

Имя пользователя:  
Баранюк Александр Володимирович

ID проверки:  
1011544962

Дата проверки:  
11.06.2022 10:31:06 EEST

Тип проверки:  
Doc vs Internet + Library

Дата отчета:  
11.06.2022 10:34:24 EEST

ID пользователя:  
100007114

Название файла: TK81-Olayo-VeranoN-diplom

Количество страниц: 134 Количество слов: 22786 Количество символов: 139377 Размер файла: 4.53 MB ID файла: 1011417165

Обнаружены модификации текста (могут влиять на процент совпадений)

## 36.8%

### Совпадения

Наибольшее совпадение: 19.4% с источником из Библиотеки (ID файла: 1000073379)

5.74% Источники из Интернета

287

Страница 136

36.6% Источники из Библиотеки

653

Страница 139

## 0% Цитат

Исключение цитат выключено

Исключение списка библиографических ссылок выключено

## 0% Исключений

Нет исключенных источников

## Модификации

Обнаружены модификации текста. Подробная информация доступна в онлайн-отчете.

Замененные символы

760

Подозрительное форматирование

46  
страниц

ЗМІСТ

Вступ.....3

1 ОПИС КОНСТРУКЦІЇ КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТУ.....4

2 ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТУ.....6

2.1 Газовий розрахунок котельного агрегату.....6

2.2 Розрахунок теплового балансу котельного агрегату.....11

2.3 Розрахунок топки.....12

2.4 Розрахунок фестона.....19

2.5 Розрахунок пароперегрівача.....25

2.5.1 Розрахунок першої ступені пароперегрівача по ходу газів.....25

2.5.2 Розрахунок другої ступені пароперегрівача по ходу газів.....34

2.6 Розрахунок повітропідігрівника.....44

2.7 Розрахунок водяного економайзера.....52

3 ТЕПЛОГІДРАВЛІЧНИЙ РОЗРАХУНОК.....57

3.1 Розподіл теплового навантаження по контурах циркуляції.....57

3.2 Рушійні та корисні напори.....61

3.3 Визначення надійності природної циркуляції в контурі.....68

4 РОЗРАХУНОК НА МІЦНІСТЬ ЕЛЕМЕНТІВ ПАРОВОГО КОТЛА..72

4.1 Розрахунок на міцність барабана котла.....73

4.2 Розрахунок на міцність еліптичного днища барабана.....83

4.3 Розрахунок на міцність стінки труби пароперегрівача.....85

4.4 Розрахунок на міцність стінки вихідної камери пароперегрівача.....87

TK81.162.0003.154.ПЗ

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Олайо-Верано					
Перевір.		Філатов					
Реценз.							
Н. Контр.		Новаківський					
Затверд.		Філатов					

Котел паровий  
E-75-4,3-435 ГМ

НТУУ "КПІ", ТЕФ, каф. АЕС і ПФ

4.5 Розрахунок на міцність опорної балки барабана.....88

5 АЕРОДИНАМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК.....92

5.1 Розрахунок газової сторони.....92

5.2 Розрахунок повітряної сторони.....101

						TK81.162.0003.154.ПЗ	Лист т 126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

6 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	108
6.1 Технічні рішення та організаційні заходи щодо безпечної експлуатації проектного обладнання котла.....	108
6.2 Технічні рішення та організаційні заходи з гігієни праці і виробничої санітарії.....	111
6.3 Пожежна безпека та профілактика.....	114
7 МЕТОДИ ЗНИЖЕННЯ ВИКИДІВ NOx.....	118
7.1 Технологічні зниження викидів NOx.....	119
7.1.1 Теоретичні положення.....	119
7.2 Первинні заходи зниження NOx.....	120
7.2.1 Метод зниження надлишку повітря.....	120
7.2.2 Метод стадійної подачі повітря.....	120
7.2.3 Метод рециркуляції димових газів.....	121
7.2.4 Зниження температури попереднього нагрівання повітря.....	122
7.2.5 Стадійне спалювання палива (триступеневе спалювання).....	122
7.2.6 Малотоксичні пальники.....	123
7.2.7 Подача водяної пари або води у зону горіння.....	125
7.2.8 Міра ефективності первинних засобів придушення NOx.....	125
7.3 Вторинні методи зниження оксидів азоту.....	126
7.3.1 Селективне каталітичне відновлення (СКВ).....	126
7.3.2 Селективне некаталітичне відновлення (СНКВ).....	129

					TK81.162.0003.154.ПЗ	Лист т 126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



## ВСТУП

На даний час енергетика є основною частиною розвитку сучасної цивілізації. Найважливішою ланкою промислової комплексу є теплові електростанції, що об'єднані в чималі енергосистеми. Майже 60% електроенергії в світі генерується на теплових електростанціях у теплосилових циклах парових турбін. Необхідний для цих процесів промисловий пар виробляється теплоенергетичними паровими котлами, що спалюють органічне паливо.

В якості органічного палива використовують: буре вугілля, кам'яне вугілля, антрацити, мазут, природні та промислові гази. Існують різні конструкції котлів в залежності від виду палива, які мають різну характеристику (вологість, нижча теплота згорання, зольність, процент вмісту сірки, азоту, кисню, водню та інших складових).

У даній роботі виконано повірково-конструкційний розрахунок парового котла типу Е-70-4,3-435 ГМ.

Метою даної роботи є проект парового котла з природною циркуляцією паропродуктивністю 70 т/год температурою та тиском перегрітої пари відповідно 435 °С та 3,9 МПа без проміжного перегріву. Котельний агрегат спроектований на основі серійного котла БКЗ-75-39-ГМА та призначений для спалювання природного газу №1.

						TK81.162.0003.154.ПЗ	Лист т 126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

## 1 ОПИС КОНСТРУКЦІЇ КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТУ І ПРИНЦИП ЙОГО РОБОТИ

Паровим котлом називають пристрій для генерації пари з тиском вище атмосферного за рахунок теплоти спалювання палива.

Об'єм топкової камери котла складає 284 м<sup>3</sup>, що повністю заповнений екранними трубами  $d=60$  мм і товщиною  $\delta=3$  мм з кроком 100 мм для заднього і бокових екранів та 150 мм для фронтального екрану. Труби, що підводять воду у екранах виготовлені з труб  $d=83$  мм.

Котел має двоступеневу систему випаровування. У барабані розташовується чистий відсік першої ступені. А також там наявні пароприймальні короби, дірчасті сепаратори та жалюзійні циклони. Барабан представляє собою циліндричну ємкість, у якій проходить відділення парової фази від рідкої. Рідка фаза рухається по опускним трубам у нижній колектор, а потім по екранованим підйомним трубам піднімається знову в барабан. Тут рух середовища оснований на принципі природної циркуляції, яка виникає за рахунок різниці густин в підйомних і опускних трубах. Різниця густин в підйомних і опускних трубах виникає за рахунок того, що підйомні екранні труби обігріваються димовими газами, за рахунок чого густина робочого тіла в них менше, ніж в опускних трубах. За рахунок цієї різниці густин виникає рухомий напір, під дією якого і проходить рух рідини, тобто здійснюється циркуляція. Виносні циклони являють собою другу ступінь випаровування.

Пароперегрівач є змієвиковий, вертикальний та двоступеневий. Перша ступінь складається з труб  $d=38$  мм і товщиною  $\delta=3$  мм, а друга ступінь з діаметром  $d=42$  мм і товщиною  $\delta=3$  мм. Між ступенями пароперегрівача розташований парохолоджувач, який призначений для регулювання температури перегріву за рахунок відбору теплоти від пари шляхом її охолодження живильною водою.

Економайзер являє собою сталю, змієвикову поверхню киплячого типу, що складається з труб діаметром  $d=32$  мм і товщиною  $\delta=3$  мм.

					TK81.162.0003.154.ПЗ	Лист 7 126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Поперечний і повздовжній кроки становлять 75 мм та 55 мм відповідно.

Труби водяного економайзера компонуються таким чином, щоб по газовій стороні було отримано шаховий пучок, так як при цьому збільшується коефіцієнт тепловіддачі, і відповідно зменшується поверхня нагріву.

Повітропідігрівник є сталевий, трубчатий з шаховим розташуванням труб  $d=40$  мм і товщиною  $\delta=1,5$  мм. Він призначений для зниження температури газів, що відходять, внаслідок чого підвищується ККД котельного агрегату, так як знижуються втрати з вихідними газами.

Котельний агрегат Е-70-4,3-435-ГМ призначений для генерації пари з такими характеристиками: тиск пари  $P_{\text{пар}}=3$  ; температура перегрітої пари  $t_{\text{п}}=435$  °С, паропродуктивність  $D_{\text{пл}}=19,44$  кг/с. Вид палива – газ №1.

Живильна вода поступає в водяний економайзер з температурою  $t_{\text{жв}}=155$  °С, і нагрівається до температури насичення  $t=260,5$  °С, за рахунок утилізації теплоти відхідних газів. Вода, нагріта до температури насичення після економайзера, подається по трубах у барабан. Пара з барабану відводиться по паровідвідних трубах в пароперегрівач, у якому відбувається перегрів пари відносно температури насичення до величини  $t_{\text{пп}}=435$  °С.

В даному котлі також є повітропідігрівник, який призначений для підігріву повітря до температури  $t_{\text{гп}}=240$  °С.

						Лист 7 126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	TK81.162.0003.154.ПЗ	





$$V_0'' = 0,0476 [0,5CO + 0,5H_2 + 1,5H_2S + \sum (m + \frac{n}{4}) C_m H_n - O_2], \text{ м}^3 / \text{ м}^3$$

$$V_0'' = 0,0476 \left[ \left( 1 + \frac{4}{4} \right) 98,72 + \left( 2 + \frac{6}{4} \right) 0,12 + \left( 3 + \frac{8}{4} \right) 0,01 + \left( 4 + \frac{10}{4} \right) 0,01 \right] = \zeta = 9,42 \frac{\text{ м}^3}{\text{ м}^3}$$

Теоретичний об'єм азоту:

$$V_{0,N_2}^H = 0,79 V_0'' + 0,01 N_2, \frac{\text{ м}^3}{\text{ м}^3}$$

$$V_{0,N_2}^H = 0,79 \cdot 9,42 + 0,01 \cdot 1 = 7,45 \frac{\text{ м}^3}{\text{ м}^3}$$

Теоретичний об'єм димових газів:

-трёхатомних газів:

$$V_{RO_2}^H = 0,01 (CO_2 + CO + H_2S + \sum m \cdot C_m H_n), \frac{\text{ м}^3}{\text{ м}^3}$$

$$V_{RO_2}^H = 0,01 (0,14 + 1 \cdot 98,72 + 2 \cdot 0,12 + 3 \cdot 0,01 + 4 \cdot 0,01) = 0,99 \frac{\text{ м}^3}{\text{ м}^3};$$

-водяної пари:

$$V_{O_{H_2O}}^H = 0,01 \cdot \left( H_2S + H_2 + \sum \frac{n}{2} C_m H_n + 0,124 \cdot d_{г,тл} \right) + 0,0161 \cdot V_0'', \frac{\text{ м}^3}{\text{ м}^3}$$

$$V_{O_{H_2O}}^H = 0,01 \cdot \left( \frac{4}{2} \cdot 98,72 + \frac{6}{2} \cdot 0,12 + \frac{8}{2} \cdot 0,01 + \frac{10}{2} \cdot 0,01 + (0,124 \cdot 4,5) \right) + 0,0161 \cdot 9,42 = 2,14 \frac{\text{ м}^3}{\text{ м}^3}$$

У табл. 2.1.3 представлений розрахунок надлишків повітря та присмоків у газоходах котла [1].

Найменування газоходу	Присмок повітря в газоході	Надлишок повітря за поверхнею нагріву
Топка, фєстон	$\Delta\alpha_{\tau} = 0,05$ $\Delta\alpha_{\phi} = 0$	$\alpha_{\tau} = \alpha_{\tau} + \Delta\alpha_{\tau} = 1 + 0,05 = 1,05;$ $\alpha_{\phi} = \alpha_{\tau} + \Delta\alpha_{\phi} = 1,05 + 0 = 1,05;$
Пароперегрівник (ПП І)	$\Delta\alpha_{пп} = 0,015$	$\alpha_{пп} = \alpha_{\phi} + \Delta\alpha_{пп} = 1,05 + 0,015 = 1,065;$

					TK81.162.0003.154.ПЗ	Лист m 126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Пароперегревник (ПП II)	$\Delta\alpha_{пп}=0,015$	$\alpha_{ппII}=\alpha_{ппI}+\Delta\alpha_{пп}=1,065+0,015=1,08$
Водяний економайзер (ВЕ)	$\Delta\alpha_{ве}=0,08$	$\alpha_{ве}=\alpha_{ппII}+\Delta\alpha_{ве}=1,08+0,08=1,16;$
Повітропідігрівник (Пов. П)	$\Delta\alpha_{пов.п}=0,06$	$\alpha_{пов.п}=\alpha_{ве}+\Delta\alpha_{пов.п}=1,16+0,06=1,22$

Таблиця 2.1.3 – Розрахунок надлишків повітря та присмоків у газоходах котла

У табл. 2.1.4 – розрахунок дійсних об’ємів повітря та димових газів.

Таблиця 2.1.4 – Розрахунок дійсних об’ємів повітря та димових газів

Величина та розрахункова формула	Розмірність	Газохід				
		Топка	ПП I	ПП II	ВЕ	Пов. П
		$V_0^H = 9,42 \frac{M^3}{M^3}$ ; $V_{0.N_2}^H = 7,45 \frac{M^3}{M^3}$ ; $V_{RO_2}^H = 0,99 \frac{M^3}{M^3}$ ; $V_{H_2O}^H = 2,14 \frac{M^3}{M^3}$ ;				
Коефіцієнт надлишку повітря в кінці поверхні нагріву $\alpha_i$	–	1,05	1,065	1,08	1,16	1,22
Середній коефіцієнт надлишку повітря $\alpha_{ср} = \frac{\alpha_{i-1} + \alpha_i}{2}$	–	1,025	1,058	1,073	1,12	1,19
Дійсний об’єм водяної пари $V_{H_2O} = V_{H_2O}^0 + 0,0161 \cdot (\alpha_{ср,i} - 1) \cdot V^0$	$\frac{M^3}{M^3}$	2,14	2,145	2,147	2,154	2,165
Дійсний об’єм газів $V_g = V_{RO_2} + V_{N_2} + V_{H_2O} + (\alpha - 1) \cdot V^0$	$\frac{M^3}{M^3}$	10,818	11,124	11,266	11,713	12,373
Об’ємна доля трьохатомних газів $r_{RO_2} = \frac{V_{RO_2}}{V_g}$	–	0,092	0,089	0,088	0,085	0,08
Об’ємна доля водяної пари $r_{H_2O} = \frac{V_{H_2O}}{V_g}$	–	0,197	0,192	0,19	0,182	0,173
Сумарна об’ємна доля RO2 та H <sub>2</sub> O: $r_{г} = r_{RO_2} + r_{H_2O}$	–	0,289	0,281	0,278	0,267	0,253

У табл. 2.1.5 показані ентальпії димових газів та повітря.

			$I_g = I_g^0 + (\alpha - 1) I_{пов}^0$	
$\alpha_T$	$\alpha_{пп I}$	$\alpha_{пп II}$	$\alpha_{ве}$	$\alpha_{пов.п}$

TK81.162.0003.154.ПЗ				Лист 126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

$\theta, ^\circ\text{C}$	$I_{\text{Г}}^0$ , кДЖ м <sup>3</sup>	$I_{\text{пов}}^0$ кДЖ м <sup>3</sup>	$I_{\text{Г}}$ кДЖ м <sup>3</sup>	$I_{\text{пл}}$ кДЖ м <sup>3</sup>	$I_{\text{пл}}$ кДЖ м <sup>3</sup>	$I_{\text{ве}}$ кДЖ м <sup>3</sup>	$I_{\text{пов.п}}$ кДЖ кг
100	1461,3	1250,03	1523,8	1542,55	1561,30	1661,30	1736,31
200	2951,41	2515,14	3077,17	3114,9	3152,62	3353,83	3504,74
300	4483,49	3796,26	4673,30	4730,25	4787,19	5090,89	5318,67
400	6048,93	5105,64	6304,21	6380,8	6457,38	6865,83	7172,17
500	7659,46	6452,7	7982,1	8078,89	8175,68	8691,89	9079,05
600	9311,95	7818,6	9702,88	9820,16	9937,44	10562,93	11032,04
700	11005,57	9222,18	11466,68	11605,01	11743,34	12481,12	13034,45
800	12729,74	10635,18	13261,5	13421,03	13580,55	14431,37	15069,48
900	14497,18	12085,86	15101,47	15282,76	15464,05	16430,92	17156,07
1000	16293,19	13545,96	16970,49	17173,68	17376,87	18460,54	19273,3
1100	18107,87	15024,9	18859,12	19084,49	19309,86	20511,85	21413,35
1200	19954,56	16522,68	20780,69	21028,53	21276,37	22598,19	23589,55
1300	21768,24	18029,88	22669,73	22940,18	23210,63	24653,02	25734,81
1400	23649,92	19555,92	24627,72	24921,05	25214,39	26778,87	27952,22
1500	25551,73	21091,38	26606,3	26922,67	27239,04	28926,35	30191,83
1600	27469,39	22636,26	28601,2	28940,75	29280,29	31091,19	32449,37
1700	29410,51	24181,14	30619,57	30982,28	31345	33279,49	34730,36
1800	31359,87	25735,44	32646,64	33032,67	33418,71	35477,54	37021,67
1900	33314,66	27308,58	34680,09	35089,72	35499,35	37684,03	39322,55
2000	35286,45	28881,72	36730,54	37163,76	37596,99	39907,53	41640,43
2200	39255,47	32046,84	40857,81	41338,51	41819,22	44382,96	46305,77
2400	43262,77	35230,8	45024,31	45552,77	46081,23	48899,7	51013,55
2500	45269,55	36832,2	47111,16	47663,64	48216,13	51162,7	53372,63

Таблица 2.1.5 – Энтальпии димових газів та повітря

На рис. 2.1 представлена діаграма ентальпій, тобто залежність ентальпій продуктів згорання від температури продуктів згорання та ентальпії повітря від температури повітря.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	TK81.162.0003.154.ПЗ	Лист т 126
------	------	----------	--------	------	----------------------	------------------



2.2 Розрахунок теплового балансу котельного агрегату

У табл. 2.2.1 представлено розрахунок теплового балансу котла.

Таблиця 2.2.1 – Розрахунок теплового балансу котельного агрегату

Найменування величин	Позначення	Розмірність	Розрахункова формула, або спосіб визначення	Результат
1	2	3	4	5
Повна кількість тепла, що внесена у котел (розподільне тепло)	$Q_p^p$	кДж м <sup>3</sup>	$Q_{ч}^p + Q_{п.зовн} + Q_{фр} = i = 35,50 \cdot 10^3 + 035500$	0
Фізичне тепло палива	$i_{пд}$	кДж кг	$i_{пд} = c_{пд} \cdot i_{пд}$ ; _____	0
Тепло форсункової пари	$Q_{фп}$	кДж кг	Враховується при спалюванні мазуту;	0
КПД котла брутто	$\eta_{кбр}$	%	$100 - q_2 - q_3 - q_4 - q_5 - q_6 =$ $= 100 - 4,6 - 0,025 - 0,025 - 0,6 - 0;$	94,75
Витрати палива: з хімічним недопалом	$q_3$	%	f(паливо, $D_{пд}$ ), табл. XX, стр.175[1];	0,025
з механічним недопалом	$q_4$	%	f(паливо, $D_{пд}$ ), табл. XX, стр.175 [1];	0,025
від зовнішнього охолодження	$q_5$	%	f( $D_{пд}$ ), рис. 5.1 стр. 30 [1] ;	0,6
з фізичною теплою шлака	$q_6$	%	Враховується для твердих палив при камерному спалюванні	0
Втрати теплоти з газами, що відходять	$q_2$	%	$q_2 = \frac{Q_2}{Q_p} \cdot 100 = \frac{(I_{відх} - \alpha_{відх} \cdot I_{хп})}{Q_p} (100 - q_4)$ $((2089,99 - 1,22 \times 375) \times (100 - 0,0$	4,6
Ентальпія газів, що відходять з котла	$I_{від}$	кДж м <sup>3</sup>	$\eta_{пов.пд} = 1,22$ $\theta_{від} = 120^\circ C$	2089,99
Кількість тепла, корисно використана в котлі	$Q_{кор}$	кВт	$D_{пд} \times (i_{пд} - i_{ж.в}) = 19,4 \times$ $\times (3291,75 - 656,3)$	5112,73

Продовження таблиці 2.2.1

1	2	3	4	5
Ентальпія перегрітої пари	$i_{пп}$	кДЖ кг	$f(\rho_{пп}=4,3 \text{ МПа}, t_{пп}=435)$ , табл. XXV стр. 184 [1, 21]	3291, 75
Ентальпія живильної води	$i_{жв}$	кДЖ кг	$(\rho_{жв}=4,68 \text{ МПа}, t_{жв}=155)$ , табл. XXIV стр.181 [1, 21]	656,3
Витрата палива	$B$	$\text{м}^3/\text{с}$	$B = \frac{Q_{кор}}{Q_p \cdot \eta_k} \cdot 100$ $51127,73 \times 100$ $35500 \times 94,75$	1,52
Розрахункова витрата палива	$B_p$	кг/с	$B_p = \left(1 - \frac{q_4}{100}\right) \cdot B$ $1,52(1-0,025/100);$	1,519 6
Коефіцієнт збереження тепла	$\varphi$	%	$\varphi = 1 - \frac{q_5}{\eta_k + q_5}$ $1 - \frac{0,06}{94,75+0,025}$	0,999

### 2.3 Розрахунок топки

У табл. 2.3.1 показано розрахунок геометричних розмірів топки

Таблиця 2.3.1 – Розрахунок геометричних розмірів топки

Найменування величин	Позначення	Розмірність	Розрахункова формула, або спосіб визначення	Результат
1	2	3	4	5
Діаметр амбразур пальників	$D_a$	м	$1,13 \sqrt{f_{пал}} = 1,13 \sqrt{0,29}$	0,6
Площа відхідного вікна пальника	$f_1$	$\text{м}^2$	$1,1 \cdot B_p \cdot V^0 \cdot (t_{гп} + 273) = 1,1 \cdot 1,5196 \cdot z \cdot w_1 \cdot 273$	0,29
Кількість пальників	$z$	шт	3 конструктивних міркувань	4
Мінімальна ширина топки камери	$b_{min}$	м	$(2 \cdot C_1 + C_2) = 2 \cdot 1,8 + 1,8$	5,4
Розрахункова ширина топки камери	$b$	м	3 конструктивних міркувань	6,0

Продовження таблиці 2.3.1

1	2	3	4	5
Відстань між осями	$C_2$	м	$3 \cdot D_a = 3 \cdot 0,6$	1,8

				TK81.162.0003.154.ПЗ		Лист 7 126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

<b>пальників</b>				
Відстань від осі пальників до поду	$C_3$	м	$(3 \div 4) \cdot D_a = 3 \div 4 \cdot 0,6$	1,8
Відстань від осі палн. до прилягаючої стінки	$C_1$	м	$3 \cdot D_a = 3 \cdot 0,6$	1,8
Мінімальний перетин топки	$f_{T,min}$	м	$\frac{B_p \cdot Q_H^p}{q_f^{доп}} = \frac{1,5196 \cdot 35,5 \cdot 10^3}{2000}$	26,97
Мінімальна ширина топки	$d^{min}$	м	$\frac{f_{T,min}}{b} = \frac{26,97}{6,0}$	4,5
Розрахункова глибина топкової камери	$a$	м	3 конструктивних міркувань	5,2
Мінімальний об'єм топкової камери	$V_{Tmin}$	м <sup>3</sup>	$\frac{B_p \cdot Q_H^p}{q_v^{доп}} = \frac{1,5196 \cdot 35,5 \cdot 10^3}{210}$	256,88
Максимально допустиме теплове напруження топкового перерізу	$q_f$	кВт/м <sup>2</sup>	табл. 7.3-7.4 с. 76 [5]	2000
Максимально допустиме теплове напруження топкового об'єму	$q_v^{max}$	кВт/м <sup>3</sup>	табл. XX с. 175 [1]	210
Мінімальна висота топки	$h_{min}$	м	$\frac{B_p \cdot Q_H^p}{a \cdot b \cdot q_v^a} = \frac{1,5196 \cdot 35500}{5,2 \cdot 6,0 \cdot 210}$	8,2
Висота топки	$h$	м	3 конструктивних міркувань	9,1
Площа вікна фестона	$F_{вф}$	м <sup>2</sup>	$L_3 \cdot b = 4,15 \cdot 6$	24,9
Швидкість димових газів на виході із топки	$W_T$	м/с	Приймаємо 4...5 м/с	5
Площа поверхні бічної стіни топки	$F_6$	м <sup>2</sup>	$F_1 + F_2 + F_3 = 3,627 + 38,168 + 10,72$ (див.рис.)	52,52
Площа поверхні фронтної стіни топки	$F_{фс}$	м <sup>2</sup>	$(L_1 + L_2) \cdot b = (9,765 + 3,9) \cdot 6$	81,99
Площа поверхні задньої стіни топки	$F_{зс}$	м <sup>2</sup>	$(L_4 + L_5) \cdot b = (7,34 + 5,38) \cdot 6$	76,32
Загальна орієнтовна площа стін топкової камери	$\sum F_{заг}^{ор}$	м <sup>2</sup>	$F_{фс} + F_{зс} + F_{вф} + 2F_6 = 81,99 + 76,32 + 24,9 + 2 \cdot 52,52$	235,73

На рис. 2.3.1 показано ескіз топки котла.

				TK81.162.0003.154.ПЗ		Лист 126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		





1	2	3	4	5
<b>Орієнтовні геометричні розміри топки</b>				
	$L_1$	м	див.рис.	9,765
	$L_2$	м	див.рис.	3,9
	$L_3$	м	див.рис.	4,15
	$L_4$	м	див.рис.	7,34
	$L_5$	м	див.рис.	5,38
<b>Екранована площа стін топкової камери</b>				
Загальна екранована площа стін топкової камери	$\sum E_{заг}^{ек}$	М <sup>2</sup>	$2 \cdot E_{ф} + F_{фс} + F_{зс} + F_{фв} =$ $2 \cdot 52,52 + 81,99 + 76,32 + 24,9$	288,25
Екранована площа фронтальної стінки	$F_{фр}^{екр}$	М <sup>2</sup>	$F_{фс} - 2 \cdot m \cdot (L_1 + L_2) - 4 \cdot f_{пан} = 81,99 -$ $2 \cdot 0,1 \cdot (9,765 + 3,9) - 4 \cdot 0,29$	78,1
Екранована площа задньої стінки	$F_{зд}^{екр}$	М <sup>2</sup>	$F_{зс} - 2 \cdot m \cdot (L_4 + L_5) = 76,32 -$ $2 \cdot 0,1 \cdot (7,34 + 5,38)$	73,78
Екранована площа бічної стінки	$F_{бч}^{екр}$	М <sup>2</sup>	$F_{б} - 2 \cdot m \cdot (L_1 + L_4) - F_{панз} - F_{гд} = 52,52 -$ $2 \cdot 0,1 \cdot (9,765 + 7,34) - 0,196 - 0,04$	48,86
Екранована площа вікна фестона	$F_{ф}$	М <sup>2</sup>	$F_{вф}$	24,9
Коефіцієнт теплової ефективності	$\Psi_{ср}$	-	$(2 \cdot E_{бч}^{екр} \cdot \xi_{бч} + E_{зд}^{екр} \cdot \xi_{зд}) \cdot \xi + E_{фр}^{екр} \cdot \xi_{фр} + E_{ф}$ $\sum E_{оп}$ $(2 \cdot 48,863 \cdot 0,96 + 73,776 \cdot 0,96) \cdot 0,65$ $288,25$ $+ 78,097 \cdot 0,96 \cdot 0,65 + 24,9 \cdot 0,1 \cdot 1,45$ $288,25$	0,553
Кутові коефіцієнти	$\chi_{фр}$	-	Стр. 214[1] номограма а) $f\left(\frac{s}{d}\right)$	0,96
	$\chi_{бч}$	-	Стр. 214[1] номограма а) $f\left(\frac{s}{d}\right)$	0,96
	$\chi_{зд}$	-	Стр. 214[1] номограма а) $f\left(\frac{s}{d}\right)$	0,96
	$\chi_{ф}$	-	Стр. 21 методичка	0,1
<b>Продовження таблиці 2.3.1</b>				
1	2	3	4	5
Коефіцієнт	$\xi$	-		0,65
TK81.162.0003.154.ПЗ				Лист 126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

забруднення екранів	ВК		Табл. 6.3, стр. 42[1]	
Коефіцієнт забруднення вікна фестону	$\xi_\phi$	-	$\xi_{\text{вк}} + \beta = 0,65 + 0,9$ де $\beta = 0,9$ – коефіцієнт враховуючий взаємний теплообмін, с. 42 [1]	1,45
Кількість труб фронтального екрану	$n_\phi$	ШТ	$b - 2 \cdot m + 1 = \frac{6 - 2 \cdot 0,1}{0,081}$	75
Кількість труб бокового екрану	$n_b$	ШТ	$b - 2 \cdot m + 1 = \frac{6 - 2 \cdot 0,1}{0,081}$	75
Кількість труб заднього екрану	$n_z$	ШТ	$b - 2 \cdot m + 1 = \frac{6 - 2 \cdot 0,1}{0,081}$	75
Крок труб фронтального екрану	$s_\phi$	М	Обираю для труби $\sigma / \delta = 60 \times 3$ мм	0,081
Крок труб бічного екрану	$s_b$	М	Обираю	0,081
Крок труб заднього екрану	$s_z$	М	Обираю	0,081
Відстань від вісі труб екранів до вісі першої труби суміжного екрану	$m$	М	Прийняти 0,1...0,25	0,1
Променесприймаюча поверхня екранів	$H_{\phi}^n$	М2	$E_{\phi}^{\text{екр}} \cdot \chi_{\phi} = 78,1 \cdot 0,96$	74,97
	$H_z^n$	М2	$E_z^{\text{екр}} \cdot \chi_z = 73,78 \cdot 0,96$	70,83
	$H_b^n$	М2	$2 \cdot E_b^{\text{екр}} \cdot \chi_b = 2 \cdot 48,86 \cdot 0,96$	93,82
	$H_{\text{вф}}^n$	М2	$E_{\text{вф}}^{\text{екр}} \cdot \chi_{\text{вф}} = 24,9 \cdot 0,1$	2,49
Загальна променесприймаюча поверхня топки	$H^n$	М2	$H_{\phi}^n + H_z^n + H_b^n + H_{\text{вф}}^n = 74,97 + 70,83 + 93,82 + 2,49$	242,11
Ступінь екранування топки	$\chi$		$\frac{H^n}{E_{\text{г}} \cdot 288,25} = \frac{242,11}{288,25}$	0,84
Ефективна товщина випромінюючого шару	$S$	М	$3,6 \cdot \frac{V_{\text{г}}^{\text{min}}}{E_{\text{ст}}} = 3,6 \cdot \frac{256,88}{288,25}$	3,21

У табл. 2.3.2 показано розрахунок теплообміну в топці.

