



ОАО
"Машиностроительный
завод "ЗИО-ПОДОЛЬСК"



ОАО
"Инжиниринговая
компания "ЗИОМАР"



Год основания - 1919



Дипломный проект

Котёл-утилизатор Пр-11-0,9-200

Студент: Воронин А.С.

Группа: С-01-10

Научный руководитель: Супранов В.М.

Введение

- На сегодняшний день одним из самых перспективных направлений в генерации тепловой и электрической энергии является строительство парогазовых установок. Они имеют ряд преимуществ, таких как: значительно более высокий КПД, меньшие эксплуатационные издержки по сравнению с издержками пылеугольной ТЭС, сроки строительства и ввода в эксплуатацию короче, чем сроки строительства мощных тепловых электростанций других типов.

Котёл-утилизатор Пр-11-0,9-200

Целью работы является разработка замещающего котла-утилизатора, с принудительной циркуляцией в испарительных контурах, вертикальной компоновки, с горизонтальным расположением поверхностей нагрева.

Работа включает в себя следующие разделы:

1. Теплогидравлический расчет на номинальной и частичных нагрузках при разной температуре окружающей среды;
2. Прочностной расчет барабана давления;
3. Расчёт срока окупаемости замещающего котла;
4. Исследование экологических показателей работы ГТУ;
5. Спецчасть: Аэродинамический расчёт;

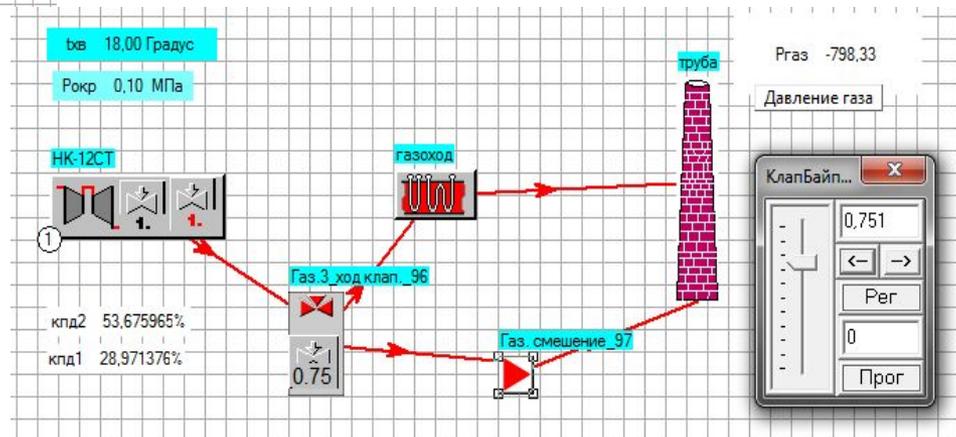
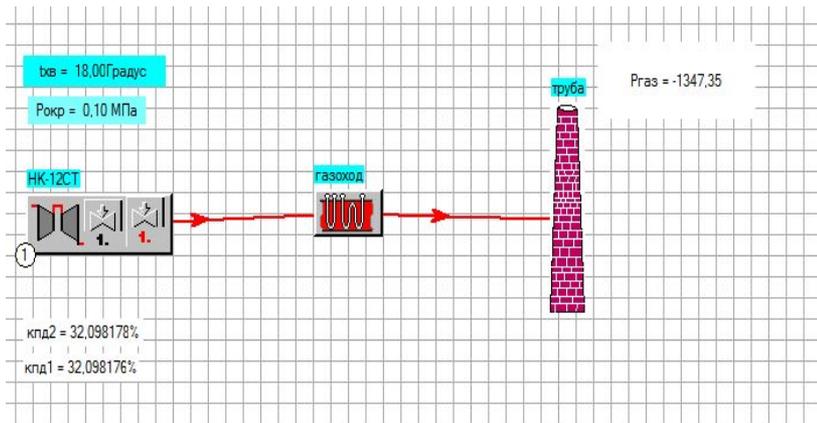
Котёл-утилизатор Пр-11-0,9-200

При проведении работ по проекту было сделано следующее:

- Проанализирована конструкция, схема, параметры выдаваемого пара, а также проблемы существующего котла.
- Были выявлены существующие ограничения, которые необходимо учитывать при разработке замещающего котла.

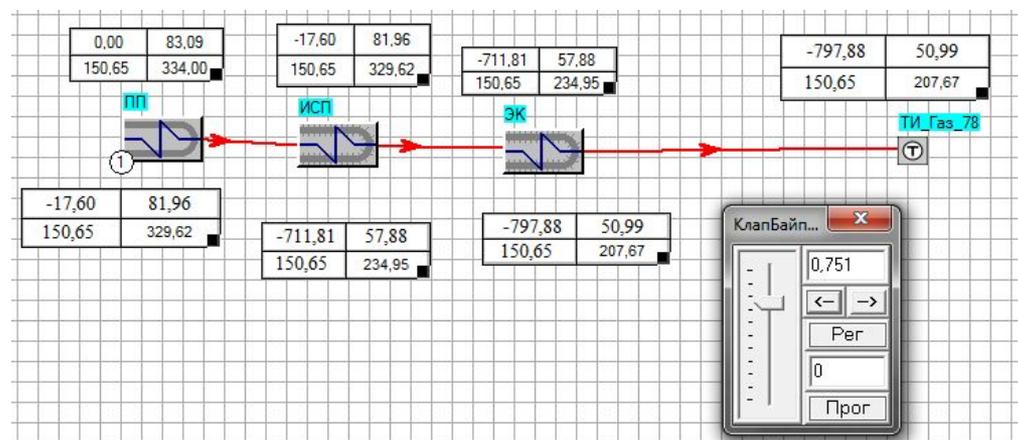
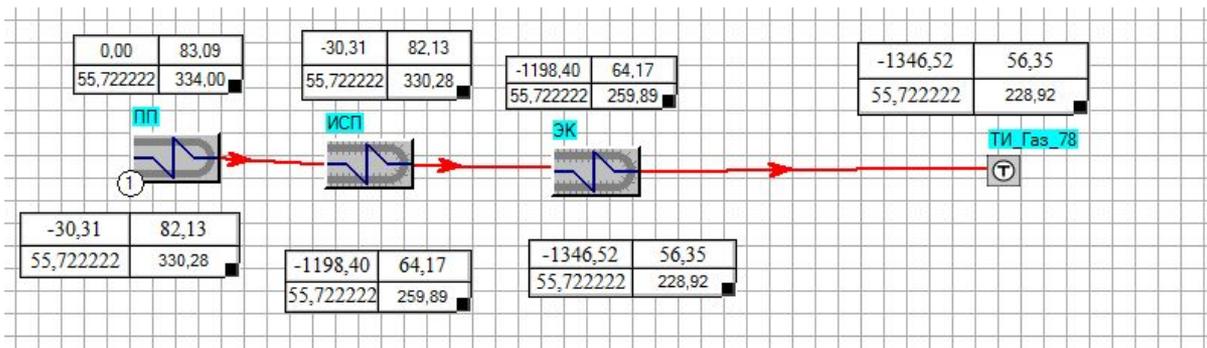
Анализ конструкции существующего котла





