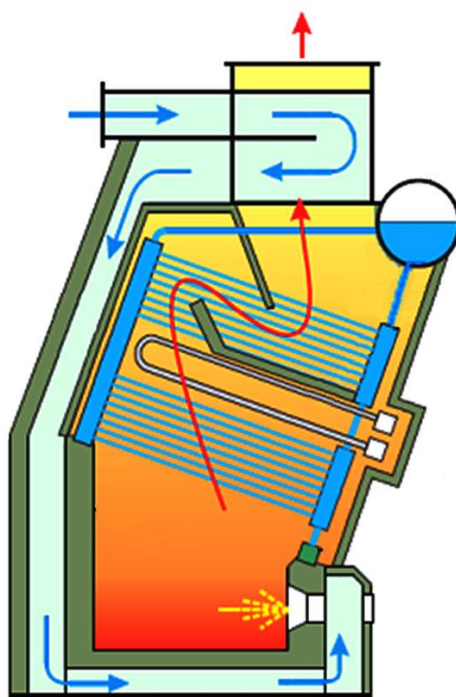


В.А. Очеретяный

РАСЧЕТЫ СУДОВОГО ПАРОВОГО КОТЛА

Учебное пособие
для курсового и дипломного проектирования
по дисциплине
«Судовые котельные и паропроизводящие установки»



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
МОРСКОЙ ИНСТИТУТ

В.А. Очеретяный

Р А С Ч Е Т Ы СУДОВОГО ПАРОВОГО КОТЛА

Учебное пособие

для курсового и дипломного проектирования по дисциплине
«Судовые котельные и паропроизводящие установки»

Севастополь
СевГУ
2026

УДК [621.18:629.5](075.8)

ББК 39.455.11я73

О-95

Р е ц е н з е н т ы:

А.Л. Кирюхин – д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры
«Эксплуатация судовых энергетических установок»

Черноморского высшего военно-морского училища
ордена Красной звезды им. П.С.Нахимова

А.В. Дологлонян – канд. техн. наук, доцент, ведущий научный сотрудник,
заведующий лабораторией экоэнергетики

Федерального государственного бюджетного научного учреждения
«Институт природно-технических систем»

Очеретяный В.А.

О-95 Расчеты судового парового котла: учебное пособие для курсового и дипломного проектирования / В.А. Очеретяный; Севастопольский государственный университет, Морской институт. – Доп. изд. – Севастополь: СевГУ, 2026. – 264 с. – Текст: электронный.

Приводятся методики теплового, прочностного, аэродинамического расчетов и анализа водного режима судового парового котла, представлены необходимые справочные материалы и пример выполнения расчетов. В дополненном издании рассмотрены новые конструкции котлов, используемых на морском флоте.

Пособие предназначено для студентов очной и заочной форм обучения Севастопольского государственного университета, Морского института, специальности 26.05.06 – Эксплуатация судовых энергетических установок.

Задачи, поставленные в пособии реализуют требования компетенций: УК-2, ОПК-2, ОПК-3, ПК-5, ПК-6, ПК-45, ПК-46

УДК [621.18:629.5](075.8)

ББК 39.455.11я73

Рассмотрено и рекомендовано на заседании кафедры энергоустановок морских судов и сооружений, протокол № 4 от 29 декабря 2025 г.

В авторской редакции

Изд. №14/2026. Объем 16,5 п. л. Усл. печ. л. 15,34. Уч.-изд. л. 16,17

Издательский центр ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

© Очеретяный В.А., 2026

© ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет», 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

Основные обозначения.....	5
Введение. Задачи расчета судового парового котла	6
1. Описание котла-прототипа	8
2. Тепловой расчет котла	10
2.1 Определение объемов воздуха и продуктов сгорания	10
2.2 Определение зависимости энтальпии продуктов сгорания от температуры	13
2.3 Предварительный тепловой баланс	15
2.4 Расчет теплообмена в топке	27
2.5 Расчет испарительного пучка	42
2.6 Расчет пароперегревателя	50
2.7 Расчет экономайзера	61
2.8 Расчет воздухоподогревателя	69
2.9 Окончательный тепловой баланс	78
3. Аэродинамический расчет котла	80
4. Прочностной расчет котла	85
5. Водоподготовка. Расчет водного режима котла	91
6. Пример расчета парового котла	93
Заключение	108
Литература	109
Приложение А. Таблица исходных данных	111
Приложение Б. Форма бланка задания на курсовое проектирование	117

Приложение В. Описание конструкции котла КАВ 1,6/7	119
Приложение Г. Описание конструкции котла КАВ 2,5/7	126
Приложение Д. Описание конструкции котла КАВ 4/7	133
Приложение Е. Описание конструкции котла КАВ 6.3/7	140
Приложение Ж. Описание конструкции котла КАВ 16/7	147
Приложение З. Описание конструкции котла Вагнер	158
Приложение И. Описание конструкции котла Kangrim MB-02 ...	162
Приложение К. Описание конструкции котла MAC-30B	168
Приложение Л. Описание конструкции котла MAC-35B	173
Приложение М. Описание конструкции котла KB 1	177
Приложение Н. Описание конструкции котла KB 1-1	181
Приложение О. Описание конструкции котла KB-2	186
Приложение П. Описание конструкции котла KB 35/25-1	191
Приложение Р. Описание конструкции котла KB 22	196
Приложение С. Описание котла CPDB-10	199
Приложение Т. Описание котла Kangrim MC-19.....	205
Приложение У. Описание котла Miura GK-27	213
Приложение Ф. Описание котла Miura VWS-2500	216
Приложение Х. Описание котла Aalborg GCS-21	221
Приложение Ц. Описание котла Mission D-type Model 45000	227
Приложение Ч. Описание котла типа Aalborg i-OC 1800/1100 ...	234
Приложение Ш. Описание котла Kawasaki UME 65	240
Приложение Щ. Описание котла Mitsubishi MC-140A	248
Приложение Ю. Определение геометрических характеристик котла с помощью системы КОМПАС-3D v23 Учебная версия. ...	256

ОСНОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

α	– коэффициент избытка воздуха, коэффициент теплоотдачи, Вт/(м ² ·К);
K	– коэффициент теплопередачи, Вт/(м ² ·К);
t	– температура, °С;
λ	– коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К);
ν	– коэффициент кинематической вязкости, м ² /с;
ρ	– плотность, кг/м ³ ;
C_p	– изобарная теплоемкость, Дж/(кг·К);
Q	– тепловой поток, Вт;
G	– массовый расход, кг/с;
Δt	– температурный напор, °С;
F	– площадь теплообменной поверхности, м ² ;
ω	– скорость, м/с;
δ	– толщина, м;
d	– диаметр, м;
S	– шаг труб в трубном пучке, м;
D	– паропроизводительность СПК, т/ч (кг/с), м;
L	– длина элемента СПК, м;
z	– количество труб в ряду, количество рядов труб в пучке;
b	– расход топлива, т/ч (кг/с);

ВВЕДЕНИЕ

ЗАДАЧИ РАСЧЕТА СУДОВОГО ПАРОВОГО КОТЛА

На морских судах и сооружениях распространены котельные установки, содержащие котлы различных типов: паровые, водогрейные и термомаслянные; мазутного отопления, утилизационные и композитные; водотрубные, газотрубные и комбинированные. В настоящем пособии приведена методика расчета типового судового парового котла (СПК), имеющего развитые поверхности нагрева. Рассмотрена последовательность теплового расчета котла, аэродинамического, прочностного и расчет химреагентов, вводимых в котел. Приведенная методика расчета СПК упрощена. При необходимости выполнения более точных расчетов рекомендуется использовать литературные источники, указанные в рекомендованной литературе.

При выполнении курсового проекта рекомендуется производить поверочный расчет с элементами конструктивного расчета отдельных поверхностей нагрева (испарительного пучка, воздухоподогревателя ...). Целью поверочного расчета СПК является определение основных показателей работы котла, а также обоснование конструктивных характеристик, обеспечивающих высокую надежность и экономичность его эксплуатации в заданных условиях.

Перед началом расчетов необходимо обучающемуся необходимо на основании Приложений В ... Щ ознакомиться с конструкцией заданного котла-прототипа. Более глубоко с особенностями котла-прототипа можно на основании изучения библиографических источников [1...9]. Типовые исходные данные для курсового проектирования представлены в Приложении А.

При курсовом проектировании Пояснительная записка, выполненная на листах формата А4, должна содержать:

1. Титульный лист.
2. Бланк задания.

3. Описание прототипа СПК.
4. Тепловой расчет СПК.
5. Аэродинамический расчет СПК.
6. Прочностной расчет котла.
7. Расчет водного режима СПК.

Графическая часть курсового проекта должна содержать поперечный разрез СПК (формат А1) и комбинированный чертеж систем судовой котельной установки (формат А1).

Модель котла-прототипа назначается по согласованию с преподавателем, исходные данные принимаются в соответствии с Приложением А. Форма бланка задания приведена в Приложении Б. В бланке задания информация, выделенная желтым цветом, заполняется обучающимся. Для выполнения проекта задаются следующие исходные данные: модель котла-прототипа; паропроизводительность (по насыщенному или перегретому пару, т/ч; давление пара в паро-водяном коллекторе, МПа; температура перегретого пара, °С (при наличии пароперегревателя); температура питательной воды, °С; КПД котла, %; коэффициент избытка воздуха, α ; марка топлива.

Описание котла-прототипа должно содержать изложение его основных технических характеристик и анализ особенностей конструкции.

Цель теплового расчета: определение параметров паро-водяного тракта; определение параметров газо-воздушного тракта; поверхностей нагрева тепловоспринимающих элементов, расходных характеристик котла и др.

Цель аэродинамического расчета: определение сопротивлений газо-воздушного тракта, расхода и мощности вентилятора.

Цель прочностного расчета: определение толщин стенок ответственных элементов котла.

Цель анализа водного режима – его выбор и расчет вводимых в котловую воду химических реагентов.

