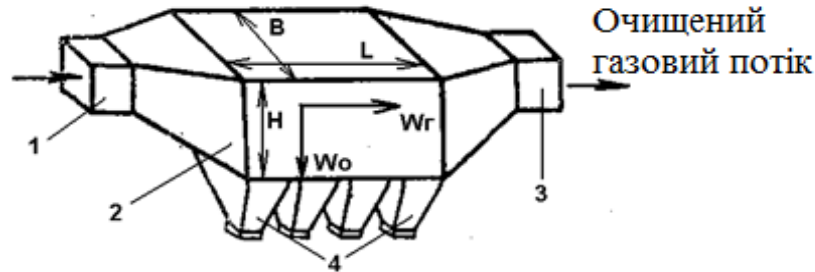
Пилоосадні камери (ПК) представляють собою прості установки для уловлення великих частинок пилу.

ПК використовують в якості першої ступені очистки газів для уловлення найбільш великих частинок. Це дозволяє уникнути осадження пилу в газоходах і знизити навантаження на наступні щаблі. Варіанти принципіальної схеми пилоосадних камер приведені на рис. 6.1.

Швидкість газу в даних камерах від 1.5 до 2 м/с. Камери призначені для уловлення частинок не менше 50 мкм. Ступінь очистки не перевищує 40–50 %. При

роботі з хімічно агресивними газами внутрішню поверхню камери обробляють спеціальним покриттям. Використання камер для уловлення вибухо-пожежонебезпечного пилу не допускається.

Забруднений
газовий потік



1 – вхідний патрубок; 2 - корпус; 3 – вихідний патрубок; 4 – пилозбірний бункер.

Рисунок 6.1 - Пилоосадна камера

Найменший діаметр частинок, що будуть осаджуватись при пропусканні через камеру при об'ємі газу Q_r :

$$d_q = \sqrt{\frac{18 \cdot Q_r \cdot \mu_z}{B \cdot L \cdot (\rho_q - \rho_g) \cdot g}} \quad (6.2)$$

Швидкість газового потоку

$$W_z = \frac{Q_z}{B \cdot H} \quad (6.3)$$

де Q_r - витрата димових газів на один котел. ρ_e – щільність частки:

$\rho_q=2200\text{кг/м}^3$; ρ_r - густина газового потоку; $\mu=0.000022\text{ Па/с}$; $d_{\min}$ - діаметр частки: $d_{\min}=1000\text{ мкм}$; $H=3\text{ м}$ -висота камери; L -довжина камери, м; B -ширина камери, м. згідно варіанта.

Розрахунок осадної камери проводиться для кожного котла (блока) окремо.

Витрата димових газів на одну осадну камеру:

$$Q=B \cdot V_r / n_k = 97.62 \cdot 10.03 / 3 = 326.4 \text{ м}^3/\text{с},$$

де $n_k=3$ кількість котлів;

$B = 97.62$ кг/с витрата вугілля на станції згідно попередніх розрахунків.

$V_r = 10.03$ м³/с об'єм димових газів на один кг вугілля, що спалюється, згідно попередніх розрахунків.

Згідно формули (6.2) розраховуємо мінімальний діаметр частки золи, що буде уловлено в осадній камері

$$d_q = \sqrt{\frac{18 \cdot 326 \cdot 0.000022}{3 \cdot 6 \cdot (2200 - 1.1) \cdot 9.8}} = 0,000577 \text{ м} = 577 \text{ мкм}$$

Згідно формул (6.3) розраховуємо швидкість димових газів в осадній камері

$$W_z = \frac{Q_z}{B \cdot H} = \frac{326}{3 \cdot 3} = 36.26 \text{ м/с}$$

Аналізуючи розмір часток золи що може уловити пилоосадна камера з розмірами, що задані згідно індивідуального завдання, для даного типу палива згідно таблиці № 6.1

6.2 Розрахунок батарейного циклона

Батарейний циклон (мультициклон) (рис 6.2) представляє собою пилоуловлювальний апарат, що складається із великої кількості паралельно встановлених циклонних елементів (рис. 6.3)[4]. Циклонні елементи об'єднані в одному корпусі, що має загальний підвід-відведення газів та загальний збірний бункер.

Технічні характеристики батарейних циклонів наведені в таблиці 6.3.

Батарейний циклон розраховується для кожного котла (блока) окремо.

Обираємо батарейний циклон ЦБ-254Р. Цифра 254 в маркуванні вказує внутрішній діаметр циклона.

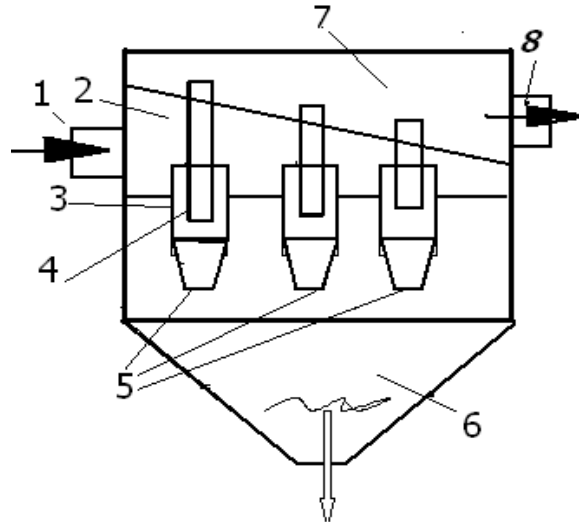
Визначається витрата газів, м³/с, при якій забезпечуються умови роботи циклонного елемента, за формулою:

$$q_{\text{опт}} = 0,785 \cdot D^2 \cdot \omega_{\text{опт}} \quad (6.4)$$

$$q_{\text{опт}} = 0,785 \cdot (254)^2 \cdot 4.5 \cdot 10^{-6} = 0.228, \left(\frac{\text{м}^3}{\text{с}} \right),$$

де $\omega_{\text{опт}}$ – оптимальна швидкість потоку в елементі, прийmemo за 4.5 м/с;

D – внутрішній діаметр елемента, м.



1-вхідний патрубок; 2-газорозподільна камера; 3-циклонний елемент (ЦЕ); 4-вихлопна труба ЦЕ; 5-пиловідвідні отвори ЦЕ; 6-бункер для пилу; 7-камера очищеного газу; 8-вихідний патрубок

Рисунок 6. 2.- Схема батарейного циклона:

З таблиці 6.3 обираємо оптимальну швидкість димових газів.

Витрата газу на котел

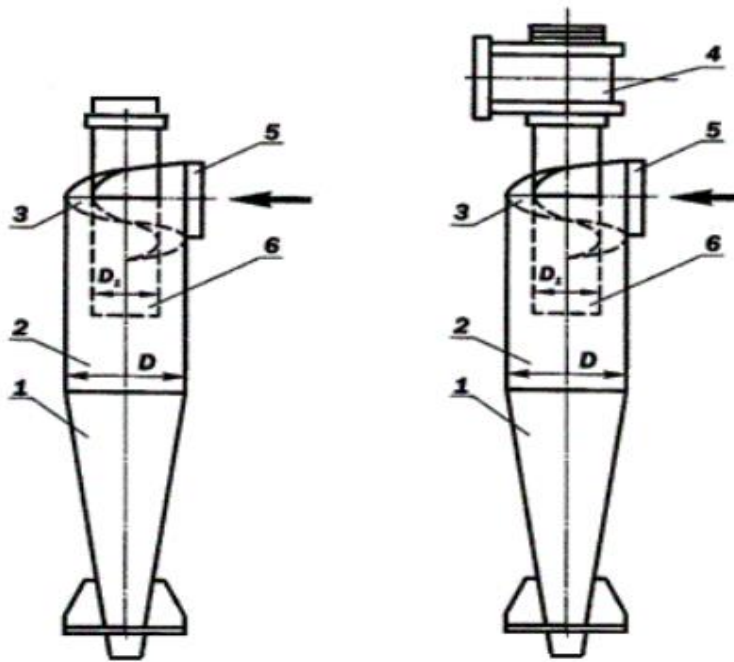
$$Q = V_z \cdot B / n_k = 10.03 \cdot 97.62 / 3 = 326, \left(\frac{\text{м}^3}{\text{с}} \right) \quad (6.5)$$

n_k - кількість котлів. V_z - дійсний об'єм продуктів згорання на 1 кг натурального палива. B - витрата вугілля, кг/с на станції

Число циклонних елементів. необхідне для оптимальної роботи батарейного циклона. визначається як:

$$n_{\text{опт}} = \frac{Q}{q_{\text{опт}}} \cdot n_{\text{опт}} = \frac{326}{0.228} = 1432, (\text{елем.}) \quad (6.6)$$

де Q – загальна витрата газу. $\text{м}^3/\text{с}$.



1 - конічна частина. 2 – циліндрична частина. 3 – гвинтообразна кришка. 4 – равлик. 5 – вхідний патрубок. 6 – вихлопна труба.

Рисунок 6.3 Схема циклона

Підбирають батарейний циклон з найближчим до n_{OPT} кількістю циклонних елементів n . Число елементів вибраного батарейного циклона n бажано вибрати таким, щоб воно відрізнялось від n_{OPT} не більше ніж на 10% .

Обираємо батарейний циклон ЦВ254 Р. Кількість одиночних циклонів 80 шт.

Коефіцієнт гідравлічного опору $\zeta=90$

$$n_c = \frac{n_{OPT}}{n_{el}} = \frac{1432}{80} \approx 18, (апаратів.). \quad (6.7)$$

Надалі визначають дійсну швидкість потоку в елементі. ω , м/с:

$$\omega = \frac{Q}{0.785 \cdot D^2 \cdot n_c \cdot n_{el}} = \frac{326}{0.785 \cdot (254)^2 \cdot 18 \cdot 80 \cdot 10^{-6}} = 4.48 \left(\frac{м}{с} \right). \quad (6.8)$$

Таблиця 6.3

Технічні характеристики батарейних циклонів серійного виготовлення

Тип циклона. завод виготовлювач. ОСТ або ТУ	Число елементів в секції <i>n</i> . шт.	Оптимальна швидкість газу в елементі ω . м/с	Продуктивн ість по газу одної секції Q . м ³ /с	Коефіцієн т опору ξ	Область промислового застосування
ЦБ-254Р. Семибратівський завод газоочисної апаратури. ОСТ 26-14-2002-77. ОСТ 26-14- 2003-77	25. 30. 40. 50. 60. 80	4.5	5.6...16.2	90	Очистка газу при температурі до 400 °С
ЦБ-23IV. Семибратівський завод газоочисної апаратури. ОСТ 26-14-2002-77	12. 16. 20. 25. 30. 42. 56. 63	4.5	2.2...11.7	110	Те ж саме
ЦБ-2. Кусинський машинобудівни й завод. ОСТ 108-033 натомість ОСТ 24-03-001 Діаметр циклона 254 мм	20, 25, 30	4.5	4.84...13.6	70	Очистка газу при температурі до 150 °С
ПЦБ. Карагандинськи й машинобудівни й завод №2. ТУ 12-44-21-038-75 Діаметр циклона 250 мм	24, 36, 48, 96	3.5	4.2...15.7	150	Очистка газу при температурі до 120 °С. Апарати випускаються в вибухобезпечно му виконанні
ЦБР-150У Діаметр циклона 150 мм	240...1600. кратність 40			95	Очистка газу при температурі до 400 °С

Втрати тиску (аеродинамічний опір) в батарейному циклоні. Па:

$$\Delta p = \xi \cdot \frac{\rho \cdot \omega^2}{2} = 90 \cdot \frac{1.1 \cdot (4.48)^2}{2} = 991, (\text{Па}). \quad (6.9)$$

де ξ - коефіцієнт гідравлічного опору.