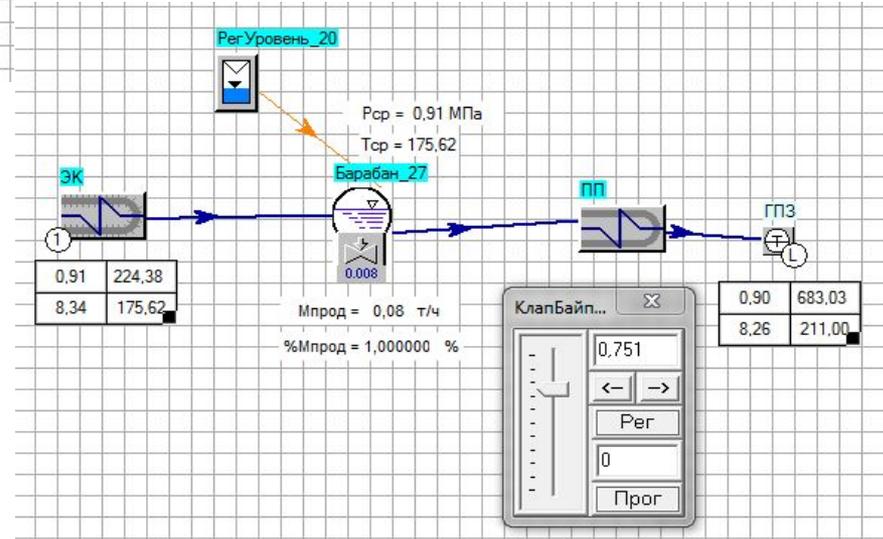
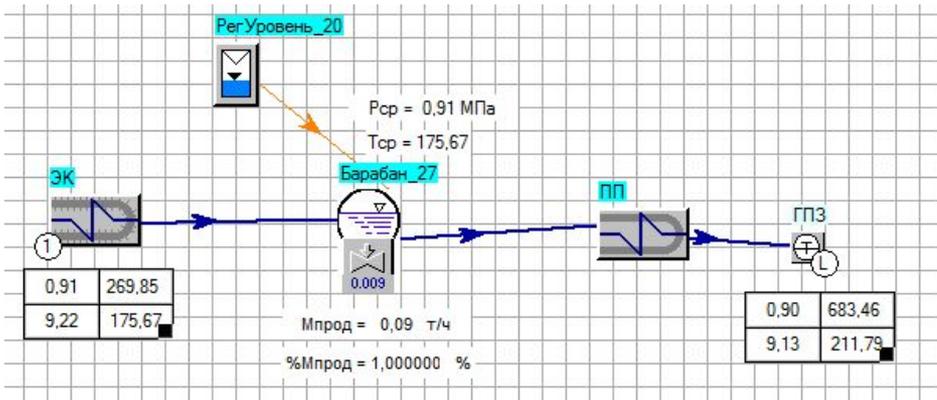
Котёл-утилизатор Пр-11-0,9-200

Принципиальная схема существующего котла



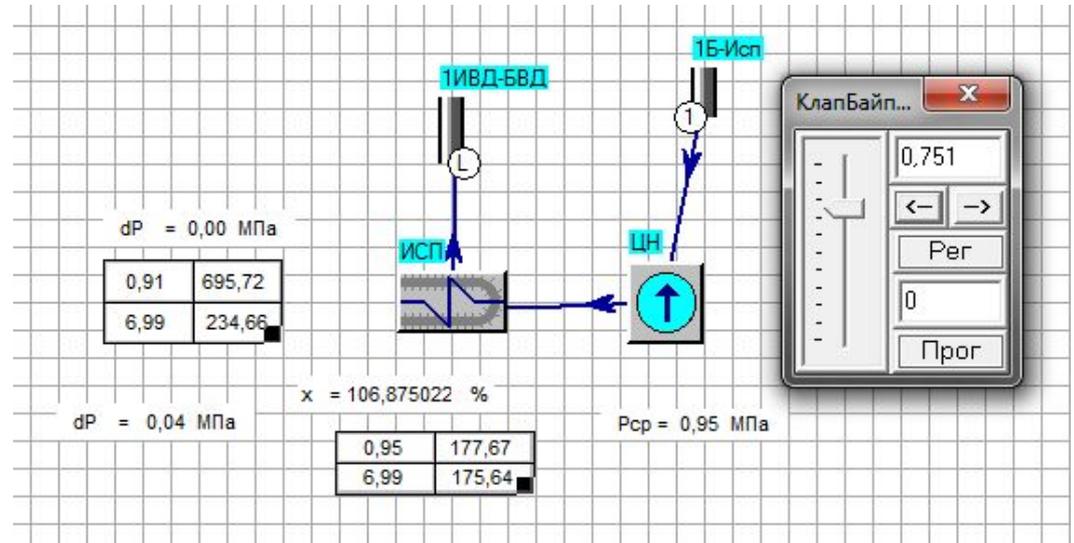
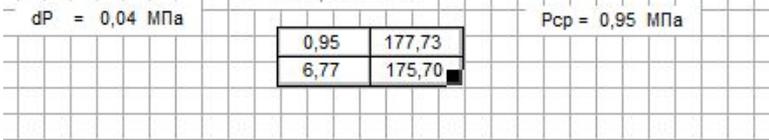
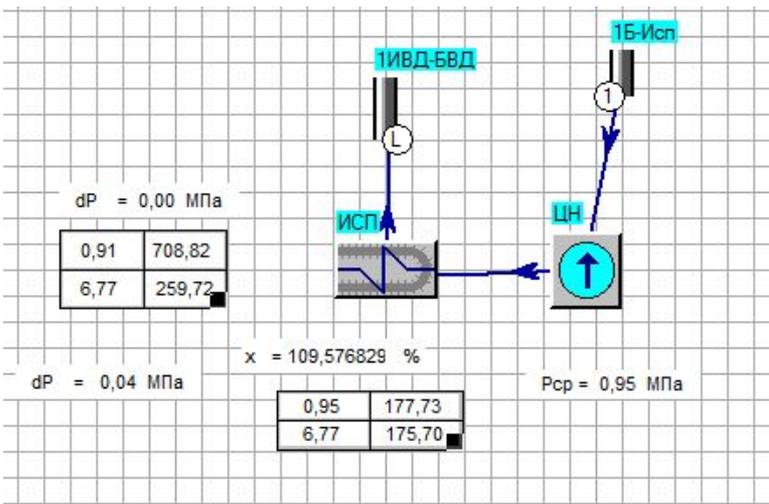
Котёл-утилизатор Пр-11-0,9-200