Таблиця 2.3.2 – Розрахунок теплообміну в топці

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Лист 126
------	------	----------	--------	------	-------------

TK81.162.0003.154.ПЗ

Величина	Позначення	Одиниця виміру	Розрахункова формула або спосіб визначення	Результат
1	2	3	4	5
Приймаємо температуру на виході з топки	$(\vartheta_T'')$	°C	Уренгой - Надим - Пунга - Ухта	950
Ентальпія димових газів на виході з топки	$(I_{гв})'$	кДж/м³	$f(\vartheta_T')$ , табл. 2.1.6 ;	1603 5,98
Корисне тепловиділення в топці	$Q_T$	кДж/м³	$Q_p \cdot \frac{100 - q_3 - q_4 - q_6}{100 - q_4} + Q_{\phi} + Q_{\text{пов}} + Q_{\text{ок}}$ $\cdot \frac{100 - 0,025 - 0,025 - 0}{100 - 0,025} + 3562,1$	3866 5,57
Теплота, що надходить до топки з повітрям	$Q_{\text{пов}}$	кДж/м³	$\alpha \Delta \alpha$ $(i_{гв} - \Delta \alpha_{\text{пс}}) \cdot i_{гв} + i$ $+ \Delta \alpha_{\text{пс}} \cdot i_{\text{хп}} = (1,0 - 0) \cdot 3155,7 + (0,5 + 0) \cdot 375$	3174, 45
Ентальпія на виході з повітропідігрівника	$I_{гв}^0$	кДж/м³	$f(I_{гв} = 250^\circ\text{C})$ , табл. $I_{\text{пов}}^0$	3155, 7
Адіабатична температура	$T_a$	°K	$i_a + 273 = 2095 + 273$ ; $i_a = f(Q_T, \alpha_T) = 2095^\circ\text{C}$ , табл. 2.1.6;	2368
Середня сумарна теплоємність димових газів	$(VC)_{\text{ср}}$	кДж/м³·K	$T_a - i = i$ $\frac{38665,6 - 16035,98}{2386 - 950}$ $Q_T - i$ $i$	15,96
Сумарний коефіцієнт послаблення променів	k	1/МПа·м	$k_{гв} + m \cdot k_{\phi} = 1,55 + 0,1 \cdot 1,383$	1,688
Коефіцієнт поглинання променів газовою фазою продуктів згорання	$k_{гв}$	1/МПа·м	$f(r_{H_2O}; p_{гв}; S = I_{гв} \cdot p \cdot S; (\vartheta_T''))$ ; ном. 2; стор. 215 [1]; або $\frac{7,8 + 16 \cdot r_p - 1}{r_p \cdot S \cdot 10 \cdot p} \cdot \left( 1 - 0,37 \cdot \frac{T}{1000} \right) \cdot r_p =$ $\frac{7,8 + 16 \cdot 0,197 - 1}{3,21 \cdot 0,289 \cdot 10 \cdot 0,1013} \cdot \left( 1 - 0,37 \cdot \frac{1223}{1000} \right) \cdot 0,289$ ; де $(T_{гв})' = (\vartheta_{гв}') + 273 = 1223^\circ\text{K}$ ;	1,55

Продовження таблиці 2.3.2

1	2	3	4	5
Коефіцієнт поглинання променів часточками сажі	$k_c$	$\frac{1}{\text{МПа}\cdot\text{м}}$	$\frac{1,2}{1 + \alpha_m^2} \left( \frac{C^p}{H^p} \right)^{0,4} (1,6 \cdot 10^{-3} T_m^* - 0,5)$ $= \frac{1,2}{1 + 1,05^2} \cdot (0,12 \cdot (\frac{1}{4} \cdot 98,72 + \frac{2}{6} \cdot 0,12 + \frac{3}{8} \cdot 0,01 + \frac{4}{10} \cdot 0,01))^{0,4} \cdot (1,6 \cdot 10^{-3} \cdot 1223 - 0,5)$	1,383
Параметр, що визначає розміщення максимального тепловиділення в топці	$M$	—	$M_{\text{дг}} \cdot (1 - 0,4 \cdot x) \cdot r^3 =$ $= 0,4 \cdot (1 - 0,4 \cdot 0,219) \cdot r^3 = 1,29$ <p>де <math>M_0 = 0,4</math> п.6.18 ст. 40 [1];</p> $X_r = \frac{h_r}{L_r} = \frac{2,0}{9,1} = 0,219;$	0,386
Параметр забаластованості димових газів	$r_v$	—	$\frac{V_r \cdot (1+r)}{V_{N_2}^0 + V_{RO_2}^0} = \frac{10,818 \cdot (1+0)}{7,45 + 0,99}$ <p>де <math>r=0</math> — коефіцієнт рециркуляції;</p>	1,29
Критерій Бугера	$Bu$	—	$k \cdot p \cdot S = 1,688 \cdot 0,1013 \cdot 3,21$	0,55
Ефективне значення критерію Бугера	$\tilde{Bu}$	—	$1,6 \cdot \ln \left( \frac{1,4 \cdot Bu^2 + Bu + 2}{1,4 \cdot Bu^2 - Bu + 2} \right) =$ $1,6 \cdot \ln \left( \frac{1,4 \cdot 0,55^2 + 0,55 + 2}{1,4 \cdot 0,55^2 - 0,55 + 2} \right)$ <p>або ном.3, стор. 216 [1];</p>	0,74
Дійсна температура на виході з топки	$\vartheta_{\text{дг}}^*$	$^{\circ}\text{C}$	$1 + M \cdot \tilde{Bu}^{0,3} \cdot \left[ \frac{5,67 \cdot 10^{-11} \cdot \vartheta_{\text{дг}}^{0,6} \cdot \varphi \cdot B_v \cdot (Y C)_{\text{сп}}}{2368} - 273 \right] =$ $= \frac{2368}{1 + 0,397 \cdot 0,74^{0,3} \cdot \left[ \frac{5,67 \cdot 10^{-11} \cdot 0,55 \cdot 286 \cdot 2368^3}{0,999 \cdot 1,5196 \cdot 15,96} \right]^{0,6}} - 273;$	942
Розрахована температура на виході з топки знаходиться в проміжку $\pm 30^{\circ}\text{C}$	$\Delta \vartheta$	$^{\circ}\text{C}$	$(\vartheta_{\text{дг}}^*) - \vartheta_{\text{дг}}^* = 950 - 942$	8
Ентальпія димових газів на виході з топки	$I_{\text{дг}}^*$	кДж/м <sup>3</sup>	$f(\alpha_{\text{дг}}; \vartheta_{\text{дг}}^*)$	1588 6,5
Теплосприйняття топки	$Q_{\text{дг}}$	кДж/м <sup>3</sup>	$\varphi \cdot (Q_{\text{дг}} - I_{\text{дг}}^*) = 0,999 \cdot (38665,57 - 15886,46)$	2276 4,8

TK81.162.0003.154.ПЗ

Лист  
126

Змн. Арк. № докум. Підпис Дата



Продовження таблиці 2.4.1

1	2	3	4	5
Середня довжина труб, що обігрівається	$l_{cp}$	м	З креслення прототипу	5,1
Ефективна площа випромінюючого шару	$S_{эф}$	м <sup>2</sup>	$0,9 \cdot d_{зов} \cdot \left( \frac{4}{\pi} \cdot \sigma_1 \cdot \sigma_2 - 1 \right) =$ $= 0,9 \cdot 0,06 \cdot \left( \frac{4}{\pi} \cdot 5,4 \cdot 3,33 - 1 \right)$	1,18
Повна теплообмінна поверхня фестона	$H_{\phi}$	м <sup>2</sup>	$\pi \cdot d_{зов} \cdot l_{cp} \cdot n_3 = \pi \cdot 0,06 \cdot 5,1 \cdot 75$	72,06
Кутовий коефіцієнт фестону	$\chi_{\phi}$		Номограма 1,г) стор. 214[1] $f\left(\frac{S}{d}\right)$	0,69
Променесприймаюча поверхня фестону	$H_{пром}$	м <sup>2</sup>	$F_{\phi} \cdot \chi_{\phi} = 24,9 \cdot 0,69$	17,181
Площа вікна фестону	$F_{\phi}$	м <sup>2</sup>	З креслення прототипу котла	24,9
Розрахункова поверхня фестону	$H_{\phi}^{роз}$	м <sup>2</sup>	$H_{\phi} - H_{пром} = 72,063 - 17,181$	54,88
Площа живого перерізу для проходу газу	$F_i$	м <sup>2</sup>	$F_{\phi} - z_1 \cdot d_{зов} \cdot l_{cp} = 24,9 - 19 \cdot 0,06 \cdot 5,1$	19,16

Тепловий розрахунок фестона представлений у табл. 2.4.2

Таблиця 2.4.2– Тепловий розрахунок фестона

Величина	Позначення	Одиниця виміру	Розрахункова формула або спосіб визначення	Результат		
1	2	3	4	5	6	7
Падіння температури на фестоні	$\Delta \vartheta_{\phi}$	°C	Приймаємо	45	90	135
Температура газів перед фестоном	$\vartheta'_{\phi}$	°C	$\vartheta'_{\phi} = \vartheta'_m$ з теплового розрахунку топкової камери		942	

				TK81.162.0003.154.ПЗ			Лист m 126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Температура газів за фестоном	$\vartheta_{\phi}''$	°C	$\vartheta_{\phi}' - \Delta\vartheta_{\phi} = 942 - \begin{Bmatrix} 45 \\ 90 \\ 135 \end{Bmatrix}$	897	852	807
Продовження таблиці 2.4.2						
	1	2	3	4	5	
Ентальпія газів на вході у фестон	$I_{\phi}'$	кДж кг	$I_{\phi}' = I_{\tau}'$ розрахунку топки камери	15886,46		
Ентальпія газів на виході з фестону	$I_{\phi}''$	кДж кг	$I_{\phi}''$ - таблиця $f(\vartheta_{\phi}'')$	15046,27	14218,28	13390,3
Теплосприйняття фестона за рівнянням теплового балансу	$Q_{\phi}^{\phi}$	кДж кг	$\varphi \cdot (I_{\phi}' - I_{\phi}'') =$ $= 0,999 \cdot (15886,46 - \begin{Bmatrix} 15046,27 \\ 14218,28 \\ 13390,3 \end{Bmatrix})$	839,35	1666,51	2493,66
Середня температура газового тракту	$\vartheta_{\phi}^{cp}$	°C	$\frac{942 + \begin{Bmatrix} 897 \\ 852 \\ 807 \end{Bmatrix}}{2}$	919,5	897	874,5
Теплосприйняття фестона за рівнянням теплопередачі	$Q_{\phi}^m$	°C	$\frac{K_{\phi} \cdot \Delta t_{\phi} \cdot H_{\phi}}{B_{\phi} \cdot 10^3} =$ $\frac{\begin{Bmatrix} 61,02 \\ 60,94 \\ 60,79 \end{Bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} 658,77 \\ 635,47 \\ 611,55 \end{Bmatrix} \cdot 72,063}{1,5196 \cdot 10^3}$	1906,35	1836,64	1763,09
Коефіцієнт теплопередачі для фестона	$K_{\phi}$	Вт м²·К	$\psi \cdot \alpha = 0,8 \cdot \begin{Bmatrix} 76,28 \\ 76,18 \\ 75,99 \end{Bmatrix}$	61,02	60,94	60,79
Коефіцієнт теплової ефективності	$\psi$	-	При спалюванні газу палива Таблиця 7-5 стор. 70, [1]	0,8		
Коефіцієнт використання поверхні нагріву	$\zeta$	-	Пункт 7,41 [1]	1,0		
Коефіцієнт тепловіддачі від газів до стінки	$\alpha$	Вт м²·К	$\zeta \cdot (\alpha_k + \alpha_n) =$ $= 1,0 \cdot (\begin{Bmatrix} 36,13 \\ 36,08 \\ 35,99 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 40,15 \\ 40,1 \\ 40 \end{Bmatrix})$	76,28	76,18	75,99
TK81.162.0003.154.ПЗ						Лист m 126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		





Продовження таблиці 2.4.2

1	2	3	4	5		
Температурний напір фесто́на $\Delta t_{\phi}$		$^{\circ}\text{C}$	$\frac{t_6 - t_m}{\ln(t_6/t_m)} =$ $681,53 \cdot \left\{ \begin{matrix} 636,53 \\ 591,53 \\ 546,53 \end{matrix} \right\}$ $= \ln \left\{ \begin{matrix} 636,53 \\ 681,53 / 591,53 \\ 546,53 \end{matrix} \right\}$	658,77	635,47	611,55
	$t_6$	$^{\circ}\text{C}$	$\vartheta_{\phi}' - t_H = 942 - 260,47$		681,53	
Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією $\alpha_k$	$t_m$	$^{\circ}\text{C}$	$\frac{\vartheta_{\phi}'' - t_H}{\ln \left( \frac{\vartheta_{\phi}'' - t_H}{807} \right)} =$ $\frac{897}{852} - 260,47$	636,53	591,53	546,53
	$\alpha_k$	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$	$\alpha_H \cdot C_z \cdot C_s \cdot C_{\phi} =$ $\left\{ \begin{matrix} 40,15 \\ 40,1 \\ 40 \end{matrix} \right\} \cdot 0,91 \cdot 0,96 \cdot 1,03$	36,13	36,08	35,99
Номинальний коефіцієнт тепловіддачі конвекцією $\alpha_H$	$\alpha_H$	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$	Номограма 8 [1] $f(W_{\Gamma}, d_{30})$	40,15	40,1	40
Поправка на кількість рядів труб $C_z$	$C_z$	-	Номограма 8 [1] $f(\sigma_1; z_2)$		0,91	
Поправка на геометрію пучка $C_s$	$C_s$	-	Номограма 8 [1] $f(\sigma_1; \sigma_2)$		0,96	
Поправка на фізичні характеристики потоку $C_{\phi}$	$C_{\phi}$	-	Номограма 8 [1] або			1,03
Швидкість газу $W_z$	$W_z$	$\frac{\text{м}}{\text{с}}$	$\frac{B_{\text{гв}} \cdot V \cdot (\vartheta_{\phi}^{\text{сп}} + 273)}{F_{\Gamma} \cdot 273} =$ $\frac{1,5196 \cdot 10,818 \cdot \left\{ \begin{matrix} 919,5 \\ 897 \\ 874,5 \end{matrix} \right\} + 273}{19,16 \cdot 273}$		3,747	
TK81.162.0003.154.ПЗ				Лист 126		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 2.4.2

1	2	3	4	5	6	7
Коефіцієнт тепловіддачі випромінювання	$\alpha_p$	Вт м <sup>2</sup> ×К	$5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\alpha_s + 1}{2} a T_{cp}^3 \left( \frac{T_s}{T_{cp}} \right)^4 =$ $= 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{0,8 + 1}{2} \begin{pmatrix} 0,417 \\ 0,423 \\ 0,426 \end{pmatrix} \times$ $\times \begin{pmatrix} 919,5 \\ 897 \\ 874,5 \end{pmatrix} + 273 \times$ $\times \left( \frac{558,47}{\begin{pmatrix} 919,5 \\ 897 \\ 874,5 \end{pmatrix} + 273} \right)^4 /$ $/ \left( 1 - \frac{558,47}{\begin{pmatrix} 919,5 \\ 897 \\ 874,5 \end{pmatrix} + 273} \right)$	64,61	62,71	60,4
Степінь чорноти потоку газу	$\alpha$		$1 - e^{-kps} = 1 - e^{-\begin{pmatrix} 0,54 \\ 0,55 \\ 0,556 \end{pmatrix}}$	0,417	0,423	0,426
Степінь чорноти забруднених стінок	$\alpha_s$		Пункт 7,35 [1]	0,8		
Сумарна оптична товщина запиленого потоку	$kps$	-	$(k_p r_{гн} + k_3 \mu_{эл}) \cdot P \cdot S_{эф} =$ $\begin{pmatrix} 1,66 \\ 1,69 \\ 1,71 \end{pmatrix} + 0 \times$ $\times 0,1013 \cdot 3,21$	0,54	0,55	0,556

Продовження таблиці 2.4.2

Коефіцієнт поглинання променів газовою складовою продуктів згорання	$k_r \cdot r_{\Pi}$	1 МПа×м	$\left( \frac{7,8 + 16 \cdot r_{H_2O} - 1}{10 \cdot P_r \cdot r_{\Pi} \cdot S_{\text{эф}}} \right) \times$ $\times \left( 1 - 0,37 \cdot 10^{-3} (\vartheta_{\text{cp}} + 273) \right) \cdot r_{\Pi} =$ $\left( \frac{7,8 + 16 \cdot 0,197}{10 \cdot 0,1013 \cdot 0,289 \cdot 3,21} - 1 \right) \times$ $\times \left( 1 - 0,37 \cdot 10^{-3} \left( \frac{919,5}{897} + 273 \right) \right) \times$ $\times 0,289$	1,66	1,69	1,71
Сумарна об'ємна доля трьохатомних газів	$\Gamma_{\Pi} = \Gamma_{R02} + \Gamma_{H_2O}$	М <sup>3</sup> /ГК (М <sup>3</sup> /М <sup>3</sup> )	З розрахунку властивостей продуктів згорання	0,289	0,289	0,289
Температура поверхневих забруднень	$T_s$	К	$t_s + \Delta t + 273 = 260,47 + 25 + 273, \Delta C = 25^\circ$	558,47		

У результаті розрахунку теплового балансу для кожного із заданих значень температур продуктів згорання за фестоном  $\vartheta_{\Phi_1}'' = 897^\circ\text{C}$ ,  $\vartheta_{\Phi_2}'' = 852^\circ\text{C}$ ,  $\vartheta_{\Phi_3}'' = 807^\circ\text{C}$  отримано величини теплосприйняття фестоно за рівнянням теплового балансу та рівнянням теплопередачі. Ці величини для відповідних значень температури наносяться на графік  $Q_{\Phi} = f(\vartheta_{\Phi}'')$ . Цей графік представлений на рис. 2.4.1.

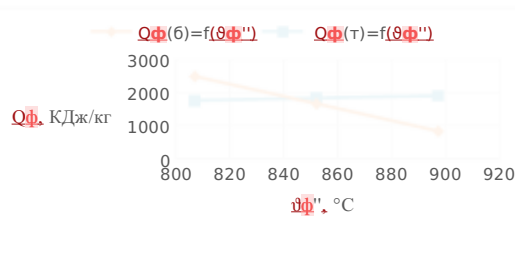


Рисунок 2.4.1 – Залежність теплосприйняття фестоно від температури продуктів згорання

					Лист 7 126
TK81.162.0003.154.ПЗ					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	



Таблиця 2.5.1– Конструктивні характеристики першої ступені пароперегрівача

Величина	Позначення	Одиниця виміру	Розрахункова формула або спосіб визначення	Результат
1	2	3	4	5
Зовнішній діаметр трубпароперегрівача	$d_{зоб}$	мм	Згідно прототипу	38
Внутрішній діаметр труб	$d_{вн}$	мм		32
Кількість рядів по ходу газу	$z_2$	-	3 креслення прототипу	8
Кількість рядів перпендикулярно ходу газу	$z_1$		$\frac{b - 2 \cdot e}{S_1} + 1 = \frac{6,0 - 2 \cdot 0,1}{0,114} + 1$	51
Відстань від осі крайньої труби пароперегрівача до стінки газоходу	$e$	м	Приймаємо	0,1
Поперечний крок труб	$S_1$	м	Приймаємо	0,114
Повздовжній крок труб	$S_2$	м	Приймаємо	0,076
Відносно поперечний крок труб двох ступеней	$\sigma_1$	-	$\frac{S_1}{d_{зоб}} = \frac{0,114}{0,038}$	3
Відносно повздовжній крок труб двох ступеней	$\sigma_2$	-	$\frac{S_2}{d_{зоб}} = \frac{0,076}{0,038}$	2
Поверхня теплообміну першої ступені	$H_{пн}$	м <sup>2</sup>	$\pi \cdot d_{зоб} \cdot l_{ср} \cdot z_1 \cdot z_2 = \pi \cdot 0,038 \cdot 2,7 \cdot 8 \cdot 51$	131,44
Площа живого перерізу для проходу газів	$F_2$	м <sup>2</sup>	$b \cdot h_{ср} - d_{зоб} \cdot l_{ср} \cdot z_1 = 6,0 \cdot 2,9 - 0,038 \cdot 2,7 \cdot 51$	12,077
Середня висота труб 1 ступені пароперегрівача	$l_{ср}$	м	3 креслення прототипу	2,7
Середня висота газоходу 1 ступені пароперегрівача	$h_{ср}$	м	3 креслення прототипу	2,9
Площа живого перерізу для проходу пари	$f$	м <sup>2</sup>	$z_1 \cdot \frac{\pi \cdot d_{вн}^2}{4} = 51 \cdot \frac{\pi \cdot 0,032^2}{4}$	0,041

Тепловий (пovірковий) розрахунок першої ступені пароперегрівача представлено у табл. 2.5.2

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	TK81.162.0003.154.ПЗ	Лист 7 126
------	------	----------	--------	------	----------------------	------------------

Таблиця 2.5.2– Тепловий розрахунок першої ступені пароперегрівача по ходу газів

Величина	Позначення	Одиниця виміру	Розрахункова формула або спосіб визначення	Результат		
1	2	3	4	5	6	7
Падіння температури за фестоном	$\Delta \vartheta'_{n,n.1}$	°C	Приймаємо	100	200	300
Температура ПЗ перед першим ступенем пароперегрівача	$\vartheta'_{n,n.1}$	°C	$\vartheta'_{n,n.1} = \vartheta''$	843		
Ентальпія ПЗ перед першим ступенем пароперегрівача	$I'_{n,n.1}$	кДж/кг	$f(\vartheta'_{n,n.1}) = f(843^\circ\text{C})$	14221,57		
Температура ПЗ за першим ступенем пароперегрівача	$\vartheta''_{n,n.1}$	°C	$\vartheta''_{n,n.1} - \Delta \vartheta_{n,n.1} = 843 - \begin{Bmatrix} 100 \\ 200 \\ 300 \end{Bmatrix}$	743	643	543
Середня температура ПЗ в першій ступені пароперегрівача	$\vartheta_{n,n.1}^{cp}$	°C	$\vartheta'_{n,n.1} + \vartheta''_{n,n.1} = \frac{843 + \begin{Bmatrix} 743 \\ 643 \\ 543 \end{Bmatrix}}{2}$	793	743	693
Ентальпія ПЗ за першим ступенем пароперегрівача	$I''_{n,n.1}$	кДж/кг	$f(\vartheta''_{n,n.1}) = f(743; 643; 543)^\circ\text{C}$	12385,9	10587,6	8827,6
Теплосприйняття першої ступені пароперегрівача за рівнянням теплового балансу	$Q_{np}^0$	кДж/кг	$Q_{np}^0 = (I'_{n,n.1} - I''_{n,n.1} + \Delta \alpha_{n,n.1} \rho_{x,пов.}) = 0,999 \cdot (14221,57 - \begin{Bmatrix} 12385,9 \\ 10587,65 \\ 8827,63 \end{Bmatrix}) + 0,015 \cdot 375$	1839,4	3635,9	5394,1
Тепло сприйняття першої ступені пароперегрівача за рівнянням теплопередачі	$Q_{np}^m$	кДж/кг	$Q_{np}^m = \frac{k \cdot \Delta H_{np}}{B_p \cdot 10^3} = \begin{Bmatrix} 52,78 \\ 51,36 \\ 50,87 \end{Bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} 508,09 \\ 423,74 \\ 325,43 \end{Bmatrix} \cdot 131,44 = 1,5196 \cdot 10^3$	2319,5	1882,4	1431,9
Продовження таблиці 2.5.2						
				TK81.162.0003.154.ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Лист 126	

1	2	3	4	5	6	7
Коефіцієнт теплопередачі	$k$	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$	$1 + \frac{\psi \cdot \alpha_1}{\alpha_2} = \frac{\begin{matrix} 68,55 \\ 66,71 \\ 66,12 \end{matrix}}{\begin{matrix} 68,55 \\ 66,71 \\ 66,12 \\ 1755 \\ 1706,25 \\ 1657,5 \end{matrix}}$	52,78	51,36	50,87
Коефіцієнт теплової ефективності	$\psi$	-	табл. 7-5, с. 70 [1]	0,8	0,8	0,8
Коефіцієнт тепловіддачі від ПЗ до труб першої ступені пароперегрівача	$\alpha_1$	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$	$\xi (\alpha_k + \alpha_p) = 1 \cdot \left\{ \begin{matrix} 48,93 \\ 46,28 \\ 44,57 \end{matrix} + \begin{matrix} 19,61 \\ 20,42 \\ 21,55 \end{matrix} \right\}$	68,55	66,71	66,12
Коефіцієнт використання поверхні нагріву	$\xi$	-	п.7-41, с.68 [1]	1		
Поправка на геометрію пучка	$C_s$	-	$f(\alpha_1; \alpha_2)$ , ном.7[1]	1		
Поправка на фізичні характеристики потоку	$C_\phi$	-	$f(r_{H_2O}; q_{nn}^{cp})$ , ном.7[1]	1,01	1,015	1,02
Поправка на кількість рядів труб	$C_z$	-	$f(\alpha_1; z_2)$ , ном.7[1]	0,95		
Номінальний коефіцієнт тепловіддачі	$\alpha_n$	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$	Номограма7 [1] $f(W_1; d_{300})$	51	48	46
Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією	$\alpha_k$	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$	$\alpha_n \cdot C_z \cdot C_s \cdot C_\phi = \begin{matrix} 51 \\ 48 \\ 46 \end{matrix} \cdot 0,95 \cdot \begin{matrix} 1,01 \\ 1,015 \\ 1,02 \end{matrix}$	48,93	46,28	44,57
Швидкість ПЗ	$W_2$	$\frac{\text{м}}{\text{с}}$	$B_{pc} \cdot V \cdot (q_{nn}^{cp} + 273) = \frac{F_1 \cdot 273}{1,5196 \cdot 11,124 \cdot \begin{matrix} 793 \\ 743 \\ 693 \end{matrix} + 273}$	5,46	5,21	4,95

Продовження таблиці 2.5.2

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	TK81.162.0003.154.ПЗ	Лист т 126
------	------	----------	--------	------	----------------------	------------------



1	2	3	4	5	6	7
Коеф'іцієнт тепловіддачі променевим теплообміном	$\alpha_p$	Вт м <sup>2</sup> ×К	$5,67 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{a_3 + 1}{2} \cdot \frac{1 - \left(\frac{T_3}{T}\right)^4}{1 - \frac{T_3}{T}}$ $= 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{0,8 + 1}{2} \cdot \frac{\left\{ \begin{matrix} 0,151 \\ 0,155 \\ 0,159 \end{matrix} \right\}}{\left\{ \begin{matrix} 793 \\ 743 \\ 693 \end{matrix} \right\} + 273} \times$ $\times \left( \frac{\left\{ \begin{matrix} 615,06 \\ 692,05 \\ 770,37 \end{matrix} \right\}}{\left\{ \begin{matrix} 793 \\ 743 \\ 693 \end{matrix} \right\} + 273} \right)^4 /$ $/ \left( 1 - \frac{\left\{ \begin{matrix} 615,06 \\ 692,05 \\ 770,37 \end{matrix} \right\}}{\left\{ \begin{matrix} 793 \\ 743 \\ 693 \end{matrix} \right\} + 273} \right)$	19,61	20,42	21,55
Ступінь чорноти ПЗ	$a$	-	$1 - e^{-k p s} = 1 - e^{-\left\{ \begin{matrix} 7,11 \\ 7,32 \\ 7,54 \end{matrix} \right\} \cdot 0,1013 \cdot 0,227}$	0,151	0,155	0,159
Коефіцієнт поглинання променів ПЗ	$k$	$\frac{1}{\text{МПа} \times \text{м}}$	$k_r \cdot r_n + k_{zn} \cdot \mu_{zn} = \left\{ \begin{matrix} 7,11 \\ 7,32 \\ 7,54 \end{matrix} \right\} + 0$	7,11	7,32	7,54
Ефективна товщина випромінюючого шару	$S$	м	$0,9 \cdot d_{\text{сод}} \cdot \frac{4}{\pi} \cdot \sigma_1 \cdot \sigma_2 \cdot (1 - \epsilon) =$ $= 0,9 \cdot 0,038 \cdot \frac{4}{\pi} \cdot 3 \cdot 2 \cdot (1 - \epsilon)$		0,227	
Ступінь чорноти забруднених стінок	$a_3$	-	Стор. 66 [1]		0,8	
TK81.162.0003.154.ПЗ				Лист 126		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 2.5.2

1	2	3	4	5	6	7
Коефіцієнт поглинання променів газовою фазою продуктів згорання	$k_r \cdot r_n$	$\frac{1}{\text{МПа}\cdot\text{м}}$	$\frac{7,8+16 \cdot \eta_{\text{до}}}{10 \cdot r_n \cdot P \cdot S} \cdot (1 - 0,37 \cdot 10^{-3} (\theta_{\text{пр}} + 273)) \cdot r_n =$ $= \frac{7,8+16 \cdot 0,192}{10 \cdot 0,281 \cdot 0,1013 \cdot 0,227} \cdot (1 - 0,37 \cdot 10^{-3} (\frac{793}{693} + 273)) \cdot 0,281$	7,11	7,32	7,54
Температура зовнішніх відкладень на трубах пароперегрівача	$T_3$	$K$	$t_{\text{ср}} + (e + \frac{1}{\alpha_2}) \cdot \frac{B_8}{H_{\text{нм1}}} \times$ $\times (Q_p^{\text{нм}} + Q_{\text{нм1}}^6) \cdot 10^3 + 273 = \left\{ \begin{matrix} 282,9 \\ 309,4 \\ 337,5 \end{matrix} \right\} +$ $+ (0,0015 + \frac{1}{\left\{ \begin{matrix} 1755 \\ 1706,25 \\ 1657,5 \end{matrix} \right\}}) \cdot \frac{1,5196}{131,44} \times$ $\times (300,48 + \left\{ \begin{matrix} 1839,46 \\ 3635,91 \\ 5394,16 \end{matrix} \right\}) \cdot 10^3 + 273$	615,06	692,05	770,37
Тепло, отримане за топки опроміненням	$Q_p^{\text{нм}}$	$\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	$H_{\text{ф}}^{\text{пром}} \cdot \eta_{\text{в}} \cdot \frac{Q_p^{\text{нм}}}{H_{\text{пром}}} \cdot (1 - \chi_{\text{ф}}) =$ $= 17,18 \cdot 0,6 \cdot \frac{21636,6}{239,9} \cdot (1 - 0,69)$		288,217	
Коефіцієнт нерівномірності тепло сприйняття в топці	$\eta_b$	-	Приймаємо		0,6	
Кутовий коефіцієнт фестону	$\chi_{\text{ф}}$	-	Номограма 1, [1]		0,69	
Загальна радіаційна поверхня топки	$H_{\text{ф}}^{\text{ном}}$		З розрахунку топки		242,105	
Загальна радіаційна поверхня фестона	$H_{\text{ф}}^{\text{пром}}$		$E_{\text{ф}} \cdot \chi_{\text{ф}} = 24,9 \cdot 0,69$		17,181	

					TK81.162.0003.154.ПЗ	Лист т 126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 2.5.2

1	2	3	4	5	6	7
Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією при повздовжньому омиванні трубок паром	$\alpha_2$	Вт м <sup>2</sup> ·К	$\alpha_n \cdot C_d = \begin{cases} 1850 \\ 1750 \\ 1700 \end{cases} \cdot 0,975$	1755	1706,2	1657,5
Швидкість пари	$w_n$	м с	$D_{nn} \cdot v_n = \begin{cases} 0,0473 \\ 19,44 \cdot 0,0514 \\ 0,0553 \end{cases}$ f = 0,0401	22,429	24,37	26,22
Питомий об'єм пари	$v_n$	м <sup>3</sup> кг	Табл. XXV [1] $f \left( \frac{i'_{np} + i''_{np} \cdot P'_{np} + P''_{np}}{2} \right)$	0,0473	0,0514	0,0553
Тиск пари на вході до першої ступені	$P'_{np}$	МПа	$P'_{np} = P_6$		4,73	
Тиск пари на виході з першої ступені	$P''_{np}$	МПа	$1,05 \cdot P'_{np} = 1,05 \cdot 4,3$		4,515	
Температура пари на вході до першої ступені	$t'_{np}$	°C	$t_{sb} = f(P) = \text{МПа}$ Табл. XXIII [1]		260,47	
Ентальпія пари на вході до першої ступені	$i'_{np}$	кДж кг	$i'_{np6} = f(P) = \text{МПа}$ Табл. XXIII [1]		2794,96	
Ентальпія пари на виході з першої ступені	$i''_{np}$	кДж кг	$\frac{B_{np}(Q'_{np} + Q''_{np})}{D_{np}} + i'_{np6} =$ $1,5196 \left( \frac{1839,46}{3635,91} + 300,48 \right)$ $= \frac{5394,16}{19,44} + 2794,96$	2962,2	3102,6	3240,1
Температура пари на виході із першої ступені	$t''_{np}$	°C	$f(i''_{np}, P''_{np})$ Табл. XXV [1]	305,4	358,4	414,5

TK81.162.0003.154.ПЗ

Лист  
126

Змн. Арк. № докум. Підпис Дата

Продовження таблиці 2.5.2

1	2	3	4	5	6	7
Середня температура пари в першій ступені	$t_{\text{ср}}$	°C	$\frac{t'_{\text{пт}} + t''_{\text{пт}}}{2} = \frac{260,47 + \left\{ \begin{matrix} 305,4 \\ 358,4 \\ 414,5 \end{matrix} \right\}}{2}$	282,9	309,4	337,5
Поправка, що враховує внутрішній діаметр	$C_d$	-	$f(\sqrt{\frac{D_{\text{вн}}}{32}})$ ном. 12[1]	0,975		
Коефіцієнт тепловіддачі	$\alpha_n$	Вт / м²×К	$f\left(\frac{t'_{\text{пт}} + t''_{\text{пт}}}{2}, \frac{P'_{\text{пт}} + P''_{\text{пт}}}{2}\right)$ ном. 12[1]	1850	1750	1700
Коефіцієнт забруднення	$\varepsilon$	-	Рис. 7.15	0,0015		
Температурний напір при прямотоці	$\Delta t_{\text{прм}}$	°C	$\frac{\Delta t_{\text{б}}^{\text{прм}} - \Delta t_{\text{м}}^{\text{прм}}}{\text{Ln} \frac{\Delta t_{\text{б}}^{\text{прм}}}{\Delta t_{\text{м}}^{\text{прм}}}} = \frac{582,53 - \left\{ \begin{matrix} 437,6 \\ 284,6 \\ 128,3 \end{matrix} \right\}}{\text{Ln} \left\{ \begin{matrix} 582,53 / \left\{ \begin{matrix} 437,6 \\ 284,6 \\ 128,3 \end{matrix} \right\} \end{matrix} \right\}}$	506,61	415,9	300,39
	$\Delta t_{\text{б}}^{\text{прм}}$	°C	$t'_{\text{пт}} - t''_{\text{пт}} = 843 - 260,47$	582,53		
	$\Delta t_{\text{м}}^{\text{прм}}$	°C	$t''_{\text{пт}} - t''_{\text{пт}} = \left\{ \begin{matrix} 743 \\ 643 \\ 543 \end{matrix} \right\} - \left\{ \begin{matrix} 305,4 \\ 358,4 \\ 414,5 \end{matrix} \right\}$	437,6	284,6	128,5
Температурний напір при протivotоку	$\Delta t_{\text{прт}}$	°C	$\frac{\Delta t_{\text{б}}^{\text{прт}} - \Delta t_{\text{м}}^{\text{прт}}}{\text{Ln} \frac{\Delta t_{\text{б}}^{\text{прт}}}{\Delta t_{\text{м}}^{\text{прт}}}} = \frac{\left\{ \begin{matrix} 537,6 \\ 484,6 \\ 428,5 \end{matrix} \right\} - \left\{ \begin{matrix} 482,53 \\ 382,53 \\ 282,53 \end{matrix} \right\}}{\text{Ln} \left\{ \begin{matrix} 537,6 \\ 484,6 \\ 428,5 \end{matrix} \right\} / \left\{ \begin{matrix} 482,53 \\ 382,53 \\ 282,53 \end{matrix} \right\}}$	509,5 7	431,5 5	350,4 6



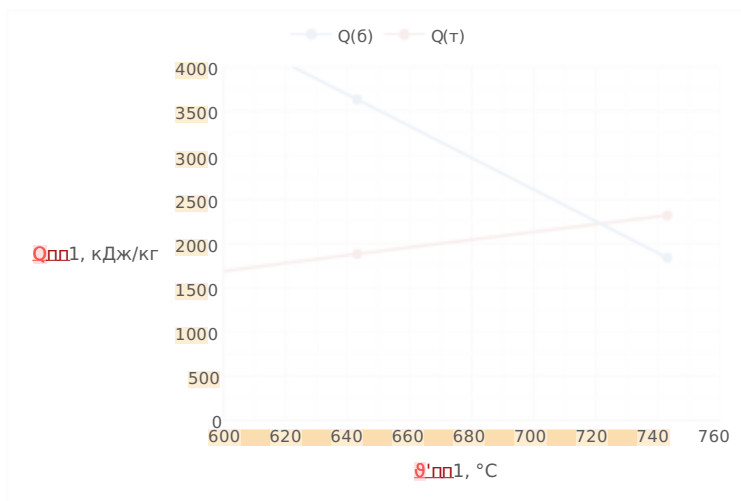


Рисунок 2.5.1 – Залежність теплосприйняття першої ступені пароперегрівача від температури продуктів згоряння

За результатами отриманими з графіка маємо:

- температура газів за першим ступенем пароперегрівачем:

$$t'_{п.п.1} = 720^{\circ}C$$

- дійсне значення тепло сприйняття ступені:

$$Q_{m1} = 2200 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

- ентальпія та температура перегрітої пари на виході з 1-ої ступені пароперегрівача:

$$i'_{m1} = 2990,42 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} ; t'_{m1} = 316,6^{\circ}C$$

### 2.5.2 Розрахунок другої ступені пароперегрівача по ходу газів

						Лист 126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	TK81.162.0003.154.ПЗ	

У табл. 2.5.3 представлені конструктивні характеристики другої ступені пароперегрівача по ходу газів.