Необхідна площа перерізу батарейного циклонна визначається за формулою:

$$F_{\text{ц}} = \frac{Q}{\omega n_c} = \frac{326}{4.48 \cdot 18} = 4.05, (\text{м}^2) \quad (6.10)$$

де n_c – число батарейних циклонів на котел.

Параметр уловлювання визначається за формулою:

$$\Pi_i = 0.5 \sqrt{\frac{\omega}{4.5}} \cdot \sqrt[3]{d_i^2}, \quad (6.11)$$

де d_i – середній діаметр фракції. мкм. Обирається для фракційного складу золи свого палива.

Згідно формули (6.11) визначається параметр уловлення Π для кожної фракції золи. По параметру уловлення Π згідно таблиці 6.2 або формули 6.1 визначаємо проскок до кожної фракції.

$$d_1 = 2.5 \text{ мкм} :$$

$$d_2 = 7.5 \text{ мкм} :$$

$$\Pi_1 = 0.5 \sqrt{\frac{4.48}{4.5}} \cdot \sqrt[3]{2.5^2} = 0.918; \quad \Pi_2 = 0.5 \sqrt{\frac{4.48}{4.5}} \cdot \sqrt[3]{7.5^2} = 1.93;$$

$$\text{Проскок } \varepsilon = 39.9\%$$

$$\text{Проскок } \varepsilon = 14.8\%$$

$$d_3 = 15 \text{ мкм} :$$

$$d_4 = 25 \text{ мкм} :$$

$$\Pi_3 = 0.5 \sqrt{\frac{4.48}{4.5}} \cdot \sqrt[3]{15^2} = 3.063; \quad \Pi_4 = 0.5 \sqrt{\frac{4.48}{4.5}} \cdot \sqrt[3]{25^2} = 4.306;$$

$$\text{Проскок } \varepsilon = 4.81\%$$

$$\text{Проскок } \varepsilon = 1.4\%$$

$$d_5 = 35 \text{ мкм} :$$

$$d_6 = 50 \text{ мкм} :$$

$$\Pi_5 = 0.5 \sqrt{\frac{4.48}{4.5}} \cdot \sqrt[3]{35^2} = 5.389 \quad \Pi_6 = 0.5 \sqrt{\frac{4.48}{4.5}} \cdot \sqrt[3]{50^2} = 6.83.$$

$$\text{Проскок } \varepsilon = 0.48\%$$

$$\text{Проскок } \varepsilon = 0.11\%$$

$$d_5 = 70_{\text{мкм}}:$$

$$d_6 = 90_{\text{мкм}}:$$

$$\Pi_5 = 0.5 \sqrt{\frac{4.48}{4.5}} \cdot \sqrt[3]{70^2} = 8.554. \quad \Pi_6 = 0.5 \sqrt{\frac{4.48}{4.5}} \cdot \sqrt[3]{90^2} = 10.11.$$

Проскок $\varepsilon=0.02\%$

Проскок $\varepsilon=0.004\%$

$$d_7 > 100_{\text{мкм}}:$$

$$\Pi_7 = 0.5 \sqrt{\frac{4.48}{4.5}} \cdot \sqrt[3]{10^2} = 10.85.$$

Проскок $\varepsilon=0.002\%$

Сумарний проскок скрізь батарейний циклон визначають по фракційної ефективності за наступним виразом:

$$\varepsilon = \frac{\sum_{i=1}^7 \varepsilon_i \cdot \Phi_i}{\sum_{i=1}^7 \Phi_i} \quad (6.12)$$

Де Φ_i - доля в % відповідної фракції золи

ε_i - проскок відповідної фракції золи

Середній проскок в батарейному циклоні по всім фракціям за формулою (6.12) складає:

$$\varepsilon = \frac{40 \cdot 12 + 14.8 \cdot 20 + 4.8 \cdot 31 + 1.4 \cdot 11 + 0.48 \cdot 7 + 0.11 \cdot 8 + 0.02 \cdot 6 + 0.004 \cdot 2 + 0.002 \cdot 3}{100} = 9.4\%$$

Ступінь уловлення золи в батарейному циклоні:

$$\eta = 1 - \varepsilon = 1 - 0.094 = 0.905 = 90.5\% \quad (6.13)$$

6.3 Розрахунок мокрих золоуловлювачів.

На рис. 6.4 представлено схеми мокрих золоуловлювачів[4]. В мокрих скруберах реалізується тісний, бурхливий контакт газу і рідини, що супроводжується генерацією рідких крапель.

В конфузорі пилогазовий потік розганяється від 4...7 до 50...70 м/с. Додаткове дроблення крапель води здійснюється в горловині 4. В дифузорі 5 відбувається зіткнення частинок золи з краплями води (кінематична коагуляція) і зниження швидкості пилогазового потоку, який, в свою чергу, тангенціально вводиться в

скруббер.

Розмір крапель тим менший, чим більша швидкість газу в горловині. Середній діаметр крапель d_K , м. можна визначити

$$d_K = \frac{5 \cdot 10^3}{u_r}. \quad (6.14)$$

де u_r - швидкість газу в горловині, м/с.

Захват частинок золи каплями може відбуватись з двох причин:

- швидко мчать, із швидкістю газів частинки золи попадають в краплі, які ще не встигли розігнатися потоком газу. Тоді вони попадають в краплю за рахунок різниці швидкостей ($u_r - u_K$), де u_K - швидкість руху краплі;
- за рахунок турбулентних пульсацій частинок золи, які попадають в практично малопульсуючі краплі.

Якщо прийняти за основу коагуляції другий механізм, то параметр золоуловлювання для труби Вентурі визначається із вираження:

$$n = 0.3 \cdot \varepsilon_T \cdot q_{\phi} \cdot u_r \cdot L. \quad (5.16)$$

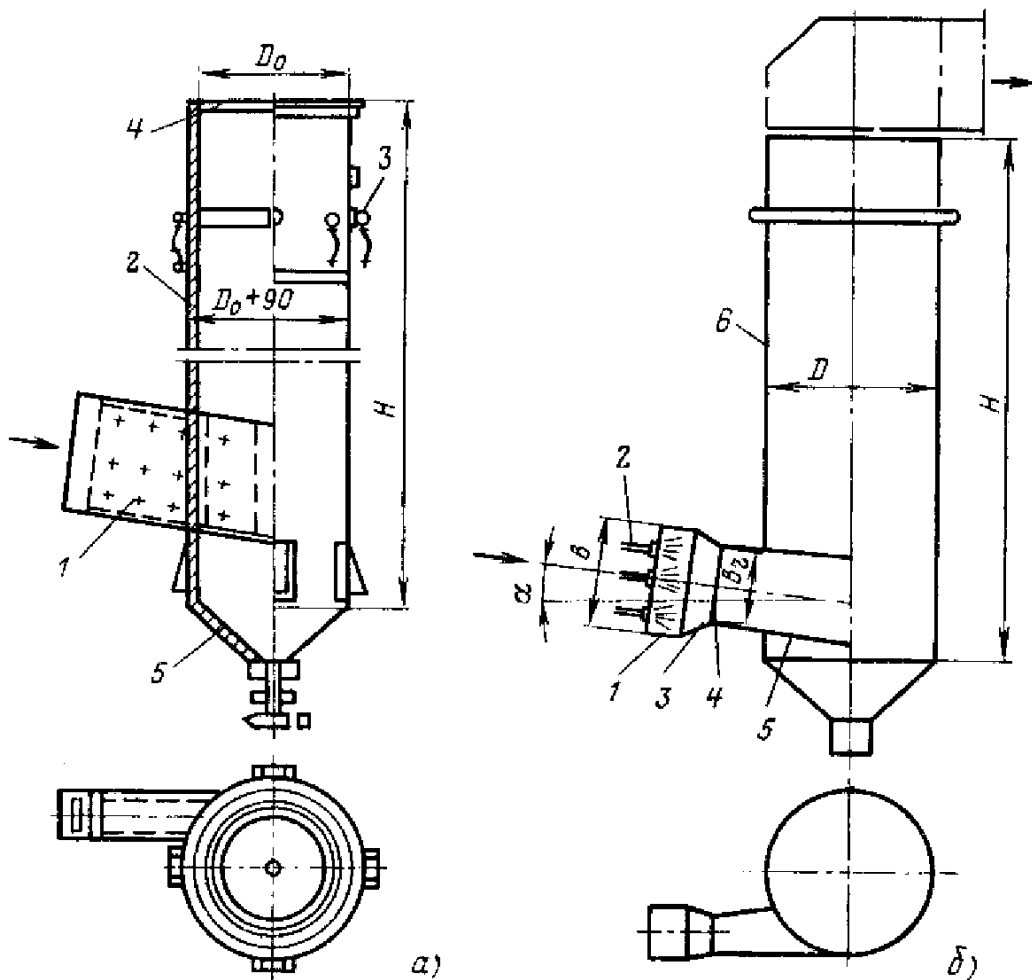
де ε_T - степінь турбулентних пульсацій, що визначається як відношення швидкості дрейфу до швидкості газу в горловині;

q_{ϕ} - питома витрата рідини на 1 м³ газу що очищується, л/м³;

L - відстань між горловиною труби та скруббером.

На відміну від інших золоуловлювачів, для мокрих золоуловлювачів з коагулятором Вентурі в формулу ($\Pi = \sqrt{q_{\phi} u_r}$) для розрахунку параметра золоуловлення не входить діаметр частинок d . В першому приближенні можна прийняти, що всі частинки від малих до великих, уловлюються однаково, і їх дисперсійний склад не враховують.