Принципиальная схема существующего котла



Котёл-утилизатор Пр-11-0,9-200

Принципиальная схема существующего котла



Котёл-утилизатор Пр-11-0,9-200

Принципиальная схема существующего котла

Анализ конструкции существующего котла

СВОДНАЯ ВЕДОМОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ
КОТЛА КГТ-11/0,9-200 зав.№026480

№№	Наименование величины	Способ определен.	Размерность			Нагрузка						
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	Число оборотов ГПА (тгк)	измер.	об.мкм.	7960	7990	8010	8200	8400				
2	Положение заслонки обводного газохода	«	открыто на %	0	100	100	100	100				
Продукты сгорания на входе в котел												
3	Температура газов	измер.	°C	333	327	334	353	354				
4	Содержание в газах O ₂	«	%	18,2	18,3	18,3	18,0	18,1				
5	« « CO ₂	«	%	1,6	1,5	1,5	1,7	1,6				
6	« « CO	«	%	0,0155	0,0164	0,0158	0,012	0,012				
7	« « NO	«	%	0,0017	0,001	0,0017	0,0031	0,003				
8	« « N ₂	«	%	80,18	80,18	80,19	80,28	80,28				
9	Коэффициент избытка воздуха	«	%	6,81	7,03	6,97	6,36	6,43				
10	Давление газов (статическое)	«	КПа	0,724	0,507	0,541	0,60	0,78				
11	Давление газов (полное)	«	КПа	0,785	0,56	0,597	0,661	0,852				
12	Давление газов (динамическое)	«	КПа	0,061	0,053	0,056	0,061	0,072				
13	Плотность газов	«	кг/м ³	0,581	0,588	0,581	0,566	0,565				
14	Скорость газов	«	м/с	4,64	4,29	4,39	4,68	5,1				
15	Площадь поперечного сечения газохода	«	м ²	7,86	7,86	7,86	7,86	7,86				
16	Объем газов	«	м ³ /с	36,47	33,71	34,54	36,8	40,1				
17	Массовый расход газов	«	кг/с	46,32	42,84	43,86	46,34	50,83				
18	Средняя удельная объемная теплотемкость	«	ккал/м ³ °C	0,319	0,318	0,319	0,319	0,319				
19	Теплоемкость газов	«	Гкал/м ³ °C	13,95	12,62	13,25	14,83	16,3				
Продукты сгорания на выходе из котла												
20	Температура газов	измерен.	°C	230	221	223	233	234				
21	Содержание в газах O ₂	«	%	18,2	18,4	18,3	18,0	18,1				
22	« « CO ₂	«	%	1,6	1,5	1,5	1,7	1,6				
23	« « CO	«	%	0,0158	0,016	0,0158	0,0113	0,0118				
24	« « NO	«	%	0,0012	0,006	0,0017	0,003	0,0021				
25	« « N ₂	«	%	80,18	80,08	80,19	80,28	80,28				
26	Коэффициент избытка воздуха	«	%	6,83	7,22	6,97	6,36	6,49				
27	Давление газов (статическое)	«	КПа	-0,042	-0,015	-0,021	-0,043	-0,031				
28	Давление газов (полное)	«	КПа	0,005	0,026	0,063	0,088	0,084				
29	Давление газов (динамическое)	«	КПа	0,047	0,041	0,042	0,045	0,053				
30	Плотность газов	«	кг/м ³	0,699	0,71	0,707	0,698	0,698				
31	Скорость газов	«	м/с	3,7	3,59	3,45	3,62	3,95				
32	Площадь поперечного сечения газохода	«	м ²	8,23	8,23	8,23	8,23	8,23				
33	Объем газов	«	м ³ /с	30,45	27,9	28,4	29,8	32,5				
34	Массовый расход газов	«	кг/с	46,32	42,81	43,86	46,34	50,83				
35	Средняя удельная объемная теплотемкость	«	ккал/м ³ °C	0,315	0,315	0,315	0,315	0,315				
36	Теплоемкость газов	«	Гкал/м ³ °C	7,94	6,99	7,18	7,87	8,62				
Продукты сгорания в обводном газоходе												
37	Температура газов	измер.	°C	277	326	331	347	349				
38	Содержание в газах O ₂	«	%	18,1	18,3	18,2	18,1	18,0				
39	« « CO ₂	«	%	1,6	1,5	1,6	1,5	1,7				
40	« « CO	«	%	0,016	0,0168	0,014	0,0116	0,0129				
41	« « NO	«	%	0,0016	0,0017	0,002	0,0031	0,0033				
42	« « N ₂	«	%	80,28	80,18	80,18	80,28	80,28				
43	Коэффициент избытка воздуха	«	%	6,64	7,0	6,81	6,55	6,35				
44	Давление газов (статическое)	«	КПа	-0,007	-0,033	-0,020	-0,024	-0,12				
45	Давление газов (полное)	«	КПа	0,089	0,364	0,383	0,506	0,45				
46	Давление газов (динамическое)	«	КПа	0,006	0,297	0,403	0,53	0,57				
47	Скорость газов	«	м/с	5,8	11,8	11,9	13,8	14,3				
48	Плотность газов	«	кг/м ³	0,581	0,581	0,581	0,567	0,567				
49	Объем газов	«	м ³ /с	3,69	7,53	7,59	8,8	9,1				
50	Массовый расход газов	«	кг/с	4,64	9,56	9,64	11,0	11,55				
51	Теплоемкость газов	«	Гкал/м ³ °C	1,17	2,81	2,88	3,5	3,63				
Продукты сгорания в котле												
52	Температура газа за пароперегревателем	измерение	°C	275	268	270	285	290				