Таблиця 2.5.3 – Конструктивні характеристики другої ступені пароперегрівача

Величина	Позначення	Одиниця виміру	Розрахункова формула або спосіб визначення	Результат
1	2	3	4	5
Зовнішній діаметр труб	$d_{30в}$	ММ	Згідно прототипу	38
Товщина стінки труби	$\delta$	ММ		3
Внутрішній діаметр труб	$d_{вн}$	ММ	$d_{30в} - 2\delta = 38 - 2 \cdot 3$	32
Відносно поперечний крок труб двох ступеней	$\sigma_1$	-	$2 \div 2,5$	2,21
Відносно повздовжній крок труб двох ступеней	$\sigma_2$	-	Згідно прототипу	2,368

Продовження таблиці 2.5.3

1	2	3	4	5
Поперечний крок труб двох ступеней	$S_1$	ММ	$\sigma_1 \cdot d = 2,21 \cdot 38$	84
Повздовжній крок труб двох ступеней	$S_2$	ММ	$\sigma_2 \cdot d = 2,368 \cdot 38$	90
Відстань від вісі крайньої труби пароперегрівача до стінки газоходу	$e_b$	ММ	50 ± 100	50
Відстань від стінки газоходу до початку пароперегрівача	$e_h$	ММ		50
Висота газоходу	$h$	М	З ескізу котла	2,9
Кількість паралельних труб у ряді першої ступені, що розташовані поперек ходу	$Z_1$	ШТ.	$b - 2 \cdot e_b \div S_1 + 1 = \frac{6 - 2 \cdot 0,050}{0,084} + 1$	71

TK81.162.0003.154.ПЗ

Лист  
126

Змн. Арк. № докум. Підпис Дата





Продовження таблиці 2.5.3

1	2	3	4	5
Повна поверхня нагріву другої ступені пароперегрівача	$H_{п.п.}$	$m^2$	$\pi \cdot d \cdot l_{cp} \cdot Z =$ $= \pi \cdot 0,038 \cdot 2,8 \cdot 1704$	569,3
Площа живого перетину для руху газів	$F_c$	$m^2$	$b \cdot h - Z_1 \cdot l_{cp} \cdot d =$ $= 6 \cdot 2,9 - 71 \cdot 2,8 \cdot 0,038$	9,85
Площа живого перетину для руху пари у другій ступені пароперегрівачі	$f$	$m^2$	$2 \cdot Z_1 \cdot \frac{\pi \cdot d_{вн}^2}{4} =$ $= 2 \cdot 71 \cdot \frac{\pi \cdot 0,032^2}{4}$	0,113

Конструктивний розрахунок другої ступені пароперегрівача представлений у табл. 2.5.4

Таблиця 2.5.4 – Конструктивний розрахунок другої ступені пароперегрівача

Величина	Позначення	Одиниця виміру	Розрахункова формула або спосіб визначення	Результат
1	2	3	4	5
Теплосприйняття пароперегрівача	$Q_{п.п.}^6$	кДж кг	$D_{B_p} (i_{п.п.}^* - i_{н.п.}) = (3291,75 - 2794,96) \cdot 19,44$ $1,5196$	6355,4
Теплосприйняття за балансом другої ступені пароперегрівача	$Q_{п.п.2}^6$	кДж кг	$Q_{п.п.} - Q_{п.п.1} =$ $= 6355,4 - 2200$	4155,4
Теплосприйняття першої ступені пароперегрівача	$Q_{п.п.1}$		Згідно розрахунку першої ступені	2200

Продовження таблиці 2.5.4

1	2	3	4	5
Температура газів	$t_{п.п.2}^*$	$^{\circ}C$	$t_{п.п.}^*$ (згідно розрахунків)	720

				TK81.162.0003.154.ПЗ		Лист 7 126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перед пароперегривачем			першої ступені)	
Ентальпія газів за пароперегривачем	$I''_{п.п.}$	кДЖ кг	$I''_{п.п.} = \frac{I''_{п.п.} \cdot M_{п.п.} \cdot D_{п.п.}}{B} =$ $= 4052,7 - ((3291,75 - 2794,96) \cdot \frac{19,44}{1,5196})$	7697,3
Температура газів за пароперегривачем	$\vartheta''_{п.п.}$		Згідно таблиці ентальпій $f(I''_{п.п.}, \alpha_{п.п.}) = f(7697,3; 1,08)$	472,2
Середня температура газів	$\vartheta_{cp}$	°C	$\frac{\vartheta'_{п.п.2} + \vartheta''_{п.п.2}}{2} =$ $= \frac{720 + 472,2}{2}$	596,1
Тиск пари на вході до другої ступені	$P'_{п.п.2}$	МПа	$P''_{п.п.}$	4,515
Тиск пари на виході з другої ступені	$P''_{п.п.2}$	МПа	$P_{п.п.}$	4,3
Середній тиск пари у першій ступені	$P'_{п.п.2}$	МПа	$\frac{P'_{п.п.2} + P''_{п.п.2}}{2} = \frac{4,41 + 4,2}{2}$	4,407
Ентальпія пари на вході до другої ступені	$i'_{п.п.2}$	кДЖ кг	$i'_{п.п.2} - \frac{Q_{п.п.2} \cdot B_p}{D} - \Delta_{п.п.} = 3291,75 - \frac{4155,4}{19} - 60$	2906,9
Ентальпія пари на виході із другої ступені	$i''_{п.п.2}$	кДЖ кг	$f(i''_{п.п.2}, P''_{п.п.2}) = f(435, 4,3)$ , Таблиця XXV стор. 189 [1], теплофізичні властивості перегрітої водяної пари	3291,75

Продовження таблиці 2.5.4

1	2	3	4	5
Температура пари на вході до другої	$t'_{п.п.2}$	°C	$f(i'_{п.п.2}, P'_{п.п.2}) = f(2906,9, 4,515)$ , Таблиця XXV стор. 189 [1], теплофізичні властивості водяної пари	285,4

				TK81.162.0003.154.ПЗ	Лист 126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

ступені Температура пари на виході із другої ступені	$t_{п.п.2}$	°C	$t_{п.п.}$	435
Середня температура пари в ступені	$t_{ср}$	°C	$\frac{t_{п.п.2} + t_{п.п.2} = 293,7 + 430}{2}$	360,2
Питомий об'єм пари	$v_n$	$\frac{м^3}{кг}$	$f(t_{ср}, P_{ср}) = f(360,2, 4,4075)$ , Таблиця XXV стор. 189 [1], теплофізичні властивості водяної пари	0,06122
Розрахункова швидкість пари в трубах	$w_{п.ср}$	$\frac{м}{с}$	$D \cdot v_n = 19,44 \cdot 0,06122$ $f = 0,113$	10,53
Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією зі сторони пари	$\alpha_2$	$\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$	$0,023 \cdot C_l \cdot C_t \cdot C_k \cdot \frac{\lambda_n}{d} \left( \frac{w_n \cdot d}{v_n} \right)^{0,8} \cdot Pr^{0,4} =$ $= 0,023 \cdot 1,01 \cdot 1 \cdot 0,92 \cdot \frac{56,6 \cdot 10^{-3}}{0,032} \times$ $\times \left( \frac{10,53 \cdot 0,032}{1,38 \cdot 10^{-6}} \right)^{0,8} \cdot 0,998^{0,4}$	772,7
Поправка на відносну довжину	$C_l$	-	$f(d/d)$ , Номограма 11, стор. 229 [1]	1,01

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Лист 7 126
------	------	----------	--------	------	------------------

TK81.162.0003.154.ПЗ

Продовження таблиці 2.5.4

1	2	3	4	5
Коефіцієнт теплопровідності пари	$\sigma \cdot 10^3$	Вт м×К	$f(t_{cp}, P_{cp}) = f(360, 2, 4, 4075)$ , Таблиця VIII стор. 144 [1]	56,6
Коефіцієнт динамічної в'язкості пари	$\mu_n \cdot 10^6$	Па·с	$f(t_{cp}, P_{cp}) = f(360, 2, 4, 4075)$ , Таблиця VII стор. 142[1]	22,5
Коефіцієнт кінематичної в'язкості пари	$\nu_n \cdot 10^6$	$\frac{м^2}{с}$	$\nu_n = \mu_n = 0,06122 \cdot 22,5$	1,38
Критерій Прандтля для водяної пари	$Pr_n$	-	$f(t_{cp}, P_{cp}) = f(360, 2, 4, 4075)$ , Таблиця IX стор.146 [1]	0,998
	$C_1$		При течії пари , стор. 62[1]	1
	$C_k$		Рис. 7.9., стор. 63[1]	0,92
Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією	$\alpha_k$	Вт м×К	$0,2 \cdot C_s \cdot C_c \cdot \frac{\lambda \left( \frac{W_s \cdot d}{V} \right)^{0,65}}{d} \cdot Pr^{0,33} =$ $= 0,2 \cdot 1,02 \cdot 1 \cdot \frac{7,5 \cdot 10^{-2}}{0,032} \times$ $\times \left( \frac{5,54 \cdot 0,032}{88,7 \cdot 10^{-6}} \right)^{0,65} \cdot 0,614^{0,33}$	56,75
Розрахункова швидкість газів в пучку	$W_s^{cp}$	$\frac{м}{с}$	$\frac{B_{pe} \cdot V_{sp} \cdot (t_{sp} + 273)}{F_s \cdot 273} =$ $= \frac{1,5196 \cdot 11,266 \cdot (596,1 + 273)}{9,85 \cdot 273}$	5,54
Поправка на геометрію пучка	$C_s$	-	$f(\sigma_1; \sigma_2) = (1 + (2\sigma_1 - 3)(1 - \sigma_2/2))^{3-2} =$ $= (1 + (2 \cdot 2,21 - 3)(1 - 2,368/2))^{3-2}$	1

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	TK81.162.0003.154.ПЗ	Лист 126
------	------	----------	--------	------	----------------------	-------------

Продовження таблиці 2.5.4

1	2	3	4	5
Поправка на кількість труб по ходу газів	$C_z$		при $z_2 < 10$ $C_z = 0,91 + 0,0125(z_2 - 2)$ при $z_2 \geq 10$ $C_z = 1$	1
Коефіцієнт теплопровідності димових газів середнього складу	$\lambda_i \cdot 10^3$	Вт м×К	$f(\vartheta_{cp}) = f(596,1^\circ)$ , Таблиця VI Физические характеристики воздуха и дымовых газов, стор.141 [1]	7,5
Коефіцієнт кінематичної в'язкості димових газів середнього складу	$\nu_i \cdot 10^6$	$\frac{m^2}{c}$		88,7
Критерій Прандтля димових газів середнього складу	$Pr_i$	-		0,614
Множник	$M_\lambda$		$f(\vartheta_{cp}, r_{H_2O}) = f(591,6, 0,19)$ , Рис. 3.1, стор. 19 [1] $f(r_{H_2O}) = f(0,19)$ , Рис. 3.1, стор. 19 [1]	1,05
	$M_\nu$	-		1,03
	$M_{Pr}$			1,04
Коефіцієнт теплопровідності димових газів	$\lambda_i \cdot 10^3$	Вт м×К	$M_\lambda \cdot \lambda_i = 1,05 \cdot 7,5$	7,875
Коефіцієнт кінематичної в'язкості димових газів	$\nu_i \cdot 10^6$	$\frac{m^2}{c}$	$M_\nu \cdot \nu_i = 1,03 \cdot 88,7$	91,36
Критерій Прандтля димових газів	$Pr_i$	-	$M_{Pr} \cdot Pr_i = 1,04 \cdot 0,614$	0,64

Змн. Арк. № докум. Підпис Дата

Лист 126

TK81.162.0003.154.ПЗ

Продовження таблиці 2.5.4

1	2	3	4	5
Коефіцієнт теплопередачі	$K$	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}}$	$\psi \cdot \alpha_1 = \frac{0,6 \cdot 77,15}{1 + \frac{\alpha_1}{\alpha_2} + \frac{77,15}{772,72}}$	42,09
Коефіцієнт теплової ефективності	$\psi$	-	Рис. 7-16, стор. 71 [1]	0,6
Коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням	$\alpha_{\text{пром}}$	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}}$	$5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\alpha_2 + 1}{2} \frac{1 - \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^4}{1 - \frac{T_2}{T_1}} =$ $= 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{0,8 + 1}{2} 0,155 \times$ $\times (596,1 + 273)^3 \times$ $\times \left( 1 - \left( \frac{633,23}{(596,1 + 273)} \right)^4 \right) /$ $/ \left( 1 - \frac{633,23}{(596,1 + 273)} \right)$	15,58
Ступінь чорноти забруднених стінок	$\alpha_s$	-	Стор. 66 [1]	0,8
Ефективна товщина випромінюючого шару	$S_{\text{еф}}$	$\text{м}$	$0,9 \cdot d_{\text{зов}} \left( \frac{4}{\pi} \cdot \sigma_1 \cdot \sigma_2 - 1 \right) =$ $= 0,9 \cdot 0,038 \cdot \left( \frac{4}{\pi} \cdot 2,21 \cdot 2,368 - 1 \right)$	0,194
Коефіцієнт послаблення променів трьохатомними газами	$k_t$	$\frac{1}{\text{МПа} \times \text{м}}$	$\left( \frac{7,8 + 16 \cdot \sigma_{\text{H}_2\text{O}}}{10 \cdot P_i \cdot r_n \cdot S_{\text{еф}}} - 1 \right) \times$ $\times \left( 1 - 0,37 \cdot 10^{-3} (\vartheta_{\text{сп}} + 273) \right) \cdot r_n =$ $= \left( \frac{7,8 + 16 \cdot 0,19}{10 \cdot 0,1013 \cdot 0,288 \cdot 0,194} - 1 \right) \times$ $\times \left( 1 - 0,37 \cdot 10^{-3} (596,1 + 273) \right) \times$ $\times 0,288$	8,56

Продовження таблиці 2.5.4

1	2	3	4	5
Сумарний коефіцієнт послаблення променів	$\bar{k}$	$\frac{1}{\text{МПа}\cdot\text{м}}$	$k_r + k_{\text{эл}} \mu_{\text{эл}} = 8,56 + 0$	8,56
Сумарна оптична товщина продуктів згорання	$kps$	-	$k_r \cdot P \cdot S_{\text{эф}} = 8,56 \cdot 0,1013 \cdot 0,194$	0,168
Ступінь чорноти потоку газів	$a$	-	$1 - e^{-kps} = 1 - e^{-0,168}$	0,155
Коефіцієнт забруднення	$\epsilon$	-	Рис. 7.15, стор. 70 [1]	0,0015
Температура поверхневих забруднень	$T_3$	К	$t_{\text{ср}} + \left(\epsilon + \frac{1}{\alpha_{\text{2п.п.2}}}\right) \frac{B_{\text{п}}}{Q_{\text{п.п.2}}} + 273 =$ $= 360,2 + \left(0,0015 + \frac{1}{772,72}\right) \times$ $\times \frac{1,5196}{569,3} 4155,4 + 273$	633,23 1
Коефіцієнт тепловіддачі випромінювання з урахуванням випромінювання газового об'єму перед ступенню пароперегрівача	$\alpha'_{\text{пром}}$	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$	$\alpha_{\text{пром}} \left( 1 + 0,3 \left( \frac{\vartheta'_{\text{п.п.2}} + 273}{1000} \right)^{0,25} \left( \frac{L_{\text{об}}}{L} \right)^{0,07} \right) =$ $= 15,938 \times \left( 1 + 0,3 \left( \frac{720 + 273}{1000} \right)^{0,25} \left( \frac{0,66}{0,59} \right)^{0,07} \right)$	20,4
Коефіцієнт тепловіддачі	$\alpha_1$	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$	$\zeta (\alpha_k + \alpha_{\text{пром}}) = 1 \cdot (56,75 + 20,4)$	77,15





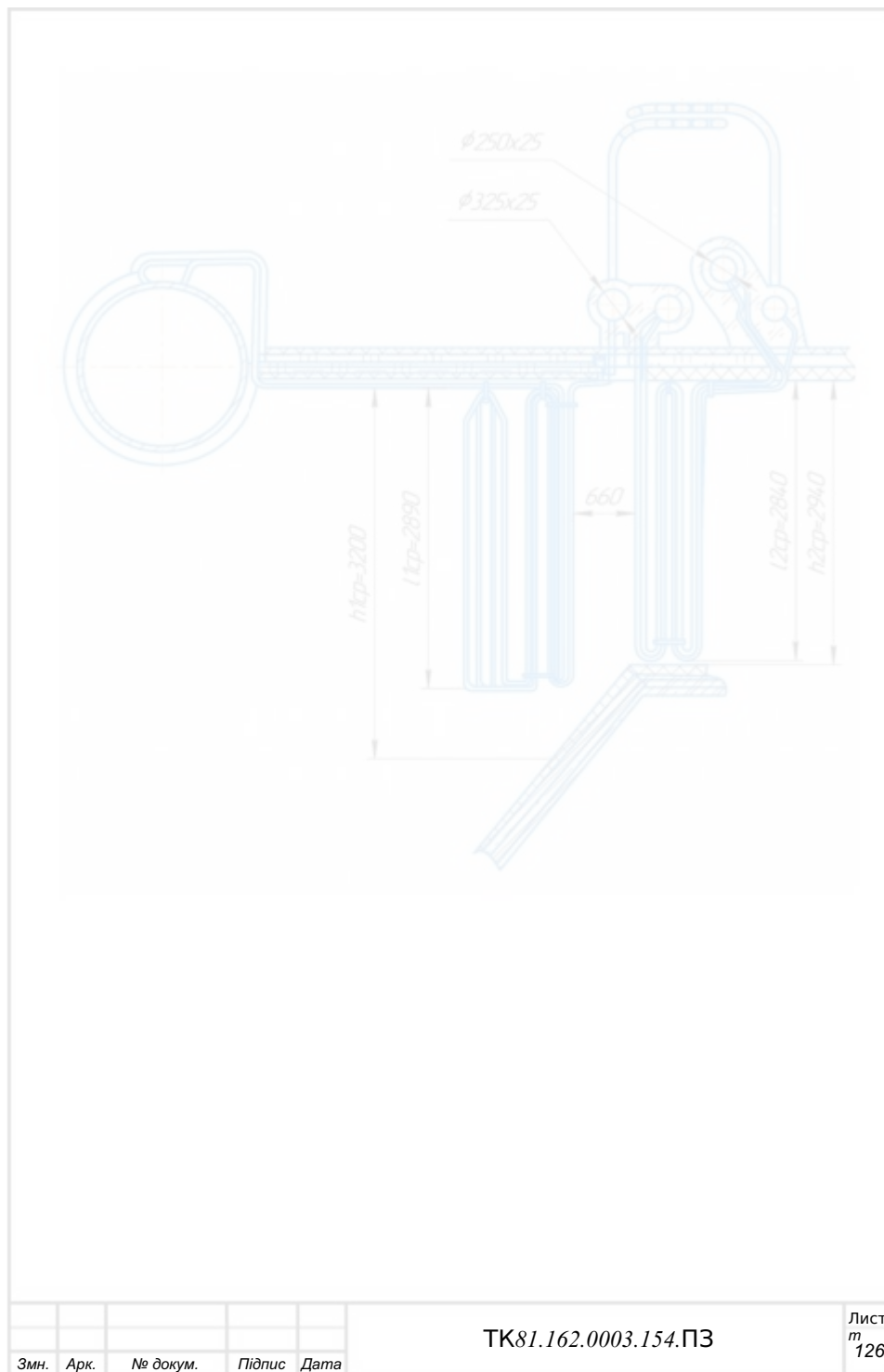


Рисунок 2.5.1 – Ескіз пароперегрівача

2.6 Розрахунок повітропідігрівника

У табл. 2.6.1 показано розрахунок повітропідігрівника.

						TK81.162.0003.154.ПЗ	Лист т 126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Таблица 2.6.1 - Розрахунок ступені повітропідігрівника по ходу повітря

Величина	Позначення	Одиниця виміру	Розрахункова формула або спосіб визначення	Результат
1	2	3	4	5
Діаметр труб та товщина стінки	$d \times \delta$	мм	Приймаємо	40×1,5
Крок труб: поперечний	$S_1$	мм	Приймаємо	53
повздожній	$S_2$			44
Відносно поперечний крок труб двох ступеней	$\sigma_1$	-	$S_1 = 0,053$ $d_{зов} = 0,040$	1,325
Відносно повздожній крок труб двох ступеней	$\sigma_2$	-	$S_2 = 0,044$ $d_{зов} = 0,04$	1,1
Температура продуктів згоряння на виході з повітряпідігрівача	$\vartheta_{пов.п}$	°C	$l, \theta$ - таблиця $\Delta(\alpha_{пов.п} ; \dot{f}_{пов.п}) = (1,22; 2089,99)$	120
Ентальпія продуктів згоряння на виході з повітряпідігрівача	$I'_{пов.п}$	кДж/кг	$f(\alpha_{пов.п} ; \vartheta_{вид}) = f(1,22; 120)$	2089,99
Теплосприйняття повітряпідігрівача з боку робочого тіла (повітря)	$Q_{пов.п}$	кДж/кг	$(\alpha_T - \Delta\alpha_T + \frac{\Delta\alpha_{пов.п}}{2}) \times (I'_{пов.п} - I'_{пов.п}) = (1,05 - 0,05 + \frac{0,06}{2}) \times (3155,7 - 375)$	2864,12

Продовження таблиці 2.6.1

1	2	3	4	5
Середня	$t_{cp}$	°C	$0,5 \cdot (t'_{пов.п} + t'_{пов.п}) = 0,5 \cdot (30 + 250)$	140
TK81.162.0003.154.ПЗ				Лист 126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

температура повітря									
Температура продуктів згоряння на виході з повітряпідігрівача	$t'_{пов.п}$	$^{\circ}C$	$l, \theta$ - таблиця $\Delta t_{пов.п} = t_{пов.п} - t_{гн} (t_{пов.п} = 5103,6)$	288					
Температура повітря на виході з повітряпідігрівача	$t''_{пов.п}$	$^{\circ}C$	$t''_{пов.п} = t_{гн}$	250					
Ентальпія присмоків повітря	$I^0_{прс}$	кДЖ кг	$l, \theta$ - таблиця $f(I_{пов.п} t_{ср}) = f(I_{пов.п} 140)$	2443,7					
Ентальпія продуктів згоряння на вході в повітряпідігрівача	$I'_{пов.п2}$	кДЖ кг	$\{ \{Q\} \text{ rsub } \{пов.п\} \} \text{ over } \{\phi\} + \{\Delta\alpha\}$ $i \cdot 2089,99 + \frac{2864,12}{0,999} + 0,06 \cdot 2443,7$	5103,6					
Глибина конвективної шахти	$a_{кш}$	м	Згідно прототипу	1,7					
Кількість труб в одному ряді поперек ходу повітря	$Z_1$	шт.	$\frac{b - 2 \cdot e}{S_1} = \frac{6 - 2 \cdot 0,05}{0,053}$	111					
Кількість рядів труб за ходом повітря	$Z_2$	шт.	$\frac{a_{кш} + 1}{S_2} = \frac{1,7}{0,044} + 1$	40					
Продовження таблиці 2.6.1									
	1	2	3	4					
Загальна кількість труб	$Z$	шт.	$Z_1 \cdot Z_2 = 111 \cdot 40$	4440					
Площа живого перетину для проходу газів	$E_2$	м <sup>2</sup>	$Z \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 4560 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,037^2}{4}$	4,77					
<table border="1"> <tr> <td>Змн.</td> <td>Арк.</td> <td>№ докум.</td> <td>Підпис</td> <td>Дата</td> </tr> </table>				Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Лист 126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
TK81.162.0003.154.ПЗ									

Швидкість продуктів згоряння в повітряпідігрівнику Середня температура	$\frac{W_2}{V_2}$	м/с	$\frac{V_2 \cdot B_p \cdot (\theta_{cp} + 273)}{E_2 \cdot 273} = \frac{12,399 \cdot 1,5196 \cdot (204,1 + 273)}{4,77 \cdot 273}$	6,89
температура продуктів згоряння	$\theta_{cp}$	°C	$0,5 \cdot (\theta'_{пов.п} + \theta''_{пов.п}) = 0,5 \cdot (288 + 120)$	204,1
Швидкість повітря	$W_1$	м/с	$W_2 \cdot (0,5 \div 0,7) = 6,89 \cdot 0,7$	4,63
Температурний напір у повітряпідігрівнику	$\Delta t$	°C	$\psi' \cdot \Delta t_{прт} = 0,85 \cdot 60,3$	51,3
Більша різниця температур	$\Delta t_6$	°C	$\theta''_{пов.п} - t'_{пов.п} = 120 - 30$	90
Нижча різниця температур	$\Delta t_m$	°C	$\theta'_{пов.п} - t''_{пов.п} = 288 - 250$	38
Температурний напір протитоку	$\Delta t_{прт}$	°C	$\frac{\Delta t_6 - \Delta t_m}{\ln(\frac{\Delta t_6}{\Delta t_m})} = \frac{90 - 38}{\ln(\frac{90}{38})}$	60,3
Коефіцієнт переобліку	$\psi'$	-	Номограма 21 [1]	0,85

Продовження таблиці 2.6.1

1	2	3	4	5
Параметр	R	-	$\frac{\theta'_{пов.п} - \theta''_{пов.п}}{\theta'_{пов.п} - t'_{пов.п}} = \frac{288 - 120}{288 - 30}$	0,651
Параметр	R	-	$\frac{t_{гп} - t'_{пов.п}}{\theta'_{пов.п} - \theta''_{пов.п}} = \frac{250 - 30}{288 - 120}$	1,308
Коефіцієнт теплової ефективності	$\psi$	-	Таблиця 7.6 [1]	0,95
Коефіцієнт теплопередачі для повітряперегрівача	$K_{пов.п2}$	Вт/м²·К	$\psi \cdot \frac{\alpha_{к1} \cdot \alpha_{к2}}{\alpha_{к1} + \alpha_{к2}} = 0,95 \cdot \frac{28,82 \cdot 57,39}{28,82 + 57,39}$	18,23

TK81.162.0003.154.ПЗ

Лист  
126

Змн. Арк. № докум. Підпис Дата

<p>Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією від газів до стінки труби</p>	<p><math>\alpha_{к1}</math> М<sup>2</sup>·К</p>	<p>Вт М<sup>2</sup>·К</p> $0,023 \frac{\lambda}{d_{вн}} \left( \frac{W \cdot d_{вн}}{\nu} \right)^{0,8} Pr^{0,4} C_k \cdot C_l C_t =$ $0,023 \frac{0,041}{0,037} \left( \frac{6,89 \cdot 0,037}{32,1 \cdot 10^{-6}} \right)^{0,8} 0,682^{0,4} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1$	<p>28,82</p>					
<p>Коефіцієнт теплопровідності газів середнього складу</p>	<p><math>\lambda_2 \cdot 10^2</math> М·К</p>	<p>Вт М·К</p> <p>Таблиця VI [1] <math>f(\vartheta_{cp}) = f(204,1)</math></p>	<p>4,02</p>					
<p>Коефіцієнт кінематичної в'язкості газів середнього складу</p>	<p><math>\nu_2 \cdot 10^6</math> М<sup>2</sup>/с</p>	<p>М<sup>2</sup>/с</p> <p>Таблиця VI [1] <math>f(\vartheta_{cp}) = f(204,1)</math></p>	<p>32,1</p>					
<p>Критерій Прандтля газів середнього складу</p>	<p><math>Pr_{г}</math> -</p>	<p>-</p> <p>Таблиця VI [1] <math>f(\vartheta_{cp}) = f(204,1)</math></p>	<p>0,669</p>					
<table border="1"> <tr> <td>Змн.</td> <td>Арк.</td> <td>№ докум.</td> <td>Підпис</td> <td>Дата</td> </tr> </table>	Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<p>TK81.162.0003.154.ПЗ</p>		<p>Лист m 126</p>
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				