У вітчизняній практиці застосування отримали два типи мокрих золоуловлювачів з коагулятором Вентурі: МВ-УО ОРГРЕС і МС-ВТИ. Перший тип золоуловлювача виконується з вертикальним і горизонтальним розміщенням коагулятора Вентурі круглого перетину, другий - тільки з горизонтальним розміщенням труби прямокутного перетину.



a - центробіжний скруббер; 1 - вхідний патрубок запиленого газу; 2 - корпус золоуловлювача; 3 - зрошувальні сопла; 4 - вихід очищеного газу; 5 - бункер; *б* - золоуловлювач з коагулятором Вентурі; 1 - вхідний патрубок запиленого газу; 2 - подача води через зрошувальні сопла; 3, 4, 5 - конфузори, горловина і дифузор коагулятора Вентурі; 6 - скруббер- краплєвловлювач

Рисунок 6.4. Мокрі золоуловлювачі:

6.3.1 Визначення діаметра краплєвловлювача.

Швидкість газів в його перерізі приймаємо $\omega = 5 \text{ м/с}$:

$$D = \sqrt{\frac{Q_z}{0.785 \cdot \omega \cdot Z}} = \sqrt{\frac{326}{0.785 \cdot 5 \cdot 4}} = 4.56, (\text{м}), \quad (6.17)$$

де Q – загальна витрата димових газів на один котел $\text{м}^3/\text{с}$.

Z -кількість мокрих золоуловлювачів на один блок. підбирається таким чином щоб. отриманий діаметр підпадав під модельний ряд.

Обираємо чотири краплєвловлювача діаметром ближчим більшим 4.5м.

В залежності від прийнятої ступені проскакування ε . параметр золоуловлювачів Π і вибирають $q_{ж}$ і u_r . таким чином. щоб дотримувалась рівність:

$$\Pi = \sqrt{q_{ж} u_r} \quad (6.18)$$

Зазвичай: $u_r = 50 \dots 70$ м/с. $q_{ж} = 0.12 \dots 0.2$ кг/м³.

Задаємося ступенем проскоку 4%. $\varepsilon = 0.04$. відповідно параметр проскоку $\Pi = 3.2$.

Задаємося витратою зрошуємої води на 1м³ димових газів $q_{ж} = 0.16$ кг/м³ (збільшення витрати води покращує очистку газів)

З виразу (6.18) u_r - швидкість твердих частинок в газовому потоці:

$$u_r = \frac{\Pi^2}{q_{ж}} = \frac{3.2^2}{0.16} = 64, (м / с)$$

Визначають площу перерізу горловини Вентурі за виразами:

$$F_r = \frac{Q}{Z \cdot u_r} = \frac{326}{4 \cdot 64} = 1.27 \quad (6.19)$$

Підбираємо ближній більший переріз горловини Вентурі зі стандартного ряду згідно таблиці 14

$$F_r \approx 1.3 (м^2)$$

Фактична швидкість твердих частинок в газовому потоці згідно виразу (6.19):

$$u_{до} = \frac{Q_{до}}{Z \cdot F_r} = \frac{326}{4 \cdot 1.3} = 62.77 \text{ м/с}$$

Фактичний параметр Π

$$\Pi = \sqrt{q_{ж} u_r} = \sqrt{0.16 \times 62.77} = 3.169$$

Фактичний проскок $\varepsilon = 0.042 = 4.2\%$

Загальна степінь очистки газу в швидкісному мокрому золоуловлювачі згідно виразу (6.13):

$$\eta = 1 - 0.042 = 0.9578 = 95.78\%$$

Загальний гідравлічний опір коагулятора Вентурі і краплєвловлювача (Π_a)

розраховується за формулою:

$$\Delta p = (0.25 + 0.01 q_{ж} u_r) \rho_z \frac{u_r^2}{2} + 2.7 \rho_z \frac{u_{ex}^2}{2}. \quad (6.20)$$

де ρ_r - щільність газу перед золоуловлювачем, кг/м³;

u_{BX} - швидкість газу при вході в краплевловлювач. приймаємо $u_{BX}=20$ м/с

$$\Delta p = (0.25 + 0.01 \cdot 0.16 \cdot 64) \cdot 1.1 \cdot \frac{64^2}{2} + 2.7 \cdot 1.1 \cdot \frac{20^2}{2} = 1387 \text{ Па}$$

За розрахунками з таблиці 6.4 обираємо горловину труби Вентурі і краплеуловлювач.

Для умови витрати 326 м³/с димових газів на один котел обираємо чотири краплевловлювача діаметром горловини 4.5 м. висотою 15.25 м. активною площею перерізу 15.2 м². та перерізом вхідного патрубку 3.88 м² та трубу Вентурі площею перерізу 1.3 м². розмір 0.57х2.28 м. Проскакування часток золи $\varepsilon=0.042=4.2\%$; уловлювання 95.8%.

Кінцева допустима температура очищених газів, °С. приймається виходячи з відомої точки роси водяних парів t''_p із співвідношення

$$t \geq t''_p + 21 \quad (6.21)$$

Не рекомендується застосовувати мокрі золоуловлювачі для палив, які містять в складі золи більше 15...20% оксиду кальцію СаО. Приведене паливо повинне бути не більше 0.3 %-кг/МДж. Жорсткість зрошувальної води не повинна перевищувати 15 мг-екв/л.

Температуру газів за мокрим золоуловлювачем варто підтримувати не менше ніж на 21 °С вище точки роси для запобігання корозії газоходів.

Обов'язковою умовою нормальної роботи мокрого золоуловлювача є запобігання відкладень в його пристроях що зрошують. Щоб забезпечити цю умову, перш за все необхідно очистити воду що подається на зрошування від механічних домішок. для чого застосовуються гравійні фільтри.

Основною причиною виникнення відкладень являється кристалізація солей кальцію із пересиченої зрошуючої води або пульпи. а також. недостатнє по різних обставинам зрошення будь-яких ділянок стінок золоуловлювача. Вода що

подається на зрошування не повинна бути перенасичена сірчаноокислим кальцієм (CaSO_4), чого можна досягти. наприклад. додаванням до оборотної води деякої кількості свіжої води.

При проектуванні мокрих золоуловлювачів варто враховувати, що SO_2 і SO_3 , які містяться в димових газах, частково розчиняються в пульпі. При цьому, якщо діоксид сірки уловлюється в мокрому золоуловлювачі до 25%, то триоксид сірки до 85%. В результаті рН пульпи знижується до 3.5 та потрібний захист стінок золоуловлювача від корозії. Уловлення SO_3 призводить також до зміни точки роси димових газів.

Таблиця 6.4

Характеристики мокрих швидкісних золоуловлювачів

краплевловлювач				Горловина труби Вентурі	
Діаметр. м	Висота. м	Активна площа перерізу. м^2	Переріз вхідного патрубка. м^2	Розміри. М	Площа перерізу. м^2
2.8	9.66	5.72	1.37	0.39×1.17	0.455
3	10.32	6.6	1.67	0.43×1.23	0.53
3.2	10.98	7.54	1.95	0.48×1.4	0.644
3.6	12.2	9.62	2.41	0.45×1.8	0.81
4	13.61	11.93	3	0.50×2	1
4.5	15.25	15.2	3.88	0.57×2.28	1.3

6.4 Вибір та розрахунок електрофільтра.

Електрофільтри - електрофільтри загальнопромислового застосування для очистки газів з температурою до 330°C при розрідженні до 5 кПа [5]. На електроди

подається випрямлений електричний струм з напругою 50-80 кВ. Загальний вигляд представлено на рис.5.5. технічні характеристики – таблицях 15 та 16.

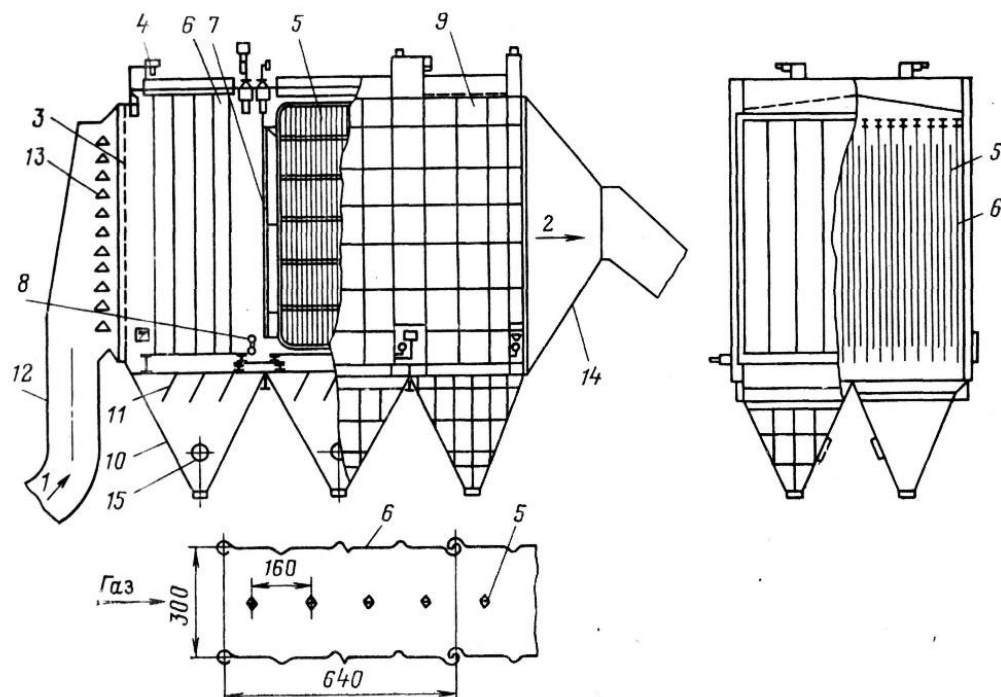
В позначенні електрофільтра: 1-ша цифра кількість секцій, 2-га цифра-кількість газових проходів, 3-я цифра-висота електродів, 4-та цифра-кількість елементів в осадному електроді, 5-та цифра- кількість електричних полів по довжині електрофільтра, 6-та цифра - температура в електрофільтрі, °С, 7-ма цифра - розрідження в електрофільтрі.

Фільтри ЕГА використовуються для знепилювання неагресивних невибухових газів в енергетиці, промисловості будівних матеріалів. в кольоровій і чорній металургії та ін. Рекомендована швидкість газу в електрофільтрі ≤ 1 м/с. Радіус електрода, що коронує. $R_1 = 1 \cdot 10^{-3}$ м [5].

Відстань між осадними електродами - 300 мм. між коронуючими в лінії - 160 мм. між осадними і коронуючими - 150 мм.