1	2	3	4	5	6	7	8	9
53.	Давление газов за пароперегревателем	измерение	КПа	0,37	0,2	0,2	0,24	0,25
54.	Температура газа за испарителем	«	°C	242	240	240	245	250
55.	Давление газов за испарителем	«	КПа	0,07	0,06	0,06	0,09	0,08
56.	Перепад давления газов на котле	«	КПа	0,77	0,52	0,52	0,56	0,75
Параметры питательной и котловой воды, пара в котле.								
57.	Давление питательной воды	измерение	кг/см ²	11,2	11,4	11,5	11,5	11,5
58.	Температура питательной воды	«	°C	104	102	105	110	106
59.	Расход питательной воды	«	т/час	9,2	8,06	8,35	9,49	10,66
60.	Тем-ра котловой воды после экономайзера	«	°C	159	161	160	162	158
61.	Тем-ра циркуляционной котловой воды	«	°C	175	175	175	175	175
62.	Давление пара в барабане котла	«	кг/см ²	7,4	7,2	7,2	7,4	7,4
Параметры перегретого пара								
63.	Температура перегретого пара	измерение	°C	222	222	222	224	227
64.	Давление перегретого пара	«	кг/см ²	7,1	7,0	7,0	7,2	7,2
65.	Расход перегретого пара	«	т/час	9,2	7,91	8,35	9,49	10,66
Технико-экономические показатели работы котла								
66.	Полезно-используемая теплота на получение пара	«	Гкал/час	5,3	4,67	4,89	5,47	6,28
67.	Потери в окружающую среду	«	%	0,71	0,96	1,18	1,49	1,4
68.	Потери с уходящими газами	«	%	7,94	6,99	7,18	7,87	8,62
69.	Плоты газов на входе в котел	«	%	13,95	12,62	13,25	14,83	16,3
70.	КПД котла	«	%	38	37	36,9	37	38,5
71.	Потери тепла с газами через обводной газоход	«	Гкал/час	1,17	2,81	2,88	3,5	3,63
Параметры ТГ								
72.	Давление пара перед соплом	измерение	кг/см ²	3,8	3,7	4,5	4,8	4,5
73.	Давление отработавшего пара	«	кг/см ²	0,05	0,16	0,36	0,85	0,18
74.	Активная электрическая мощность	«	МВт	0,31	0,3	0,34	0,3	0,44
Параметры наружного воздуха								
75.	Температура наружного воздуха	измерение	°C	5	18	20	26	5

В результате анализа расчётной схемы было подтверждено то, что существующий котёл не обеспечивает необходимые параметры пара при требуемом уровне аэродинамического сопротивления, что говорит о необходимости проведения работ по улучшению компоновки поверхностей нагрева с целью достижения необходимых параметров пара при максимально возможном снижении уровня аэродинамического сопротивления. Данные расчётной схемы совпадают с данными, полученными из сводной ведомости испытаний, проведённых на Чаплыгинской КС.

ИНЖЕНЕР-ТЕПЛОТЕХНИК «ГАЗТЕПЛОМОНТАЖ-3»

(СОЛУЯНОВ Ю.В.)



существующего котла. Результаты расчётов.

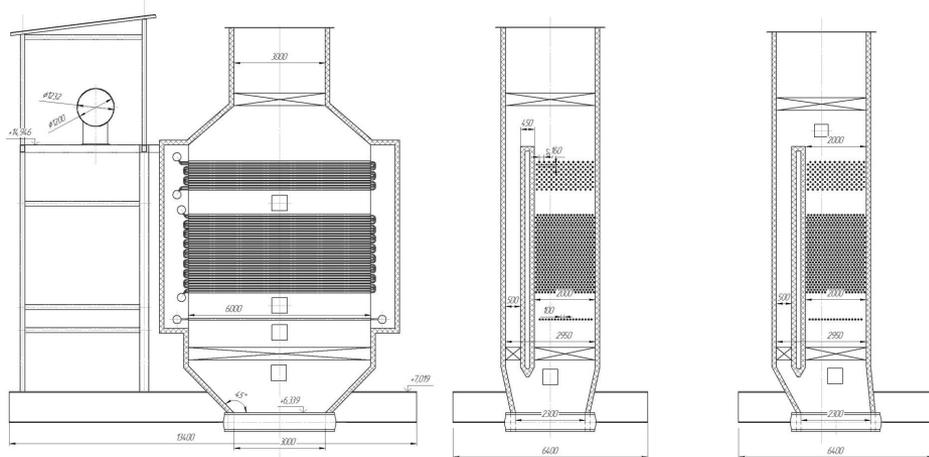
Характеристики котла без байпасирования газов