1. ОПИСАНИЕ КОТЛА-ПРОТОТИПА

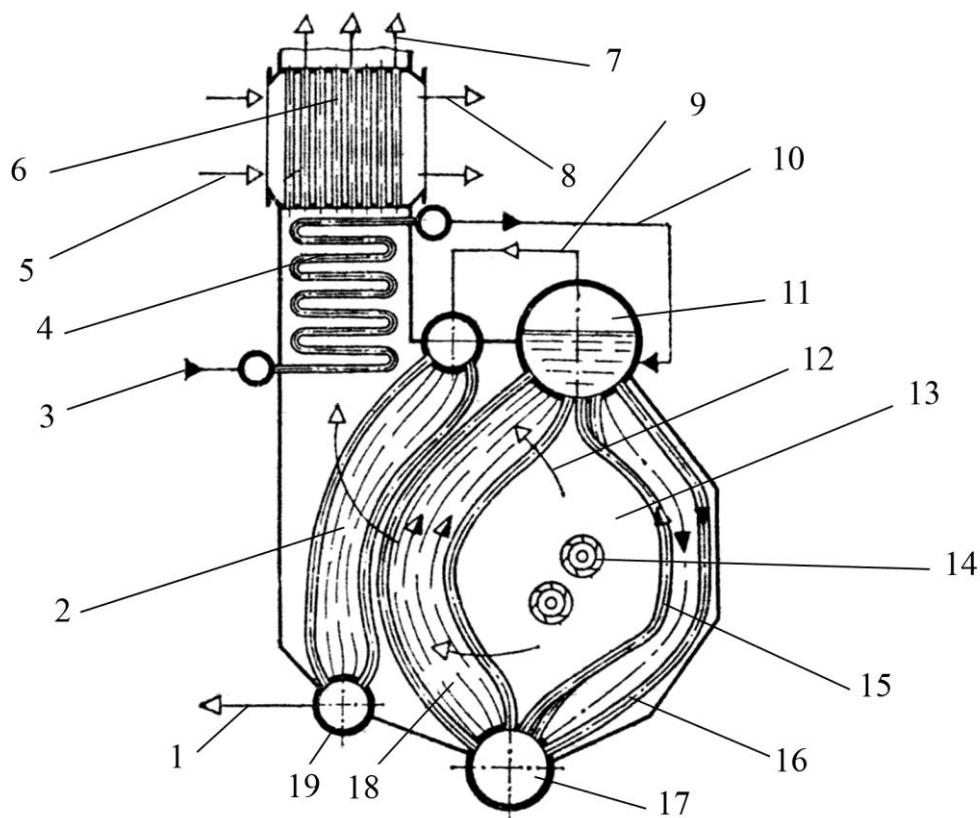
Описание котла-прототипа должно содержать изложение его основных технических характеристик и особенностей конструкции и поперечный разрез котла. Поперечный разрез котла, выполненный на листе формата А4 (ксерокопия поперечного разреза котла-прототипа) необходим для определения вспомогательных параметров СПК, которые будут использоваться в различных разделах расчета. В частности, этот лист должен содержать расчет масштаба изображения котла, результаты расчета площади фронта топки, результаты определения характерных геометрических характеристик котла, например, длин экрана, первого ряда испарительного пучка, среднего ряда испарительного пучка и, при наличии, параметров пароперегревателя, экономайзера, воздухоподогревателя.

В разделе указываются классификационные характеристики котла в целом, его технические характеристики, краткое описание состава котельной установки, содержащей котел-прототип, краткое описание устройства котла (прочного корпуса; кожуха; кирпичной кладки и обмуровки, при наличии; изоляции; топочного устройства, арматуры. Излагаются пути реализации циркуляции пароводяного контура в котле, описание движения газо-воздушного тракта. Представляются массо-габаритные и иные характеристики.

Раздел может быть дополнен характерными графическими изображениями котла, отражающими особенности его формы, строения его топки и конвективных пучков.

Схема судового парового котла с испарительной поверхностью, пароперегревателем, экономайзером и воздухоподогревателем, представлена на рисунке 1.1. Питательная вода 3 подается в экономайзер, в котором подогревается до температуры $t^s - (30 \dots 50)^\circ\text{C}$. Далее, недогретая на температуры насыщения вода поступает в пароводяной коллектор 11, откуда циркулирует по опускным трубам 16 в водяной коллектор 17, далее распределяется в соответствии с полезным напором в все подъемные трубы испарительной поверхности 15 и 18, частично превращается в пар и в виде

пароводяной смеси поступает в пароводяной коллектор. Полученный сухой пар поступает на пароперегреватель 2 и далее к потребителю. Большая часть поступающей в пароводяной коллектор пароводяной смеси продолжает циркулировать в виде жидкой фазы.



1 – отбор перегретого пара к потребителю; 2 – пароперегреватель; 3 – вход питательной воды в экономайзер; 4 – экономайзер; 5 – вход воздуха в воздухоподогреватель; 6 – воздухоподогреватель; 7 – выход продуктов сгорания в дымоход; 8 – выход подогретого (горячего) воздуха из воздухоподогревателя; 9 – выход насыщенного пара из котла и подача его в пароперегреватель; 10 – подача подогретой воды из экономайзера в паро-водяной коллектор; 11 – пароводяной коллектор; 12 – движение дымовых газов через котел; 13 – топка котла; 14 – топочное устройство; 15 – экранный ряд труб; 16 – опускные трубы; 17 – водяной коллектор; 18 – испарительный пучок; 19 – коллектор пароперегревателя

Рисунок 1.1 – Схема судового водотрубного парового котла с естественной циркуляцией

Содержание раздела формируются на основании изучения рекомендуемой литературы [1...4] и Приложений В...Ш.

Объем раздела – 2-3 страницы.

2. ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ СПК

Типовой тепловой расчет СПК содержит следующие разделы:

- определение объемов воздуха и продуктов сгорания;
- расчет зависимости энтальпии продуктов сгорания от температуры;
- составление предварительного теплового баланса;
- расчет теплообмена в топке;
- расчет испарительного пучка;
- окончательный тепловой баланс.

При усложнении схемы котла-прототипа (при курсовом проектировании) или в ходе модернизации котла в ВКР могут быть добавлены разделы:

- расчет экономайзера,
- расчет пароперегревателя,
- расчет воздухоподогревателя.

В настоящем пособии рассматривается расчет всех элементов, указанные выше.

2.1. Определение объемов воздуха и продуктов сгорания

Расчет химических реакций горения – определение количества необходимого для горения воздуха, состава и количества образующихся продуктов сгорания – является первым этапом расчета СПК.

Исходными данными для выполнения расчета являются: тип топлива и состав его рабочей массы; тип форсунки, установленной в котле.

Основными результатами расчет являются: теоретически необходимое количество сухого воздуха V^0 для сгорания 1 кг топлива; объем продуктов полного сгорания V_2 1 кг топлива; объемная доля трехатомных газов r_{RO_2} от объема продуктов полного сгорания; объемная доля водяных паров r_{H_2O} от объема продуктов полного сгорания; низшая теплота сгорания топлива.

Расчет выполняется на основе знаний элементарного состава топлива. Необходимые сведения о составе различных марок топлива представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1. Характеристики топлива

№	Марка топлива	Углерод, C ^p	Водород, H ^p	Кислород, O ^p	Азот, N ^p	Сера, S ^p	Влага, W ^p
1	DMX	86,1	13,2	0,3	0,25	0,2	0
2	DMA	86,8	12,5	0,3	0,25	0,2	0
3	DMZ	87,1	12,0	0,3	0,3	0,3	0
4	DMB	87,1	11,7	0,3	0,35	0,3	0,3
5	RMA 10	87,5	11,0	0,4	0,35	0,5	0,3
6	RMB 30	87,4	10,7	0,4	0,5	0,5	0,5
7	RMD 80	87,1	10,6	0,5	0,6	0,7	0,5
8	RME 180	87,2	10,5	0,5	0,6	0,7	0,5
9	RMG 180	87,1	10,5	0,5	0,6	0,8	0,5
10	RMG 380	87,0	10,4	0,5	0,6	1,0	0,5
11	RMG 500	87,1	10,3	0,5	0,6	1,0	0,5
12	RMG 700	87,0	10,3	0,6	0,6	1,0	0,5
13	RMK 380	87,1	10,3	0,6	0,6	1,0	0,5
14	RMK 500	87,1	10,2	0,6	0,6	1,0	0,5
15	RMK 700	87,1	10,2	0,6	0,6	1,0	0,5
16	M20	85,9	11,3	0,3	0,3	0,2	2,0
17	M40	84,7	10,6	0,4	0,3	2,0	2,0
18	M100	82,0	9,9	0,6	0,6	3,5	3,4
19	Ф5	86,9	12,1	0,3	0,2	0,5	0,0
20	Ф12	86,2	11,6	0,4	0,3	0,5	1,0

Количество необходимого для горения кислорода и образующихся продуктов сгорания приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2. Количество необходимого для горения кислорода и образующихся продуктов сгорания в расчете на 1 кг горючего элемента топлива

№	Горючий элемент топлива	Конечный продукт горения	Количество кислорода, м ³ /кг	Количество продуктов сгорания, м ³ /кг
1	Углерод, С	Углекислый газ, CO ₂	1,87	1,87
		Оксид углерода, CO	0,935	1,87
2	Водород, H ₂	Водяные пары, H ₂ O	5,6	11,2
3	Сера, S	Сернистый ангидрид, SO ₂	0,7	0,7

На основании марки топлива (рабочей массы) и таблицы 2.2 определяются важные характеристики.

2.1.1 Теоретически необходимое количество сухого воздуха, V^0 ($\text{м}^3/\text{кг}$):

$$V^0 = 0,0889 \cdot (C^P + 0,375 \cdot S^P) + 0,265 \cdot H^P - 0,0333 \cdot O^P. \quad (2.1.1)$$

2.1.2 Теоретически необходимое количество влажного воздуха, $V^0_{\text{вл.в}}$ ($\text{м}^3/\text{кг}$):

$$V^0_{\text{вл.в}} = 1,0161 \cdot V^0 \quad (2.1.2)$$

2.1.3 Теоретический объем азота, $V^0_{N_2}$ ($\text{м}^3/\text{кг}$):

$$V^0_{N_2} = 0,79 \cdot V^0 + \frac{0,8 \cdot N^P}{100} \quad (2.1.3)$$

2.1.4 Объем трехатомных газов CO_2 и SO_2 , V_{RO_2} ($\text{м}^3/\text{кг}$):

$$V_{RO_2} = 1,866 \cdot \frac{(C^P + 0,375 \cdot S^P)}{100} \quad (2.1.4)$$

2.1.5 Теоретический объем водяного пара, $V^0_{H_2O}$ ($\text{м}^3/\text{кг}$):

$$V^0_{H_2O} = 0,111 \cdot H^P + 0,0124 \cdot W^P + 0,0161 \cdot V^0 \quad (2.1.5)$$