Продовження таблиці 2.6.1

1	2	3	4	5
Множники	$M_z$	-	Рисунок 3.1 [1] $f(\vartheta_{ср}; r_{H_2O}) = f(204,1; 0,173)$	1,02
	$M_x$			1,00
	$M_{Pr}$			1,02
Коефіцієнт теплопровідності газів		Вт м·К	$\lambda_g \cdot M_\lambda \cdot 10^{-2} = 4,02 \cdot 1,02 \cdot 10^{-2}$	0,041
Коефіцієнт кінематичної в'язкості газів	$\nu$	$\frac{m^2}{c}$	$\nu_g \cdot M_\nu = 32,1 \cdot 1$	32,1
Критерій Прандтля газів	$Pr$	-	$Pr_g \cdot M_{Pr} = 0,669 \cdot 1,02$	0,682
Поправка	$C_x$	-	-	1,0
	$C_l$			1,0
	$C_t$			1,0
Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією при поперечному омиванні повітрям	$\alpha_{к2}$	Вт м <sup>2</sup> ·К	$0,36 \frac{\lambda_n}{d_{вн}} \left( \frac{W_n \cdot d_{вн}}{\nu_n} \right)^{0,6} Pr_n^{0,33} C_s \cdot C_z =$ $0,36 \frac{3,46 \cdot 10^{-2}}{0,037} (4,82 \cdot 0,037 / 28,22 \cdot 10^{-6})^{0,6} 0,69^{0,33} \times$ $\times 1 \cdot 1,01$	57,39
Коефіцієнт теплопровідності повітрям	$\lambda_n \cdot 10^2$	Вт м·К	Таблиця VI [1] $f(t_{ср}) = 140^\circ$	3,46
Коефіцієнт кінематичної в'язкості повітрям	$\nu_n \cdot 10^6$	$\frac{m^2}{c}$	Таблиця VI [1] $f(t_{ср}) = 140^\circ$	28,22
Критерій Прандтля по повітрю	$Pr_n$	-	Таблиця VI [1] $f(t_{ср}) = 140^\circ$	0,69

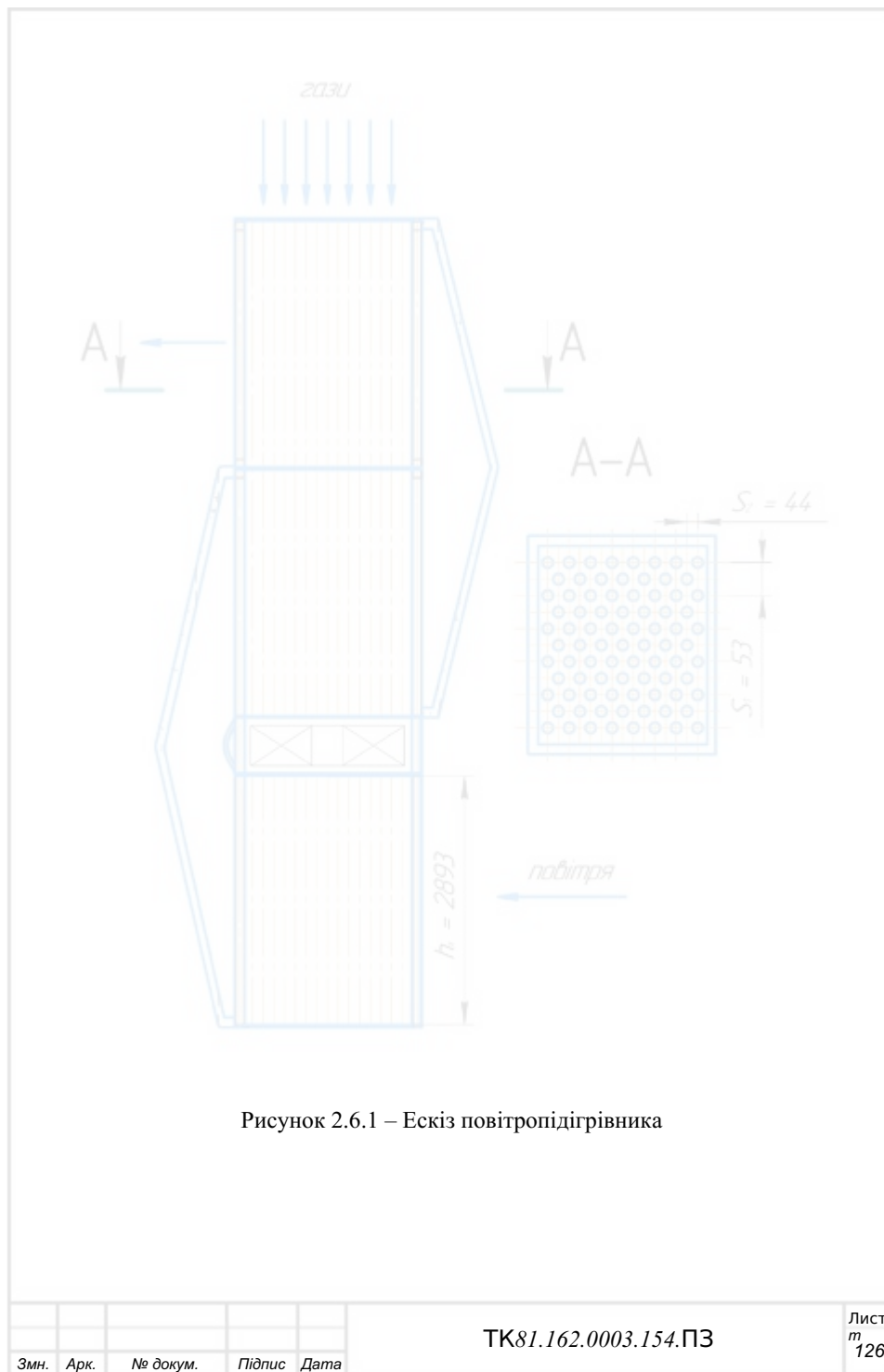
Продовження таблиці 2.6.1

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

				TK81.162.0003.154.ПЗ		Лист m 126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		







2.7 Розрахунок водяного економайзера

Розрахунок водяного економайзера зображено у табл. 2.7.1. Схематичний ескіз водяного економайзера зображено на рис. 2.7.1.

Таблиця 2.7.1 - Розрахунок водяного економайзера

Величина	Позначення	Одиниця виміру	Розрахункова формула або спосіб визначення	Результат
1	2	3	4	5
Теплосприйняття водяного економайзера	$Q_{ве}$	кДЖ кг	$\phi \cdot (I_{ве}^* - I_{ве} + \Delta\alpha_{ве} \cdot I_{хп}^0) = 0,999 (7697,3 - 5103,6 + 0,08 \cdot 375)$	2621,1
Ентальпія димових газів на вході в економайзер	$I_{ве}^*$	кДЖ кг	$I_{ве}^* = I_{пп}^*$	7697,3
Ентальпія димових газів на виході з економайзера	$I_{ве}^*$	кДЖ кг	$I_{ве}^* = I_{повп}^*$	5103,6
Ентальпія живильної води на вході у водяний економайзер	$i_{ве}^*$	кДЖ кг	$i_{жв} + \Delta i_{по} = 656,6 + 60$	716,6
Ентальпія живильної води на виході з водяного економайзера	$i_{ве}^*$	кДЖ кг	$i_{ве}^* + \frac{Q_{ве} \times B_p}{D_{ве}} = 716,6 + \frac{2621,1 \times 1,5196}{19,45}$	921,4
Витрата води у водяному економайзері	$D_{ве}$	кг с	$D_{пп}^c + D_{пр}^c = 19,44 + 0,01$	19,45

Продовження таблиці 2.7.1

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

				TK81.162.0003.154.ПЗ		Лист 126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тиск води на вході та виході з водяного економайзера	$P'_{ве}$ $P''_{ве}$	МПа	$1,2 \times P_{ин} = 1,2 \times 4,3$ $1,1 P_{ин} = 1,1 \times 4,3$	5,16 4,73
Температура живильної води на вході у водяний економайзер	$t'_{ве}$	$^{\circ}C$	Згідно завдання	155
Температура живильної води на виході з водяного економайзера	$t''_{ве}$	$^{\circ}C$	Таблиця XXIV [1] $f(t'_{ве}; P'_{ве}) = f(921,4; 4,73)$	215
Середня температура живильної води	$t'_{ср}$	$^{\circ}C$	$0,5 \times (t'_{ве} + t''_{ве}) = 0,5 \times (155 + 215)$	185
Температура продуктів згоряння на вході у водяний економайзер	$\vartheta'_{ве}$	$^{\circ}C$	$\vartheta'_{ве} = \vartheta''_{н.н}$	472,2
Температура продуктів згоряння на виході з водяного економайзера	$\vartheta''_{ве}$	$^{\circ}C$	$f(\alpha_{ве}; I'_{пов.п}) = f(1,16; 5103,6)$ табл. 2.1.6	300,7
Середня температура продуктів згоряння	$\vartheta'_{ср}$	$^{\circ}C$	$0,5 \cdot (\vartheta'_{ве} + \vartheta''_{ве}) = 0,5 \cdot (472,2 + 300,7)$	386,4
Діаметр труб	$d$	мм	Приймаємо	32
Товщина стінки	$\delta$	мм	Приймаємо	3
Продовження таблиці 2.7.1				
1	2	3	4	5
Крок труб водяного економайзера: поперечний	$S_1$ $S_2$	мм	Приймаємо	80 64
TK81.162.0003.154.ПЗ				Лист 126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

повздовжній				
Кількість труб в одному поперечному ряду	$Z_1$	шт.	$\frac{a_{кш} - 2 \cdot e}{S_1} = \frac{1,7 - 2 \cdot 0,08}{0,08}$	19
Масова швидкість води на вході у водяний економайзер	$W\rho$	$\frac{кг}{м^2 \cdot с}$	Приймаємо	660
Площа живого перерізу для проходу води	$f_{ж}$	$м^2$	$\frac{D_{гн}^2}{W\rho} = \frac{19,44}{660}$	0,029
Кількість паралельних труб	$Z_n$	шт.	$\frac{f_{ж}}{0,785 \cdot d^2} = \frac{0,029}{0,785 \cdot 0,032^2}$	37
Кількість заходів водяного економайзера	$n$	-	$\frac{Z_n}{Z_1} = \frac{37}{19}$	2
Площа живого зрізу для проходу газу	$F_{ве}$	$м^2$	$b \cdot a_{кш} - l_{ве} \cdot Z_1 \cdot d = 6 \cdot 1,7 - 5,9 \cdot 19 \cdot 0,032$	6,61
Швидкість продуктів згорання	$W_2$	$\frac{м}{с}$	$\frac{V_r \cdot B_p \cdot (\vartheta_{ср} + 273)}{F_{ве} \cdot 273} = \frac{11,728 \cdot 1,5196 \cdot (386,4 + 273)}{6,61 \cdot 273}$	6,5
Температурний напір протитоку	$\Delta t_{прт}$	$^{\circ}C$	$\frac{\Delta t_6 - \Delta t_m}{\ln(\frac{\Delta t_6}{\Delta t_m})} = \frac{257,2 - 145,7}{\ln(\frac{257,2}{145,7})}$	196,2
Продовження таблиці 2.7.1				
1	2	3	4	5
Більша різниця температур	$\Delta t_6$	$^{\circ}C$	$\vartheta_{ве}^i - t_{ве}^i = 472,2 - 215$	257,2
Нижча різниця температур	$\Delta t_m$	$^{\circ}C$	$\vartheta_{ве}^n - t_{ве}^i = 300,7 - 155$	145,7
Коефіцієнт теплопередачі	$K'$	$\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$	Приймаємо ( 50-80)	55
TK81.162.0003.154.ПЗ				Лист 7 126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Площа поверхні економайзера	$H_{ве}$	м <sup>2</sup>	$\frac{1000 \cdot B_p \cdot Q_{ве}}{K' \cdot \Delta t_{прт}} = \frac{1000 \cdot 1,5196 \cdot 2621,1}{55 \cdot 196,2}$	369,1
Кількість труб ВОДЯНОГО економайзера по ходу газів	$Z_2$	шт.	$\frac{H_{вел}}{Z_1 \cdot \pi \cdot d \cdot l_{ве}} = \frac{369,1}{19 \cdot 3,14 \cdot 0,032 \cdot 5,2}$	38
Коефіцієнт теплопередачі економайзера	$K$	$\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$	$\psi \cdot \alpha_x = 0,75 \cdot 73,1$	54,8
Коефіцієнт теплової ефективності	$\psi$	-	Рисунок 7.16 [1]	0,75
Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією при поперечному омиванні газами	$\alpha_x$	$\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$	$0,36 \frac{\lambda_n ( \frac{W_n \cdot d}{\nu_n} )^{0,6} Pr_n^{0,33} C_s \cdot C_z = 0,36 \frac{0,058 ( 6,5 \cdot 0,032 )^{0,6} 0,666^{0,33} \times 0,032 ( 55,9 \cdot 10^{-6} )^{0,6} 0,666^{0,33} \times 0,93 \cdot 1}{\dots}$	73,1
Коефіцієнт теплопровідності газів середнього складу	$\lambda_z \cdot 10^2$	$\frac{Вт}{м \cdot К}$	Таблиця VI [1] $(C_{cp}) = 386,4 \text{ } ^\circ$	5,56

Продовження таблиці 2.7.1

1	2	3	4	5
Коефіцієнт кінематичної в'язкості газів середнього складу	$\nu_z \cdot 10^6$	$\frac{м^2}{с}$	Таблиця VI [1] $(C_{cp}) = 386,4 \text{ } ^\circ$	55,9

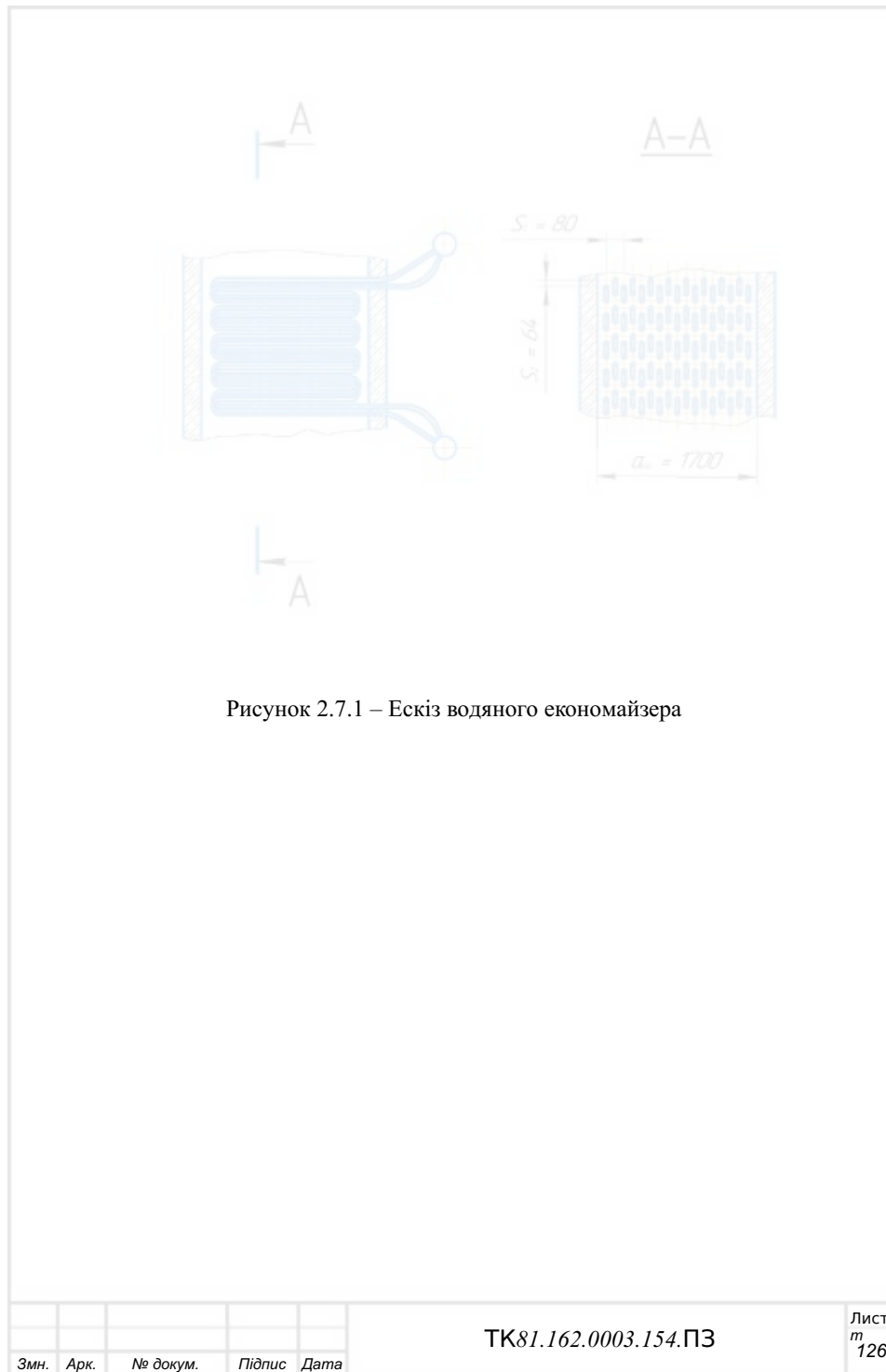
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	TK81.162.0003.154.ПЗ	Лист т 126
------	------	----------	--------	------	----------------------	------------------

Критерій Прандтля газів середнього складу	$Pr_L$	-	Таблиця VI [1] $f(C_{cp}) = 386,4^\circ$	0,64
Множники	$M_\lambda$ $M_\nu$ $M_{Pr}$	-	Рисунок 3.1 [1] $f(C_{cp}, r, H, \phi) = f(386,4; 0,182)$	1,035 1 1,04
Коефіцієнт теплопровідності газів $\lambda \cdot 10^2$		$\frac{Вт}{м \cdot К}$	$\lambda_\nu \cdot M_\lambda = 5,56 \cdot 1,035$	5,75
Коефіцієнт кінематичної в'язкості газів $\nu \cdot 10^6$		$\frac{м^2}{с}$	$\nu_\nu \cdot M_\nu = 55,9 \cdot 1$	55,9
Критерій Прандтля газів	$Pr$	-	$Pr_\nu \cdot M_{Pr} = 0,64 \cdot 1,04$	0,666
Висота пучка водяного економайзера	$h_{ве}$	м	$S_2 \cdot (Z_2 - 1) = 0,064 \cdot (38 - 1)$	2,368
Похибка розрахунку	$\epsilon$	$\frac{\circ}{\circ}$	$\frac{K - K}{K} \cdot 100 = \frac{55 - 54,81}{54,81} \cdot 100$	0,35

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Лист т 126
------	------	----------	--------	------	------------------

TK81.162.0003.154.ПЗ





### 3 ТЕПЛОГІДРАВЛІЧНИЙ РОЗРАХУНОК

#### 3.1 Розподіл теплового навантаження по контурах циркуляції

Циркуляційний контур парового котла (ПК) утворюється екранами з наступними розмірами ефективних поверхонь нагріву:

- фронтний екран –  $E_{фр} = 74,97 \text{ м}^2$ ;
- задній екран –  $E_з = 70,83 \text{ м}^2$ ;
- бічний екран (2 екрани) –  $E_б = 93,82 \text{ м}^2$ .

Коефіцієнт теплової ефективності  $\psi = 0,553$ ;

Середнє питоме теплове навантаження радіаційних поверхонь топки:

$$q_{пр} = \frac{B_p \cdot Q_{пр}^m}{\psi_T \cdot E_T} = \frac{1,52 \cdot 22764,78}{0,553 \cdot 253,73} = 265,37 \left[ \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2} \right].$$

Теплосприйняття екранів:

$$Q_{фр} = \dot{q} \cdot \eta_{ст}^{пр} \cdot \psi \cdot E_{фр} = 265,37 \cdot 1 \cdot 0,553 \cdot 74,97 = 11001,84 [\text{кВт}];$$

$$Q_з = \dot{q} \cdot \eta_{ст} \cdot \psi \cdot E_з = 265,37 \cdot 1 \cdot 0,553 \cdot 70,83 = 10394,3 [\text{кВт}];$$

$$Q_б = \dot{q} \cdot \eta_{ст} \cdot \psi \cdot E_б = 265,37 \cdot 1 \cdot 0,553 \cdot 93,82 = 13768,08 [\text{кВт}],$$

де  $\eta_{ст} = 1$  – коефіцієнт нерівномірного тепловосприйняття по стінах топки при зустрічному розташуванні пальників.

Непогодженість теплового балансу по стінах топкової камери:

$$\sum Q = Q_{фр} + Q_з + Q_б = 11001,84 + 10394,3 + 13768,08 = 35164,22 [\text{кВт}].$$

$$\frac{\sum Q - B_p \cdot Q}{\sum Q} \cdot 100\% = \left| \frac{35164,22 - 1,5196 \cdot 22764,78}{35164,22} \right| \cdot 100\% = 1,62\%.$$

Ескіз контуру циркуляції зображено на рис.3.1.1.

						Лист 126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	TK81.162.0003.154.ПЗ	







		-ру					
1	2	3	4	5			
Розрахункова швидкість води на вході в ділянку	$W_0$	м/с	Таблиця 9, ст. 24, [1]	0,6	0,9	1,2	1,5
Внутрішній діаметр труб	$d_{вн}$	м	З міркувань конструкції	0,054			
Зовнішній діаметр труб	$d_{зов}$	м	З міркувань конструкції	0,06			
Площа прохідної поверхні труб	$F_{пан}$	м <sup>2</sup>	$\frac{\pi \cdot d_{вн}^2}{4} \cdot n = \frac{\pi \cdot 0,054^2}{4} \cdot 7$	0,016			
Площа бічної стінки топкової камери	$F_{бч}$	м <sup>2</sup>	З розрахунку топки	25,6			
Площа поверхні однієї труби	$F_{тр}$	м <sup>2</sup>	$\pi \cdot d \cdot l_{оп} = \pi \cdot 0,06 \cdot 18,1$	3,42			
Довжина опускної труби	$l_{оп}$	м	З міркувань конструкції	18,13			
Кількість труб на панелі	n	шт.	$\frac{F_{бч}}{F_{тр}} = \frac{25,6}{3,42}$	7			
Густина киплячої води	$\rho$	м <sup>3</sup> /кг	З розрахунку топки	792,1			
Продовження таблиці 3.2.1							
1	2	3	4	5			
Витрата води в трубах	$G_{ц}$	м/с	$\rho \cdot W_0 \cdot F_{пан} = 792,1 \cdot \begin{matrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \end{matrix}$	7,62	11,43	15,24	19,05
<p style="text-align: center;">TK81.162.0003.154.ПЗ</p>							Лист т 126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Густина киплячої води	$\rho$	м <sup>3</sup> /кг	З розрахунку ТОПКИ	792,1				
Масова швидкість рідини в панелі	$W_{0\rho}$	м/с	$G_{\text{ц}} = \begin{matrix} 7,62 \\ 11,43 \\ 15,24 \\ 19,05 \\ E_{\text{пан}} = 0,016 \end{matrix}$	475,2	712,9	950,5	1188,2	
Масова швидкість руху теплоносія в опускних трубах	$W_{\text{оп}\rho}$	м/с	$G_{\text{ц}} = \begin{matrix} 7,62 \\ 11,43 \\ 15,24 \\ 19,05 \\ E_{\text{пан}} = 0,4 \cdot 0,016 \end{matrix}$	1188,2	1782,2	2376,3	2970,4	
Приведений коефіцієнт тертя	$\lambda_{\text{оп}}$	1/м	Таблиця 10, ст. 32, [1]	0,256				
Коефіцієнт опору входу в трубу з барабана	$\zeta_{\text{вх}}$	-	Таблиця 11, ст. 32, [1]	0,5				
Коефіцієнт опору виходу з труби	$\zeta_{\text{вих}}$	-	Таблиця 13, ст. 35, [1]	1,1				
Коефіцієнт опору поворотів в гигах труб	$\Sigma \zeta_{\text{пов}}$	-	Таблиця 14, ст. 35, [1]	1,4				
<b>Продовження таблиці 3.2.1</b>								
1	2	3	4	5				
Коефіцієнт опору опускної ділянки	$\zeta_{\text{оп}}$	=	$\zeta_{\text{вх}} + \zeta_{\text{вих}} + \Sigma \zeta_{\text{пов}} + \frac{l_{\text{оп}} \cdot \lambda_{\text{оп}}}{d_{\text{вн}}}$	88,95				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	TK81.162.0003.154.ПЗ			Лист т 126

Опір опускної ділянки	$\Delta P_{оп}$	кПа	$\frac{W_0^2 \rho'}{2z_{оп}} = 88,95 \cdot \begin{cases} 0, \\ 0, \\ 1, \\ 1, \end{cases}$	12,6 8	28,54	50,7 3	79,26
Зміна ентальпії води на одиницю висоти	di/dP	кДж кг·кПа	Таблиця I [2]			0,0683	
Висота початкової ділянки води, що не обігривається	$h_{до}$	м	З міркувань констукції			1,54	
Висота опускних труб	$h_{оп}$	м	З міркувань констукції			14,291	
Висота економайзерної ділянки	$h_{ек}$	м	$\Delta i_6 = \Delta i_{зн} + \frac{d}{Q} \cdot \frac{h_0 - h_d - h}{G_{ц}} = 1,71$ $h_{ек} = h_{до} + \dots$	1,71	1,8	1,88	1,97
Продовження таблиці 3.2.1							
	1	2	3	4	5		
Довжина економайзерної ділянки	$l_{ек}$	м	З креслення	0,21	0,321	0,41 3	0,514
Довжина паромісної частини панелі	$l_{пс}$	м	$l_{пс} = (l_1 + l_2 + l_3) - (l_{до} + l_{ек})$	12,9 2	12,82	12,7 2	12,62
				TK81.162.0003.154.ПЗ			Лист т 126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Паропродукт ивність по ділянках	$D_{1,2}$	кг/с	$D_{1,2} = \frac{(Q_1 + Q_2) - Q_{\text{ек}}}{r}$	1,30 4	1,283	1,26 3	1,242
	$D_3$		$D_3 = \frac{Q_3}{r}$	0,27 3		0,273	
Середній масовий паровміст для кожної ділянки	$\dot{x}_{1,2}$	-	$\dot{x}_{1,2} = \frac{0,5 D_3}{G_{\text{ш}}}$	0,08 6	0,056	0,04 1	0,033
	$\dot{x}_3$		$\dot{x}_3 = \frac{0,5 D_3 + D_{1,2}}{G_{\text{ш}}}$	0,18 9		0,124	
Середній об'ємний паровміст	$\beta_{1,2}$	-	$\beta_{1,2} = \frac{1}{1 + \frac{1 - \dot{x}_{1,2} \rho''}{\dot{x}_{1,2} \rho'}}$	0,77 4	0,686	0,61 3	0,553
	$\beta_3$		$\beta_3 = \frac{1}{1 + \frac{1 - \dot{x}_3 \rho''}{\dot{x}_3 \rho'}}$	0,89 5		0,839	
TK81.162.0003.154.ПЗ							Лист 7 126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			



Продовження таблиці 3.2.1

1	2	3	4	5			
Середня швидкість суміші	$\dot{W}_{см1,2}$	м/с	$\dot{W}_{см1,2} = W_0 \left[ 1 + \dot{x}_i \left( \frac{\rho'}{\rho''} - 1 \right) \right]$	2,43	2,7	2,97	3,25
	$\dot{W}_{см3}$		$\dot{W}_{см3} = W_0 \left[ 1 + \dot{x}_i \left( \frac{\rho'}{\rho''} - 1 \right) \right]$	4,65	4,89	5,13	5,37
Коефіцієнт пропорційності	$c_{1,2}$	-	Рисунок 7, ст. 26 [1]	0,79	0,801	0,80	0,819
	$c_3$			1		9	
Середній напірний паровміст	$\phi_{1,2}$	-	$\phi_{1,2} = c_{1,2} \cdot \beta_{1,2}$	0,61	0,549	0,49	0,453
	$\phi_3$		$\phi_3 = c_3 \cdot \beta_3$	3		6	
Рушійний напір по ділянках	$s_{1,2}$	кПа	$s_{1,2} = \dot{\phi}_i \cdot (h_1 + h_2) \cdot g \left( \rho' - \rho'' \right)$	44,2	39,69	35,8	32,72
	$s_3$		$s_3 = \dot{\phi}_3 \cdot h_3 \cdot g \left( \rho' - \rho'' \right)$	7		5	
Рушійний напір панелі	$S_{руш.п}$	кПа	$\sum s_i$	61,4	55,77	50,9	46,93
Середній паровміст в панелі	$\dot{x}$	-	$\dot{x} = \frac{\sum \dot{x}_i \cdot l_i}{\sum l_i} = \dot{x}_{1,2} \cdot \frac{l_1 + l_2}{l_1 + l_2}$	0,12	0,079	0,05	0,046
Поправочний коефіцієнт	$\psi$	-	Рисунок 10а, ст. 33 [1]	1,53	1,5	1,47	1,43
Втрати тиску на тертя в паровмісних частині панелі	$\Delta P_{пс}^{тр}$	кПа	$\Delta P_{пс}^{тр} = \lambda_{пс} \cdot l_{пс} \cdot \frac{w^2 \rho'}{2} \left[ 1 + \psi \right]$	3,56	5,53	7,64	9,83

Продовження таблиці 3.2.1

1	2	3	4	5		
Втрати тиску на місцевих опорах в паровмісних частинах панелі	$\Delta P_{\text{пс}}^M$	кПа	$\Delta P_{\text{пс}}^M = \sum \zeta_M \frac{w^2 \rho}{2} \left[ 1 + \psi \right] 0,86$	1,34	1,85	2,38
Сумарний коефіцієнт опорів	$\sum \zeta_M$	=	$\sum \zeta_M \equiv \sum \zeta_{\text{поворотів}} + \zeta_{\text{в-}}$	0,8		
Втрати тиску на водовмісній ділянці	$\Delta P_{\text{вс}}^M$	кПа	$\Delta P_{\text{вс}}^M \equiv \left( \sum \zeta_{\text{вс}}^M + \lambda \frac{l_{\text{вс}}}{d} \right)$	0,26	0,73	2,88
Сумарний коефіцієнт опорів на економайзерній ділянці	$\sum \zeta_{\text{вс}}^M$	-	$\sum \zeta_{\text{вс}}^M = \zeta_{\text{вх}} + \sum \zeta_{\text{поворот}}$	0,8		
Корисний напір панелі	$s_{\text{пан}}$	кПа	$s_{\text{пан}} \equiv s_{\text{руш.п}} - \Delta P_{\text{вс}}^M - \frac{\Delta P_{\text{пс}}^M}{6} - P_{\text{вс}}$	56,7 48,17	39,9	31,83
Сумарні втрати тиску в контурі	$\Delta P$	кПа	$\Delta P = \Delta P_{\text{оп}} + \Delta P_{\text{пт}} + \frac{\Delta P_{\text{п}}}{6} + P_{\text{в}}$	17,3 36,13	61,7 9	94,36

Визначення дійсної швидкості циркуляції відбувається графічним методом і зображено на рис. 3.2.1.