Характеристики котла с байпасированием газов

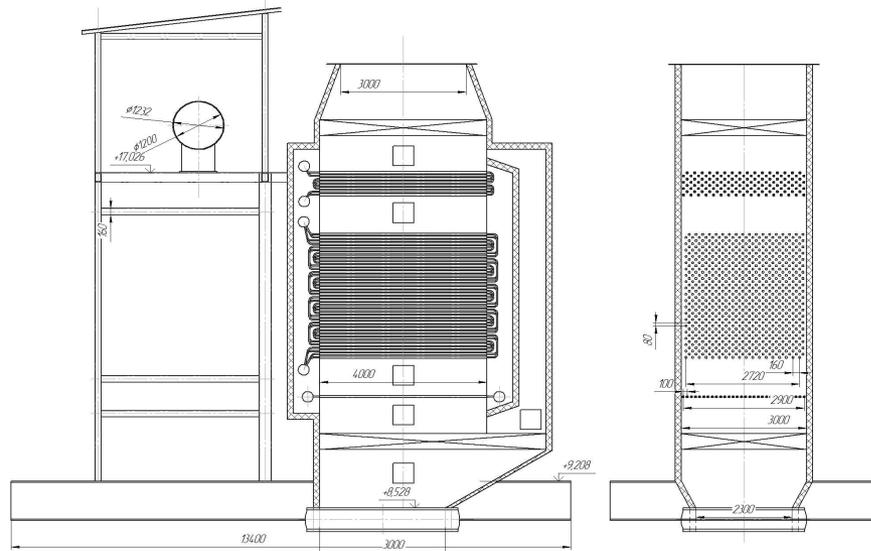
Пар-р	Раз-мер-ность	Результат	Подходит?
D	т/ч	9,13	-
t	°C	211,79	+
P	мПа	0,9	+
H	Па	1347	-

Пар-р	Раз-мер-ность	Результат	Подходит?
D	т/ч	8,6	-
t	°C	211	+
P	мПа	0,9	+
H	Па	797	+

Предложения по конструкции вариантов замещающего котла

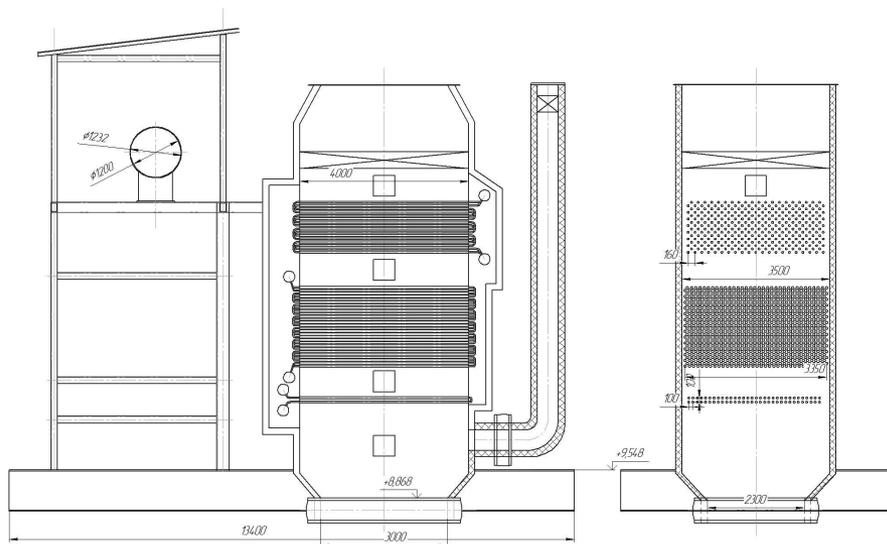


Пар-р	Размер-ность	Результат
D	т/ч	11,12
t	°C	212,94
P	мПа	0,9
H	Па	630,29
m	кг	78324

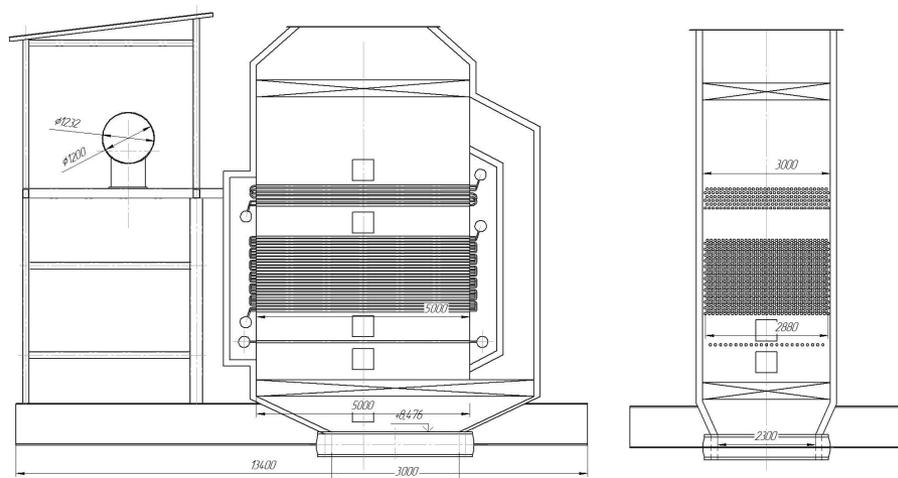


Пар-р	Размер-ность	Результат
D	т/ч	11,13
t	°C	209,62
P	мПа	0,9
H	Па	367,9
m	кг	78386

Предложения по конструкции вариантов замещающего котла

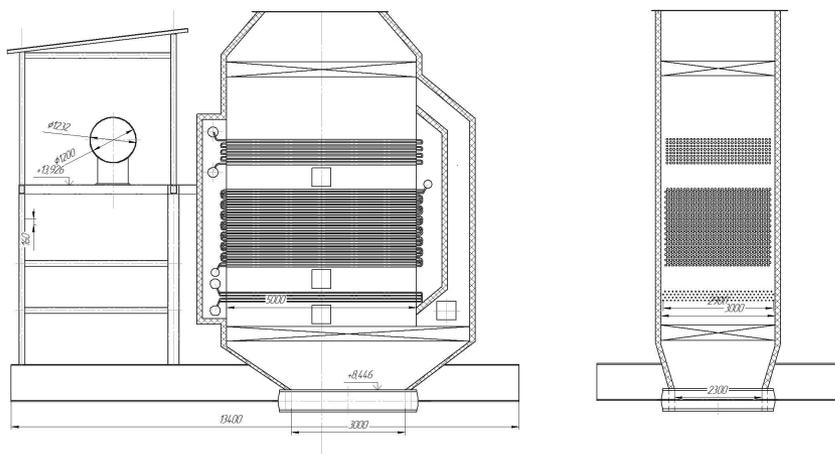


Пар-р	Размер-ность	Результат
D	т/ч	11,11
t	°C	217,01
P	мПа	0,91
H	Па	475,88
m	кг	71874