Рухливість іонів може бути прийнята $k = 2.1 \cdot 10^{-4}$ м²/(В·с)

Електрофільтри серії УГ. Продуктивність електрофільтрів серії УГ становить в залежності від типорозміру. від 36 000 до 1млн м³/ч з температурою до 250 °С. Допустима концентрація пилу 50 г/м³. Радіус коронуючого електрода 1- 3 мм. Інші параметри приведені в таблиці 6.6.



1 - вхід запиленого газу; 2 - вихід очищеного газу;
 3 – газорозподільна решітка; 4 - підвід струму високої напруги;
 5 - коронуючий електрод; 6 - осадний електрод; 7 - струшуючий механізм коронуючих електродів; 8 - струшуючий механізм осадних електродів;. 9 - корпус; 10 - бункер; 11 - перегородки для зменшення перетоків газу через бункер; 12 - підйомна шахта; 13 - газорозподільні об'ємні елементи МЕІ; 14 - конфузорне відведення димових газів; 15 - оглядові люки в бункерах.

Рисунок 6.5- Трипільний двосекційний електрофільтр ЕГА.

Таблиця 6.5

Технічні характеристики електрофільтрів ЕГА [5]

Типо- розмір	Висот а елек- тродів . м	Довжин а поля. м	Число полів	Площа перерізу F_a . м ²	Загальн а площа осадже- ння. $F_{об}$. м ²	Габарити електрофільтра. м		
						довжи -на	ширин а	висот а
ЕГА1- 10-6-4-2	6.0	2.56	2	16.5	630	9.26	3.2	12.4
ЕГА1- 10-6-4-3	6.0	2.56	3	16.5	950	13.44	3.2	12.4
ЕГА1- 10-6-6-2	6.0	3.84	2	16.5	950	11.82	3.2	12.4
ЕГА1- 10-6-6-3	6.0	3.84	3	16.5	1430	17.28	3.2	12.4
ЕГА1- 14-7.5- 4-3	7.5	2.56	3	28.7	1660	13.44	4.4	13.9
ЕГА1- 14-7.5- 4-4	7.5	2.56	4	28.7	2210	17.62	4.4	13.9
ЕГА1- 14-7.5- 6-2	7.5	3.84	2	28.7	1660	11.82	4.4	14.9
ЕГА1- 14-7.5- 6-3	7.5	3.84	3	28.7	2210	17.28	4.4	14.9
ЕГА1- 20-7.5- 4-3	7.5	2.56	3	41	1660	13.44	6.2	15.4

Таблиця 6.6

Технічні характеристики електрофільтрів серії УГ (уніфіковані горизонтальні)

Показники	УГ 1- 2- 10	УГ1 -3- 10	УГ1 -2- 15	УГ2 -4- 74	УГ3 -3- 88	УГ3 -4- 88	УГ1 -3- 15	УГ2 -3- 26	УГ- 2- 4- 26	УГ- 2- 3- 37	УГ2 -4- 37
Площа активного перерізу.м2	10	10	15	44	44	88	15	26	26	37	37
К-ть полів	2	3	2	4	3	4	3	3	4	3	4
Крок між однойменними електродами, мм	275	275	275	275	275	275	275	275	275	275	275
Активна висота електродів	4.2	4.2	4.2	7.46	12.16	12.16	4.2	7.46	7.46	7.46	7.46
Активна довжина поля	2.51	2.51	2.51	2.51	3.95	3.95	2.51	2.51	2.51	2.51	2.51
Загальна площа осадження електродів. м2	420	630	630	6300	9200	1230 0	940	1690	225 0	236 0	3150
Габарити елек- трофільтра . м											
Довжина	9.6	14.1	9.6	18.6	18.8	24.8	14.1	14.1	18.6	14.1	18.6
Висота	12.3	12.3	12.3	15.4	21.8	21.8	12.3	15.4	15.4	15.4	15.4
Ширина по осях крайніх опор	3	3	4.5	12.0	9.0	9.0	4.5	4.5	4.5	6	9.0

Продовження табл. 6.6

Показники	У2-3-53	УГ2-4-53	У2-3-74	УГ3-3-ИБ	УГ3-4-115	УГ3-3-177	УГ3-4-177	УГ3-3-230	УГ3-4-230	УГ3-3-265	УГ3-4-265
Площа активного перерізу.м ²	10	10	15	115	115	177	177	230	230	265	265
К-ть полів	3	4	3	3	4	3	4	3	4	3	4
Крок між однойменними електродами, мм	275	275	275	275	275	275	275	275	275	275	275
Активна висота електродів	7.46	7.46	7.462	12.16	12.16	12.16	12.162	12.16	12.16	12.16	12.16
Активна довжина поля	2.51	2.51	2.51	3.95	3.95	3.95	3.95	3.95	3.95	3.95	3.95
Загальна площа осадження електродів. м ²	3370	4500	3370	12100	16100	18400	24600	24200	32200	27600	36900
Габарити електрофільтра .м											
Довжина	14.1	18.6	14.1	18.8	24.8	18.8	24.8	18.8	24.8	18.8	24.8
Висота	15.4	15.4	15.4	21.8	21.8	21.8	21.8	21.8	21.8	21.8	21.8
Ширина по осям крайніх опор	9	9	12.0	12.0	12.0	18.0	18.0	24.0	24.0	27.0	27.0

6.4.1 Приклад розрахунку.

Технологічний розрахунок електрофільтра полягає в розрахунку площі його активної зони за заданою кількістю газу, що очищається, та рекомендованої швидкості його в електрофільтрі, визначенні електричних параметрів роботи електрофільтра і ефективності очистки газу в ньому [5,6].

Потрібно підібрати тип електрофільтра за каталогом, розрахувати його електричні параметри і ступінь очистки газу в ньому, виходячи із наступних даних:

Температура газу $t=150^{\circ}\text{C}$. згідно варіанту.

Розрідження в системі $p=160\text{ Па}$.

Барометричний тиск $p_{\text{бар}}=1.013 \cdot 10^5\text{ Па}$.

Фракційний склад продуктів згорання визначають за фактичним коефіцієнтом надлишку повітря за котлом та фактичними об'ємами продуктів згорання що розраховані за виразами (2.1-2.9) [6]:

$$\text{CO}_2\% = V_{\text{RO}_2} / V_{\text{r}_d} \cdot 100\% = 1.26 / 10.03 \cdot 100\% = 12.6, \%$$
 (6.21)

$$\text{O}_2\% = (\alpha - 1) \cdot V^0 \cdot 0.21 / V_{\text{r}_d} \cdot 100\% = (1.35 - 1) \cdot 7.01 \cdot 0.21 / 10.03 = 5.1\%$$
 (6.22)

$$\text{N}_2\% = \alpha \cdot V^0 \cdot 0.79 / V_{\text{r}_d} \cdot 100\% = 1.35 \cdot 7.01 \cdot 0.79 / 10.03 \cdot 100\% = 74.5\%$$
 (6.23)

$$\text{H}_2\text{O}\% = V_{\text{H}_2\text{O}} / V_{\text{r}_d} \cdot 100\% = V_{\text{H}_2\text{O}} / V_{\text{r}_d} = 0.77 / 10.03 \cdot 100\% = 7.7\%$$
 (6.24)

Приймаємо електрофільтр типу УГ. Задавшись швидкістю газу в електрофільтрі $v = 1$ м/с. розраховуємо площу активного перерізу :

$$F = \frac{Q}{v} = \frac{326}{1} = 326, (\text{м}^2)$$
 (6.25)

де Q - об'єм димових газів від одного блоку, м^3

Вибираємо за каталогом два електрофільтра типу УГЗ-4-265. у якого площа активного перерізу складає $F_a = 177 \text{ м}^2$. Уточнюємо швидкість газу в електрофільтрі:

$$v = \frac{Q}{F_a \cdot n} = \frac{326}{177 \cdot 2} = 0,92, (\text{м} / \text{с})$$
 (6.26)

По технологічній характеристиці електрофільтра. характеристика газу і вмісту в ніому пилу розраховуємо електричні параметри і ступінь очистки газу.

Обчислюємо відносну густину газу за формулою:

$$\beta = \frac{p_{\text{бар}} \mp p}{101.3 \cdot 10^3} \cdot \frac{273 + 20}{273 + t}$$
 (6.27)

$$\beta = \frac{1.013 \cdot 10^5 - 0.16 \cdot 10^3}{1.013 \cdot 10^5} \cdot \frac{273 + 20}{273 + 150} = 0.69.$$

Критичну напруженість електричного поля при від'ємній короні. Радіус електроду. що коронує. $R_1 = 1.3 \cdot 10^{-3}$ м:

$$E_0 = 3.04 (\beta + 0.0311 \cdot \sqrt{\beta / R_1}) \cdot 10^6, (\text{В/м})$$
 (6.28)

$$E_0 = 3.04 \cdot \left(0.69 + 0.0311 \cdot \sqrt{\frac{0.69}{1} \cdot 10^{-3}} \right) \cdot 10^6 = 4.588 \cdot 10^6, \quad (\text{В/м})$$

Критичне напруження корони або різниця потенціалів між електродами. на яких відбувається коронний розряд і осідає зола. при появі коронного розряду в пластинчатому електрофільтрі визначається за формулою (6.28). В прийнятому

електрофільтри відстань між електродами. на яких відбувається коронний розряд і осідає зола виходячи із таблиці 16: $H=0.275/2=0.1375$ м; а відстань між сусідніми коронуючими електродами в ряді $d = 0.1$ м вибираємо по таблиці 6.7.

Таблиця 6.7

Значення параметра d для електрофільтрів серії УГ

Марка електро-фільтра	УГ2-2-10; УГ1-3-10; УГ1-2-15; УГ1-3-15	УГ2-4-74	УГ3-3-26; УГ3-4-26	УГ2-4-74	УГ3-3-88; УГ3-4-88	УГ2-3-26; УГ3-4-88	УГ2-3-26 УГ2-3-53 УГ2-4-26 УГ3-3-ИБ	УГ2-3-37 УГ2-4-37 УГ2-3-74 УГ2-4-53	УГ3-3-177 УГ3-4-177	УГ3-3-230 УГ3-4-230 УГ3-3-265 УГ3-4-265
d , м	0.23	0.1 9	0.1 7	0.1 5	0.1 4	0.1 2	0.11	0.1	0.1	0.1

Критичну напругу корони або різниця потенціалів між коронуючим і осаджувальним електродами розраховуємо за формулою:

$$U_o = E_o \cdot R_1 [\pi \cdot H/d - \ln(2\pi R_1/d)] \quad (6.29)$$

$$U_o = 4.588 \cdot 10^6 \cdot 1 \cdot 10^{-3} \left[\left(3.14 \cdot \frac{0.1375}{0.1} \right) - \ln \left(2 \cdot 3.14 \cdot \frac{1 \cdot 10^{-3}}{0.1} \right) \right] \\ = 32.51 \cdot 10^3, (B)$$

Лінійна щільність струму корони для пластинчатого електрофільтра визначаємо за формулою

$$i_o = \frac{4\pi^2 kv}{d^2 \cdot 9 \cdot 10^9 [\pi H/d - \ln(2\pi R_1/d)]} U(U - U_o) \quad (6.30)$$

Рухливість іонів k для середніх умов коронного розряду може бути прийнята $2.1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$. Коефіцієнт ν визначається по таблиці 6.8 в залежності від H/d

Таблиця 6.8

Значення коефіцієнта ν

H/d	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
ν	0.08	0.068	0.046	0.035	0.027	0.022	0.0175	0.015	0.013	0.0115

При $H/d=0.1375/0.1=1.375$; $v=0.013$.