					TK81.162.0003.154.ПЗ	Лист т 126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

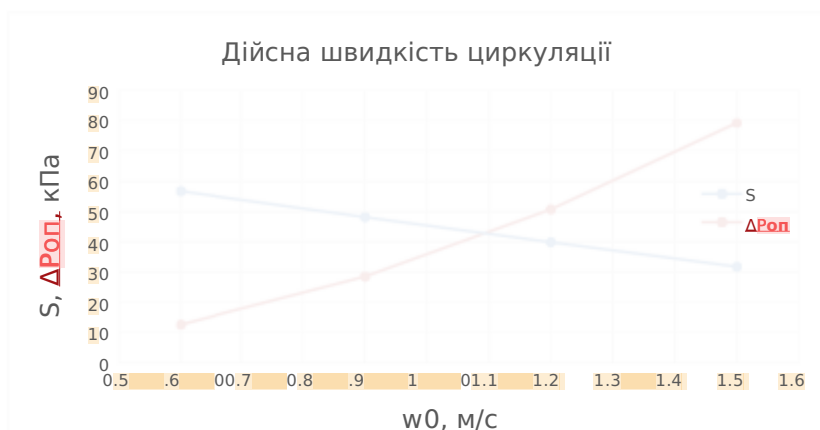


Рисунок 3.2.1 – Залежність опору опускної частини контуру і корисного напору підйомного в залежності від швидкості води на вході в опускні труби

Дійсна швидкість циркуляції визначена з рис. 3.2.1 і становить:

$$w_{\text{дійсн}} = 1,09 \text{ м/с}$$

### 3.3 Визначення надійності природної циркуляції в контурі

Визначення наявності застою чи перекидання в панелі за дійсної швидкості руху теплоносія представлено у табл. 3.3.1

Таблиця 3.3.1 – Визначення надійності циркуляції в контурі

Величина	Позначення	Одиниця	Формула або спосіб визначення	Результат
1	2	3	4	5
Опір опускної ділянки	$\Delta P_{\text{оп}}$	кПа	$\rho \cdot \frac{w_0^2}{2} = 88,95 \cdot \frac{1,09^2 \cdot 792,1}{2}$	41,86

Продовження таблиці 3.2.1

1	2	3	4	5
Витрата води	$G_{\text{ц}}$	М/С	$\rho \cdot w_0 \cdot F_{\text{пан}} = 792,1 \cdot 1,09 \cdot 0,016$	13,84

				TK81.162.0003.154.ПЗ		Лист 7 126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

в трубах				
Висота економайзерної ділянки	$h_{ек}$	м	$h_{ек} = h_{до} + \frac{\Delta i_{г} - \Delta i_{зн} + \frac{di}{dp} \cdot g \cdot \rho \cdot \left[ \frac{h_{оп} - h_{д} - h}{Q_1 + Q_2} + \frac{\Delta p}{G_{ц} \cdot h_1 + G_{ц} \cdot h_2} \right]}$	1,85
Довжина економайзерної ділянки	$l_{ек}$	м	З креслення	0,379
Довжина паромісної частини панелі	$l_{пс}$	м	$l_{пс} = (l_1 + l_2 + l_3) - (l_{до} + l_{ек}) = 1,736 + 8$	12,753
Паропродуктивність по ділянках	$D_{1,2}$ $D_3$	кг/с	$D_{1,2} = \frac{(Q_1 + Q_2) - Q_{ек}}{r}$ $D_3 = \frac{Q_3}{r}$	1,27 0,273
Середній масовий паровміст для кожної ділянки	$x_{1,2}$ $x_3$	-	$1, \dots \}$ over $\{ \{G\} \text{ rsub } \{ц\} \}$ $0,5 D_i$ $x_{1,2} = \dot{c}$ $x_3 = \frac{0,5 D_3 + D_{1,2}}{G_{ц}}$	0,046 0,102
Середній об'ємний паровміст	$\beta_{1,2}$ $\beta_3$	-	$\beta_{1,2} = \frac{1}{1 + \frac{1 - x_{1,2}}{x_{1,2}} \frac{\rho''}{\rho'}}$ $\beta_i = \frac{1}{1 + \frac{1 - x_i}{x_i} \frac{\rho''}{\rho'}}$	0,638 0,806
Середня швидкість суміші	$\dot{W}_{см 1,2}$ $\dot{W}_{см 3}$	м/с	$\dot{W}_{см 1,2} = W_0 \left[ 1 + x_i \left( \frac{\rho''}{\rho'} - 1 \right) \right]$ $\dot{W}_{см 3} = W_0 \left[ 1 + x_i \left( \frac{\rho''}{\rho'} - 1 \right) \right]$	2,874 5,04
Коефіцієнт пропорційності	$c_{1,2}$ $c_3$	-	Рисунок 7, ст. 26 [1]	0,8 0,82
Продовження таблиці 3.2.1				
1	2	3	4	5
TK81.162.0003.154.ПЗ				Лист т 126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Середній напірний паровміст	$\phi_{1,2}$ $\phi_3$	-	$\phi_{1,2} = C_{1,2} \cdot \beta_{1,2}$ $\phi_3 = C_3 \cdot \beta_3$	0,511 0,661
Рушійний напір по ділянках	$s_{1,2}$ $s_3$	кПа	$s_{1,2} = \dot{\phi}_i \cdot (h_1 + h_2) \cdot g(\rho' - \rho'')$ $s_3 = \dot{\phi}_3 \cdot h_3 \cdot g(\rho' - \rho'')$	36,9 15,45
Рушійний напір панелі	$S_{руш.п}$	кПа	$\sum s_i$	52,35
Середній паровміст в панелі	$\dot{x}$	-	$\dot{x} = \frac{\sum \dot{x}_i \cdot l_i}{\sum l_i} = \frac{\dot{x}_{1,2} \cdot (l_1 + l_2) + \dot{x}_3 \cdot l_3}{(l_1 + l_2 + l_3)}$	0,064
Поправочний коефіцієнт	$\psi$	-	Рисунок 10а, ст. 33 [1]	1,48
Втрати тиску на тертя в паровмісних частині панелі	$\Delta P_{пс}^{тр}$	кПа	$\Delta P_{пс}^{тр} = \lambda_{пс} \cdot l_{пс} \cdot \frac{w^2 \rho'}{2} \left[ 1 + \psi \cdot x \left( \frac{\rho'}{\rho''} - 1 \right) \right]$	6,756
Втрати тиску на місцевих опорах в паровмісних частинах панелі	$\Delta P_{пс}^м$	кПа	$\Delta P_{пс}^м = \sum \zeta_m \cdot \frac{w^2 \rho'}{2} \left[ 1 + \psi \cdot x \left( \frac{\rho'}{\rho''} - 1 \right) \right]$	1,66
Сумарний коефіцієнт опорів	$\sum \zeta_m$	=	$\sum \zeta_m = \sum \zeta_{поворотів} + \zeta_{вих}$	0,8

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Лист т 126
					TK81.162.0003.154.ПЗ

Продовження таблиці 3.2.1

1	2	3	4	5
Втрати тиску на водовмісній ділянці	$\Delta P_{вс}$	кПа	$\Delta P_{вс} = \left( \sum \zeta_{вс}^m + \lambda_{вс} \frac{l_{ек}}{d} \right) w^2 \rho'$	1,222
Сумарний коефіцієнт опорів на економайзерній ділянці	$\sum \zeta_{вс}^m$	-	$\sum \zeta_{вс}^m = \zeta_{вх} + \sum \zeta_{поворотів}$	0,8
Корисний напір панелі	$S_{пан}$	кПа	$S_{пан} = S_{руш.п} - \Delta P_{гс} - \Delta P_{гс}^m - \Delta P_{вс}$	42,71
Середня приведена швидкість пари на ділянці	$w''_{012}$ $w''_{03}$	м/с	$w''_{012} = \frac{0,5 D_{1,2}}{\rho''} \cdot E_{пан}$ $w''_{03} = \frac{0,5 D_3 + D_{1,2}}{\rho''} \cdot E_{пан}$	1,834 4,062
Середня приведена швидкість руху пари в панелі	$w''_0$	м/с	$w''_0 = \frac{(h_1 + h_2) w''_{012} + h_3 \cdot w''_{03}}{(h_1 + h_2 + h_3) - h_{до}}$	2,71
Середня приведена швидкість пари для найменш обігрітої труби в панелі	$w''_{0тр}$	м/с	$w''_{0тр} = \eta_{г} \cdot \eta_{к} \cdot w''_0$ $\eta_{г} = 0,5$ $\eta_{к} = 1$	1,354
Корисний напір застою	$S_{заст}$	кПа	$S_{заст} = h \cdot \varphi_{заст} \cdot g (\rho' - \rho'')$ $\varphi_{заст} = 0,73$	82,66

Продовження таблиці 3.2.1

				TK81.162.0003.154.ПЗ		Лист m 126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Середня приведена швидкість руху пари в найменш обігриваємій трубі в умовах перекинутого руху	$w''_{\text{од}}$	м/с	$w''_{\text{од}} \equiv \rho_r \cdot \rho_k \cdot w''_{\text{оел}} - \Delta w''_0 \cdot h$ $\Delta w''_0 = 0,0128$ $h = 14,981$	6,73
Середня приведена швидкість руху пари в елементах контуру	$w''_{\text{оел}}$	м/с	$w''_{\text{оел}} = \frac{(h_1 + h_2) \cdot w''_{012} + h_3 \cdot w''_{03} + h_{\text{до}} \cdot w''_{0\text{до}}}{h - h_{\text{по}}}$ $h_{\text{до}} = 12,655$	13,84
Питомий опір труб панелі	$z$ $h$		$z = \frac{\zeta_{\text{вх}} + \lambda_{\text{п}}^{\text{екр}} + \sum \zeta_{\text{пов}} + \zeta_{\text{вих}}}{h_{\text{до}}} 0,4024$	
Питомий опір перекидання	$S_{\text{пер}}^{\text{пит}}$	кПа/м	Рисунок 15, ст.44 [1]	7,8
Загальний опір перекидання	$S_{\text{пер}}$	кПа	$S_{\text{пер}} \equiv S_{\text{пер}}^{\text{пит}} \cdot (h - h_{\text{до}})$	18,14
Наявність перекидання	$S_{\text{пер}}$ $S_{\text{пан}}$	=	$S_{\text{пер}} = 0,425 < 1,1$ $S_{\text{пан}}$	Перекидання присутнє

Отже, метою розрахунку було знаходження дійсної швидкості циркуляції потоку в контурі, наявності застою та перекидання. Цей розрахунок показав, що дійсною швидкістю потоку в контурі для мого котлоагрегату за заданих умов складає 1,09 м/с. За цієї швидкості в контурі не має застою, але відбувається перекидання потоку.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	TK81.162.0003.154.ПЗ	Лист т 126
------	------	----------	--------	------	----------------------	------------------

4 РОЗРАХУНОК НА МІЦНІСТЬ ЕЛЕМЕНТІВ ПАРОВОГО КОТЛА

4.1 Розрахунок на міцність стінки барабана

У табл. 4.1.1 представлений розрахунок на міцність стінки барабана

Таблиця 4.1.1 – Розрахунок на міцність стінки барабана

I-а група послаблення (отвори для вводу труб пароперегрівника)



Рисунок 4.1.1 – I-а група послаблення (зубчатий ряд з рівномірним розміщенням отворів)

Назва величини	Позначення	Розрахункова формула або спосіб визначення	Розмірність	Результат
1	2	3	4	5
Умовний діаметр отворів	$d_y$	$d_2 + \frac{h}{s} \cdot (d_1 - d_2) =$ $= 32,5 + \frac{1,5}{65} \cdot (38,5 - 32,5)$	мм	32,63
Зовнішній діаметр отворів	$d_1$	$d_n + 0,5 = 38 + 0,5$	мм	38,5
Внутрішній діаметр отворів	$d_2$	$d_{en} + 0,5 = 32 + 0,5$	мм	32,5
Коефіцієнт міцності в повздовжньому напрямку	$\phi_1$	$\frac{t - d_y}{t} = \frac{190 - 32,63}{190}$	---	0,827



Продовження таблиці 4.1.1

1	2	3	4	5
Коефіцієнт міцності в косому напрямку	$\phi_2$	$1 - \frac{d_y \cdot 1}{a \sqrt{1+m^2}} =$ $1 - \frac{32.63 \cdot 1}{95 \sqrt{1+1.51^2}} =$	---	0,694
Параметр	m	$\frac{b}{a} = \frac{144}{95}$	---	1,51
Розрахунковий коефіцієнт міцності в 1-й групі послаблення	$\phi_{21}$	$\min(\phi_1, \phi_2)$	---	0.694

II-а група послаблення (отвори для вводу труб фестона)




Рисунок 4.1.2 – II-а група послаблень (косі ряди отворів з рівними кроками)

Умовний діаметр отворів	$d_y$	$d_2 + \frac{h}{s} \cdot (d_1 - d_2) =$ $= 54,5 + \frac{1,5}{65} \cdot (60,5 - 54,5)$	ММ	54,6
Зовнішній діаметр отворів	$d_1$	$d_n + 0,5 = 60 + 0,5$	ММ	60,5

Продовження таблиці 4.1.1

				TK81.162.0003.154.ПЗ		Лист 126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1	2	3	4	5
Внутрішній діаметр отворів	$d_2$	$d_{вн} + 0,5 = 54 + 0,5$	ММ	54,5
Коефіцієнт міцності в повздовжньому напрямку	$\phi_1$	$\frac{t - d_y}{t} = \frac{256 - 54.6}{256}$	---	0,786
Коефіцієнт міцності в косому напрямку	$\phi_2$	$1 - \frac{d_y}{a} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + m^2}} =$ $1 - \frac{54.6}{64} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + 1.875^2}} =$	---	0,496
Параметр	m	$\frac{b}{a} = \frac{120}{64}$	---	1,875
Розрахунковий коефіцієнт міцності в 2-й групі послаблення	$\phi_{22}$	$\min(\phi_1, \phi_2)$	---	0.496
III-я група послаблення (отвори для вводу труб фронтального екрану)				
				
Рисунок 4.1.3 – III-я група послаблення, косі ряди отворів з рівними кроками				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
TK81.162.0003.154.ПЗ				Лист 126

Продовження таблиці 4.1.1

1	2	3	4	5
Умовний діаметр отворів	$d_y$	$d_2 + \frac{h}{s} \cdot (d_1 - d_2) = 54,5 + \frac{1,5}{65} \cdot (60,5 - 54,5)$	мм	54,6
Зовнішній діаметр отворів	$d_1$	$d_n + 0,5 = 60 + 0,5$	мм	60,5
Внутрішній діаметр отворів	$d_2$	$d_{вн} + 0,5 = 54 + 0,5$	мм	54,5
Коефіцієнт міцності в повздовжньому напрямку	$\phi_1$	$\frac{t - d_y}{t} \cdot \frac{192 - 54,6}{192}$	---	0,715
Коефіцієнт міцності в косому напрямку	$\phi_2$	$\frac{1 - \frac{d_y}{a} \cdot \frac{1}{\sqrt{1+m^2}}}{\sqrt{1 + 0,75 \cdot \left(\frac{m^2}{1+m^2}\right)^2}} =$ $= \frac{1 - \frac{54,6}{64} \cdot \frac{1}{\sqrt{1+1,875^2}}}{\sqrt{1 + 0,75 \cdot \left(\frac{1,875^2}{1+1,875^2}\right)^2}}$	---	0,496
Параметр	m	$\frac{b}{a} = \frac{120}{64}$	---	1,875
Розрахунковий коефіцієнт міцності в 1-й групі послаблення	$\phi_{вз}$	$\min(\phi_1, \phi_2)$	---	0,496

Продовження таблиці 4.1.1

IV-а група послаблення (отвори для вводу труб бокового екрану)



Рисунок 4.1.4 – IV-а група послаблення, поперечний ряд отворів з рівним кроком

1	2	3	4	5
Умовний діаметр отворів	$d_y$	$d_2 + \frac{h}{s} \cdot (d_1 - d_2) = 54,5 + \frac{1,5}{65} \cdot (60,5 - 54,5)$	мм	54,6
Зовнішній діаметр отворів	$d_1$	$d_n + 0,5 = 60 + 0,5$	мм	60,5
Внутрішній діаметр отворів	$d_2$	$d_{вн} + 0,5 = 54 + 0,5$	мм	54,5
Коефіцієнт міцності в повздовжньому напрямку	$\phi_1$	$2 \cdot \frac{t - d_y}{t} = 2 \cdot \frac{128 - 54,6}{128}$	---	1,145
Коефіцієнт міцності в косому напрямку	$\phi_{24}$	$\phi_{24} = \phi_1$	---	1,145

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	TK81.162.0003.154.ПЗ	Лист т 126
------	------	----------	--------	------	----------------------	------------------

Продовження таблиці 4.1.1

V-а група послаблення (отвори для вводу опускних труб та труб бокового екрану)

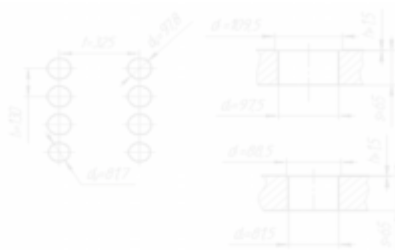


Рисунок 4.1.5 – V-а група послаблення (коридорне розташування отворів)

1	2	3	4	5
Умовний діаметр отворів №1	$d_{y\text{№}1}$	$d_{2\text{№}1} + \frac{h}{s} \cdot (d_{1\text{№}1} - d_{2\text{№}1}) = 81,5 + \frac{1,5}{65} \cdot (88,5 - 81,5)$	ММ	81,7
Зовнішній діаметр отворів №1	$d_{1\text{№}1}$	$d_{H\text{№}1} + 0,5 = 88 + 0,5$	ММ	88,5
Внутрішній діаметр отворів №1	$d_{2\text{№}1}$	$d_{B\text{H№}1} + 0,5 = 82 + 0,5$	ММ	82,5
Умовний діаметр отворів №2	$d_{y\text{№}2}$	$d_{2\text{№}2} + \frac{h}{s} \cdot (d_{1\text{№}2} - d_{2\text{№}2}) = 97,5 + \frac{1,5}{65} \cdot (109,5 - 97,5)$	ММ	97,8
Зовнішній діаметр отворів №2	$d_{1\text{№}2}$	$d_{H\text{№}2} + 0,5 = 109 + 0,5$	ММ	109,5
Внутрішній діаметр отворів №2	$d_{2\text{№}2}$	$d_{B\text{H№}2} + 0,5 = (109 - 12) + 0,5$	ММ	97,5

Продовження таблиці 4.1.1

				TK81.162.0003.154.ПЗ		Лист т 126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1	2	3	4	5
Коефіцієнт міцності в повздовжньому напрямку	$\phi_1$	$\frac{t - d_{y\text{№}2}}{t} = \frac{325 - 97,8}{325}$	---	0,698
Коефіцієнт міцності в поперечному напрямку	$\phi_2$	$2 \cdot \frac{t - d_{y\text{№}2}}{t_1} = 2 \cdot \frac{130 - 97,8}{130}$	---	0,493
Коефіцієнт міцності в поперечному напрямку	$\phi_3$	$2 \cdot \frac{t - d_{\text{сп}}}{t_1} = 2 \cdot \frac{130 - 89,75}{130}$	---	0,61
Середній діаметр отворів	$d_{\text{сп}}$	$\frac{d_{y\text{№}1} - d_{y\text{№}2}}{2} = \frac{81,7 + 97,8}{2}$	ММ	89,75
Розрахунковий коефіцієнт міцності в V-й групі послаблення	$\phi_{\text{р5}}$	$\min(\phi_1, \phi_2, \phi_3)$	---	0,495

VI-а група послаблень (послаблення між двома групами отворів – трубами фестона та фронтального екрана)

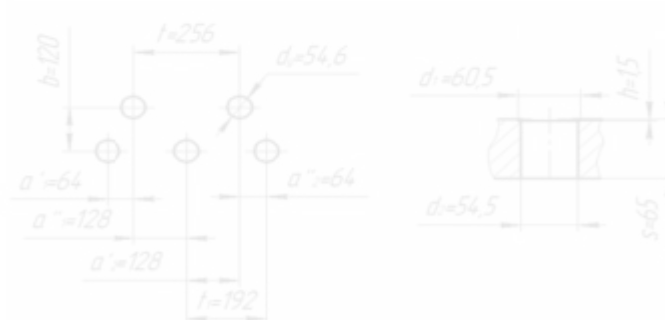


Рисунок 4.1.6 –VI-а група послаблення (коридорне розміщення отворів)

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	TK81.162.0003.154.ПЗ	Лист т 126
------	------	----------	--------	------	----------------------	------------------

Продовження таблиці 4.1.1

1	2	3	4	5
Умовний діаметр отворів	$d_y$	$d_2 + \frac{h}{s} \cdot (d_1 - d_2) = 54,5 + \frac{1,5}{65} \cdot (60,5 - 54,5)$	мм	54,6
Зовнішній діаметр отворів	$d_1$	$d_n + 0,5 = 60 + 0,5$	мм	60,5
Внутрішній діаметр отворів	$d_2$	$d_{вн} + 0,5 = 54 + 0,5$	мм	54,5
Коефіцієнт міцності в повздовжньому напрямку №1	$\phi_2$	$\frac{t_1 - d_y}{t} = \frac{192 - 54,6}{256}$	---	0,536
Розрахунковий коефіцієнт міцності в 1-й групі послаблення	$\phi_1$	$\min(\phi_{1,№1}, \phi_{2,№2})$	---	0,496
Коефіцієнт міцності в косому напрямку №1'	$\phi_1'$	$1 - \frac{d_y}{a_1'} \cdot \frac{1}{\sqrt{1+m_1'^2}} \cdot \sqrt{1+0,75 \cdot \left(\frac{m_1'^2}{1+m_1'^2}\right)^2}$	---	0,496
Параметр	$m_1'$	$\frac{b}{a_1'} = \frac{120}{64}$	---	1,875
Коефіцієнт міцності в косому напрямку №1''	$\phi_1''$	$1 - \frac{d_y}{a_1''} \cdot \frac{1}{\sqrt{1+m_1''^2}} \cdot \sqrt{1+0,75 \cdot \left(\frac{m_1''^2}{1+m_1''^2}\right)^2}$	---	0,638
Параметр	$m_1''$	$\frac{b}{a_1''} = \frac{120}{128}$	---	0,93
Коеф. міцності в косому напрямку №1	$\phi_{1.СР}$	$\frac{\phi_1' + \phi_1''}{2} = \frac{0,496 + 0,638}{2}$	---	0,567

Продовження таблиці 4.1.1

1	2	3	4	5
Коефіцієнт міцності в косому напрямку №2'	$\phi_2'$	$\frac{1 - \frac{d_y}{a_2'} \cdot \frac{1}{\sqrt{1+m_2'^2}}}{\sqrt{1+0,75 \cdot \left(\frac{m_2'^2}{1+m_2'^2}\right)^2}}$	---	0,638
Параметр	$m_2'$	$\begin{matrix} b = 120 \\ a_2' = 128 \end{matrix}$	---	0,93
Коефіцієнт міцності в косому напрямку №2''	$\phi_2''$	$\frac{1 - \frac{d_y}{a_2''} \cdot \frac{1}{\sqrt{1+m_2''^2}}}{\sqrt{1+0,75 \cdot \left(\frac{m_2''^2}{1+m_2''^2}\right)^2}}$	---	0,496
Параметр	$m_2''$	$\begin{matrix} b = 120 \\ a_2'' = 128 \end{matrix}$	---	0,93
Коефіцієнт міцності в косому напрямку №2	$\phi_{2,CP}$	$\frac{\phi_2' + \phi_2''}{2} = \frac{0,638 + 0,496}{2}$	---	0,567
Коефіцієнт міцності в косому напрямку	$\phi_2$	$\min(\phi_{1,CP}, \phi_{2,CP})$	---	0,567
Найменше значення коефіцієнту міцності в косому напрямку	$\phi_{2,min}$	$\min(\phi_1', \phi_1'', \phi_{1,CP}, \phi_2', \phi_2'', \phi_{2,CP})$	---	0,496
Розрахункове значення коефіцієнту міцності для двох суміжних отворів	$\phi_{CM}$	$\begin{matrix} 2,1 \phi_{2,min} = 2,1 \cdot 0,496 \\ 1 + \phi_{2,min} = 1 + 0,496 \end{matrix}$	---	0,696
Розрахунковий коефіцієнт міцності в VI-й групі послаблення	$\phi_{p6}$	$\min(\phi_1, \phi_2, \phi_{CM})$	---	0,536

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

TK81.162.0003.154.ПЗ

Лист  
126



Продовження таблиці 4.1.1

1	2	3	4	5
Розрахунковий коефіцієнт міцності барабана	$\phi$	$\min(\phi_{p1}, \phi_{p2}, \phi_{p3}, \phi_{p4}, \phi_{p5}, \phi_{p6})$	---	0.495
Допустиме напруження матеріалу	$\sigma_{\phi}^*$	f(матеріал, t) для сталі 20К та $t_{ст} = t_s = 259,05^0 C$	МПа	127.2
Допустиме напруження матеріалу з врахуванням умов праці	$\sigma_{доп}$	$\sigma_{доп}^* \cdot \eta = 127,2 \cdot 1$	МПа	127,2
Коефіцієнт враховуючий умови праці матеріалу	$\eta$	Для не обігрівуючих барабанів	---	1
Розрахунковий Р тиск	P	$P = P_6$	МПа	4,73
Розрахункова товщина стінки барабана без надбавки с	s-c	$\frac{P \cdot D_{вн}}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{доп} - P} = \frac{4.73 \cdot 1590}{2 \cdot 0.495 \cdot 127.2 - 4.73}$	мм	62
Прибавка на товщину барабана	c	Якщо s - c $\geq 20$	мм	0
Товщина стінки барабана	s	$(s - c) + c = 62 + 0$	мм	62
Товщина стінки барабана	s	Приймаю	мм	65

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	TK81.162.0003.154.ПЗ	Лист 126
------	------	----------	--------	------	----------------------	-------------

Ескіз розгортки барабану зображено на рис. 4.1.7.

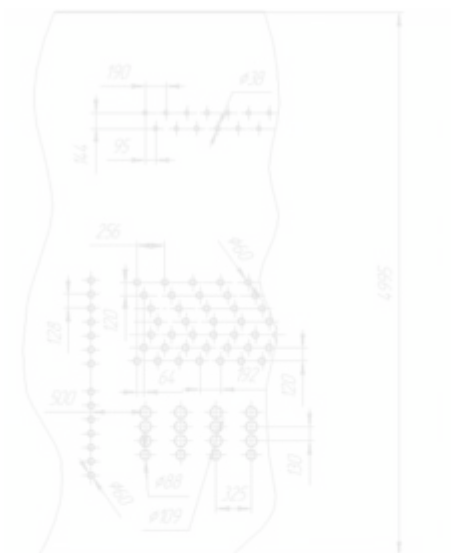


Рисунок 4.1.7 – Ескіз розгортки барабану

#### 4.2 Розрахунок на міцність еліптичного днища барабана

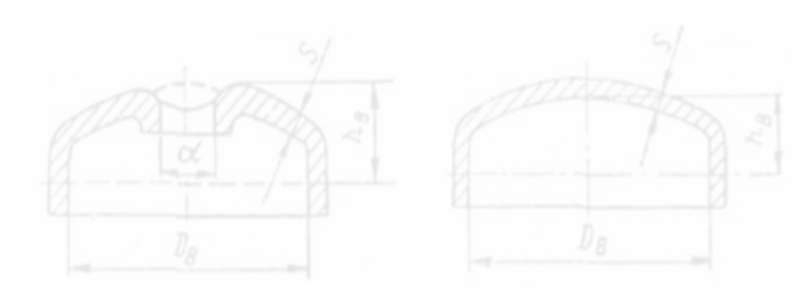


Рисунок 4.1.8-Еліптичні днища

					TK81.162.0003.154.ПЗ	Лист т 126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблица 4.2.1 - Розрахунок на міцність еліптичного днища барабана

Назва величини	Позна-чення	Розрахункова формула або спосіб визначення	Розмір-ність	Результати
1	2	3	4	5
Попередньо прийнята товщина стінки днища з отворами	$s - c$	Приймаю	мм	50
Розрахунковий коефіцієнт міцності днища без отворів	$\phi$		---	1
Розрахунковий коефіцієнт міцності з отворами	$\phi$	Так як $A < 2$ то $\phi = \frac{2}{1.25A + 1.5}$	---	0,57
Параметр А	A	$\frac{d}{D_b(s-c)} = \frac{450}{1590 \cdot 50}$	---	1,6
Діаметр отвору	$d$	Ескіз котельного агрегату	мм	450
Висота днища	$h_B$	Ескіз котельного агрегату	мм	400
Допустиме напруження матеріалу	$\sigma_{доп}^*$	$f(\text{матеріал}, t)$ для сталі 20К та $t_{ст} = t_s = 259.05^\circ C$	МПа	127,2
Допустиме напруження матеріалу з врахуванням умов праці	$\sigma_{доп}$	$\sigma_{доп}^* \cdot \eta = 127,2 \cdot 1$	МПа	127,2
Коефіцієнт враховуючий умови праці матеріалу	$\eta$	Для не обігріваних барабанів	---	1
Розрахунковий тиск	P	$P_{\frac{1}{2}}$	МПа	4.73
Розрахункова товщина стінки днища без отворів	$s - c$		мм	30

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	TK81.162.0003.154.ПЗ	Лист 126
------	------	----------	--------	------	----------------------	-------------

$$s = \frac{P \cdot D}{4 \cdot \varphi \cdot \sigma_{\text{доп}} \cdot P} \cdot \frac{D}{2 \cdot h} =$$

$$= \frac{4.73 \cdot 1590}{4 \cdot 1 \cdot 127.2 \cdot 4.73} \cdot \frac{1590}{2 \cdot 400}$$

Продовження таблиці 4.2.1

1	2	3	4	5
Розрахункова товщина стінки днища з отворами	$s - c$	$s = \frac{P \cdot D}{4 \cdot \varphi \cdot \sigma_{\text{доп}} \cdot P} \cdot \frac{D}{2 \cdot h} =$ $= \frac{4.73 \cdot 1590}{4 \cdot 0.57 \cdot 127.2 \cdot 4.73} \cdot \frac{1590}{2 \cdot 400}$	мм	52
Прибавка на товщину колектора	$c$	Якщо $s - c < 20$	мм	0
Товщина стінки днища без отворів	$s$	$(s - c) + c = 30 + 0$	мм	30
Товщина стінки днища з отворами	$s$	$(s - c) + c = 52 + 0$	мм	52
Товщина стінки днища без отворів	$s$	Приймаю	мм	30
Товщина стінки днища з отворами	$s$	Приймаю	мм	55

#### 4.3 Розрахунок на міцність стінки труби пароперегрівача

У табл. 4.3.1 представлено розрахунок на міцність труби пароперегрівача котла

Таблиця 4.3.1 – Розрахунок на міцність стінки труби пароперегрівача

Величина	Позначення	Одиниця виміру	Розрахункова формула або спосіб визначення	Результат
1	2	3	4	5
Температурний напір ПП	$\Delta t_{\text{пп}}$	$^{\circ}\text{C}$	З розрахунку ПП	232,4
Коефіцієнт теплопередачі для ПП	$K_{\text{пп}}$	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$	З розрахунку ПП	43
Максимальне питоме теплосприйняття в розрахунковому перерізі труби	$q_{\text{max}}$	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$	$1.25 \cdot K_{\text{пп}} \cdot \Delta t_{\text{пп}} = 1.25 \cdot 43 \cdot 232,4$	12491,5

				TK81.162.0003.154.ПЗ		Лист 7 126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Энтальпия пари на входе у ПП	$i_{2\text{пп}}$	кДж/кг	3 розрахунку ПП	2907
Поверхня нагріву ПП	$H$	м <sup>2</sup>	3 розрахунку ПП	569
Энтальпия пари на виході у розрахунковому перерізі труби	$i_{\text{пп}}$	кДж/кг	$\frac{q_{\text{max}} \cdot H}{D} = 2987 + \frac{16.96 \cdot 428.54}{19.44}$	3273

Продовження таблиці 4.3.1

1	2	3	4	5
Середній тиск в ПП	P	МПа	3 розрахунку ПП	4,4
Температура робочого тіла в розрахунковому перерізі труби	$t_{\text{р}}$	°C	Таблиця XXV, [1] $f(P; i_{\text{пп}})$	464
Перевищення температури пари над середньою в розрахунковому перерізі	$\delta t$	°C	п.8-03 [1]	0
Коефіцієнт теплопровідності металу стінки	$\lambda_{\text{ст}}$	Вт м·К	Таблиця 8-1, [1] $f(t_{\text{ст}})$ , Сталь 12ХМ	59,35
Коефіцієнт тепловіддачі від стінки до пари	$\alpha_2$	Вт м <sup>2</sup> ·К	3 розрахунку ПП	773
Коефіцієнт відношення діаметрів	$\beta$	–	$\frac{d}{d_{\text{вн}}} = \frac{38}{32}$	1,18
Критерій	Bi	–	$\frac{\alpha_2 \cdot d_{\text{вн}}}{2 \cdot \lambda_{\text{ст}}} = \frac{773 \cdot 0.032}{2 \cdot 59.35}$	0,21
Коефіцієнт розтікання тепла	$\mu$	–	$f(Bi; \beta)$ , [1], ном.24	0,8
Температура стінки металу труби	$t_{\text{ст}}$	°C	$t_{\text{р}} + \delta t + \beta \cdot \mu \cdot q_{\text{max}} \left( \frac{\delta}{\lambda_{\text{ст}}} \frac{1}{1 + \beta} + \frac{1}{\alpha_2} \right) =$ $= 464 + 0 + 1.18 \cdot 0.9 \cdot 12491.5 \cdot \left( \frac{0.003}{59.35} \times \right.$ $\left. \times \frac{1}{1 + 1.18} + \frac{1}{773} \right)$	465
Допустиме напруження матеріалу	$\sigma_{\text{д}}$ *	МПа	$f(t_{\text{ст}})$ , Сталь Х18Н12Т ([3], стор. 158).	108
Коефіцієнт, що враховує умови праці матеріалу	$\eta$	–	Для труб ПП	1,0
Допустиме напруження матеріалу з	$\sigma_{\text{д}}$	МПа	$\sigma_{\text{д}}^* \eta = 108 \cdot 1.0$	120

				TK81.162.0003.154.ПЗ		Лист 7 126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

урахуванням умов праці				
Розрахункова товщина стінки труби без урахування прибавки	$s - c$	ММ	$\frac{P \cdot d_{вн}}{2 \cdot \sigma_0 \cdot \varphi} = \frac{4.4 \cdot 32}{2 \cdot 108 \cdot 1} = 4.4$	0,67

Продовження таблиці 4.3.1

1	2	3	4	5
Прибавка до товщини стінки труби	c	ММ	$S - c < 20 \text{ мм}$	0,5
Мінімальна товщина стінки труби	s	ММ	$s - c + c = 0.67 + 0.5$ $S_{тр} = 3$	1,17

#### 4.4 Розрахунок на міцність стінки вихідної камери пароперегрівача

У табл. 4.4.1 представлений розрахунок на міцність вихідної камери пароперегрівача.