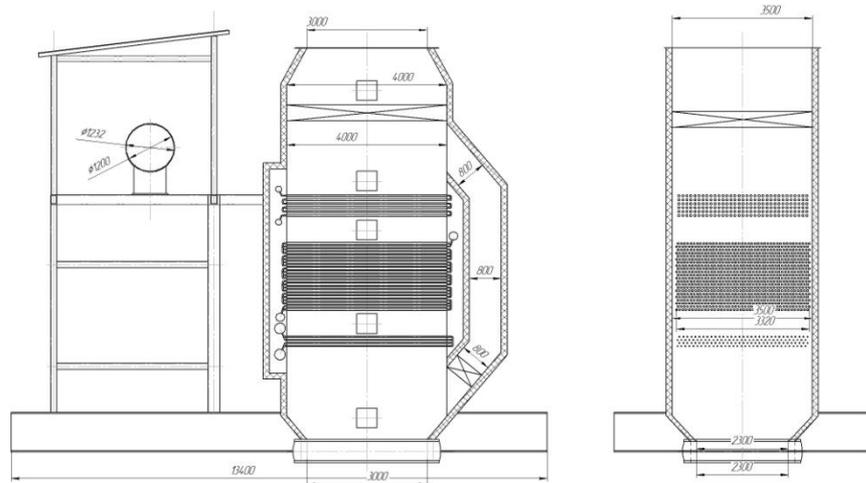


Пар-р	Размер-ность	Результат
D	т/ч	11,13
t	°C	209,8
P	мПа	0,91
H	Па	568,91
m	кг	77957

Предложения по конструкции вариантов замещающего котла

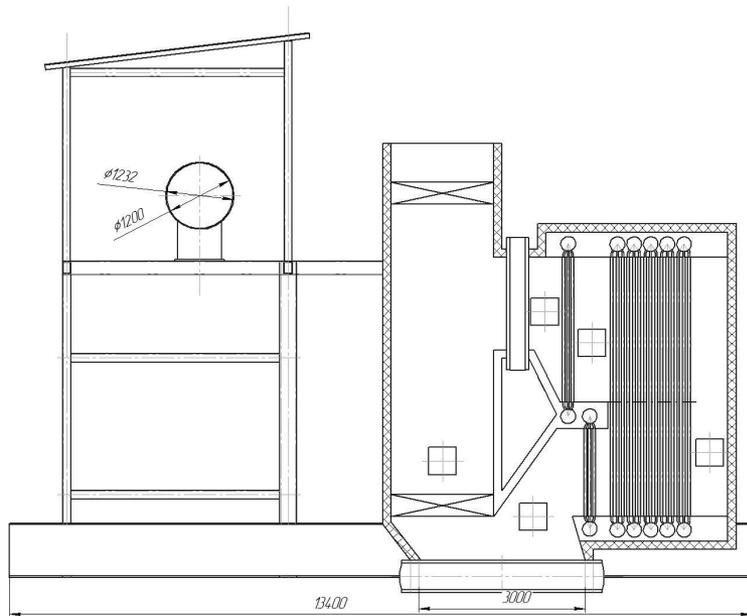


Пар-р	Размер-ность	Результат
D	т/ч	11,11
t	°C	218,38
P	мПа	0,9
H	Па	496,23
m	кг	77981



Пар-р	Размер-ность	Результат
D	т/ч	11,22
t	°C	214,33
P	мПа	0,9
H	Па	326,25
m	кг	67050

Предложения по конструкции вариантов замещающего котла



Пар-р	Размер- ность	Результат
D	т/ч	11,09
t	°C	215,91
P	МПа	0,9
H	Па	170,67
m	кг	64588

Выбор окончательного варианта компоновки замещающего котла

Шестой вариант

Название	Размерность	[(+) 1]	[(+) 2]	[(+) 3]	[(+) 4]
НК-12СТ.КонстрГТ.СуммаКомп	%	100,000000	100,000000	100,000000	100,000000
труба.ВыхГаз.Тгаз	Градус	168,55	168,92	173,61	180,79
труба.ВыхГаз.Праз	Па	-310,69	-326,25	-375,01	-437,27
ГПЗ.ВыхСреда.Дср	т/ч	11,01	11,22	13,48	13,70
ГПЗ.ВыхСреда.Рср	МПа	0,90	0,90	0,90	0,90
ГПЗ.ВыхСреда.Тср	Градус	214,12	214,33	215,85	215,30
ГПЗ.ВыхСреда.х	%	104,621788	104,644840	104,816248	104,754026
ЭК.РасчСреда.ВыхСреда.Тср	Градус	159,44	158,42	158,80	166,20
ЭК.РасчСреда.ВыхСреда.х	%	-3,654503	-3,903268	-3,937016	-2,360340
Барaban_27.ВыхСреда.Тср	Градус	176,39	176,53	177,04	177,10
Общие данные_1.КонстрОД.твх	Градус	5,00	18,00	20,00	26,00
Общие данные_1.КонстрОД.Токр	Градус	5,00	18,00	20,00	26,00
ЭК.РасчСреда.Масса труб	кг	3233,29	3233,29	3233,29	3233,29
ПП.РасчСреда.Масса труб	кг	1212,97	1212,97	1212,97	1212,97
ИСП.РасчСреда.Масса труб	кг	15088,69	15088,69	15088,69	15088,69
ЭК.РасчГаз.ВхГаз.Вгаз	мм3/ч	112089,04	114941,01	122655,91	133614,15
ЭК.РасчГаз.ВхГаз.Тгаз	Градус	178,33	178,75	184,75	193,69
ЭК.РасчГаз.ВхГаз.Вгаз	мм3/ч	112089,04	114941,01	122655,91	133614,15
ЭК.РасчГаз.ВхГаз.Тгаз	Градус	160,59	160,56	164,15	171,95
ПП.РасчКонв.ВхГаз.Вгаз	мм3/ч	112089,04	114941,01	122655,91	133614,15
ПП.РасчКонв.ВхГаз.Тгаз	Градус	327,00	334,00	359,00	354,00
ПП.РасчКонв.ВхГаз.Вгаз	мм3/ч	112089,04	114941,01	122655,91	133614,15
ПП.РасчКонв.ВхГаз.Тгаз	Градус	320,85	327,56	351,51	347,09
ИСП.РасчГаз.ВхГаз.Вгаз	мм3/ч	112089,04	114941,01	122655,91	133614,15
ИСП.РасчГаз.ВхГаз.Тгаз	Градус	320,85	327,56	351,51	347,09
ИСП.РасчГаз.ВхГаз.Вгаз	мм3/ч	112089,04	114941,01	122655,91	133614,15
ИСП.РасчГаз.ВхГаз.Тгаз	Градус	178,33	178,75	184,75	193,69