2.1.6 Избыточный объем воздуха, V_H ($\text{м}^3/\text{кг}$):

$$V_H = (\alpha - 1) \cdot V^0 \quad (2.1.6).$$

2.1.7 Объем водяных паров при заданном коэффициенте избытка воздуха, V_{H_2O} ($\text{м}^3/\text{кг}$):

$$V_{H_2O} = V^0_{H_2O} + 0,0161 \cdot (\alpha - 1) \cdot V^0 \quad (2.1.7)$$

2.1.8 В общем случае (горение неполное) продукты сгорания представляют собой смесь газов (таблица 2) и неиспользованного при горении избыточного кислорода. Объем продуктов сгорания V_z будет меньше, чем при неполном сгорании, на величину объема кислорода, который затрачивается на дожигание CO . Эта разница мала в сравнении с величиной V_z , поэтому объем продуктов сгорания определяют в предположении, что го-

рение полное. Таким образом, объем продуктов полного сгорания V_2 1 кг топлива можно определить из выражения:

$$V_{\Gamma} = V_{R_{O_2}} + V_{N_2} + V_{H_2O} + (\alpha - 1) \cdot V_{\text{в.л.г}}^0 \quad (2.1.8)$$

2.1.9 Объемная доля трехатомных газов ($\text{CO}_2 + \text{SO}_2$), $r_{R_{O_2}}$:

$$r_{R_{O_2}} = \frac{V_{R_{O_2}}}{V_{\Gamma}} \quad (2.1.9)$$

2.1.10 Объемная доля водяных паров, r_{H_2O} :

$$r_{H_2O} = \frac{V_{H_2O}}{V_{\Gamma}} \quad (2.1.10)$$

2.1.11 Низшая теплота сгорания топлива, Q_n^p , кДж/кг:

$$Q_n^p = 339 \cdot C^p + 1030 \cdot H^p - 109 \cdot (O^p - S_{\text{л}}^p) - 25 \cdot W^p \quad (2.1.11)$$

2.2. Определение зависимости энтальпии продуктов сгорания от температуры

В разделе рассчитывается зависимость энтальпии дымовых газов от температуры. Энтальпию дымовых газов определяют от 0°C до 2200°C с интервалом в 100°C .

Исходные данные: объем трехатомных газов $V_{R_{O_2}}$, теоретический объем водяных паров $V_{H_2O}^0$, теоретический объем азота $V_{N_2}^0$, средние изобарных теплоемкости газов и воздуха.

Результаты расчета – зависимости энтальпии продуктов сгорания от температуры $J - \nu$ в табличном и графическом видах.

Энтальпия продуктов сгорания для конкретной температуры зависит от объемов трехатомных газов $V_{R_{O_2}}$, азота $V_{N_2}^0$ и водяных паров $V_{H_2O}^0$ и, соответственно средних изобарных теплоемкостей газов и воздуха. Справочные данные по теплоемкостям представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3. Средние изобарные объемные теплоемкости газов и воздуха

$\vartheta^0 C$	с, кДж/(м ³ ·К)				
	C_{CO_2}	C_{R_2}	C_{O_2}	C_{H_2O}	Влажный воздух ($d = 0,01$)
0	1,5998	1,2946	1,3059	1,4943	1,3188
100	1,7003	1,2958	1,3176	1,5052	1,3243
200	1,7873	1,2996	1,3352	1,5223	1,3318
300	1,8627	1,3067	1,3561	1,5224	1,3423
400	1,9297	1,3168	1,3775	1,5664	1,3544
500	1,9887	1,3276	1,3980	1,5897	1,3682
600	2,0411	1,3402	1,4168	1,6148	1,3829
700	2,0884	1,3536	1,4344	1,6412	1,3976
800	3,1311	1,3670	1,4499	1,6680	1,4114
900	2,1692	1,3796	1,4645	1,6957	1,4248
1000	2,2035	1,3917	1,4775	1,7229	1,4373
1100	2,2349	1,4034	1,4892	1,7501	1,4499
1200	2,2638	1,4143	1,5005	1,7769	1,4612
1300	2,2898	1,4252	1,5106	1,8028	1,4725
1400	2,3136	1,4348	1,5202	1,8280	1,4830
1500	2,3354	1,4440	1,5294	1,8527	1,4926
1600	2,3555	1,4528	1,5378	1,8761	1,5018
1700	2,3743	1,4612	1,5462	1,8996	1,5102
1800	2,3915	1,4687	1,5541	1,9213	1,5177
1900	2,4074	1,4758	1,5617	1,9423	1,5257
2000	2,4221	1,4825	1,5692	1,9628	1,5328
2100	2,4359	1,4892	1,5759	1,9825	1,5399

2.2.1 Энтальпия продуктов полного сгорания 1 кг топлива при $\alpha=1$ и температуре ν , кДж/кг

$$J_{\nu}^0 = (V_{R_{O_2}} \cdot (C_{\nu})_{R_{O_2}} + V_{H_2O}^0 \cdot (C_{\nu})_{H_2O} + V_{N_2}^0 \cdot (C_{\nu})_{N_2}) \cdot \nu \quad (2.2.1)$$

2.2.2 Энтальпия теоретически необходимого воздуха при той же температуре J_B^0 , кДж/кг:

$$J_B^0 = V^0 \cdot (C_{\nu}) \cdot \vartheta \quad (2.2.2)$$

2.2.3 Энтальпия продуктов сгорания 1 кг топлива, J кДж/кг:

$$J = J_F^0 + (\alpha - 1) \cdot J_B^0 \quad (2.2.3)$$

2.2.4 Результаты расчета заносятся в таблицу 4, на основании которой строится графическая зависимость $J = f(\vartheta)$ – рисунок 2.1.