За паспортними даними електрофільтра. тип якого розглядається, напруження, прикладене до електродів. повинно становити 80 кВ. Згідно виразу (6.3) лінійна щільність струму корони при даних умовах складатиме:

$$i = \frac{4 \cdot 3.14^2 \cdot 2.1 \cdot 10^{-4} \cdot 0.013}{0.1^2 \cdot 9 \cdot 10^9 \left[(3.14 \cdot 0.1375/0.1) - \ln \left(2 \cdot 3.14 \cdot 1 \cdot \frac{10^{-3}}{0.1} \right) \right]} \cdot 80$$

$$= \cdot 10^3 (80 \cdot 10^3 - 32.51 \cdot 10^3) = 0.64 \cdot 10^{-3}, (\text{А/м})$$

Напруженість поля в пластинчатому електрофільтрі визначаємо за формулою

$$E_x = \sqrt{2i_0 H / (\pi \varepsilon_0 k d)} \quad (6.31)$$

де $\varepsilon_0=8.85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м. діелектрична проникливість вакууму

Отже

$$E = \sqrt{\frac{2 \cdot 0.64 \cdot 10^{-3} \cdot 0.1375}{3.14 \cdot 8.85 \cdot 10^{-12} \cdot 2.1 \cdot 10^{-4} \cdot 0.1}} = 5.45 \cdot 10^5 \text{ В/м}$$

Знаходимо динамічну в'язкість окремих компонентів газової суміші за формулою:

$$\mu_t = \mu_0 \left[(273 + C) / (T + C) (T/273)^{2/3} \right] \quad (6.32)$$

де T – абсолютна температура газу. К; C – постійна Сезерленда для повітря $C = 124$, азоту $C=114$, водяного пару $C=961$, двооксиду вуглецю $C=254$, окису вуглецю $C= 100$. аміаку $C=626$, двооксиду сірки $C=396$, кисню $C=131$, μ_0 -в'язкість відповідного компонента суміш димових газів при 273°C , ($\mu_{\text{CO}_2} = 0.137 \cdot 10^{-4}$, $\mu_{\text{O}_2} = 0.2 \cdot 10^{-4}$, $\mu_{\text{H}_2\text{O}} = 0.1 \cdot 10^{-4}$, $\mu_{\text{N}_2} = 0.17 \cdot 10^{-4}$ Па/с

В'язкість окремих компонентів газової суміші визначаємо за виразом (6.32) :

$$\mu_{\text{CO}_2} = 0.137 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{273 + 254}{423 + 254} \cdot 3 \sqrt{\left(\frac{423}{273} \right)^2} = 0.205 \cdot 10^{-4}, (\text{Па/с})$$

$$\mu_{\text{O}_2} = 0.2 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{273 + 131}{423 + 131} \cdot 3 \sqrt{\left(\frac{423}{273} \right)^2} = 0.281 \cdot 10^{-4} (\text{Па/с})$$

$$\mu_{H_2O} = 0.1 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{273 + 961}{423 + 961} \cdot 3 \sqrt{\left(\frac{423}{273}\right)^2} = 0.172 \cdot 10^{-4} \text{ (Па/с)}$$

$$\mu_{N_2} = 0.17 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{273 + 114}{423 + 114} \cdot 3 \sqrt{\left(\frac{423}{273}\right)^2} = 0.236 \cdot 10^{-4} \text{ (Па/с)}$$

Молекулярну масу газової суміші знаходимо за виразом:

$$M_{cm} = \frac{M_1 \cdot a_1}{100} + \frac{M_2 \cdot a_2}{100} + \dots + \frac{M_n \cdot a_n}{100}. \quad (6.33)$$

$$M_{cm} = 12.6 \cdot 44/100 + 5.1 \cdot 32/100 + 7.7 \cdot 18/100 + 74.5 \cdot 28/100 = 29.43, \text{ (кг/моль)}$$

де M_i – молярна маса відповідного компонента димових газів (CO_2 , O_2 , H_2O , N_2), кг/моль

a_i - процентний вміст i -го компонента в продуктах згорання.

Визначаємо параметр D :

$$\frac{M_{cm}}{\mu_{cm}} = \sum_{i=1}^n \frac{a_n \cdot M_n}{100 \cdot \mu_n} = D \quad (6.34)$$

З виразу (6.34) параметр :

$$D = M_{cm} / \mu_{cm} = \left(\frac{12.6 \cdot 44}{100 \cdot 0.205} + \frac{5.1 \cdot 32}{100 \cdot 0.281} + \frac{8.5 \cdot 18}{100 \cdot 0.172} + \frac{7.2 \cdot 28}{100 \cdot 0.236} \right) 10^4 = 128.3 \cdot 10^4.$$

$$\text{Тоді } \mu_{cm} = M_{cm} / D = 29.48 / (128.3 \cdot 10^4) = 2.28 \cdot 10^{-5}, \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Теоретична швидкість руху заряджених частинок різного радіуса r_i до осаджувальним електродам електрофільтра за формулою .

$$v_i = \frac{0.018 \cdot 10^{-10} \cdot E^2}{\mu_{cm}} r_i \quad (6.35)$$

де r_i -діаметр відповідної фракції запиленого потоку після первинних золоуловлювачів.

В роботі розглядається послідовна установка батарейного циклону та електрофільтра. Фактичний фракційний склад після батарейного циклону визначається згідно уловлення (проскоку) кожної фракції в батарейному циклоні

$$\Phi_i = e_i \cdot \Phi_{H_i} \quad (6.36)$$

де e_i - проскок відповідної фракції золи скрізь батарейний циклон.

Φ_i^H – фракційний склад золи перед батарейним циклоном

Фракційний склад золи для часток з середнім діаметром 2.5 мкм після батарейного циклона згідно виразів (6.11 та 6.35) та таблиці 6.2 складає:

$$\Phi_{2.5} = e_{2.5} \cdot \Phi_{2.5}^H = 0.395 \cdot 12 = 4.74, \%$$

Розрахунок фракційного складу золи в газовому потоці після батарейного циклона відносно початкового стану для решти фракції згідно таблиці 6.2 занесено в таблицю 6.10

Таблиця 6.10

Фракційний склад до та після батарейного циклону

Родовище басейн	Марка палива	Тип млина	Розмір частинок. Мкм								
			0...5	5...10	10...20	20...30	30...40	40...60	60...80	80...100	>10
			2.5	7.5	15	25	35	50	70	90	0
До батарейного циклона											
Донецький	АШ	ШБМ	12	20	31	11	7	8	6	2	3
Після батарейного циклона											
Донецький	АШ	ШБМ	4.74	2.9	1.45	0.15	0.03	0	0	0	0

Теоретична для середнього діаметра 2.5 мкм розрахована по виразу (6.35):

$$v_i = \frac{0.018 \cdot 10^{-10} \cdot E^2}{\mu_{cm}} \cdot r_i = \frac{0.018 \cdot 10^{-10} \cdot (5.49 \cdot 10^5)^2}{2.28 \cdot 10^{-5}} \cdot 2.5 \cdot 10^{-6} = 4.97 \cdot 10^{-2}, (m^2)$$

Для решти радіусів заряджених частинок теоретична швидкість руху розраховується аналогічно та заноситься в таблицю 6.11

Таблиця 6.11

Швидкість руху заряджених частинок різного радіуса r_i до осаджувальних електродів електрофільтра.

r_i , МКМ	$\frac{0...5}{2.5}$	$\frac{5...10}{7.5}$	$\frac{10...20}{15}$	$\frac{20...30}{25}$	$\frac{30...40}{35}$	$\frac{40...60}{50}$	$\frac{60...80}{70}$	$\frac{80...100}{90}$	>100
$v_i \cdot 10^{-2}$, м/с	5.97	17.9	35.8	69.7	83.5	119	167	215	238

В подальших розрахунках ураховується дійсна швидкість, яка в два рази менша розрахункової.

Розраховується питома поверхня осадження :

$$f = F_{\text{об}}/Q \quad (6.36)$$

Так як для електрофільтра УГЗ-З-177 загальна поверхня осадження осадних електродів становить 18400 м². то:

$$f = 18400 \cdot 2 / 326 = 112, \text{ (м}^2\text{/(м}^3 \cdot \text{с))}$$

фракційна степінь очистки по дійсній швидкості

$$\eta_i = 1 - e^{-v_i(L/H \cdot V)} \quad (6.37)$$

де L – довжина осадного електрода по паспорту електрофільтра; H – відстань між короніруючими і осадним електродами; v_i – швидкість руху заряджених частинок різного радіуса V - швидкість газового потоку.

Для обраного електрофільтра :

довжина осадного електрода складає $L=18.8$ м .

відстань між короніруючими і осадним електродами $H=0.1375$ м.

швидкість газового потоку згідно розрахунків $V=0.96$ м/с.

Ступень уловлення часток радіусом 2.5 мкм при вище згаданих умовах згідно рівняння (6.37) складає:

$$\eta_{2.5} = 1 - e^{-0.0597 \cdot (18.8 / (0.1375 \cdot 0.92))} = 0.988 = 98.8 \%$$

Для решти діаметрів часток результати розрахунку ступення уловлення занесені в таблицю 6.12

Таблиця 6.12

Ступень уловлення часток електрофільтром в залежності від радіуса

Г _і . МКМ	$\frac{0...5}{2.5}$	$\frac{5...10}{7.5}$	$\frac{10...20}{15}$	$\frac{20...30}{25}$	$\frac{30...40}{35}$	$\frac{40...60}{50}$	$\frac{60...80}{70}$	$\frac{80...100}{90}$	>100
Ступень очистки .%	98.8	99.9	100	100	100	100	100	100	100

Загальна ступінь очистки газу в електрофільтрі:

$$\eta = \frac{1}{\sum \Phi_i} \sum \Phi_i \cdot \eta_{\Phi i} \quad (6.38)$$

Фактична ступень уловлення часток пилу в електрофільтрі як другої ступені очищення димових газів згідно виразу (5.38) складає:

$$\eta = (98.8 \cdot 4.74 + 99.9 \cdot 2.9 + 100 \cdot 1.45 + 100 \cdot 0.15 + 100 \cdot 0.03 + 100 \cdot 0) / (4.74 + 2.9 + 1.45 + 0.03) = 99.39\%$$

6.5 Сумарна очистка від твердих часток.