67050 кг

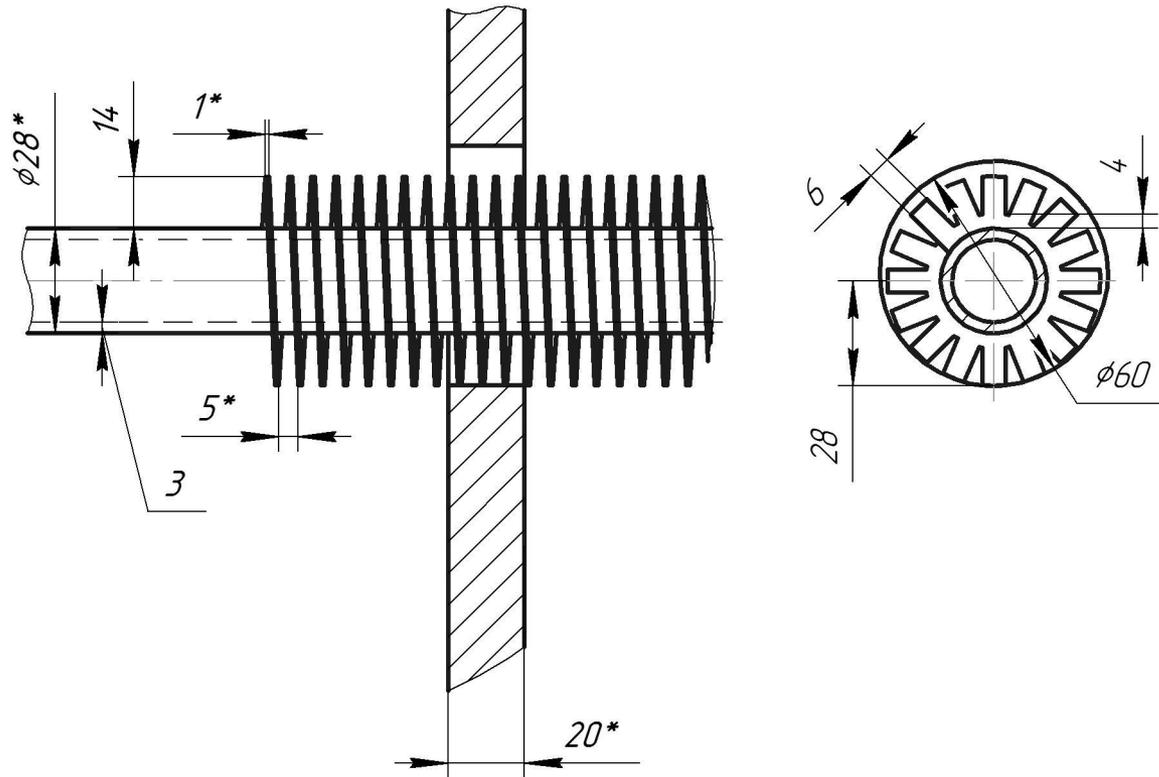
Седьмой вариант

Название	Размерность	[(+) 1]	[(+) 2]	[(+) 3]	[(+) 4]
НК-12СТ.КонстрГТ.СуммаКомп	%	100,000000	100,000000	100,000000	100,000000
труба.ВыхГаз.Тгаз	Градус	170,26	170,49	182,09	190,03
труба.ВыхГаз.Праз	Па	-162,26	-170,67	-205,15	-242,63
ГПЗ.ВыхСреда.Дср	т/ч	10,36	11,09	12,82	12,93
ГПЗ.ВыхСреда.Рср	МПа	0,90	0,90	0,90	0,90
ГПЗ.ВыхСреда.Тср	Градус	215,10	215,91	220,09	219,59
ГПЗ.ВыхСреда.х	%	104,732209	104,822306	105,290373	105,234364
ЭК.РасчСреда.ВыхСреда.Тср	Градус	135,23	134,41	138,12	142,45
ЭК.РасчСреда.ВыхСреда.х	%	-8,561484	-8,734327	-7,956607	-7,045191
Барaban_27.ВыхСреда.Тср	Градус	175,40	175,41	175,43	175,43
Общие данные_1.КонстрОД.твх	Градус	5,00	18,00	20,00	26,00
Общие данные_1.КонстрОД.Токр	Градус	5,00	18,00	20,00	26,00