Таблица 2.4. Расчет зависимости энтальпии продуктов сгорания от температуры

Параметр и значение		Температура				
ϑ °C		0	100	200	300 ...	2100
$V_{RO_2} = \text{---}$ м ³ /кг	$C_{RO_2}, \text{кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$					
	$V_{RO_2} \cdot C_{RO_2}, \text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$					
$V_{N_2}^0 = \text{---}$ м ³ /кг	$C_{N_2}, \text{кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$					
	$V_{N_2}^0 \cdot C_{N_2}, \text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$					
$V_{H_2O}^0 = \text{---}$ м ³ /кг	$C_{H_2O}, \text{кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$					
	$V_{H_2O} \cdot C_{H_2O}, \text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$					
J_F^0 кДж/кг						
$V_{\text{в.л.г}}^0 = \text{---}$ м ³ /кг	$C_{\text{в.л.г}}, \text{кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$					
	$V_{\text{в.л.г}}^0 (C_{\text{в.л.г}}) = V_{\text{в.л.г}}^0, \text{кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$					
$(\alpha - 1) J_{\text{в.л.г}}^0, \text{кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$						
$J_F, \text{кДж}/\text{кг}$						
$\Delta J = \frac{J_n - J_{n-1}}{100}, \text{кДж}/\text{кг}$						

2.3. Предварительный тепловой баланс СПК

При тепловом расчете паровых и водогрейных котлов производится предварительная оценка теплового баланса котлов в следующей последовательности:

– выполняется построение структурной схемы пароводяного тракта СПК, определяются параметры пароводяного и газо-воздушного трактов;

- выполняется назначение потерь;
- определение приходных и расходных статей теплового баланса;
- определение расхода топлива, необходимого для обеспечения заданной паропроизводительности;
- определение температуры и энтальпии уходящих газов;
- определение теоретической температуры продуктов сгорания и др.;
- построение тепловой схемы котла.