При встановленні послідовно декількох апаратів очистки димових газів їх сумарна ефективність визначається за виразом:

$$\eta = 1 - (1 - \eta_1) (1 - \eta_2) \dots (1 - \eta_n). \quad (6.39)$$

де $\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n$ -ступень очистки відповідного апарата

Сумарна очистки батарейного циклону та електрофільтра складає:

$$\eta = 1 - (1 - 99.39/100) \cdot (1 - 90.5/100) = 99.94\%$$

7. Розсіювання в атмосфері викидів електростанцій

7.1 Димові труби

На початку розвитку енергетики димові труби котлів служили для видалення димових газів за рахунок різниці густини холодного повітря і гарячих димових газів. Труби споруджувались з метала або цегли.

З розвитком енергетики димові труби стали використовуватись для розсіювання шкідливих домішок, які знаходяться в димових газах, в атмосферному повітрі до допустимих концентрацій. Підвищення потужності електростанцій і погіршення якості палива призвело до використання труб великої висоти 200...300 м і більше для забезпечення необхідного розсіювання. Прогресивним рішенням у відношенні будівництва високих димових труб виявилось застосування монолітних залізобетонних стовбурів витримуючих вітрові й вагові навантаження. Залізобетон виявився міцним матеріалом, але не здатним протистояти дії сірчаних з'єднань, вологи і підвищеної температури димових газів. Через це виникла необхідність створення іншої, внутрішньої оболонки, яка має призначення огорожувальної поверхні для агресивних димових газів[6].

Внутрішня поверхня залізобетонного стовбура труби покрита ізоляцією - епоксидним лаком і склотканиною. Футеровка виконана із червоної і кислотностійкої цегли, прямого або лекального, на діабазової чи андезитової замазці й спирається на залізобетонні консолі несучого стовбура, які виконані через 30...50 м (рис.7.1). Для захисту залізобетонного стовбура труби на верхньому його перетині встановлюється чавунний ковпак (рис.7.1). Для установки на трубі світлозагороджувальних вогнів передбачаються світлофорні майданчики, розташовані по висоті труби через кожні 15 або 30 м. Труба фарбується рисками червоного кольору шириною 2...2.5 м з інтервалами по висоті 15 м. Для обслуговування майданчиків є сходи с огорожею; передбачається система грозозахисту[6].

Протягом усього терміну експлуатації електростанції (30...50 років) труба

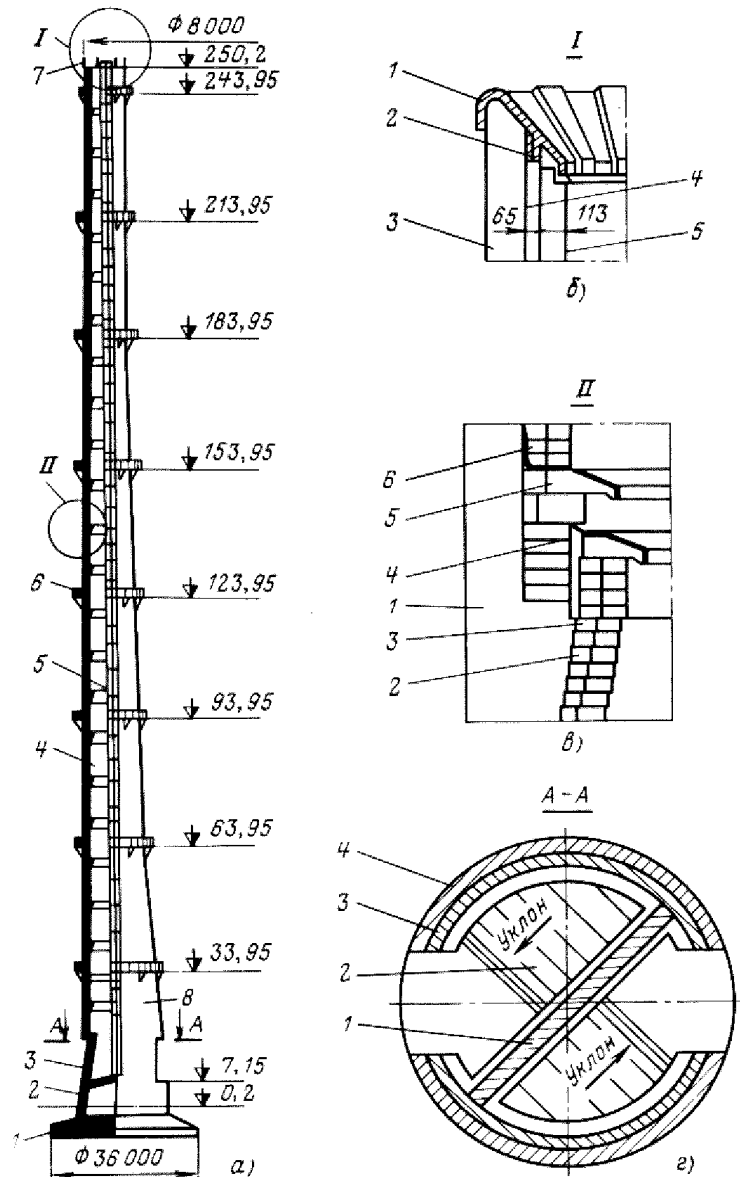
повинна працювати без ремонту. Однак, в результаті руху агресивних газів через нещільності футеровки, конденсації парів і проникнення рідини через бетонний стовбур назовні відбувається руйнування труби.

Основною причиною попадання димових газів в товщу стовбура димової труби є надлишкові статичні тиски димових газів в газовідвідному стволі по відношенню до атмосфери. Ефективним засобом боротьби з надлишковими статичними тисками являється встановлення невеликих дифузорів в верхній частині труби.

Для підвищення надійності димових труб, наряду з ліквідацією надлишкових статичних тисків, застосовується розділення функцій газовідвідного і несучого стовбура.

З цією метою між огорожувальними і несучими стовбурами виконується повітряний зазор 150...200 мм. В цьому зазорі забезпечена циркуляція повітря для виводу проникаючих через футеровку агресивних газів (рис.7.1). Повітря засмоктується з атмосфери і підігрівається в калорифері парою з відбору турбіни до температури 50...90 °С. Вентилятор встановлений під газовідвідним каналом труби направляє повітря в повітряний канал (прошарок) труби.

Велике розповсюдження знайшли одностовбурові димові труби, виконані по типу «труба в трубі» зі значним зазором між стовбурами, що дозволяють забезпечити рух людей і проведення ремонтних робіт. Газовідвідний стовбур складається із кільцевих елементів висотою 10 м кожен, які виконані з металевих підвісних каркасів, на які кріпляться кремнебетонні панелі. Цей матеріал являється корозійностійким. Обичайки на розтяжках підвішені до залізобетонного стовбура.



а - загальний вид: 1 - фундамент; 2 - цоколь; 3 - пандус; 4 - стовбур; 5 - ходові сходи; 6 - світлофорний майданчик; 7 - грозозахист;

б - верхня частина: 1 - чавунний ковпак; 2 - азбестова прокладка; 3 - стовбур; 4 - ізоляція; 5 - футеровка;

в - середня частина: 1 - залізобетонний стовбур; 2 - кислотостійка цегла; 3 - червона цегла; 4 - азбестовий дріт; 5 - слизнякова цегла; 6 - антикорозійний захист;

г - нижня частина: 1 - перегородка; 2 - пандус; 3 - футеровка; 4 - стовбур

Рисунок 7.1 Залізобетонна футерована труба:

Для ТЕС з набором великої кількості різнотипного обладнання, отримали застосування багатостовбурові труби, в яких в середині залізобетонної оболонки встановлюється декілька (зазвичай три-чотири) металевих стовбурів циліндричної форми (рис.7.1). Основні переваги багатостовбурових труб складається в тому, що є можливість обслуговувати і ремонтувати кожен стовбур незалежно від інших[6].

В останні роки в деяких країнах (Німеччина, США та ін.) ряд нових ТЕС проектується і будуються без димових труб. В цьому випадку очищення від золи, оксидів сіри і азоту димові гази викидаються в атмосферу через градирні.

Розміри димових труб уніфіковані. Крок по висоті слід прийняти 30 м, при цьому стандартизовані наступні висоти димових труб:

90.120.150.180. 210. 240. 270. 300. 330. 360. 390. 420 і 450 м.

Діаметри гирла рекомендується при цьому приймати наступними:

Дк 6.0 ;7.2; 8.4;9.6; 10.8; 12.0; 13.8.

Вибір кількості димових труб визначається за згідно таблиці 7.2.

Таблиця 7.2

Рекомендації до вибору кількості димових труб

Рекомендована кількість котлоагрегатів, що підключаються до одного газовідвідного дула багатодульної димової труби, шт.		
Паропродуктивність (теплопродуктивність котлоагрегату)	Роздільне підключення енергетичних і пікових котлів	Спільне підключення енергетичних і пікових котлів
D=400/500 т/ч	2-3	2
D=1000 т/ч	1-2	1
Q=100 Гкал/ч	3-6	1-3
Q=180 Гкал/ч	2-4	1-2

Мінімальна висота димової труби розраховується за формулою:

$$h_0 = \sqrt{\frac{A \cdot M \cdot F \cdot m}{ПДК}} \sqrt[3]{\frac{N}{Q \cdot \Delta T}}. \quad (7.1)$$

де А – коефіцієнт, залежний від температурної стратифікації атмосфери: А=200;

F- безрозмірний коефіцієнт, враховуючий швидкість осідання шкідливих речовин в атмосферному повітрі: F=2, для пилі при ступені уловлювання більше ніж 90%;

ПДК=0.5 максимальна разова концентрація сірчаного ангідриду;

M- сумарні викиди забруднюючих речовин (сірчаного ангідриду), г/с

N – кількість однакових димових труб

Безрозмірний коефіцієнт, що враховує умови виходу газоповітряної суміші з гирла джерела викиду:

$$\text{при } f > 100 \quad m = \frac{1}{0.67 + 0.1\sqrt{f} + 0.34\sqrt[3]{f}} \quad (7.2)$$

$$\text{при } f < 100 \quad m = \frac{1.47}{\sqrt[3]{f}}, \quad (7.3)$$

$$\text{де} \quad f = \frac{10^3 \cdot \omega_0^2 \cdot D_0}{h^2 \cdot \Delta T}. \quad (7.4)$$

Діаметр гирла димової труби :

$$D_0 = 1.13 \sqrt{\frac{Q}{N \times \omega_0}} \quad (7.5)$$

Попередньо задаємося висотою труби $h=330$.