64588 кг

Оребрение поверхностей нагрева

нагрева



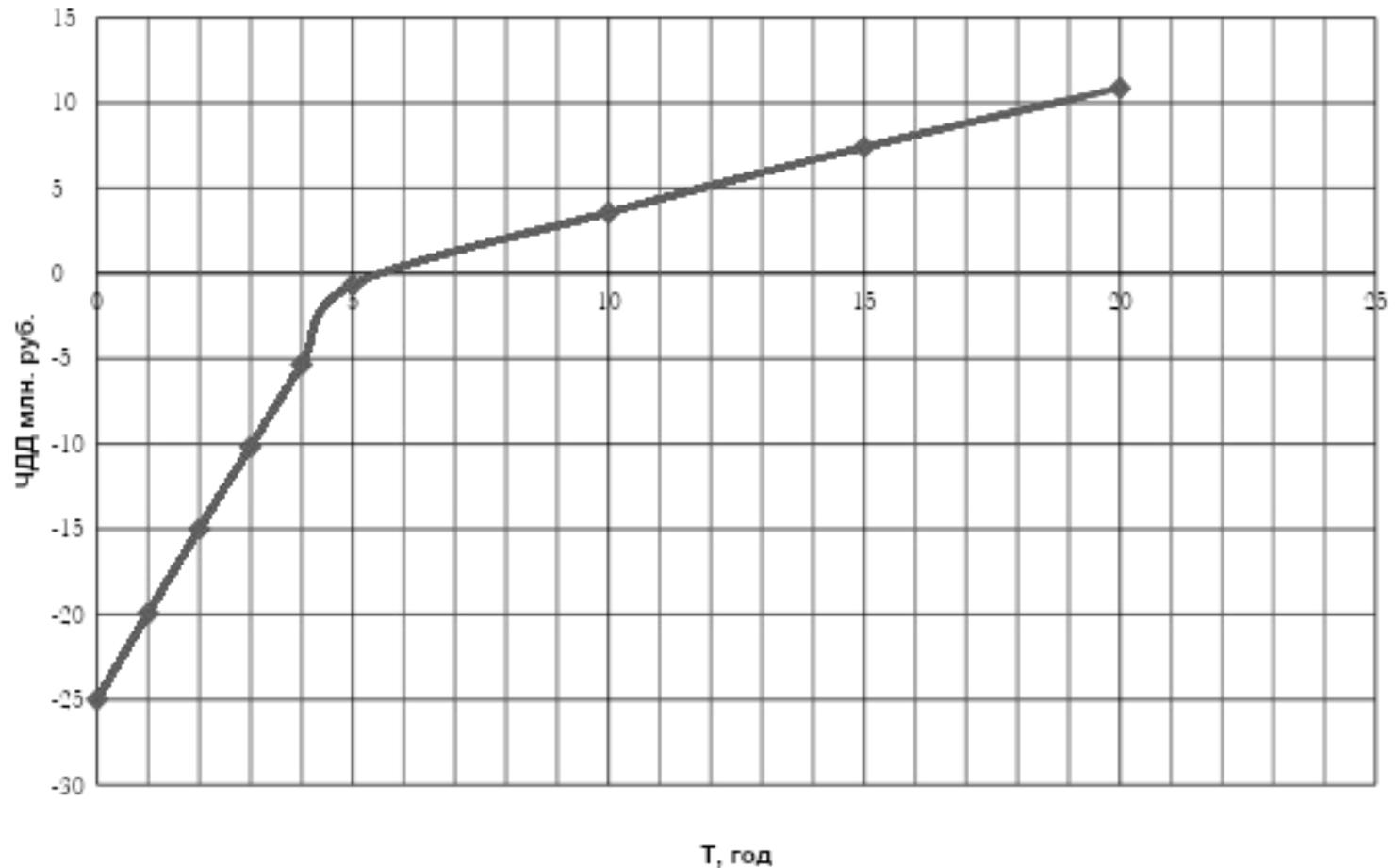
Прочностной расчет барабана котла



Анализ результатов расчёта барабана котла Пр-11-0,9-200

Был проведен расчет на прочность цилиндрической части барабана, эллиптического днища и крышки люка-лаза. Расчет был проведен согласно РД 10-249-98. Барабан котла-утилизатора Пр-11-0,9-200 для КС Чаплыгин может быть оценён, как работоспособный на расчётных параметрах среды $P=1,15$ МПа, $t=250$ °С, так как все элементы барабана удовлетворяют условиям прочности на указанных параметрах.

Расчёт ЧДД и срока окупаемости замещающего котла



Срок окупаемости проекта замены котла Пр-11-0,9-200 для Чаплыгинской КС составляет примерно 5 лет.

Сводная ведомость результатов испытаний ГТУ НК-12СТ

Наименование величины	Размерность	Температура			
		5	18	20	26
Основное топливо	-	Природный газ по ГОСТ 5542-87			
Резервное топливо	-	Природный газ по ГОСТ 5542-87			
Температура газов на выходе из ГТУ	°С	327	334	353	354
Содержание в газах O ₂	%	17,18	17,3	17,3	17,2
Содержание в газах CO ₂	%	5,1	5,0	5,0	5,1
Содержание в газах CO	%	0,0155	0,0164	0,0138	0,012
Содержание в газах NO	%	0,0017	0,002	0,003	0,0031
Содержание в газах N ₂	%	75,18	75,18	75,19	75,38
Содержание в газах H ₂ O	%	2,51	2,489	2,48	2,291
Содержание в газах H ₂	%	0,0005	0,0006	0,0006	0,0008
Содержание в газах CH	%	0,012	0,012	0,013	0,0132

Аэродинамический расчёт

Наименование	Формула	Величина
Температура наружного воздуха t_n	$^{\circ}\text{C}$	18
Самотяга котла		
Высота котла h_5 , м	м	10,4
Самотяга котла Δh_{c5}	Па	53,808
Среднее эффективное давление по тракту $h_{\text{эф}}$	Па	101516
Суммарное сопротивление тракта с поправкой на давление и плотность ΔH	Па	375,53
Перепад полных давлений в газовом тракте ΔH_p	Па	321,722
Общее сопротивление КУ	Па	381,149

ВЫВОДЫ

- Предложена конструкция вертикального парового котла-утилизатора Пр-11-0,9-200 для КС «Чаплыгин»
- Установлено, что при рассматриваемых в расчёте температурах котел-утилизатор соответствует параметрам, указанным в техзадании.

Спасибо за внимание!