Таблиця 4.4.1 – Розрахунок на міцність стінки вихідної камери пароперегрівача

Величина	Позначення	Одиниця виміру	Розрахункова формула або спосіб визначення	Результат
1	2	3	4	5
Умовний діаметр отвору для трубки ПП	$d_y$	ММ	$d + 0.5 = 38 + 0.5$	38.5
Поперечний крок	$S_1$	ММ	З розрахунку ПП	84
Повздовжній крок	$S_2$	ММ	З розрахунку ПП	90
Температура стінки вихідної камери	$t_{ст}$	°C	$t_{ст} = t_{пп}$	435
Допустиме напруження матеріалу	$\sigma_0^*$	МПа	$f(t_{ст})$ Сталь Х18Н12Т	108
Коефіцієнт, що враховує умови праці матеріалу	$\eta$	–	Для вихідної камери	1.0
Допустиме напруження матеріалу з урахуванням умов праці	$\sigma_0$	МПа	$\sigma_0^* \cdot \eta = 108 \cdot 1.0$	108
Коефіцієнт міцності у поперечному напрямку	$\phi_1$	–	$\frac{S_1 - d_y}{S_1} = \frac{84 - 38.5}{84}$	0,54

				TK81.162.0003.154.ПЗ		Лист 7 126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт міцності у повздовжньому напрямі	$\phi_2$	—	$\frac{S_2 - d_y}{S_2} = \frac{90 - 38.5}{90}$	0,57
Коефіцієнт міцності	$\phi$	—	$\min(\phi_1)$	0,54
Розрахунковий тиск	P	МПа	$P = P_{III}$	4,3
Внутрішній діаметр камери	$D_{вн}$	мм	3 прототипу	200

Продовження таблиці 4.4.1

1	2	3	4	5
Розрахункова товщина стінки камери без урахування прибавки	$s - c$	мм	$\frac{P \cdot D_{вн}}{2 \cdot \sigma_s \cdot \phi} = \frac{4.3 \cdot 200}{2 \cdot 108 \cdot 0.54} = 4.3$	7,7
Прибавка до товщини камери	c	мм	$S - c < 20 \text{ мм}$	0.5
Товщина стінки камери	$s$	мм	$s - c + c = 7.7 + 0.5$	8,2

4.5 Розрахунок на міцність опорної балки барабана

Розрахуємо сумарне рівномірно-розподілене навантаження  $q$  від спорядженого барабана із заднім екраном, фронтним екраном, та опускними трубами що заповнені водою (при гідровипробуванні) на повздовжню горизонтальну балку:

Конструктивні характеристики беруться з креслень котла, розгортки барабана, днища барабана, а також теплового розрахунку та розрахунку на міцність. Густина сталі  $\rho_m = 7900 \text{ [кг/м}^3\text{]}$

$$M_{\text{бараб}} = M_{\text{цикл.част}} + M_{\text{днища}} + M_{\text{дн.лаз}} = k \cdot \rho_m \cdot \left[ \frac{\pi \cdot (D_{\text{вн}}^2 - D_{\text{вн}}^2)}{4} + \delta_{\text{дн}} \cdot \frac{\pi \cdot (D_{\text{вн}}^2 + 0.2)}{4} + \delta_{\text{дн.лаз}} \cdot \frac{\pi \cdot (D_{\text{вн}}^2 + 0.2)}{4} \right] = 7900 \cdot [0.8 \cdot 9.3 \cdot \frac{\pi \cdot (1.72^2 - 1.59^2)}{4} + 0.03 \cdot \frac{\pi \cdot (1.59^2 + 0.2)}{4} + 0.055 \cdot \frac{\pi \cdot (1.59^2 + 0.2)}{4}] = 21303 \text{ [кг]}$$

де  $k=0.8$  – коефіцієнт, що враховує наявність отворів у барабані;

$$M_{\text{ф.екр}} = \rho_m \cdot n_{\text{ф.екр}} \cdot L_{\text{тр}} \cdot \frac{\pi \cdot (d^2 - d_{\text{вн}}^2)}{4} = 7900 \cdot 108 \cdot 17.4 \cdot \frac{\pi \cdot (0.06^2 - 0.054^2)}{4} = 7975 \text{ [кг]}$$

					Лист 126
TK81.162.0003.154.ПЗ					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	









### 5 АЕРОДИНАМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК

#### 5.1 Розрахунок газової сторони

У таблиці 5.1.1 приведені основні дані для аеродинамічного розрахунку котельного агрегату

Таблиця 5.1.1 – Основні дані для аеродинамічного розрахунку котельного агрегату

Ділянка газового тракту	Фестон	1 ступінь ПП	2 ступінь ПП	Економайзер	Пов.П.
Типорозмір труб $d$ , мм.	60×3	38×3	38×3	32×3	40×1.5
Розташування труб	Шахматне	Коридорне	Коридорне	Шахматне	Шахматне
Поперечний шаг між труб $S_1$ , м	324·10 <sup>-3</sup>	114·10 <sup>-3</sup>	84·10 <sup>-3</sup>	80·10 <sup>-3</sup>	53·10 <sup>-3</sup>
Повздожний шаг між труб $S_2$ , м	200·10 <sup>-3</sup>	76·10 <sup>-3</sup>	90·10 <sup>-3</sup>	64·10 <sup>-3</sup>	44·10 <sup>-3</sup>
Діагональний шаг труб $S_2 = \frac{1}{4} \cdot S_1^2 + S_2^2$	287·10 <sup>-3</sup>	95·10 <sup>-3</sup>	99·10 <sup>-3</sup>	75·10 <sup>-3</sup>	51·10 <sup>-3</sup>
$\varphi = \frac{S_1 - d}{S_2 - d}$	1,2	0,77	0,57	1,10	1,06
$\psi = \frac{S_1 - d}{S_2 - d}$	1,89	2	0,89	1,5	2,14
Довжина поздовжньо омиваємих труб, м	—	—	—	—	10.2
Число рядів по ходу газів, $z_2$	4	8	24	40	—
Середня температура для димових газів $\vartheta$ , °C	1024	916	743	451	191
Середня швидкість димових газів, $W_2$ М/С	9.08	9.52	10.5	9.7	8.1

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	TK81.162.0003.154.ПЗ	Лист т 126
------	------	----------	--------	------	----------------------	------------------



**Опір фестона**

Фестон складається з розрідженого пучка труб з числом рядів – 4 та зі швидкістю не менш ніж 9 м/с. Такий пучок має незначний аеродинамічний опір, і тому він не враховується в розрахунку тяги.

Розрахунок опору конвективного пароперегрівача котла приведений у табл. 5.1.2.

Таблиця 5.1.2 – Опір конвективного пароперегрівача

Величина	Позначення	Одиниця виміру	Розрахункова формула або спосіб визначення	Результат
1	2	3	4	5
<b>Перша ступінь пароперегрівача за ходом газів</b>				
Коефіцієнт опору пучка	$\xi_{гр}$	-	графік 6, стор.190[2] $f(W_r, d, \theta)$ ;	0.48
Поправка на відносні кроки	$C_s$	-	Графік 6, стор.191[2] $f(\frac{S_1}{d}, \frac{S_2}{d})$ ;	0.58
Поправка на число Рейнольдса	$C_{Re}$	-	Графік 6, стор.191[2] $f(\psi; \xi_{гр})$ ;	0.68
Коефіцієнт опору першої ступені пароперегрівача за ходом газів	$\xi_1$	-	$C_s \cdot C_{Re} \cdot \xi_{гд} \cdot Z_2 =$ $=0.58 \cdot 0.68 \cdot 0.48 \cdot 8$ ;	1.51
Опір першої ступені пароперегрівача	$\Delta h_{пп1}$	Па	$k \cdot \xi_1 \cdot h_A = 1.0 \cdot 1.51 \cdot 13.7$	20.8
<b>Друга ступінь пароперегрівача за ходом газів</b>				
Коефіцієнт опору пучка	$\xi_{гр}$	-	графік 6, стор.190[2] $f(W_r, d, \theta)$ ;	0.52
Поправка на відносні кроки	$C_s$	-	Графік 6, стор.191[2] $f(\frac{S_1}{d}, \frac{S_2}{d})$ ;	0.76
Поправка на число Рейнольдса	$C_{Re}$	-	Графік 6, стор.191[2] $f(\psi; \xi_{гр})$ ;	0.65
Коефіцієнт опору другої ступені пароперегрівача за ходом газів	$\xi_2$	-	$C_s \cdot C_{Re} \cdot \xi_{гд} \cdot Z_2 =$ $=0.76 \cdot 0.75 \cdot 0.52 \cdot 24$ ;	5.9
Опір другої ступені пароперегрівача	$\Delta h_{II2}$	Па	$k \cdot \xi_2 \cdot h_A = 1.0 \cdot 5.9 \cdot 17.6$ ;	104.6

TK81.162.0003.154.ПЗ

Лист  
m  
126

Змн. Арк. № докум. Підпис Дата

Розрахунок опору водяного економайзера приведений у табл. 5.1.3.

Таблиця 5.1.3 – Опір водяного економайзера

Величина	Позначення	Одиниця виміру	Розрахункова формула або спосіб визначення	Результат
1	2	3	4	5
Опір першого ряду труб шахового пучка	$\Delta h_{тр}$	Па	графік 7, стор.192[2] $f(W_r, \vartheta)$	7.6
Поправка на відносні кроки	$C_s$		графік 7, стор.193[2] $f\left(\frac{S_1}{d}; \frac{S_2}{d}\right)$	1.15
Поправка на діаметр	$C_d$		графік 7, стор.193[2] $f(d)$	1
Опір водяного економайзера	$\Delta h_{ВЕ}$	Па	$k \cdot \tilde{N}_s \cdot C_d \cdot \Delta h_{дБ} \cdot (Z_2 + 1) = 1.0 \cdot 1.15 \cdot 1.0 \cdot 7.6 \cdot (40 + 1)$	360.6

Розрахунок опору повітропідігрівника приведений у табл. 5.1.4.

Таблиця 5.1.4 – Опір повітропідігрівника

Величина	Позначення	Одиниця виміру	Розрахункова формула або спосіб визначення	Результат
1	2	3	4	5
Втрати тиску на тертя				
Втрата тиску в трубах	$\Delta h_{тр}^I$	Па/м	графік 4, стор. 188[2] $f(W_r, \vartheta)$	28.4
Поправочний коефіцієнт на шерохватість труб	$C_{ш}$	-	графік 4, стор. 188[2] $f(d_{вн})$	0.9
Опір тертя	$\Delta h_{тр}$	Па	$\tilde{N}_o \cdot \Delta h_{дБ}^I \cdot l = 0.9 \cdot 28.4 \cdot 10.2$	260.7
Місцеві втрати тиску				
Відношення меншого перерізу до більшого	$\frac{F_M}{F_B}$	-	$0.785 \frac{d_{дл}^2}{S_1 \cdot S_2} = \frac{0.785 \cdot (37)^2}{52 \cdot 44}$	0.47
Коефіцієнт опору входу	$\xi_{вх}$	-	$f\left(\frac{F_i}{F_A} = 0.47\right)$	0.31
Коефіцієнт опору виходу	$\xi_{вих}$	-	$f\left(\frac{F_i}{F_A} = 0.47\right)$	0.425

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	TK81.162.0003.154.ПЗ	Лист m 126
------	------	----------	--------	------	----------------------	------------------

Продовження таблиці 5.1.4

1	2	3	4	5
Опір входу-виходу	$\Delta h_{\text{вх-вих}}$	Па	$2 \cdot (\xi_{\text{вх}} + \xi_{\text{вих}}) \cdot h_{\text{вх}} =$ $= 2 \cdot (0.310 + 0.425) \cdot 24.5$	36
Опір повітропідігрівника	$\Delta h_{\text{повп}}$	Па	$K_{\text{вх}} \cdot (\Delta h_{\text{вх}} + \Delta h_{\text{вих}}) =$ $= 1.1 \cdot (260.7 + 36)$	326.4

Розрахунок опору поворотів конвективного газоходу та золоуловлювача приведений у табл. 5.1.5.

Таблиця 5.1.5 – Опір поворотів конвективного газоходу та золоуловлювача

Величина	Позначення	Одиниця виміру	Розрахункова формула або спосіб визначення	Результат
1	2	3	4	5
Коефіцієнт опору повороту конвективного газоходу	$\xi_{\text{пов}}$	-	При повороті на $90^\circ$ $\xi_{\text{пов}} = f(\alpha = 90^\circ) = 1$	1
Розрахунковий динамічний тиск при повороті	$h_{\text{д,пов}}$	Па	$h_{\text{д,пов}} = 0.5 \cdot (h_{\text{вх}}^2 + h_{\text{вих}}^2)$ $= 0.5 \cdot (17.6 + 7.6)$	12.6
Динамічний тиск в 2-й ступені пароперегрівача	$h_{\text{д,пс}}$	Па	3 таблиці 4.1.1	17.6
Динамічний тиск у водяному економайзері	$h_{\text{д,ек}}$	Па	3 таблиці 4.1.1	7.6
Поправочний коефіцієнт в пароперегрівачі	K	-	3 таблиці 4.1.1	1.0
Опір повороту (пароперегрівач-економайзер)	$\Delta h_{\text{пов}}$	Па	$\xi_{\text{пов}} \cdot h_{\text{д,пов}} = 1.0 \cdot 12.6$	12.6
Коефіцієнт опору після повітропідігрівника	$\xi_{\text{пов,вп}}$	-	п. 1-30 [2] при повороті на $90^\circ$	1
Розрахунковий динамічний тиск у повороті	$h_{\text{д,повп}}$	Па	$0.5 \cdot (h_{\text{вх}}^2 + h_{\text{вих}}^2) =$ $= 0.5 \cdot (24.5 + 29.4)$	27.0
Динамічний тиск у повітроперегрівачі	$h_{\text{д,вп}}$	Па	3 таблиці 4.1.1	24.5
Динамічний тиск за повітроперегрівачем	$h_{\text{д,вп}}''$	Па	Графік 2, ст. 186 [2] $f(W_r, \varphi_{yx})$	29.4

Продовження таблиці 5.1.5

				TK81.162.0003.154.ПЗ	Лист 126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

1	2	3	4	5
Опір повороту повітропідігрівача (вихід із опускної шахти)	$\Delta h_{\text{пов}} =$	Па	$\xi_{\text{вд}} \cdot h_{\text{вд}} = 1.1 \cdot 27.0$	29.7
Опір золоуловлювача (чотирьохпольний)	$\Delta h_{\text{зол}} =$	Па	Приймаємо	400

Розрахунок сумарного опору газового тракту приведений у табл. 5.1.6.

Таблиця 5.1.6 - Сумарний опір газового тракту

Величина	Позначення	Одиниця виміру	Розрахункова формула або спосіб визначення	Результат
1	2	3	4	5
Сумарний опір	$\sum \Delta h$	Па	$\Delta h_{\text{вд}} + \Delta h_{\text{вд}} + \Delta h_{\text{вд}} + \Delta h_{\text{вд}} + \Delta h_{\text{вд}} + \Delta h_{\text{вд}} = 20.8 + 104.6 + 360.6 + 326.4 + 12.6 + 29.7 + 400$	1255

Розрахунок опору газового тракту котла з урахуванням поправок приведений у табл. 5.1.7.

Таблиця 5.1.7 - Опір газового тракту котла з урахуванням поправок

Величина	Позначення	Одиниця виміру	Розрахункова формула або спосіб визначення	Результат
1	2	3	4	5
Поправка на різницю густин димових газів та сухого повітря	$M_p$	-	$\frac{\rho_0}{0.132} - 0.10197 = \frac{1.34}{0.132} - 0.10197$	1.035
Приведена густина димових газів	$\rho_0$	кг/м <sup>3</sup>	$(1 - 0.01 \cdot \frac{V_a}{1.31 \cdot 9.42}) \cdot 1.306 \alpha_{\text{га}} \cdot V^0 = (1 - 0.01 \cdot \frac{4.306}{1.31 \cdot 9.42}) \cdot 1.306 \cdot 13.783$	1.34

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	TK81.162.0003.154.ПЗ	Лист 126
------	------	----------	--------	------	----------------------	----------



Продовження таблиці 5.1.7

1	2	3	4	5
Поправка на запыленість димових газів	$\mu_{\text{мас}}$	-	$A^{\delta} \cdot \dot{a}_{oi}$ 4.1868 $Q_i^{\delta}$ , відсутня	0
Поправка на тиск в газовому тракті	$C_{\Delta H}$	-	При висоті місцевості над рівнем моря $H \leq 200\text{м}$	1
Аеродинамічний опір газового тракту з урахуванням поправок	$\Delta H$	Па	$\sum \Delta h \cdot i_{\delta} \cdot (1 + \mu_{i \delta \delta}) \cdot \dot{N}_{\delta} =$ 1255 1.035 1 1	1299

Розрахунок самотяги парового котла в межах газового тракту представлений у табл. 5.1.8.

Таблиця 5.1.8 – Самотяга парового котла в межах газового тракту

Величина	Позначення	Одиниця виміру	Розрахункова формула або спосіб визначення	Результат
1	2	3	4	5
Середня температура в шахті	$\vartheta_{\text{ср}}$	С°	$0.5(\vartheta' + \vartheta'') = 0.5(640.8 + 120)$	380.4
Температура на вході в опускную шахту	$\vartheta'$	С°	$\vartheta' = \vartheta_{\text{пп}}$	640.8
Температура на виході в опускную шахту	$\vartheta''$	С°	$\vartheta'' = \vartheta_{\text{ух}}$	120
Самотяга конвективної шахти	$h_c$	Па	$i_{\delta} \cdot g \cdot (1.2 - \rho_{\delta} \frac{273}{273 + \vartheta_{\delta\delta}}) =$ $16.4 \cdot 9.81 (1.2 - 1.34 \times \frac{273}{273 + 380.4})$	103
Висота опускної шахти	$H_{\text{ш}}$	м	Ескіз парового котла	16.4

Вибір димової труби представлений у табл.5.1.9.

				TK81.162.0003.154.ПЗ		Лист 7 126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблица 5.1.9 - Вибір димової труби

Величина	Позначення	Одиниця виміру	Розрахункова формула або спосіб визначення	Результат
1	2	3	4	5
Висота димової труби (знаходиться в промисловій зоні селища; найвища будівля має дев'ять поверхів)	$H_{тр}$	м	п.ІІІ-45, ст.93 [4]	25
Самотяга димової труби	$h_{стп}$	Па	$H_{до} \cdot h'_{до} = 25 \cdot 3.25$	97.5
Витрата газів на трубу	$G_{тр}$	$\frac{m^3}{h}$	$B_p \cdot V_a^{\frac{9 \cdot h_{до} + 273}{273}} = 1.588 \cdot 13.783 \times \frac{120 + 273}{273}$	31.5
Об'єм димових газів	$V_g$	$\frac{m^3}{c}$	Газовий розрахунок котла	13.783
Витрата палива	$B_p$	кг/с	Тепловий баланс котла	1.58
Швидкість газів на виході з труби	$W_g$	м/с	п.ІІІ-46 ст.97 [2] $f(G_{до} = 31.5, H_{до} = 25)$	18
Внутрішній діаметр труби на виході в оточуюче середовище (розрахунковий)	$d_2$	м	$0.0118 \sqrt{\frac{31.5 \cdot 3600}{W_a}} = 0.0188 \sqrt{\frac{12.2 \cdot 3600}{18}}$	0.97
Внутрішній діаметр труби на виході в оточуюче середовище	$d_2$	м	З уніфікованого ряду типорозмірів димових металевих труб	1.0
Опір тертя труби по наближеній формулі	$\Delta h_{тр}$	Па	$\left[1.1 + \frac{0.004}{3}\right] \cdot \rho_a \cdot \frac{W_g^2}{2} = \left[1.1 + \frac{0.004}{0.02}\right] \cdot \frac{1.26 \cdot 18^2}{2}$ де $i$ – ухил труби, приймаємо $i=0,02$ для металевих труб	71.1
Густина газів	$\rho$	$\frac{кг}{м^3}$	Рис. VII-26 ст.207 [2] $f(\tau_{H2O})$	1.26

Розрахунок повного перепаду тисків в газовому тракті парового котла представлений у табл. 5.1.10.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	TK81.162.0003.154.ПЗ	Лист m 126
------	------	----------	--------	------	----------------------	------------------

Таблица 5.1.10 - Повний перепад тисків в газовому тракті парового котла

Величина	Позначення	Одиниця виміру	Розрахункова формула або спосіб визначення	Результат
1	2	3	4	5
Перепад повних тисків	$\Delta H_n$	Па	$h_n'' + \Delta H + h_c + \Delta h_{до} - h_{н.до} =$ $= 20 + 1299 + 103 +$ $+ 71.1 - 97.5$	1396
Розрахункова продуктивність димососа	$Q_p$	тис.м <sup>3</sup> год	$\beta_1 \cdot G \cdot 3600 = 1.1 \cdot 31.5 \cdot 3600$	48310
Коефіцієнт запасу у продуктивності	$\beta_1$	-	Стр.36[2] $f(\Delta T = 10 \text{ д/ } )$	1.1
Розрахунковий повний тиск димососа	$H_p$	Па	$\beta_2 \cdot \Delta H_n = 1.2 \cdot 1396$	1675
Коефіцієнт запасу по тиску	$\beta_2$	-	Табл. 4-1 стр.49 [2] $f(\beta_1)$	1.2
Питома вага газів при 0 °С	$\rho_0$	кг м <sup>3</sup>	Графік 22 стр 122[2] $f(t_{н.до} = 0.085)$	1.09
Абсолютна температура газів у димососа	$T$	К	$\vartheta_{ух} + 273 = 120 + 273$	393
Абсолютна температура газів по заводським характеристикам димососа	$T_{зав}$	К	$\vartheta + 273 = 415 + 273$	688
Перехідний коефіцієнт до номінальних характеристик	$K_p$	---	$\frac{1.293 \cdot \rho_0 \cdot \dot{Q}_{зад} \cdot \dot{N}_{двиг}}{\rho_0 \cdot \dot{Q}_{зад} \cdot \dot{N}_{двиг}} =$ $= \frac{1.293 \cdot 393}{1.09 \cdot 688} \cdot 1$	0.71
Поправка на зміну тиску в залежності від розташування котла над рівнем моря	$C_{P_{бар}}$	---	$\frac{P_{бар}}{P_{норм}} - \text{при висоті місцевості над рівнем моря } H \leq 200 \text{ м}$	1
Приведений повний тиск димососа	$H_p^{прив}$	Па	$K_p \cdot H_p = 0.71 \cdot 1675$	1189

Вибір димососа представлений у табл. 4.1.11.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	TK81.162.0003.154.ПЗ	Лист 126
------	------	----------	--------	------	----------------------	-------------

Таблица 5.1.11 – Вибір димососа

	Марка	Параметри	Короткий опис
Потрібні параметри задовольняє димососа	ДН-17	$f(Q_p = 48.31 \text{ м}^3/\text{с})$ $i_D = 189 \text{ Па}$ ( <sup>[2]</sup> , VII-37, стор.216)	ДН-17 з частотою обертання $n = 740$ об/хв ККД машини при даних параметрах $\eta = 0.77$ , а кут відкриття направляючого апарату $\varphi = 38^\circ$

Вибір електродвигуна представлений у табл. 4.1.12.

Таблица 5.1.12 - Вибір електродвигуна

Величина	Позначення	Одиниця виміру	Розрахункова формула або спосіб визначення	Результат
1	2	3	4	5
Потужність двигуна	$N$	кВт	$N = \beta_3 \cdot \frac{Q_p \cdot H_p^{1.8}}{\eta} = 1.1 \cdot \frac{48.31 \cdot 118}{0.72}$ $\eta$ - ККД двигуна	30

5.2 Розрахунок повітряної сторони

Розрахунок опору повітряного тракту представлений у табл. 5.2.1. Схема повітряного тракту котла показана на рис. 5.2.1.

Таблица 5.2.1 – Опір повітряного тракту

Величина	Позначення	Одиниця виміру	Розрахункова формула або спосіб визначення	Результат
1	2	3	4	5
Кількість холодного повітря, що засмоктується вентилятором	$V_{хп}$	$\frac{\text{м}^3}{\text{с}}$	$V^o \cdot B_p \cdot (\alpha_o - \Delta\alpha_o - \Delta\alpha_{тг} + \Delta\alpha_{тгд}) \cdot \frac{t_{гп} + 273}{273} = 9.42 \cdot 1.588 \cdot (1.2 - 0.1 - 0.06) \times \frac{30 + 273}{273}$	20.8
Середня температура повітря у повітряпідігрівачі	$t_{сп}$	°C	$0.5(t_{гп} + t_{хп}) = 0.5(260 + 30)$	145
Коефіцієнт кінематичної в'язкості холодного повітря	$\nu_{хп}$	$\frac{\text{м}^2}{\text{с}}$	$f(t_{хп})$ табл.VI, [1]	$20.53 \cdot 10^{-6}$

				TK81.162.0003.154.ПЗ		Лист 7 126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 5.2.1

1	2	3	4	5
Коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря у повітряпідігрівачі	$\nu_{cp}$	$\frac{m^2}{c}$	$f(t_{cp})$ табл. VI, [1]	$30.58 \cdot 10^{-6}$
Коефіцієнт кінематичної в'язкості гарячого повітря	$\nu_{гп}$	$\frac{m^2}{c}$	$f(t_{гп})$ табл. VI, [1]	$44.82 \cdot 10^{-6}$
Витрата гарячого повітря	$V_{гп}$	$\frac{m^3}{c}$	$V^o \cdot B_p \cdot (\alpha_o - \Delta\alpha_{гг} - \Delta\alpha_o)^{t_{гг} + 273} = 9.42 \times$ $\times 1.588 \cdot (1.2 - 0.01)^{\frac{260 + 273}{273}}$	34.8
Перша ділянка повітряного тракту				
Швидкість повітря	$W$	м/с	Приймаю	6
Діаметр перерізу тракту	$D$	м	$\frac{4 \cdot V_{гп}}{W \cdot \pi} = \frac{4 \cdot 20.8}{6 \cdot \pi}$	1.95
Число Рейнольдса	$Re$	—	$\frac{W \cdot D}{\nu_{гп}} = \frac{6 \cdot 1.95}{20.53 \cdot 10^{-6}}$	$5.6 \cdot 10^5$
Коефіцієнт опору тертя	$\lambda$	—	$\frac{0.316}{Re^{0.25}} = \frac{0.316}{5.6 \cdot 10^5}$	0.011
Динамічний тиск	$h_o$	Па	графік 2, стор. 186[2], $f(W; t_{гп})$	20.6
Довжина першої ділянки	$L$	м	Схема повітряного тракту котла	17.5
Опір тертя першої ділянки	$\Delta h_{тр1}$	Па	$\lambda \frac{L}{D} h_o = 0.011 \cdot \frac{17.5}{1.95} \cdot 20.6$	2.0



1 – перша ділянка повітряного тракту; 2 – вентилятор; 3 – друга ділянка повітряного тракту; 4 – повітряпідігрівник; 5 – третя ділянка; 6 – четверта ділянка; 7 – пальник

Рисунок 4.2 – Схема повітряного тракту котла:

				TK81.162.0003.154.ПЗ		Лист 7 126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 4.2.1

1	2	3	4	5
Сума коефіцієнтів місцевих опорів першої ділянки	$\Sigma \Delta_{\text{м1}}$	—	$\Sigma \Delta_{\text{м1}} = \Delta_{\text{вх}} + \Delta_{\text{вх}} = 0.5$	0.5
Місцевий опір першої ділянки	$\Delta h_{\text{м1}}$	Па	$\Sigma \Delta_{\text{м1}} \cdot h_{\text{д}} = 0.5 \cdot 20.6$	10.3
Друга ділянка повітряного тракту				
Швидкість повітря	$W$	м/с	Приймаю	6
Сторона квадрату тракту	$A$	м	$V_{\text{вх}} = \frac{20.8}{6}$	1.72
Число Рейнольдса	$Re$	—	$W \cdot A = 6 \cdot 1.72$ $v_{\text{вх}} = 20.53 \cdot 10^{-6}$	$5.02 \cdot 10^5$
Коефіцієнт опору тертя	$\lambda$	—	$\frac{0.316}{4 \cdot Re} = \frac{0.316}{4 \cdot 5.02 \cdot 10^5}$	0.011
Динамічний тиск	$h_0$	Па	графік 2, стор.186[2], $f(W; t_{\text{вн}})$	20.6
Довжина третьої ділянки	$L$	м	Схема повітряного тракту котла	2.5
Опір тертя третьої ділянки	$\Delta h_{\text{тр3}}$	Па	$\lambda \frac{L}{A} h_0 = 0.011 \frac{2.5}{1.72} \cdot 20.6$	0.32
Сума коефіцієнтів місцевих опорів третьої ділянки	$\Sigma \Delta_{\text{м3}}$	—	$\Sigma \Delta_{\text{м3}} = \Delta_{\text{вх}} + \Delta_{\text{вх}} = 0.5$	0.5
Місцевий опір третьої ділянки	$\Delta h_{\text{м3}}$	Па	$\Sigma \Delta_{\text{м3}} \cdot h_0 = 0.5 \cdot 20.6$	10.3
Повітряпідігрівник				
Швидкість повітря	$W$	м/с	3 теплового розрахунку	4.6
Діаметр труб	$d$	мм	3 креслення прототипу	40
Поперечний крок	$S_1$	мм	3 теплового розрахунку	52
Повздовжній крок	$S_2$	мм	3 теплового розрахунку	44
Відносний поперечний крок труб	$\sigma_1$	—	$\frac{S_1}{d} = \frac{52}{40}$	1.3
Кількість труб по ходу повітря	$z_2$	шт.	3 теплового розрахунку	41
Діагональний крок	$S'_2$	мм	$\sqrt{\frac{1}{4} S_1^2 + S_2^2} = \sqrt{\frac{1}{4} 52^2 + 44^2}$	51
Параметр пучка	$\varphi$	—	$\frac{S_1 - d}{S'_2 - d} = \frac{52 - 40}{51 - 40}$	1.06

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	TK81.162.0003.154.ПЗ	Лист m 126
------	------	----------	--------	------	----------------------	------------------

Продовження таблиці 5.2.1

1	2	3	4	5
Коефіцієнт форми шахового пучка	$C_s$	-	$3.2 + 0.66 (1.7 - \varphi)^{1.5} + \frac{1.44 - \sigma_1}{0.11} \left[ 0.8 + 0.2 \cdot (1.7 - \varphi)^{1.5} \right] =$ $3.2 + 0.66 (1.7 - 1.06)^{1.5} + \frac{1.44 - 1.3}{0.11} \left[ 0.8 + 0.2 \cdot (1.7 - 1.06)^{1.5} \right]$	6.1
Число Рейнольдса	$Re$	-	$W \cdot d = \frac{4.6 \cdot 0.04}{\nu_{ep}} = \frac{4.6 \cdot 0.04}{30.58 \cdot 10^{-6}}$	6017
Коефіцієнт опору, віднесений до одного ряду пучка	$\Delta_\varphi$	-	$C_s \cdot Re^{-0.27} = 6.1 \cdot (6017)^{-0.27}$	0.58
Коефіцієнт опору пучка	$\Delta_{пуч}$	-	$\Delta_\varphi (z_2 + 1) = 0.58 \cdot (41 + 1)$	17.0
Динамічний тиск	$h_0$	Па	графік 2, стор.186[2], $f(W; t_{xn})$	14.7
Опір повітропідігрівника	$\Delta h_{повп}$	Па	$\Delta_{пов} \cdot h_0 = 17.0 \cdot 14.7$	251
Коефіцієнти що враховують характеристики поворотів в ходах за повітрям: $K_{\Delta \xi_0} = 1.4$ ([2], стор.18); $B = 2.6$ (графік 16, стор.200[2]); $C = 1$ (графік 17, стор.200[2]);				
Коефіцієнт опору для повороту:	$\xi_{пов}$	-	$\xi_{пов} = K_{\Delta \xi_0} \cdot B \cdot C = 1.4 \cdot 2.6 \cdot 1$	3.64
Втрати тиску на поворотах у повітропідігрівнику	$h_{пов}$	Па	$4 \cdot \xi_{пов} \cdot \frac{W^2}{2} \cdot \rho = 4 \cdot 3.64 \cdot \frac{4.6^2}{2} \cdot 0.132$	32.1
Третя ділянка повітряного тракту				
Швидкість повітря	$W$	м/с	Приймаю	14
Сторона квадрату тракту	$A$	м	$\frac{V_{\bar{a}}}{W} = \frac{34.8}{14}, D=A$	1.5
Число Рейнольдса	$Re$	-	$\frac{W \cdot D}{\nu_{\bar{a}}} = \frac{14 \cdot 1.5}{44.82 \cdot 10^{-6}}$	$4.59 \cdot 10^5$
Коефіцієнт опору тертя	$\lambda$	-	$\frac{0.316}{\sqrt[4]{Re}} = \frac{0.316}{\sqrt[4]{4.59 \cdot 10^5}}$	0.012
Динамічний тиск	$h_0$	Па	графік 2, стор.186[2], $f(W; t_{rn})$	59.84
Довжина п'ятої ділянки	$L$	м	Схема повітряного тракту котла	17.9