Швидкість в гирлі димової труби W_0 обираємо на основі техніко-економічних розрахунків. і зазвичай вона знаходиться в залежності від висоти труби в межах приведених в таблиці 7.3

Таблиця 7.3

Стандартний ряд димових труб та швидкість димових газів

Висота труби. м	120	150	180	240	330
Швидкість газів на виході. м/с	15-25	20-30	25-35	30-40	35-45

Згідно таблиці 7.3 при висоті труби 330 м., швидкість димових газів буде $w_0=45$ м/с. При даних умовах діаметр гирла димової труби згідно виразу (7.5):

$$D_0 = 1.13 \sqrt{\frac{979}{2 \cdot 45}} = 3.72, (м)$$

Параметр f розраховується при вище згаданих умовах згідно виразу (7.4):

$$f = \frac{10^3 \times 45^2 \times 3.72}{330^2 \times 80} = 0.866, (м/(с^2 K))$$

Оскільки параметр $f < 100$, то параметр m розраховується згідно виразу (7.3)

$$m = \frac{1.47}{\sqrt[3]{0.866}} = 1.54$$

Згідно таблиці 7.2 обираємо кількість труб $N=3$ (три блока паропродуктивністю більше 500 т/г)

Викиди NO_2 приводяться по емісії сірчистому ангідриду:

$$M = M_{SO_2} + 5.88 \cdot M_{NO_2} = 283 + 5.88 \cdot 367 = 2442, \left(\frac{г}{с} \right).$$

ПДК для сірчаного ангідриду визначаємо згідно додатку 3 таблиці Д 2.1 для максимально-разової концентрації. ПДК=0,5 мг/м³

$$h_0 = \sqrt{\frac{A \cdot M \cdot F \cdot m}{ГДК}} \sqrt[3]{\frac{N}{Q \cdot \Delta T}} = \sqrt{\frac{200 \cdot 2442 \cdot 2 \cdot 1.644}{0.5}} \sqrt[3]{\frac{3}{979 \cdot 80}} = 334, (м).$$

Обираємо димову трубу висотою 330 м та ближнім діаметром горловини 6 м.

8. Приклад висновку розрахункової роботи

В даній роботі визначені теплотехнічні характеристики палива і теоретичного складу продуктів згорання ТЕС потужністю 600 МВт, що складається з трьох блоків по 200 МВт –турбіни К 200-130 та котла Еп 640/140. Повний об'єм газів в дійсних умовах складає 979 м³/с; також визначено викиди окисів сірки та NO_x. Концентрація окисів сірки в димових газах складає 440 мг/м³ концентрація NO_x 388 мг/м³. Загальні викиди 431 г/с та 399 г/с відповідно. Зниження викидів сірки досягається шляхом використання мокрого електрофільтру та мокрого скрубера з додаванням вапна в якості сорбенту. Для зниження NO_x використовується каталітичний метод відновлення NO_x. Розраховано ефективність пилоосадної камери. Розраховано батарейний циклон, число циклонних елементів складає 1432 (18 апаратів). загальна ефективність - 90.5 %. Для мокрого золоуловлювача визначено площу перерізу горловини Вентурі 1.3 м² та краплєвловлювача 4.5 м² (4 апарата). Ступень очищення димових газів складає 95.78%. Обрано електрофільтр марки УГЗ-З-177 (2 шт на кожний блок). площа осадних електродів складає 18400 м². ефективність 99.39%. Підібрано дві димові труби висотою 330 м² для розсіювання димових газів.

Висновок

В результаті виконання розрахункової роботи студенти опановують основи розрахунку та підбору основного золоуловлюючого обладнання такого як пилоосадні камери, батарейні циклони, мокрі скупера та електрофільтри, принципи їх сумісної роботи. Студенти ознайомлюються з технологіями пригнічення, уловлення та відновлення SO_x та NO_x , з методами розрахунку. В роботі надано поняття гранично допустимих концентрації різних шкідливих сполук та їх сумісного впливу. Здобувачі опановують методику підбору димових труб з урахуванням масових викидів шкідливих речовин, кількості котлоагрегатів та сумарної потужності станції для забезпечення граничнодопустимих концентрації шкідливих речовин на висоті людського зросту. Завершальним етапом роботи є систематизована подача результатів розрахунку у вигляді висновків.

Список використаних джерел

1. Тепловой расчет котельных агрегатов (Нормативный метод). М.. Энергия. 1998. 456с.
2. Рыжкин В.Я. Тепловые электрические станции. Москва: Энергоатомиздат, 1987. 328 с.
3. Перспективи впровадження чистих вугільних технологій в енергетиці України / І. А. Вольчин та ін. Київ : ГНОЗІС, 2013. 308 с.
4. РД 34.02.304-95 Методические указания по расчету выбросов оксидов азота с дымовыми газами котлов тепловых электростанций. – Введені 01.07.1996
5. Catalog - Berdichev machine-building plant. Бердичевский машиностроительный завод "Прогресс" - Головна.
URL: <https://www.progress.ua/en/product/dust-gas-dleaning-and-desulphurisation/electrostatic-precipitators/egu-type-electrostatic-precipitators/>
6. Жабо В.В. Охрана окружающей среды на ТЭС и АЭС : Учебник для техникумов. Москва : Энергоатомиздат, 1992. 240 с.

Додатки

Додаток А Турбіни та котли теплових електричних станцій

Таблиця А 1.1.

Турбіни теплових електричних станцій [2].

№ п/п	Тип блока, пиво	N _{уст} МВт	Доля часу ремонтів			by.n ном, т/МВт· ч	by.бр ном, т/МВт· ч	N1 МВт	b' т/МВт· ч	b'' т/МВт· ч	N _{т.м} МВт	ΔB_{π}^{48} , т	ΔB_{π}^x , т	B _x , т/ч
			ав	ат.р	ак.р									
1	К-50-90 у	50	0,0244	0,02	0,047	0,398	0,347	40	0,324	0,369	15	5,0	15,0	2,1
2	К-100-90 у	100	0,029	0,026	0,051	0,396	0,373	80	0,323	0,368	30	10	30	4,15
3	К-100-90 ГМ	100	0,026	0,023	0,045	0,378	0,361	80	0,312	0,355	30	10	30	4,0
4	К-160-130 у	160	0,04	0,0335	0,066	0,360	0,337	130	0,293	0,338	85	27	45	5,91
5	К-160-130 ГМ	160	0,036	0,0301	0,06	0,344	0,328	130	0,287	0,328	60	27	45	5,73
6	К-200-130 у	200	0,043	0,0305	0,068	0,358	0,333	150	0,288	0,327	110	36	60	7,3
7	К-200-130 ГМ	200	0,0386	0,0312	0,06	0,337	0,323	150	0,279	0,318	80	36	60	7,0
8	К-300-240 у	300	0,0577	0,043	0,084	0,339	0,325	250	0,286	0,309	210	60	95	10,4
9	К-300-240 ГМ	300	0,05	0,038	0,073	0,324	0,315	250	0,278	0,30	140	60	95	10,2
10	К-500-240 у	500	0,0675	0,0465	0,09	0,336	0,321	400	0,284	0,307	290	95	150	15,2
11	К-800-240 у	800	0,078	0,05	0,097	0,330	0,319	640	0,283	0,298	520	150	240	25,2
12	К-800-240 ГМ	800	0,068	0,044	0,085	0,318	0,310	640	0,276	0,098	360	150	240	24,5
13	К-1200-240 у	1200	0,089	0,0545	0,105	0,330	0,317	960	0,282	0,304	800	220	350	36,4
14	К-1200-240 ГМ	1200	0,0815	0,0495	0,095	0,315	0,307	960	0,274	0,295	600	220	350	25,4
15	К-500-130- 510/510 ГМ	500	0,049	0,0338	0,064	0,362	0,345	350	0,315	0,361	175	37,5	60	8,4

Примітка:

1.у-вугілля; ГМ- газомазутне паливо.

2.Втрата палива на пуск холодного стану $\Delta B_{\pi}^x = 2\Delta B_{\pi}^{48}$

. Типи парових котлів електричних станцій.

Маркування		Паропроductивність т/ч	Параметри пару			Паливо	Топка	Спосіб видалення шлаку	Компоновка котла	Повітря підігрівач	Газовий тракт	Число щаблів випаровування	Тип НРЧ	Габарити котлів,м: верхня відмітка/ширина фронта/глибина по	Примітка	
По ГОСТ	Завода		Тиск МПа	Темпера- тура перегріто-го пару												
				Свіжо го	Втори нно											
Таганрогський котельний завод(ТКЗ)																
Пп-950/255Ж	ТПП-210	950	25,5	565	570	АШ, тоще вугілля і природний газ	Відкрита	Напів відкри-та	В рідкому стані	П	Чотири РВП по два на корпус	Р	4 потоки по два на корпус	5-ходо-ва підйо-мно- опуска	46,5/ 12,0/ 19,0	Два симет- ричних корпу- си для блока 300МВт
Пп-950/255ГМ	ТГМП-114	950	25,5	565	570	Природний газ і мазут		—	П	Р		Горизо- нтально підйомна(змійова)		36,2/ 12,8/ 18,0		
Пп-950/255Ж	ТПП-312	950	25,5	565	570	ГСШ		Відкрита	В рідкому стані	П	Два РВП	Р	2 потоки	Верти- кальні панелі	51,0/ 18,0/ 23,6	Однокорпус- ний для блока 300МВт
Пп-950/255ГМ	ТГМП-314	950	25,5	565	570	Природний газ і мазут			—	П		Р			42,0/ 18,6/ 23,6	
Пп-950/255Ж	ТПП-322	950	25,5	565	570	ГСШ			В рідкому стані	П		Н	1 потік до ВЗ, 2 потоки за ВЗ		42,5/ 21,0/ 25,5	
Пп-950/225ГМ	ТГМП-324	950	25,5	565	570	Природний газ і мазут			—	П		Н			49,5/ 18,8/ 24,5	
Пп-2500/255Ж	ТПП-200	2500	25,5	565	570	АШ і товще вугілля	Відкрита	Напів відкри-та	В рідкому стані	П	10 РВП по 5 на корпус	Р	8 потоків по 4 на корпус	Горизо- нтально підйомна(змійова)	45,5/ 20,1/ 21,1	Два симетричних корпуси для блока 800МВт
Пп-2650/255	ТПП-804	2650	25,5	545	545	Кузнєцьке кам'яне вугілля		В твердо- му стані	Т	Три РВП	Р	2 потоки	Верти- кальні панелі	87/ 71/ 17	Однокорпус- ний для блока 800МВт	