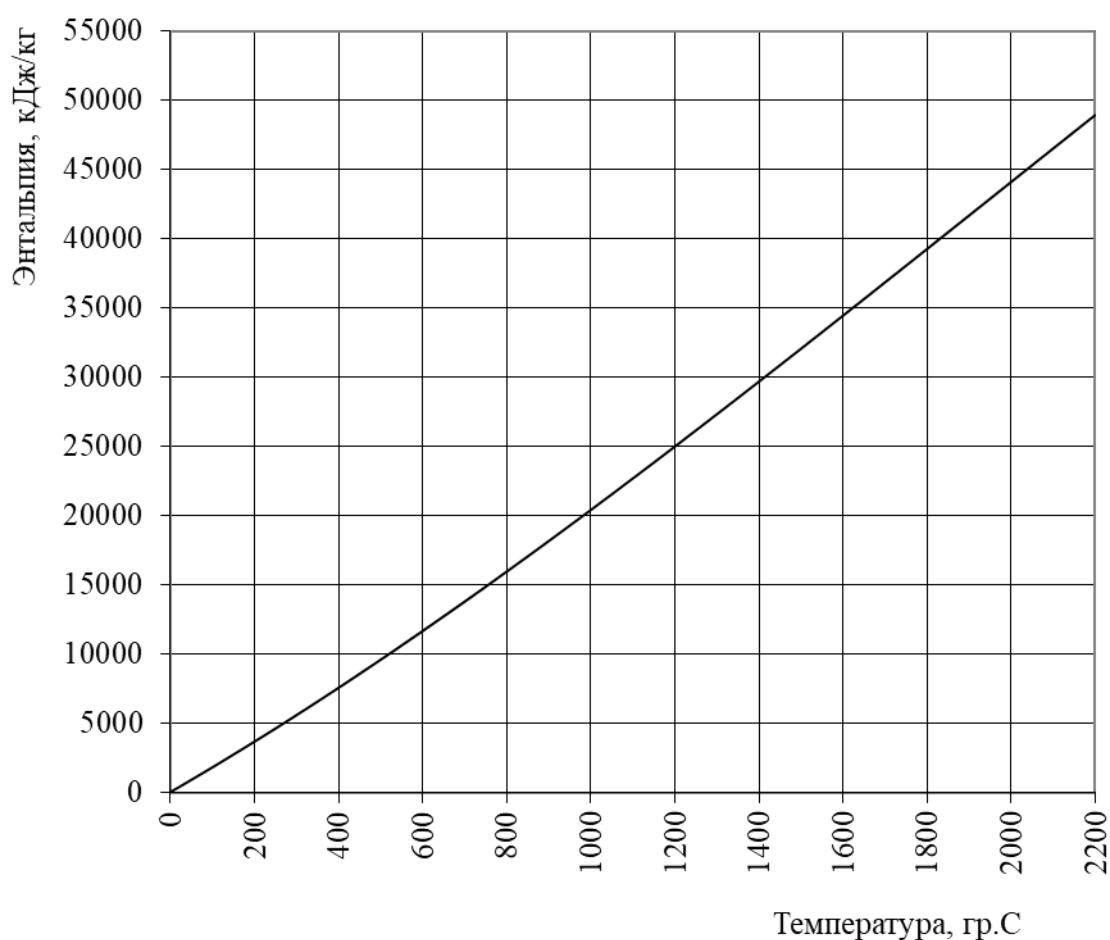
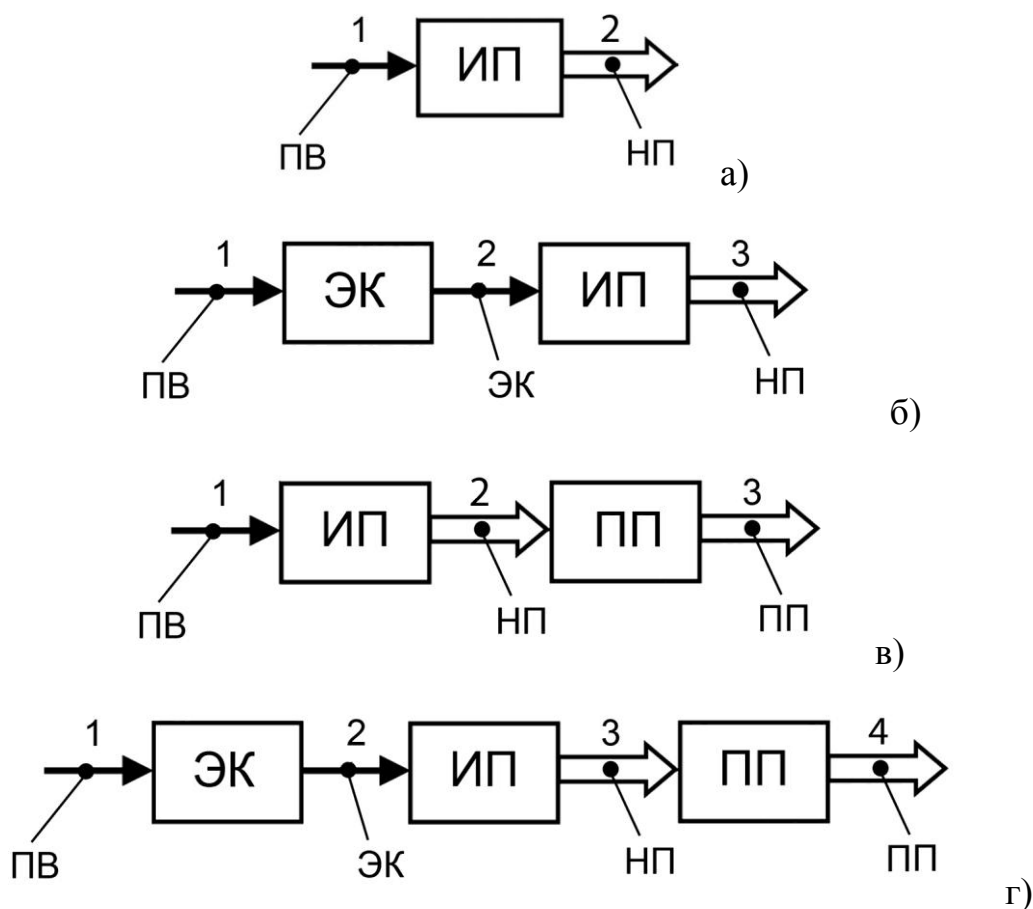


Рисунок 2.1 – Пример диаграммы «Энтальпия – температура»

Построение структурной схемы (рисунок 2.2) пароводяного тракта котла, определение параметров пароводяного тракта. Структурная схема котла – формализованное изображение элементов котла с указанием движения пароводяной смеси через трубные пучки СПК.



а – схема, содержащая только испарительный пучок (ИП): 1 – подвод питательной воды (ПВ); 2 – отвод насыщенного пара (НП) к потребителю;

б – схема, содержащая экономайзер (ЭК) и испарительный пучок (ИП): 1 – подвод питательной воды (ПВ) в экономайзер (ЭК); 2 – подача воды после экономайзера (ЭК) в испарительный пучок (ИП); 3 – отвод насыщенного пара (НП) к потребителю;

в – схема, содержащая испарительный пучок (ИП) и пароперегреватель (ПП): 1 – подвод питательной воды (ПВ) к испарительному пучку СПК; 2 – подача насыщенного пара (НП) к пароперегревателю (ПП); 3 – отвод перегретого пара (ПП) к потребителю;

г – схема, содержащая экономайзер (ЭК), испарительный пучок (ИП) и пароперегреватель (ПП): 1 – подвод питательной воды (ПВ); 2 – подача воды после экономайзера (ЭК) в испарительный пучок (ИП); 3 – подача насыщенного пара (НП) к пароперегревателю (ПП); 4 – отвод перегретого пара к потребителю

Рисунок 2.2 – Структурные схемы пароводяного тракта котла

Структурные схемы СПК, представленные на рисунке 2.1 содержат 4 характерные точки пароводяного тракта (в зависимости от типа котла), имеющих комплекс термодинамических характеристик. Это: давление, температура, энтальпия и удельный объем. Считается заданным рабочее давление пара в пароводяном коллекторе (p_K). Рекомендуется для эконо-

майзера принимать значение гидравлических потерь из диапазона (3...5) % заданного в ПКВ; для пароперегревателей из диапазона (6...9) %. Для повышения надежности работы СПК на выходе воды из экономайзера назначать недогрев до кипения из диапазона 30...50 °С.