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

TK81.162.0003.154.ПЗ

Лист  
126





виміру				
1	2	3	4	5
Сумарний опір	$\sum \Delta h$	Па	$\Delta h_{\text{до1}} + \Delta h_{\text{до2}} + \Delta h_{\text{до3}} + \Delta h_{\text{до4}} + \Delta h_{\text{до5}} + \Delta h_{\text{до6}} + \Delta h_{\text{до7}} + \Delta h_{\text{до8}} + \Delta h_{\text{до9}} + \Delta h_{\text{до10}} + \Delta h_{\text{до11}} + \Delta h_{\text{до12}} + \Delta h_{\text{до13}} + \Delta h_{\text{до14}} + \Delta h_{\text{до15}} + \Delta h_{\text{до16}} + \Delta h_{\text{до17}} + \Delta h_{\text{до18}} + \Delta h_{\text{до19}} + \Delta h_{\text{до20}} + \Delta h_{\text{до21}} + \Delta h_{\text{до22}} + \Delta h_{\text{до23}} + \Delta h_{\text{до24}} + \Delta h_{\text{до25}} + \Delta h_{\text{до26}} + \Delta h_{\text{до27}} + \Delta h_{\text{до28}} + \Delta h_{\text{до29}} + \Delta h_{\text{до30}} + \Delta h_{\text{до31}} + \Delta h_{\text{до32}} + \Delta h_{\text{до33}} + \Delta h_{\text{до34}} + \Delta h_{\text{до35}} + \Delta h_{\text{до36}} + \Delta h_{\text{до37}} + \Delta h_{\text{до38}} + \Delta h_{\text{до39}} + \Delta h_{\text{до40}} + \Delta h_{\text{до41}} + \Delta h_{\text{до42}} + \Delta h_{\text{до43}} + \Delta h_{\text{до44}} + \Delta h_{\text{до45}} + \Delta h_{\text{до46}} + \Delta h_{\text{до47}} + \Delta h_{\text{до48}} + \Delta h_{\text{до49}} + \Delta h_{\text{до50}} + \Delta h_{\text{до51}} + \Delta h_{\text{до52}} + \Delta h_{\text{до53}} + \Delta h_{\text{до54}} + \Delta h_{\text{до55}} + \Delta h_{\text{до56}} + \Delta h_{\text{до57}} + \Delta h_{\text{до58}} + \Delta h_{\text{до59}} + \Delta h_{\text{до60}} + \Delta h_{\text{до61}} + \Delta h_{\text{до62}} + \Delta h_{\text{до63}} + \Delta h_{\text{до64}} + \Delta h_{\text{до65}} + \Delta h_{\text{до66}} + \Delta h_{\text{до67}} + \Delta h_{\text{до68}} + \Delta h_{\text{до69}} + \Delta h_{\text{до70}} + \Delta h_{\text{до71}} + \Delta h_{\text{до72}} + \Delta h_{\text{до73}} + \Delta h_{\text{до74}} + \Delta h_{\text{до75}} + \Delta h_{\text{до76}} + \Delta h_{\text{до77}} + \Delta h_{\text{до78}} + \Delta h_{\text{до79}} + \Delta h_{\text{до80}} + \Delta h_{\text{до81}} + \Delta h_{\text{до82}} + \Delta h_{\text{до83}} + \Delta h_{\text{до84}} + \Delta h_{\text{до85}} + \Delta h_{\text{до86}} + \Delta h_{\text{до87}} + \Delta h_{\text{до88}} + \Delta h_{\text{до89}} + \Delta h_{\text{до90}} + \Delta h_{\text{до91}} + \Delta h_{\text{до92}} + \Delta h_{\text{до93}} + \Delta h_{\text{до94}} + \Delta h_{\text{до95}} + \Delta h_{\text{до96}} + \Delta h_{\text{до97}} + \Delta h_{\text{до98}} + \Delta h_{\text{до99}} + \Delta h_{\text{до100}}$	1739

Розрахунок повного тиску повітряного тракту представлений у табл. 4.2.3.

Таблиця 5.2.3 - Повний тиск повітряного тракту

Величина	Позначення	Одиниця виміру	Розрахункова формула або спосіб визначення	Результат
1	2	3	4	5
Сумарний опір повітряного тракту	$\Delta H$	Па	$\sum \Delta h$	1739
Коефіцієнт запасу по продуктивності	$\beta_1$	-	Стр.36[2] $f(\beta_1)$	1.05
Коефіцієнт запасу по тиску	$\beta_2$	-	Стр.36[2] $f(\beta_2)$	1.1
Об'єм повітря теоретично необхідного для горіння	$V^0$	$\frac{m^3}{m^3}$	Тепловий розрахунок	9.42
Розрахункова витрата палива	$B_p$	$\frac{m^3}{с}$	Тепловий розрахунок	1.588
Необхідна розрахункова продуктивність вентилятора	$Q_p$	$\frac{m^3}{\text{дв}} \cdot \frac{1}{\eta}$	$\beta_1 \cdot V^0 \cdot B_p \cdot 3600 = 1.05 \cdot 9.42 \cdot 1.588 \cdot 3600$	56540
Розрахунковий повний тиск вентилятору	$H_p$	Па	$\beta_2 \cdot \Delta H = 1.1 \cdot 1739$	1913
Приведений тиск для вентилятора	$H_p^{np}$	Па	$H_p^{np} = H_p$	1913

Вибір вентилятора представлений у табл. 4.2.4.

Таблиця 5.2.4 – Вибір вентилятора

					Марка	Параметри	Короткий опис	Лист т 126
					TK81.162.0003.154.ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				

Потрібні параметри задовольняє вентилятор	ВДН-17	$f(Q_p) \approx 56.54 \text{ м}^3/\text{с}$ $\dot{V}_D = 1913 \text{ л/с}$ ([2], VII-35, стор.214)	Центробіжний вентилятор одностороннього всмоктування частота $n=740 \text{ об/хв.}$
---	--------	--	---

Вибір електродвигуна представлений у табл. 5.2.5.

Таблиця 5.2.5- Вибір електродвигуна

Величина	Позначення	Одиниця виміру	Розрахункова формула або спосіб визначення	Результат
1	2	3	4	5
Потужність двигуна	$N$	кВт	$N = \beta_3 \cdot \frac{Q_p \cdot H_p^{1.1}}{\eta} = 1.1 \cdot \frac{15.71 \cdot 1913}{0.8}$ $\eta$ - ККД двигуна	34

					Лист 7 126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	TK81.162.0003.154.ПЗ





## 7.1 Технологічні зниження викидів NO<sub>x</sub>

### 7.1.1 Теоретичні положення

До важливих оксидів азоту, що утворюються під час спалювання відносять: оксид азоту (NO), закис азоту (N<sub>2</sub>O) та діоксид азоту (NO<sub>2</sub>), що позначаються як NO<sub>x</sub>. У котлах NO<sub>x</sub> утворюється внаслідок хімічних процесів: «термічний» NO<sub>x</sub>, що виникає при окисленні атмосферного молекулярного азоту, «паливний» NO<sub>x</sub>, що виникає при окисленні сполук азоту в паливі, і «швидкий» NO<sub>x</sub>, що не має особливе значення в теплоенергетичних установках для спалювання. Зниження викидів NO<sub>x</sub> у теплоенергетичному обладнанні можна розділити на первинні й вторинні методи. Первинні методи придушують утворення NO<sub>x</sub> в процесі горіння палива, а вторинні займаються очищенням димових газів після спалювання.

В Україні основними засобами боротьби з викидами оксидів азоту є первинні методи. Принцип дії полягає у організації процесу спалювання таким чином, щоб загальмувати реакції, які призводять до утворення NO<sub>x</sub> та водночас інтенсифікувати реакції переходу азотовмісних компонентів палива у безпечний молекулярний азот N<sub>2</sub>.

Чимала частина NO<sub>x</sub> утворюється з повітря, що окислюється в топці з поглинанням теплоти. Тому чим менше надлишки повітря у котлі, тим менше утворюється оксид азоту. Але при подальшому зниженні надлишку повітря можуть з'явитися питомі втрати теплоти від хімічного і механічного недопалу. Тому для боротьби з викидами азоту понижують температуру горіння у топці котла.

Спалювання палива при температурі 900 °C теоретично призведе до однакових швидкостей утворення і розкладання оксидів азоту. Проте чим більша буде температура горіння, тим більшою буде різниця швидкостей. При вищих температурах горіння, наприклад 1300-1400 °C швидкість розкладання оксидів азоту значно менша за швидкість їх утворення.

						TK81.162.0003.154.ПЗ	Лист 126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Тому при таких умов завжди будуть утворюватися оксиди азоту. При температурі менше ніж 900 °С термічні оксиди азоту не утворюються з молекулярного повітря і при цьому утворюються N<sub>2</sub>O.

## 7.2 Первинні заходи зниження NO<sub>x</sub>

Первинні заходи спрямовані на модифікацію експлуатаційних і конструктивних параметрів котлів, підготовки палива, регулювання температури спалювання та інше.

### 7.2.1 Метод зниження надлишку повітря

Одним з первинних методів є зниження надлишку повітря у котлі. Цей метод досить легко здійснюється і полягає у зниженні кількості повітря в зоні горіння до мінімально необхідної для повного згорання палива та за рахунок цього може бути досягнуто суттєве зниження викидів NO<sub>x</sub>. Недоліком такого методу є можливість зниження ККД котла від неповноти горіння і зниження температури пари, а також утворення SO<sub>3</sub>, що може викликати корозію і відкладення на поверхнях котла [18].

### 7.2.2 Метод стадійної подачі повітря.

Наступним методом є стадійна подача повітря (двостадійне спалювання), що заснований на створенні двох окремих зон горіння: первинної з нестачею кисню і вторинної з надлишком кисню для повноти згорання палива. Таким чином в первинній зоні знижується утворення термічних NO<sub>x</sub>, а у вторинній за рахунок зниженої температури NO<sub>x</sub> обмежується.

Використовують такі можливості для досягнення ступеневої подачі повітря [19]:

						TK81.162.0003.154.ПЗ	Лист 7 126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

- 1) нестехиометричне спалювання, де нижні пальники у топці працюють з нестачею повітря, а верхні з надлишком;
- 2) відключення пальників, де нижні пальники працюють з надлишком палива, в той час як верхні пальники використовуються тільки для подачі повітря;
- 3) подача повітря над факелом через додаткові повітряні сопла. Для такої роботи встановлюються над існуючими пальниками додаткові повітряні сопла. Деяку частину повітря подають через ці сопла, які розташовані вище рівня основних пальників. Тому пальники можуть працювати з низьким надлишком повітря, що стримує утворення NOx, а повноту згорання забезпечує додаткове повітря, що подається над факелом.

### 7.2.3 Метод рециркуляції димових газів

Принцип дії такого методу полягає у відбиранні димових газів з температурою 300–400°C перед повітропідігрівником та подальшою подачею їх спеціальним рециркуляційним димососом в топкову камеру. У результаті максимальна температура в топці знижується на 120–130 °C та, крім того, падає концентрація кисню в зоні горіння, що також зменшує утворення паливних NOx.

Введення газів рециркуляції в топку котла має декілька способів (Табл.1). Найбільше поширення отримало введення димових газів рециркуляції в суміш з дуттьовим повітрям. Проте подача рециркуляційних газів з паливом більш продуктивно знижує вихід оксидів азоту, ніж додавання їх у дуттьове повітря. При однаковому ступені рециркуляції, наприклад при спалюванні газу, в першому випадку вихід кількості NOx знижується на 45%, а у другому – на 23%.

						Лист 7 126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	TK81.162.0003.154.ПЗ	

Таблица 1 – Зниження викидів NOx при спалюванні природного газу в залежності від способу введення газів рециркуляції.

Спосіб подання газів рециркуляції	Інтенсивність зниження утворення NOx в % на 1% газів рециркуляції
У паливо	4,5–7,0
У первинне повітря	3,0–3,5
У загальний канал дутьового повітря	2,0–3,0
По кільцевому каналу навкіл пальника	1,2–1,5
Через шліци біля нижнього яруса пальників	1,0–1,2
Через шліци нижче пальників	0,8–1,0
Через шліци в поду топки	0,2–0,3

#### 7.2.4 Зниження температури попереднього нагрівання повітря

При спалюванні газу, температура для попереднього нагрівання повітря суттєво впливає на утворення оксидів азоту. Тому при зниженні температури цього повітря істотно знижується максимальна температура полум'я у зоні горіння, що впливає на концентрації викидів NOx (термічних).

Недоліком такого методу є надмірне використання палива за рахунок зниження температури для попереднього нагрівання повітря. Це призводить до неповного використання топкових газів і в результаті до втрат теплової енергії.

#### 7.2.5 Стадійне спалювання палива (триступеневе спалювання)

Стадійне спалювання палива засноване на створенні різних зон в топці шляхом стадійного введення палива і повітря. Метою є перетворення оксидів азоту, що вже утворилися.

						Лист 126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	TK81.162.0003.154.ПЗ	



Принцип дії спалювання засноване на утворенні трьох зон, шляхом стадійного подання повітря і палива [19]. У першій зоні горіння 80-85% палива спалюється у слабо відновлюваному газовому середовищі або в окислювальному. У наступній зоні горіння вводять вторинне паливо у відновне газове середовище. А у третій і останній зоні додається повітря для повного догорання палива.

В якості вторинного палива можуть використовуватися різні види, але в основному використовується природний газ.

Ця технологія зниження викидів дуже приваблива для використання на нових котлах, бо не вимагає дуже великого обсягу топок для того, щоб уникнути недопал.

#### 7.2.6 Малотоксичні пальники

Малотоксичні пальники- це пальники зі зниженим виходом NOx. Основна задача цих пальників є створення паливоповітряної суміші для зниження максимальних температур полум'я, зниження доступу кисню і для відтягування процесу змішування палива і повітря у пальнику. Таким чином сповільнюється утворення оксидів азоту у паливі при досить високій продуктивності спалювання.

Існує багато способів використання малотоксичних пальників:

1. Малотоксичні пальники з рециркуляцією димових газів. Принцип дії полягає у використанні розділеного полум'я з внутрішньою рециркуляцією димових газів, шляхом введення їх у зону горіння. Таким чином знижується концентрація кисню і температура полум'я, що забезпечує зниження емісії NOx.

2. Малотоксичні пальники з стадійною подачею повітря. Процес організовується ступінчатою подачею повітря (Рис.1). Первинне повітря змішується з паливом і утворюється суміш з дефіцитом кисню. Далі ця суміш з'єднується з вторинним повітрям і утворює первинний факел для стрімкого

					TK81.162.0003.154.ПЗ	Лист 126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

нагріву палива. Зона догорання палива створюється третинним повітрям при низьких температурах. Ці заходи розділення подачі повітря на різних етапах зменшують викиди NOx.

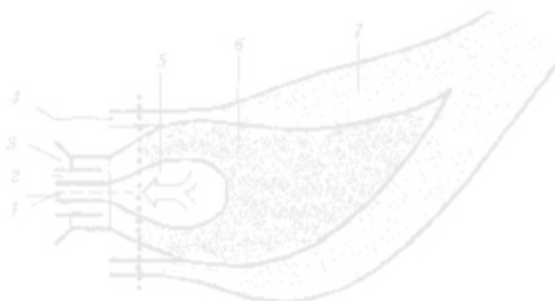


Рисунок 1 – Факел зі ступінчатою подачею повітря для малотоксичного пальника: 1 – первинне повітря, 2 – суміш палива та повітря, 3 – внутрішнє вторинне повітря, 4 – зовнішнє вторинне повітря, 5 – зона рециркуляції, 6 – зона відновлення, 7 – зона допалювання [16]

3. Малотоксичні пальники з стадійною подачею палива. Такі пальники зазвичай використовують для спалювання газів і призначені для відновлення NOx, що вже утворилися. Принцип роботи починається зі спалювання частини палива з надлишком повітря первинній зоні. Коли горіння починає завершуватись, вводиться додаткове паливо, створюючи атмосферу де NOx відновлюється до N<sub>2</sub>. І на останок формується зона догорання.

Прикладом пальника двоступеневого спалювання, можуть бути пальники типу ГДС, розроблені інститутом газу НАН України [15].

4. Новітні малотоксичні пальники. Такий вид пальників поєднує у собі ступінчасту подачу повітря і палива та рециркуляцію димових газів для забезпечення більшого зниження емісії NOx. Ця технологія є передовою, однак на практиці застосовується дуже рідко. Причинами є надмірне споживання енергії, обслуговування і встановлення потужних вентиляторів.

						TK81.162.0003.154.ПЗ	Лист 126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

### 7.2.7 Подача водяної пари або води у зону горіння

Суть такої технології полягає у зниженні температури факела горіння, що забезпечує умови для зменшення викидів оксидів азоту. Основним методом подачі води є використання форсунок в суміші з парою або без неї.

Такий спосіб подачі водяної пари або води у зону горіння може зменшувати ККД котла на 3-5%, що є поганим показником. Тому цех захід рекомендують використовувати, як додаткову систему придушення NOx.

### 7.2.8 Міра ефективності первинних засобів придушення NOx

Застосування первинних методів придушення NOx можна представити по мірі їх ефективності в порядку спадання [19]:

1. Зниження загального надлишку повітря. Ступінь зниження NOx буде складати від 10 до 44%. Обмежується неповним вигоранням палива.

2. Відключення частини пальників при стадійній подачі палива. Використовують для всіх видів палива. Має ступінь зниження NOx 10-70%. Обмежується неповнотою згорання палива, високі рівні CO і незгорілого вуглецю.

3. Ступенева подача повітря в топку (двоступеневе спалювання). Використовують для всіх видів палива. Ступінь зниження NOx буде складати від 25% до 35%. Використовують для всіх типів палива. Обмежується неповнотою згорання палива і нестабільністю факела горіння.

4. Малотоксичні пальники. Використовують для всіх видів палива. При ступеневій подачі повітря ступінь зниження оксидів азоту буде складати 25-35%. При рециркуляції димових газів до 20%. При стадійній подачі палива

						Лист 7 126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	TK81.162.0003.154.ПЗ	

50-60%. Недоліком буде нестабільність факела горіння та неповнота згорання палива.

5. Рециркуляція димових газів. При роботі на газі ступінь зниження NOx буде складати від 30% до 50%, а для котлів на вугіллі до 20%. Обмеженням по використанню буде нестабільність факела горіння.

6. Тристадійне спалювання. Використовують для всіх типів палива. Ступінь зниження NOx буде складати 50-60%. Недоліком буде нестабільність факела і неповнота згорання палива.

7. Зниження температури попереднього нагрівання повітря. Не застосовується для котлів, що працюють на вугіллі з рідким шлаковидаленням.

### 7.3 Вторинні методи зниження оксидів азоту

Вторинні методи призначені для зниження викидів NOx, що вже сформувалися у димових газах. Технологія використання заснована на впорскуванні аміаку або інших з'єднань, що можуть реагувати з оксидами азоту та відновлювати його до молекулярного азоту. Вторинні методи поділяють на селективне каталітичне відновлення і на селективне некаталітичне відновлення.

#### 7.3.1 Селективне каталітичне відновлення (СКВ)

Метод селективного каталітичного відновлення (СКВ) широко застосовується на теплоенергетичному обладнанні за рахунок можливості переробки багатокомпонентних газів і отримання високого ступеня очистки газів, що відходять з котла.

Процес селективного каталітичного відновлення протікає при доволі низьких температурах 200–400°C, за рахунок використання каталізаторів. Сутність цього методу полягає у введенні відновлювача в димові гази в

						TK81.162.0003.154.ПЗ	Лист 126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

присутності каталізатора, при достатній кількості кисню для зниження концентрації NOx.

Зазвичай у вигляді відновника використовують аміак. Він реагує переважно з NOx і майже не взаємодіє з іншими елементами, в зв'язку з чим його витрачають в кількостях, еквівалентних вмісту оксидів азоту, що є досить економічно.

Аміак застосовують у вигляді водного розчину або в зрідженому стані. Більшість теплоенергетичного обладнання використовують зріджений аміак, так як вартість його менша на відміну від газоподібного аміаку, але він потребує більш якісних умов зберігання. Скраплений аміак повинен бути випаруваний у випарнику, що нагрівається і у подальшому при з'єднанні його з повітрям подається у димові гази. Ступінь придушення оксидів азоту досягає високої ефективності при правильному співвідношенні аміаку до NOx у газах, що відходять з котла та при якісному підборі каталізатора.

Каталізатори не приймають участь у хімічних реакціях, проте пришвидшують їх і допомагають довідновлювати NOx. Використовують такі основні типи каталізаторів: цеоліт, оксиди заліза, оксиди неблагородних металів та активоване вугілля. Вибір розміру каталізатора залежить від обсягу, складу і температури димових газів, від умов використання, наявності каталітичних отрут та отримання необхідної концентрації викидів оксидів азоту.

На даний час є декілька схем встановлення реактора селективного каталітичного відновлення у газовий тракт в залежності від температури димових газів і запиленості потоку (Рис. 1).

СКВ з високим вмістом пилу є досить економічна та ефективна установка, яка зазвичай застосовується. Проте має ряд недоліків [20]:

1. Наявність у газах каталітичних отрут призводить до порушення дії каталізатора, а саме його ефективності.
2. Потребує збільшення габаритів установок або додаткового місця при модернізації котла.

						TK81.162.0003.154.ПЗ	Лист 7 126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

СКВ з низьким вмістом пилу дає змогу знизити абразивне зношування каталізатора, чим збільшує термін використання установки. Основним недоліком є недостатня температура нагріву перед схемою. Тому дана конфігурація потребує встановлення золоуловлювачів з високою температурою, що призводить до додаткових економічних витрат.

СКВ на заключній стадії дозволяє зменшити обсяг каталізатора, тобто зменшити величину кроку розташування. Однак дана система потребує додаткового нагріву димових газів для досягнення робочої температури.

						Лист т 126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	TK81.162.0003.154.ПЗ	



Некаталітичний **хімічний** метод заснований на принципі введення реагенту у димові гази для розкладання **оксидів** азоту на воду і азот. Проводиться він при високих температурах 850-1100 °С і без участі каталізаторів. При таких температурах використовують такі реагенти: аміак, нашатирний спирт чи сечовина. Вибір реагенту грає важливу роль у результаті процесу. Основною проблемою є утворення закису азоту. Якщо при використанні  $\text{NH}_3$  майже не утворюється закис азоту, то при впорскуванні сечовини у котел кількість  $\text{N}_2\text{O}$  набагато збільшується. Усунення такої проблеми можливо способом подачі сечовини у вторинне повітря.

Для застосування установки СНКВ **потрібна** додаткова система для охолодження, випаровування та зберігання реагенту.

Використання аміаку потребує забезпечення швидкості реакції та певного температурного інтервалу в якому реагент не буде окислюватись. Також, при різних навантаженнях на котел змінюється місце необхідного температурного інтервалу. Тому для введення  $\text{NH}_3$  буде потрібно декілька рівнів його впорскування.

Якісне очищення димових газів може бути досягнене при правильному змішуванні і розподілі реагенту. Також, важливу роль грає величина крапель  $\text{NH}_3$ . При маленькому розмірі крапель реагенту знижується ефективність очищення, а при занадто великих краплях збільшується можливість проскоку аміаку.

Перевагами СНКВ є більш низькі витрати на обладнання ніж при СКВ, за рахунок відсутності каталізаторів та можливість застосування при різних видах палива. Оснащення цієї технології не потребує багато місця, тому її легко ремонтувати і встановлювати.

Недоліками є низький рівень очищення  $\text{NO}_x$ , що знаходиться в межах від 30% до 50% та неможливість використання у котлах з перемінним навантаженням.

					TK81.162.0003.154.ПЗ	Лист 7 126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



#### 7.4 Конструктивні характеристики котла, що впливають на утворення NO<sub>x</sub>

Несприятливі конструктивні фактори, що відповідають характеристикам котлів, які слугують утворенню NO<sub>x</sub>:

а) Високе теплове навантаження в камері згоряння (1,8 МВт/м<sup>3</sup>) з малим об'ємом або поверхнею теплопередачі.

б) Висока кількість вогнетривкого матеріалу в камері згоряння (до прикладу котли з сухим або напівсухим дном)

в) Використання підігрівачів повітря для відновлення тепла від продуктів згоряння, замість економайзерів.

Були розглянуті первинні і вторинні методи зниження викидів оксидів азоту з димовими газами, для парового котла E-70-4,3-435 ГМ, що може бути встановлений на промисловому підприємстві.

Аналізуючи режимні методи я обрала стадійну подачу повітря в топку і при її правильному застосуванні вона не збільшує споживання енергії на власні потреби енергоустановки і не дає будь-якого негативного ефекту на її експлуатацію. Цей метод часто застосовується разом з іншими первинними заходами. Саме тому я буду використовувати малотоксичні пальники. Вони не потребують видозміни компоновки котла і підтримують високу ефективність спалювання.

Селективне каталітичне відновлення, як вторинний метод очистки, має шкідливий вплив на навколишнє середовище і людину, потребує збільшення габаритів установок або додаткового місця при модернізації котла, що є великим ускладненням при застосуванні.

Селективне некаталітичне відновлення (СНКВ) також потребує значної перебудови конструкції газового тракту котлоагрегату, має вузький температурний інтервал процесу відновлення і є можливість проскакування аміаку в навколишнє середовище.

						TK81.162.0003.154.ПЗ	Лист 7 126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Впровадження таких заходів, як СНКВ і СКВ для зменшення викидів NOx у димових газах, часто може порушувати виробничий процес, мати негативні наслідки для роботи та призводити до значних капітальних витрат. Тому вторинні методи я обирати не буду.

Отже, у поєднанні обраних мною методів можна отримати достатню очистку димових газів від небажаних сполук NOx. Ці заходи мають низьку вартість у експлуатаванні, дають можливість працювати при змінному навантаженні котла і забезпечують збереження сталого ККД котла.

#### 7.5 Заключення та аналіз результатів

Дуже важливим завданням теплоенергетики є вирішення екологічних проблем, пов'язаних із зменшенням забруднення довкілля. Скорочення викидів оксидів азоту NOx у парових котлах є одним із питань, на які треба звертати увагу.

NOx котла, який майже повністю складається з оксиду азоту (NO), що надходить з димової труби у повітря, складає як правило, від 1% до 2% діоксиду азоту (NO<sub>2</sub>), був ретельно вивчений та проаналізований з метою розробки заходів контролю, які допомагають скоротити викиди при збереженні ККД (теплого) у промислових котельнях.

Завдяки цим дослідженням з'явилися нові спеціальні методи, які дають змогу знизити викиди забруднюючих речовин у нових промислових пальниках та котлах для теплових електростанцій.

Первинні методи дають змогу зменшити викиди оксидів азоту на початкових етапах їх утворення, за допомогою модернізації обладнання котла, пониження температур факела горіння, підготовки палива і повітря та їх стадійної подачі.

Вторинні методи знижують емісію NOx, які вже сформувалися. Такі технології можна застосовувати у комплексі з первинними методами, що дозволяє отримати більш якісне очищення димових газів. Вторинні заходи

					TK81.162.0003.154.ПЗ	Лист 126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



## ВИСНОВКИ

У бакалаврській роботі був проведений повірково-конструктивний розрахунок котла Е-75-4,3-435 ГМ з метою його проектування на основі серійного котла БКЗ-75-3,9-ГМА. На базі вхідних даних було виконано тепловий, теплогідравлічний, аеродинамічний розрахунки та розрахунок на міцність.

У повіркового теплового розрахунку з відомою конструкцією котла для роботи на природному газі я отримала певні значення температур води, пари, повітря та димових газів на межі окремих поверхонь нагріву. А також визначила витрату палива, пари, повітря, димових газів та їх швидкість.

Конструктивний тепловий розрахунок надав можливість отримати розміри топки та поверхонь котла для забезпечення найбільшої продуктивності роботи.

Результати повіркового та конструктивного розрахунків використовують для оцінки надійності та економічності роботи котельного агрегату, для вибору допоміжного обладнання і для проведення подальших розрахунків аеродинамічного, теплогідравлічного та розрахунків на міцність.

Теплогідравлічний розрахунок був проведений з метою перевірки циркуляційного контуру природної циркуляції на її перекидання чи застій.

В аеродинамічному розрахунку був визначений сумарний опір газового тракту котла, який склав 996,5 Па та сумарний опір повітряного тракту котла, який склав 1255 Па, а також підібрано димосос марки ДН-17 та вентилятор марки ВДН-17.

Був проведений розрахунок на міцність для перевірки барабану і екранних труб з заданими внутрішніми діаметрами, для визначення товщини стінок, для обґрунтування використання матеріалів виготовлення труб і барабану. А також було підібрано прокат для виготовлення опорної балки барабану.

						Лист 7 126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	TK81.162.0003.154.ПЗ	



СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Тепловой расчет котельных агрегатов (нормативный метод) /Под ред. Н.В.Кузнецова, В.В.Митора, И.Е.Дубовского, И.С.Карасиной. Изд. Третье, перераб. и доп. – Санкт-Петербург: НПО ЦКТИ-ВТИ, СПб, 1998. – 256 с.
2. Аэродинамический расчет котельных установок (нормативный метод) / Центральный н.-и. и проектно-конструкторский котлотурбинный ин-т им. И. И. Ползунова (ЦКТИ); Ред. С. И. Мочан . – 3-е изд . – Л. : Энергия, 1977. – 256 с.
3. Троянский, Е. А. Металлы котлостроения: расчет прочности деталей паровых котлов / Е.А. Троянский. - 2-е изд. - М.-Л. : Энергия, 1964. - 192 с.
4. Гидравлический расчет котельных агрегатов (нормативный метод) / Ред. С.И. Мочан – М.: Энергия, 1988. – 256 с.
5. Тепловой расчет котельного агрегата. Кафедральное учебное пособие (кафедра АЭС и ИТФ НТУУ “КПИ”) /Письменный Е.М., Дашкиев Ю.Г. – 1999 г.
6. НПАОП 0.00-1.08-94 «Правила будови та безпечної експлуатації парових та водогрійних котлів».
7. СНиП В-П-6-81. Электростанции тепловые. Нормы проектирования.
8. СНиП П-35-76 с дополнениями 85, 88, 94 г.г. Котельные установки. Нормы проектирования.
9. Правила улаштування електроустановок, вид. 3-тє, перероб. і доп. – Мінпаливенерго України, 2010. - 736с.
10. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, інфра- та ультра звуку.
11. Методические указания к разработке вопросов пожарной безопасности в дипломных проектах.-К.:КПИ, 1990.
12. НПАОП 0.00-1.76-15 «Правила безпеки систем газопостачання».
13. ДСТУ 7238:2011 Система стандартів безпеки праці. Засоби колективного захисту працюючих. Загальні вимоги та класифікація.

					TK81.162.0003.154.ПЗ	Лист m 126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

14. ДСТУ 7239:2011 Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація.

15. Технології зниження викиду оксидів азоту котлами потужних котельень і ТЕЦ. Доповідач д.т.н., проф. Сигал І.Я. інститут газу НАН України.

16. Методи зниження токсичних речовин в атмосферу [Електронний ресурс] : // Енциклопедія – Режим доступу до ресурсу: <http://energetika.in.ua/ru/books/152-entsiklopediya>.