Продовження табл. Д 1.2

Маркування		Паропроductивність т/ч	Параметри пару			Паливо	Топка	Спосіб видалення шлаку	Компоновка котла	Повітро підігрівач	Газовий тракт	Число шаблів випаровування	Тип НРЧ	Габарити котлів,м: верхня відмітка/ширина фронту/глибина по осям	Примітка
По ГОСТ	Завода		Тиск МПа	Темпера-тура перегріто-го пару											
				Свіжого	Вторинно перегрітого										
Пп-2650/255ГМ	ТГМП-204	2650	25,5	545	545	Природний газ і мазут		—	П	Чотири РВП	Н	2 потоки до ВЗ, 4 потоки за ВЗ		61,0/ 21,2/ 28,65	
Пп-3050/255ГМ	ТГМП-1202	3950	25,5	545	545			—	П	Три РВП	Н	2 потоки		61/ 31/ 29	
Е-220/100	ТП-13	220	10	540	—	Кам'яне вугілля, коксовий і доманний газ		В твердо-му стані	П	Двух-ступінчатий ТВП		2		31,1/ 16,13/ 11,2	—
Е-420/140ГМ	ТГМ-84	420	14	570	—	Природний газ і мазут		—	П	Два РВП		3		31,4/ 15,4/ 13,9	Для встановлення в блок з теплофікаційною турбіною
Е-420/140	ТП-87	420	14	570	—	АШ, тоще вугілля, природний газ		Напів-відкрита	П	Двух-ступінчатий ТВП		2,,3	39,7/ 15,8/ 18,2		
Еп-480/140ГМ	ТГМ-96	480	14	570	570	Природний газ і мазут	Відкрита	—	П	Три РВП		2		32,76/ 15,95/ 16,0	—
Таганрогський котельний завод(ТКЗ)															
Еп-500/140ГМ	ТГМ-94	500	14	570	570	Природний газ і мазут	Відкрита	—	П	Три РВП		2		32,9/ 18/ 20,9	Для енергоблока 150МВт
Еп640/140Ж	ТП-100	640	14	570	570	АШ, тоще вугілля і природний газ		В рідкому стані	Т	1 шабель РВП 2 шабельТВ П		2		43,5/ 30,8/ 20,4	Для енергоблока 200МВт

Продовження табл. Д 1.2

Маркування		Паропроductивність т/ч	Параметри пару			Паливо	Топка	Спосіб видалення шлаку	Компоновка котла	Повітро підігрівач	Газовий тракт	Число шаблів випаровування	Тип НРЧ	Габарити котлів, м: верхня відмітка/ширина фронту/глибина по осям	Примітка	
По ГОСТ	Завода		Тиск МПа	Темпера- тура перегріто-го пару												
				Свіжого	Вторинно перегрітого											
Еп-640/140	ТП-101	640	14	570	570	Естонські сланці		В твердо- му стані	П_	Одноступінчатий ТВП в окремому газоході		2		43/ 16,3/ 27,0	Для енергоблока 200МВт	
Еп-640/140	ТП-108	640	14	570	570	Фрезерний торф			П	Одноступінчатий ТВП		2		43,27/ 15,0/ 20,9		
Бариаульський котельний завод(БКЗ)																
Е-160/100ГМ	БКЗ-160-100ГМ	160	10	570	—	Природний газі мазут	Відкри-та	—	П	Два РВП		2		25,43/ 8,11/ 10,23	—	
Е-210/140	БКЗ-210-140	210	14	570	—	АШ і тоще вугілля	Напів- відкрита	В твердо- му стані	П	Двухступінчатий ТВП		2		33,2/ 8,12/ 16,0	—	
Е-320/140	БКЗ-320-140	320	14	570	—	Кам'яне вугілля	Відкри-та		П			2		34,2/ 13,16/ 17,15	—	
Е-320/140Ж	БКЗ-320-140ПТ	320	14	570	—	Назарівське буре вугілля	Напіввідк- рита	В рідкому стані	П			2		36,3/ 13,16/ 16,28	—	
Е-320/140ГМ	БКЗ-320-140ГМ	320	14	570	—	Природний газ і мазут	Відкрита	—	П	Два РВП		2		27,37/ 13,3/ 12,7	—	
Е-420/140	БКЗ-420-140	420	14	570	—	Екибастузь-ське кам'яне вугілля		В твердо- му стані	Т	Двухступінчатий ТВП в окремому газохо-ді		2		37,9/ 11,15/ 25,44	Для встановлення в блоці з теплофікацій-ною турбіною 100МВт	
Подільський машинобудівний завод(ЗиО)																
Пп-950/255	ПК-39	950	25,5	585-565	570	Екибастузь-ське кам'яне вугілля	Відкрита	В твердо-му стані	Т	Чотири РВП	Р	4 потоки по 2 на корпус	8-ми ходова піднімно-опускна	42,2/ 44,0/ 12,0	Два симетричних корпуси для блока 300МВт	

Продовження табл. Д 1.2

Маркування		Паропроductивність	Параметри пару			Паливо	Топка	Спосіб видалення шлаку	Компоновка котла	Повітро підігрівач	Газовий тракт	Число щаблів випаровування	Тип НРЧ	Габарити котлів,м: верхня відмітка/ширина фронту/глибина по осям	Примітка	
По ГОСТ	Завода		Тиск МПа	Темпера- тура перегріто- го пару												
				Свіжого	Вторинно перегрітого											
Подільський машинобудівний завод(ЗиО)																
Пп- 950/255ГМ	ПК-41	950	25,5	565	570	Природний газ і мазут	Напів- відкри- та	—	П	Чотири РВП	Р	4 пото- ка по 2 на корпус	Вертика- льні панелі	36,0/ 12,0/ 18,0	Два симетричних корпусу для блока 300МВт	
Пп-950/255Ж	П-50	950	25,5	565	570	АШ і тоще вугілля		В рідкому стані	П		Р			51,42/ 12,0/ 19,0		
Пп-950/255	П-59	950	25,5	565	570	Підмосковне буре вугілля	Відкри- та	В твердо- му стані	Т	Двухст упінча- тий ТВП	Р	2 потоки		65,5/ 36,0/ 24,0	Однокорпус- ний для блока 300МВт	
Пп- 1600/255Ж	П-49	1600	25,5	565	570	Сушонка назаровського бурого вугілля	Напів- відкри- та	В рідкому стані	П	Одно- ступін- чатий ТВП	Р	4 пото- ка по 2 на корпус		42,15/ 22,0/ 44,5	Два симетричних корпуси для блока 500МВт	
Пп-1650/255	П-57	1680	25,5	545	545	Екибастузь-ське кам'яне вугілля	Відкри- та	В твердо- му стані	Т	Чотири РВП	Р	2 пото- ка		63,0/ 36,0/ 24,0	Однокорпус- ний для блоку 500МВт	
Пп-2650/255	П-67	2650	25,5	545	545	Каньсько-ачинське вугілля			Т	Одно- ступін- чатий ТВП	Р			110/ 60/ 23	Однокорпус- ний для блоку 800МВт	

Примітка: 1.газовий тракт- Р- розрідження, Н-наддув.

Додаток Б. Гранично допустимі концентрації забруднених речовин в атмосферному повітрі населених місць

Таблиця Б 1.1

Гранично допустимі концентрації забруднених речовин в атмосферному повітрі населених місць

Номер	Речовина	ПДК. мг/м ³		Клас небезп еки
		Максималь на разова	Середньодоб о-ва	
1	Азота диоксид	0.085	0.04	2
2	Азота оксид	0.6	0.06	3
3	Аміак	0.2	0.04	4
4	Ангидрид сірний	0.5	0.05	3
5	Бенз(а)пирен	—	$0.1 \cdot 10^{-5}$	1
6	Бензол	1.5	0.1	2
7	Кислота сірна по молекулі H ₂ SO ₄	0.3	0.1	2
8	З'єднання ртуті в перерахунку на ртуть	—	0.0003	1
9	Озон	0.16	0.03	1
10	Пил неорганічний. містячий більше 70% оксиду кремнія (динас и др.)	0.15	0.05	3
11	Теж саме от 70 до 20% (шамот.	0.3	0.1	3
12	цемент)	0.15	0.05	3
13	Сажа	0.008	—	2
14	Сірководень Оксид вуглецю	5	3	4

Зміст

Вступ	3
1. Завдання та оцінювання розрахункової роботи.	4
1.1 Графік виконання та оцінювання розрахункової роботи.	4
1.2 Вибір варіанта.	5
2. Вибір основного обладнання станції.	8
3. Розрахунок об'ємів викидів продуктів згорання.	9
3.1. Розрахункові характеристики палива.	9
4. Сіркоуловлюючі системи.	11
4.1 Оцінка викидів оксиду сірки.	11
5. Розрахунок викидів оксидів азоту.	15
6. Розрахунок золоуловлюючих систем.	21
6.1 Розрахунок пилоосадної камери.	23
6.2 Розрахунок батарейного циклона.	25
6.3 Розрахунок мокрих золоуловлювачів.	30
6.3.1 Визначення діаметра краплевловлювача.	32
6.4 Вибір та розрахунок електрофільтра.	35
6.4.1 Приклад розрахунку.	40
6.5 Сумарна очистка від твердих часток.	47
7. Розсіювання в атмосфері викидів електростанцій.	48
7.1 Димові труби.	48
8. Приклад висновку розрахункової роботи	55
Висновок	56
Список використаних джерел	57

Анотація

Метою розрахункової роботи є розрахунок об'ємів викидів шкідливих забруднюючих речовин від електричної станції, вибір методів уловлення та пригнічення утворення NO_x та SO_x , та розрахунок і вибір золоуловлюючого обладнання та димової труби для ТЕС.

В навчальному посібнику розглянуто основи розрахунку об'ємів димових газів та основних забруднюючих речовин при спалюванні твердого палива, підбору основного обладнання ТЕС, розрахунок та підбір обладнання для очищення димових газів і зни*ження концентрації забруднюючих речовин.

Навчальний посібник призначено для студентів теплоенергетичного факультету спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування», освітньо-професійної програми «Інженерія і комп'ютерні технології теплоенергетичних систем».

©Є.В. Новаківський, 2022
© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021