17. НАЦІОНАЛЬНИЙ ПЛАН скорочення викидів від великих спалюваних установок від 8 листопада 2017.

18. Технологічні методи скорочення викидів оксидів азоту. Енякін Ю. П., доктор техн. наук, Котлер В. Р., канд. техн. наук, ВАТ ВТІ.

19. European Commission. Integrated Pollution Prevention and Control . Reference Document on Best Available Techniques for Large Combustion Plants July 2006 (Європейська комісія. Комплексне запобігання і контроль забруднення. Довідковий документ по найкращим доступним технологіям для великих установок для спалювання. Липень 2006).

20. Екологічна безпека технологічних процесів в галузі. Основи технології очищення викидних газів від NOx [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» / О. І. Янушевська, В. І. Супрунчук ; КПІ ім. Ігоря Сікорського.

21. Ривкин С.Л., Александров А.А. Термодинамические свойства воды и водяного пара: Справочник. / С.Л. Ривкин, А.А. Александров. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 80 с.

						TK81.162.0003.154.ПЗ	Лист 7 126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

## Совпадения

Источники из Интернета

287

34	<a href="http://www.ref.by/refs/88/0106154/1.html">http://www.ref.by/refs/88/0106154/1.html</a>	4 источника	2.81%
44	<a href="https://otherreferats.allbest.ru/manufacture/00208002_1.html">https://otherreferats.allbest.ru/manufacture/00208002_1.html</a>		0.69%
48	<a href="https://knowledge.allbest.ru/physics/3c0a65635a3bd69b4d53a88421206c27_0.html">https://knowledge.allbest.ru/physics/3c0a65635a3bd69b4d53a88421206c27_0.html</a>	9 источников	0.57%
51	<a href="https://mydocx.ru/6-126566.html">https://mydocx.ru/6-126566.html</a>		0.36%
54	<a href="https://elprivod.nmu.org.ua/files/modeling/%D0%A7%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D0%9C%D0%BE%D0%B4...">https://elprivod.nmu.org.ua/files/modeling/%D0%A7%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D0%9C%D0%BE%D0%B4...</a>		0.3%
55	<a href="https://nadoest.com/rozrahnok-vodyanogo-ekonomajzera-tablicya-18-rozrahnok-vodya">https://nadoest.com/rozrahnok-vodyanogo-ekonomajzera-tablicya-18-rozrahnok-vodya</a>		0.3%
56	<a href="http://kuroto.ath.cx/~hlds/cs/ingamedl/maps/kz_hideandseek1_b01.bsp">http://kuroto.ath.cx/~hlds/cs/ingamedl/maps/kz_hideandseek1_b01.bsp</a>	4 источника	0.29%
57	<a href="http://energetika.in.ua/ru/books/book-3/part-1/section-5/97-entsiklopediya/elektroenergetika-ta-okhrona-navkolishnogo-ser...">http://energetika.in.ua/ru/books/book-3/part-1/section-5/97-entsiklopediya/elektroenergetika-ta-okhrona-navkolishnogo-ser...</a>		0.29%
58	<a href="https://radfiz.org.ua/matoni/Microwave_ePosibnyk.pdf">https://radfiz.org.ua/matoni/Microwave_ePosibnyk.pdf</a>		0.29%
59	<a href="https://www.nbb.be/doc/ts/publications/nbbreport/2017/nl/t1/verslag2017_volledig.pdf">https://www.nbb.be/doc/ts/publications/nbbreport/2017/nl/t1/verslag2017_volledig.pdf</a>		0.29%
61	<a href="https://ami.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2013/10/Pi-224p.pdf">https://ami.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2013/10/Pi-224p.pdf</a>	14 источников	0.26%
62	<a href="http://www.apuntesmareaverde.org.es/grupos/mat/Bachillerato/Fotocopiable_Mat_II.pdf">http://www.apuntesmareaverde.org.es/grupos/mat/Bachillerato/Fotocopiable_Mat_II.pdf</a>	3 источника	0.26%
63	<a href="http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/30770/Reymundo_CA.pdf">http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/30770/Reymundo_CA.pdf</a>		0.25%
64	<a href="http://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/uss/5903/Alvarado%20Cruzado%20Jean%20Paul.pdf?isAllowed=y&amp;sequence=1">http://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/uss/5903/Alvarado%20Cruzado%20Jean%20Paul.pdf?isAllowed=y&amp;sequence=1</a>		0.25%
73	<a href="https://fis.bobrodobro.ru/8452">https://fis.bobrodobro.ru/8452</a>		0.16%
75	<a href="http://tef.kpi.ua/files/pdf/programa_fahovih_vstupnih_2016_1427608799.pdf">http://tef.kpi.ua/files/pdf/programa_fahovih_vstupnih_2016_1427608799.pdf</a>		0.14%
76	<a href="https://hdl.handle.net/11354/2908">https://hdl.handle.net/11354/2908</a>		0.14%
79	<a href="https://nadoest.com/rozrahnok-vodyanogo-ekonomajzera-10-1-rozrahnok-pershoyi-ste">https://nadoest.com/rozrahnok-vodyanogo-ekonomajzera-10-1-rozrahnok-pershoyi-ste</a>		0.14%
83	<a href="https://fis.bobrodobro.ru/8432">https://fis.bobrodobro.ru/8432</a>		0.13%
84	<a href="https://www.BiblioFond.ru/view.aspx?id=658349">https://www.BiblioFond.ru/view.aspx?id=658349</a>		0.13%
85	<a href="https://ukrbukva.net/page,2,111090-Teplovoiy-raschet-stacionarnogo-kotla.html">https://ukrbukva.net/page,2,111090-Teplovoiy-raschet-stacionarnogo-kotla.html</a>		0.13%
86	<a href="https://kodeksy.com.ua/norm_akt/source-%D0%9C%D1%96%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%...">https://kodeksy.com.ua/norm_akt/source-%D0%9C%D1%96%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%</a>	17 источников	0.13%



87	<a href="https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/tom_1.pdf">https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/tom_1.pdf</a>	6 источников	0.13%
89	<a href="https://dizw.com/wp-content/uploads/2021/04/Deutsche-internationale-Zeitschrift-f%C3%BCr-zeitgen%C3%B6ssis">https://dizw.com/wp-content/uploads/2021/04/Deutsche-internationale-Zeitschrift-f%C3%BCr-zeitgen%C3%B6ssis</a>	9 источников	0.12%
91	<a href="https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/27658/1/Vyrobnytstvo_tekhnolohichnoho_hazu.pdf">https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/27658/1/Vyrobnytstvo_tekhnolohichnoho_hazu.pdf</a>		0.11%
96	<a href="http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/52/1/Gidrogazodinamika_Bojko_2008.pdf">http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/52/1/Gidrogazodinamika_Bojko_2008.pdf</a>	2 источника	0.11%
97	<a href="http://mathem-kstuca.ucoz.ua/Liter/Master_math_ua.pdf">http://mathem-kstuca.ucoz.ua/Liter/Master_math_ua.pdf</a>	5 источников	0.11%
100	<a href="https://donntu.edu.ua/wp-content/uploads/2021/06/%D0%90%D0%9A%D0%A3-2018.pdf">https://donntu.edu.ua/wp-content/uploads/2021/06/%D0%90%D0%9A%D0%A3-2018.pdf</a>		0.1%
101	<a href="http://mrflip.com/resources/kol/CombatMechanics/BeanbatsHistograms.csv">http://mrflip.com/resources/kol/CombatMechanics/BeanbatsHistograms.csv</a>	3 источника	0.1%
102	<a href="https://otherreferats.allbest.ru/physics/00378280_0.html">https://otherreferats.allbest.ru/physics/00378280_0.html</a>	29 источников	0.1%
106	<a href="https://digitalcommons.fiu.edu/etd/549">https://digitalcommons.fiu.edu/etd/549</a>		0.1%
108	<a href="https://ied.org.ua/files/DFIG_Book_2020.pdf">https://ied.org.ua/files/DFIG_Book_2020.pdf</a>		0.1%
109	<a href="https://studfile.net/preview/9381854/page:12">https://studfile.net/preview/9381854/page:12</a>	3 источника	0.09%
110	<a href="http://um.co.ua/8/8-14/8-140510.html">http://um.co.ua/8/8-14/8-140510.html</a>		0.09%
112	<a href="https://indorsoft.ru/books/2002/SkvortsovAV-2002-01.Book(Trn).pdf">https://indorsoft.ru/books/2002/SkvortsovAV-2002-01.Book(Trn).pdf</a>		0.09%
116	<a href="http://base.dnsgb.com.ua/files/book/teplotehnika.pdf">http://base.dnsgb.com.ua/files/book/teplotehnika.pdf</a>		0.09%
117	<a href="http://repo.snau.edu.ua/bitstream/123456789/5827/1/%D0%BA%D1%80%D0%B5%D0%B2%D1%81%D1%83%D0%BD.pdf">http://repo.snau.edu.ua/bitstream/123456789/5827/1/%D0%BA%D1%80%D0%B5%D0%B2%D1%81%D1%83%D0%BD.pdf</a>		0.09%
118	<a href="http://theses.univ-lyon2.fr/documents/lyon2/2016/borjon_f/pdfAmont/borjon_f_these_udl.pdf">http://theses.univ-lyon2.fr/documents/lyon2/2016/borjon_f/pdfAmont/borjon_f_these_udl.pdf</a>		0.09%
120	<a href="https://c-stud.ru/work_html/look_full.html?id=78480&amp;razdel=69">https://c-stud.ru/work_html/look_full.html?id=78480&amp;razdel=69</a>		0.09%
121	<a href="https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293800/4293800792.pdf">https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293800/4293800792.pdf</a>		0.08%
124	<a href="https://ua.boell.org/sites/default/files/perehid_ukraini_na_vidnovlyvanu_energetiku_do_2050_roku.pdf">https://ua.boell.org/sites/default/files/perehid_ukraini_na_vidnovlyvanu_energetiku_do_2050_roku.pdf</a>		0.08%
125	<a href="https://nadoest.com/teplovij-rozrahunok-parooholodnika-kotla">https://nadoest.com/teplovij-rozrahunok-parooholodnika-kotla</a>		0.08%
131	<a href="http://www.dspace.puet.edu.ua/bitstream/123456789/8879/1/%D0%92%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%81...">http://www.dspace.puet.edu.ua/bitstream/123456789/8879/1/%D0%92%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%81...</a>		0.08%
133	<a href="https://eprints.kname.edu.ua/31142/1/%D0%9F%D0%B8%D0%A1%20%D0%A2%D0%93%D0%A3-127%D0%9C-2012-%D0%BF...">https://eprints.kname.edu.ua/31142/1/%D0%9F%D0%B8%D0%A1%20%D0%A2%D0%93%D0%A3-127%D0%9C-2012-%D0%BF...</a>		0.07%
134	<a href="http://soc-econom-region.univer.kharkov.ua/wp-content/uploads/2017/07/NiemetsSegidaNiemets_monograph.pdf">http://soc-econom-region.univer.kharkov.ua/wp-content/uploads/2017/07/NiemetsSegidaNiemets_monograph.pdf</a>		0.07%

135	<a href="https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u132/monografiya_titova.pdf">https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u132/monografiya_titova.pdf</a>	0.07%
136	<a href="https://revolution.allbest.ru/finance/00530049_0.html">https://revolution.allbest.ru/finance/00530049_0.html</a>	0.07%
137	<a href="https://env.teset.sumdu.edu.ua/doc/Prog-ONPS-Sumy-2011.pdf">https://env.teset.sumdu.edu.ua/doc/Prog-ONPS-Sumy-2011.pdf</a>	17 источников 0.07%
138	<a href="https://topuch.ru/anotaciya-diplom/index7.html">https://topuch.ru/anotaciya-diplom/index7.html</a>	4 источника 0.07%
139	<a href="https://eprints.kname.edu.ua/16028/1/2010_%D0%BF%D0%B5%D1%87.%D0%B2%D0%B0%D1%80.%D0%9C%D0%B5%D1%8...">https://eprints.kname.edu.ua/16028/1/2010_%D0%BF%D0%B5%D1%87.%D0%B2%D0%B0%D1%80.%D0%9C%D0%B5%D1%8...</a>	0.07%
140	<a href="http://samzan.net/34840">http://samzan.net/34840</a>	3 источника 0.07%
141	<a href="https://nmetau.edu.ua/file/17_gichov_yu.o_vtorinni_energoresursi_promislovih_pidpriemstv_chastina_i.pdf">https://nmetau.edu.ua/file/17_gichov_yu.o_vtorinni_energoresursi_promislovih_pidpriemstv_chastina_i.pdf</a>	8 источников 0.07%
142	<a href="http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/14829">http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/14829</a>	41 источник 0.07%
144	<a href="https://pandia.ru/text/79/525/28852-12.php">https://pandia.ru/text/79/525/28852-12.php</a>	Неприемлемый контент 0.06%
146	<a href="https://djuv.online/file/4fTKcZorl6l9v">https://djuv.online/file/4fTKcZorl6l9v</a>	9 источников 0.06%
149	<a href="http://onma.edu.ua/wp-content/uploads/2016/09/DyssMyhajenkoV.S..pdf">http://onma.edu.ua/wp-content/uploads/2016/09/DyssMyhajenkoV.S..pdf</a>	0.05%
157	<a href="https://knowledge.allbest.ru/manufacture/3c0b65635a2ad79b4c53a88521316d27_0.html">https://knowledge.allbest.ru/manufacture/3c0b65635a2ad79b4c53a88521316d27_0.html</a>	3 источника 0.05%
158	<a href="http://globalnauka.com/download/Termodynamika_Vasylenko.pdf">http://globalnauka.com/download/Termodynamika_Vasylenko.pdf</a>	3 источника 0.05%
159	<a href="https://stroitelstvo-gid.ru/otoplenie/teplovoj-raschet-kotelnyh-agregatov-normativnyj-metod-m-energiya-1973.html">https://stroitelstvo-gid.ru/otoplenie/teplovoj-raschet-kotelnyh-agregatov-normativnyj-metod-m-energiya-1973.html</a>	0.05%
160	<a href="http://bukvasha.ru/diplom/196883">http://bukvasha.ru/diplom/196883</a>	2 источника 0.04%
162	<a href="https://vunivere.ru/work26773/page2">https://vunivere.ru/work26773/page2</a>	0.04%
163	<a href="http://repo.unand.ac.id/13828/1/NASKAH%20LENGKAP%20PROSIDING%202017.pdf">http://repo.unand.ac.id/13828/1/NASKAH%20LENGKAP%20PROSIDING%202017.pdf</a>	6 источников 0.04%
168	<a href="https://assets.publishing.service.gov.uk/media/57a08d0740f0b652dd0016f4/R7815-ADD017_col.pdf">https://assets.publishing.service.gov.uk/media/57a08d0740f0b652dd0016f4/R7815-ADD017_col.pdf</a>	6 источников 0.04%
169	<a href="https://www.BiblioFond.ru/view.aspx?id=705906">https://www.BiblioFond.ru/view.aspx?id=705906</a>	2 источника 0.04%
171	<a href="https://profidom.com.ua/files/dstu_n_b_a_3_1-11-2008.doc">https://profidom.com.ua/files/dstu_n_b_a_3_1-11-2008.doc</a>	9 источников 0.04%
172	<a href="https://www.studmed.ru/dnaop-000-132-01-pravila-ustroystva-elektroustanovok-elektrooborudovanie-specialnyh-U">https://www.studmed.ru/dnaop-000-132-01-pravila-ustroystva-elektroustanovok-elektrooborudovanie-specialnyh-U</a>	5 источников 0.04%
173	<a href="https://mepr.gov.ua/files/docs/EkoMonitoring/2021/regional/%D0%A0%D0%B5%D0%B3%D1%96%D0%BE%D0%BD%D0%B0%...">https://mepr.gov.ua/files/docs/EkoMonitoring/2021/regional/%D0%A0%D0%B5%D0%B3%D1%96%D0%BE%D0%BD%D0%B0%...</a>	0.04%
174	<a href="https://library.sspu.edu.ua/wp-content/uploads/2018/04/Moroz_Osnovy.pdf">https://library.sspu.edu.ua/wp-content/uploads/2018/04/Moroz_Osnovy.pdf</a>	0.04%

177	<a href="https://ukrbukva.net/page,6,19672-Raschet-teplovogo-balansa-parovogo-kotla.html">https://ukrbukva.net/page,6,19672-Raschet-teplovogo-balansa-parovogo-kotla.html</a>	0.04%
178	<a href="https://www.vnmu.edu.ua/downloads/other/diser_tymkiv.pdf">https://www.vnmu.edu.ua/downloads/other/diser_tymkiv.pdf</a>	0.04%
179	<a href="http://ua.textreferat.com/referat-1147-14.html">http://ua.textreferat.com/referat-1147-14.html</a>	0.04%
180	<a href="https://studopedia.ru/21_54693_teplovoy-raschet-kotla-utilizatora.html">https://studopedia.ru/21_54693_teplovoy-raschet-kotla-utilizatora.html</a>	2 Источника 0.04%
181	<a href="https://msn.khnu.km.ua/pluginfile.php/189722/mod_resource/content/5/%D0%9F%D1%80%D0%B0%D0%BA%D1%82%20D...">https://msn.khnu.km.ua/pluginfile.php/189722/mod_resource/content/5/%D0%9F%D1%80%D0%B0%D0%BA%D1%82%20D...</a>	0.04%
182	<a href="https://cdn.gdz4you.com/files/books/52/a7ffea3d1d7e5833bf21790170fa7cd03193a44b.pdf">https://cdn.gdz4you.com/files/books/52/a7ffea3d1d7e5833bf21790170fa7cd03193a44b.pdf</a>	2 Источника 0.04%
183	<a href="http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=77080">http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=77080</a>	11 Источников 0.04%
184	<a href="http://agro.vobu.ua/wp-content/uploads/2020/09/pravylya-ohorony-praci.pdf">http://agro.vobu.ua/wp-content/uploads/2020/09/pravylya-ohorony-praci.pdf</a>	0.04%

Источники из Библиотеки

653

1	TK51-Potapenko-diploma-2019	ID файла: 1000073379	Учебное заведение: National Technical Universit	149 Источник	19.4%
2	TK51-Bunda-diploma-2019	ID файла: 1000054049	Учебное заведение: National Technical University of U	4 Источник	16.4%
3	TK51-BikovEB-diploma-2019	ID файла: 1000051036	Учебное заведение: National Technical University of	13 Источник	15.2%
4	TK51-Konderov-diploma-2019	ID файла: 1000054028	Учебное заведение: National Technical University	24 Источник	13.7%
5	TK51-Paliychuk-diploma-2019	ID файла: 1000093370	Учебное заведение: National Technical University of Ukrain...		13.6%
6	TK41-Vasiliev-diploma-2018	ID файла: 6025164	Учебное заведение: National Technical University of Uk	28 Источник	12.8%
7	TK41-Ryabtsun-diploma-2018	ID файла: 5969287	Учебное заведение: National Technical University of U	2 Источник	12.8%
8	TK41-Dorosh-diploma-2018	ID файла: 6024776	Учебное заведение: National Technical University of Ukraine "Kyiv...		11.3%
9	TK51-Kvasun-diploma-2019	ID файла: 1000095692	Учебное заведение: National Technical University of	25 Источник	11.3%
10	TK51-LohvyniukMO-diploma-2019	ID файла: 1000050964	Учебное заведение: National Technical Universit	2 Источник	10.8%
11	TK41-Ovcharenko-diploma-2018	ID файла: 5953557	Учебное заведение: National Technical University of Ukraine...		10.3%
12	TK51-Sharov-diploma-2019	ID файла: 1000093369	Учебное заведение: National Technical University of Ukraine "K...		10.2%
13	TK41-Sushkov-diploma-2018	ID файла: 6023322	Учебное заведение: National Technical University of Ukraine "Ky...		9.51%
14	TK51-BanahIS-diploma-2019	ID файла: 1000054032	Учебное заведение: National Technical University of I	4 Источник	7.95%
15	TK51-YevhrafovHO-diploma2-2019	ID файла: 1000077733	Учебное заведение: National Technical Unive	11 Источник	7.49%

16	TK41-Stepanskiy-diploma-2018	ID файла: 5953599	Учебное заведение: National Technical University of	26 Источник	7.35%
17	Tk71mp-KuchinskaIM-thesis-2018	ID файла: 8414306	Учебное заведение: National Technical University	2 Источник	6.47%
18	TK41-Dyachenko-diploma-2018	ID файла: 5958944	Учебное заведение: National Technical University of Ukraine "...		6.2%
19	TK41-NedilkoAV-diploma-2018	ID файла: 5947537	Учебное заведение: National Technical University of Ukraine "...		6.18%
20	TK41-Kuzmich-diploma-2018	ID файла: 6031512	Учебное заведение: National Technical University of Uk	2 Источник	5.71%
21	TK81mp-OvcharenkoYeS-thesis-2019-2	ID файла: 1000782492	Учебное заведение: National Technical University o...		5.49%
22	TK-01mp-KolibabaMV-diploma-2021	ID файла: 1009689679	Учебное заведение: National Technical University of U...		5.32%
23	TK41-Poturai-diploma-2018	ID файла: 6003734	Учебное заведение: National Technical University of Ukraine "Kyj...		5.25%
24	TK71mp-TsibrovskiiOV-thesis-2018.pdf	ID файла: 8318094	Учебное заведение: National Technical University of U...		4.84%
25	Tk71mp-OleshkoPO-thesis-2018	ID файла: 8414261	Учебное заведение: National Technical University of	7 Источник	4.67%
26	TK51-Kotyash-diploma-2019	ID файла: 1000094029	Учебное заведение: National Technical University of Ukraine ...		4.4%
27	TK41-Kovalov-diploma-2018	ID файла: 6003285	Учебное заведение: National Technical University of Uk	10 Источник	3.96%
28	TK81mp-Dorosh-diploma-2019	ID файла: 1000807465	Учебное заведение: National Technical University of Ukrain...		3.94%
29	TK41-RevkoV-diploma-2018	ID файла: 6023326	Учебное заведение: National Technical University of Ukraine "Kyj...		3.63%
30	TK71mp-KolodinSV-thesis-2018	ID файла: 8558723	Учебное заведение: National Technical University of Ukraine "...		3.56%
31	TK41-Kulesh-diploma-2018	ID файла: 6002754	Учебное заведение: National Technical University of Ukraine "Kyiv...		3.38%
32	TK81mp-Vasiliev-diploma-2019	ID файла: 1000800646	Учебное заведение: National Technical University of Ukrain...		3.37%
33	TK81mp-NedilkoAV-diploma-2019	ID файла: 1000749584	Учебное заведение: National Technical University of Ukr...		2.9%
35	TK41-Broi-diploma-2018	ID файла: 5989178	Учебное заведение: National Technical University of Ukraine "Kyiv Po...		2.3%
36	TK81mp-KuleshN-diploma-2019	ID файла: 1000800645	Учебное заведение: National Technical University of Ukra...		2.06%
37	TE-61-1-Ivchuk-diploma-2020-mod	ID файла: 1004102264	Учебное заведение: National Technical University of Uk...		1.36%
38	TK71mp-ProkopenkoSM-thesis-2018	ID файла: 8371472	Учебное заведение: National Technical University of Ukra...		1.32%
39	TK01mp_PivtoratskyiVV_diploma_2021	ID файла: 1009672120	Учебное заведение: National Technical University o...		1.2%

40	TK81mp-DiachenkoMP-diploma-2019-1	ID файла: 1000751246	Учебное заведение: National Technical University o...	1.09%
41	TK91mp-BykovEB-thesis-2020	ID файла: 1005687809	Учебное заведение: National Technical University of Ukrain...	0.96%
42	Методичка ДЕ_last_ver	ID файла: 1007705653	Учебное заведение: National Technical University of Ukraine "К...	0.81%
43	TK-p81-ButokA-diploma-2021	ID файла: 1008178774	Учебное заведение: National Technical University of Ukraine...	0.8%
45	TK01mp-SobkoLV-diploma-2021	ID файла: 1009652118	Учебное заведение: National Technical University of Ukra...	0.68%
46	TK91mp-BanahIS-thesis-2020	ID файла: 1005687808	Учебное заведение: National Technical University of Ukraine...	0.62%
47	TK81mp-Revko-diploma-2019	ID файла: 1000773488	Учебное заведение: National Technical University of Ukraine...	0.61%
49	TK81mp-KovaliovVO-diploma-2019-2	ID файла: 1000773489	Учебное заведение: National Technical University of U...	0.52%
50	CFD-модельювання	ID файла: 1006617209	Учебное заведение: National Technical University of Ukraine "Kyiv P...	0.45%
52	TK81mp-Ryabtsun-diploma-2019	ID файла: 1000773487	Учебное заведение: National Technical University of Ukra...	0.31%
53	[2020] Розрахунок топки 1	ID файла: 1001139749	Учебное заведение: National Technical University of U... <a href="#">2 Источник</a>	0.3%
60	Студенческая работа	ID файла: 1000016886	Учебное заведение: Zhytomyr National Agroecological University	0.27%
65	Клименко ТС-п71	ID файла: 1003272990	Учебное заведение: National Technical University of Ukraine "Kyiv Po...	0.23%
66	Yushkevich_mag_2019	ID файла: 1000802810	Учебное заведение: National Technical University of Ukraine "Kyiv ...	0.23%
67	Студенческая работа	ID файла: 1037484	Учебное заведение: Lviv Polytechnic National University	0.2%
68	TK91mp-Konderov-thesis-2020	ID файла: 1005658306	Учебное заведение: National Technical University of Ukrain...	0.18%
69	Студенческая работа	ID файла: 1000045647	Учебное заведение: Lviv Polytechnic National Universit... <a href="#">13 Источник</a>	0.18%
70	Студенческая работа	ID файла: 1000088538	Учебное заведение: National University of Water Management a...	0.18%
71	TE-61-1-Kolibaba-diploma-2020-mod	ID файла: 1004122637	Учебное заведение: National Technical University of U...	0.18%
72	TK71mp-BaidalV-thesis-2018	ID файла: 8344369	Учебное заведение: National Technical University of Ukraine "Ку...	0.16%
74	Студенческая работа	ID файла: 10775999	Учебное заведение: Lviv Polytechnic National University <a href="#">13 Источник</a>	0.16%
77	Студенческая работа	ID файла: 1000760089	Учебное заведение: National University of Water Management a...	0.14%
78	Студенческая работа	ID файла: 1922466	Учебное заведение: Lviv Polytechnic National University	0.14%

80	Кравчук ТС-71	ID файла: 1008345326	Учебное заведение: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polyte...	0.14%
81	Студенческая работа	ID файла: 1000035457	Учебное заведение: Lviv Polytechnic National University	0.14%
82	Студенческая работа	ID файла: 1000431137	Учебное заведение: Lviv Polytechnic National University	0.13%
88	Овчаренко ЗС-01мп	ID файла: 1009713734	Учебное заведение: National Technical University of Ukra <a href="#">40 Источник</a>	0.13%
90	Студенческая работа	ID файла: 1000800871	Учебное заведение: Poltava National Technical Yuri Kondratyuk ...	0.12%
92	Студенческая работа	ID файла: 2059421	Учебное заведение: National University of Water Managem <a href="#">3 Источник</a>	0.11%
93	Студенческая работа	ID файла: 1008352622	Учебное заведение: National University of Water Mana <a href="#">2 Источник</a>	0.11%
94	TF51-DatsenkoOO-diploma-2019	ID файла: 1000054852	Учебное заведение: National Technical Universi <a href="#">18 Источник</a>	0.11%
95	Екологічна безпека технологічних процесів в галузі	ID файла: 1007575413	Учебное заведение: National T...	0.11%
98	Виробництво аміаку і метанолу_посібник_2021	ID файла: 1007671850	Учебное заведение: Nation <a href="#">28 Источник</a>	0.11%
99	Студенческая работа	ID файла: 1085530	Учебное заведение: Lviv Polytechnic National University <a href="#">4 Источник</a>	0.11%
103	Студенческая работа	ID файла: 1005717018	Учебное заведение: National University of Water Mana <a href="#">4 Источник</a>	0.1%
104	Студенческая работа	ID файла: 5984466	Учебное заведение: Lviv Polytechnic National University	0.1%
105	Студенческая работа	ID файла: 3540258	Учебное заведение: Lviv Polytechnic National University <a href="#">3 Источник</a>	0.1%
107	Студенческая работа	ID файла: 4218549	Учебное заведение: National University of Water Managem <a href="#">17 Источник</a>	0.1%
111	Студенческая работа	ID файла: 106812	Учебное заведение: Lviv Polytechnic National University	0.09%
113	Студенческая работа	ID файла: 6000133	Учебное заведение: National University of Water Management and ...	0.09%
114	Студенческая работа	ID файла: 1000024533	Учебное заведение: Lviv Polytechnic National Universit <a href="#">6 Источник</a>	0.09%
115	Студенческая работа	ID файла: 1003765456	Учебное заведение: Donetsk National Technical University	0.09%
119	Качківський ТС -71	ID файла: 1008069794	Учебное заведение: National Technical University of Ukraine "Kyiv P...	0.09%
122	Студенческая работа	ID файла: 1000020304	Учебное заведение: Lviv Polytechnic National Universit <a href="#">7 Источник</a>	0.08%
123	TE-61-1-Sobko-diploma-2020-mod	ID файла: 1004121803	Учебное заведение: National Technical University of Ukr...	0.08%
126	Студенческая работа	ID файла: 12193689	Учебное заведение: National University of Water Management and...	0.08%

127	Студенческая работа	ID файла: 1000780561	Учебное заведение: Poltava National Technical Yuri Ko	19 Источник	0.08%
128	Диплом_Ханко	ID файла: 1000024417	Учебное заведение: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polyt...		0.08%
129	Студенческая работа	ID файла: 1037569	Учебное заведение: Lviv Polytechnic National University	2 Источник	0.08%
130	Студенческая работа	ID файла: 1002547093	Учебное заведение: National University of Water Mana	2 Источник	0.08%
132	Студенческая работа	ID файла: 8237000	Учебное заведение: Lviv Polytechnic National University		0.07%
143	Рязанцев І Б	ID файла: 1000095363	Учебное заведение: National Technical University of Ukraine "Ky	13 Источник	0.06%
145	English for Future Chemists	ID файла: 1003209088	Учебное заведение: National Technical University of Ukraine ...		0.06%
147	Студенческая работа	ID файла: 1999837	Учебное заведение: Lviv Polytechnic National University	2 Источник	0.06%
148	Студенческая работа	ID файла: 1007947107	Учебное заведение: Vasyl Stus Donetsk National Univer	2 Источник	0.06%
150	Фізико-хімічні методи очищення води_1	ID файла: 1010179731	Учебное заведение: National Tech	4 Источник	0.05%
151	Студенческая работа	ID файла: 3681575	Учебное заведение: Vasyl Stus Donetsk National Universit	16 Источник	0.05%
152	Студенческая работа	ID файла: 1001710834	Учебное заведение: National University of Water Mana	5 Источник	0.05%
153	Лопушанська	ID файла: 1008330953	Учебное заведение: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polyte...		0.05%
154	Термотехнологічні процеси та установкy	ID файла: 1009800937	Учебное заведение: National Technical Univer...		0.05%
155	Студенческая работа	ID файла: 50716	Учебное заведение: Lviv Polytechnic National University		0.05%
156	Студенческая работа	ID файла: 1004638435	Учебное заведение: National University of Life and Environment...		0.05%
161	YurchenkoRO_TM72_bakalavr_2021	ID файла: 1008251796	Учебное заведение: National Technical Univer	9 Источник	0.04%
164	Студенческая работа	ID файла: 5659025	Учебное заведение: Lviv Polytechnic National University	6 Источник	0.04%
165	Студенческая работа	ID файла: 1009901338	Учебное заведение: Zhytomyr National Agroecological	17 Источник	0.04%
166	Студенческая работа	ID файла: 1900592	Учебное заведение: Lviv Polytechnic National University	3 Источник	0.04%
167	Теплообмінні апарати та теплоносії	ID файла: 1009736304	Учебное заведение: National Technical Universit...		0.04%
170	Студенческая работа	ID файла: 2016775	Учебное заведение: Lviv Polytechnic National University	2 Источник	0.04%
175	Студенческая работа	ID файла: 2980624	Учебное заведение: Lviv Polytechnic National University		0.04%

176 Студенческая работа ID файла: 1005777285 Учебное заведение: Poltava National Technical Yuri Ko [16 Источник](#) 0.04%

185 Студенческая работа ID файла: 12137199 Учебное заведение: Yuriy Fedkovych Chernivtsi National I. [2 Источник](#) 0.04%