Используя справочные таблицы теплофизических свойств воды и пара, например, [8, 11], необходимо определить недостающие для дальнейших расчетов, параметры пароводяного тракта (давление, температура, энтальпия, удельный объем). Некоторые характеристики заданы, остальные определяются. В таблице 2.5 изложена методика нахождения недостающих данных в соответствии с структурными схемами рисунка 2.2.

Рекомендации по назначению принимаемых параметров (выделены синим цветом):

для схемы "б" давление питательной воды должно учитывать гидравлические сопротивления экономайзера, т.о. $p_{ПВ} = p_K \cdot (1,03...1,05)$ МПа; температура воды на выходе из экономайзера с запасом для недопущения кипения в экономайзере на частичных режимах работы $t_{ЭК} = t_S - (30...50)$ °С;

для схемы "в" давление перегретого пара должно учитывать гидравлические сопротивления пароперегревателя, т.о. $p_{ПП} = p_K \cdot (0,91...0,94)$ МПа;

для схемы "г" давление питательной воды должно учитывать гидравлические сопротивления экономайзера, т.о. $p_{ПВ} = p_K \cdot (1,03...1,05)$ МПа; температура воды на выходе из экономайзера с запасом для недопущения кипения в экономайзере на частичных режимах работы $t_{ЭК} = t_S - (30...50)$ °С; давление перегретого пара должно учитывать гидравлические сопротивления пароперегревателя, т.о. $p_{ПП} = p_K \cdot (0,91...0,94)$ МПа.

Таблица 2.5. К определения теплофизических характеристик

Схе- ма	Иссле- дуемая точка	Давление, МПа	Температура, °С	Энтальпия, i (h), кДж/кг	Удельный объ- ем, v м ³ /кг
а	1	$p_{ПВ} = p_k$ (задано)	$t_{ПВ}$ (задано)	$i_{ПВ} = f(p_k, t_{ПВ})$	$v_{ПВ} = f(p_k, t_{ПВ})$
	2	p_k (задано)	$t_s = f(p_k)$	$i'' = f(p_k)$	$v'' = f(p_k)$
б	1	$p_{ПВ} = f(p_{ЭК})$	$t_{ПВ}$ (задано)	$i_{ПВ} = f(p_k, t_{ПВ})$	$v_{ПВ} = f(p_k, t_{ПВ})$
	2	$p_{ЭК} = p_k$ (задано)	$t_{ЭК} = f(t_s)$	$i_{ЭК} = f(p_k, t_{ПВ})$	$v_{ЭК} = f(p_k, t_{ПВ})$
	3	p_k (задано)	$t_s = f(p_k)$	$i'' = f(p_k)$	$v'' = f(p_k)$
в	1	$p_{ПВ} = p_k$ (задано)	$t_{ПВ}$ (задано)	$i_{ПВ} = f(p_k, t_{ПВ})$	$v_{ПВ} = f(p_k, t_{ПВ})$
	2	p_k (задано)	$t_s = f(p_k)$	$i'' = f(p_k)$	$v'' = f(p_k)$
	3	$p_{ПП} = f(p_k)$	$t_{ПП}$ (задано)	$i_{ПП} = f(p_k, t_{ПВ})$	$v_{ПП} = f(p_k, t_{ПВ})$
г	1	$p_{ПВ} = f(p_{ЭК})$	$t_{ПВ}$ (задано)	$i_{ПВ} = f(p_k, t_{ПВ})$	$v_{ПВ} = f(p_k, t_{ПВ})$
	2	$p_{ЭК} = p_k$ (задано)	$t_{ЭК} = f(t_s)$	$i_{ЭК} = f(p_k, t_{ЭК})$	$v_{ЭК} = f(p_k, t_{ЭК})$
	3	p_k (задано)	$t_s = f(p_k)$	$i'' = f(p_k)$	$v'' = f(p_k)$
	4	$p_{ПП} = f(p_k)$	$t_{ПП}$ (задано)	$i_{ПП} = f(p_k, t_{ПП})$	$v_{ПП} = f(p_k, t_{ПП})$

Назначение и расчет параметров газо-воздушного тракта, расчет рас-
полагаемой теплоты.

2.3.1 Температура холодного воздуха, t_{XB} (°C) – назначается из усло-
вий работы МКО, типовые значения (30...60) °C и температура горячего
воздуха, $t_{ГВ}$ (°C) – назначается на основании изучения котла прототипа и
конструктивных особенностей, типовые значения $t_{ГВ} = (150...320)$ °C.

$$t_{XB} = f(\text{особенност и котла прототипа}) \quad (2.3.1,а)$$

$$t_{ГВ} = f(\text{особенност и котла прототипа}) \quad (2.3.1,б)$$

2.3.2 Теплоемкость холодного воздуха, c_{XB} , и теплоемкость горячего
воздуха, $c_{ГВ}$, кДж/(м³·К) (определяется по таблицам или графику зависимо-
сти теплоемкости от температуры, рисунок 2.3):

$$C_{XB} = f(t_{XB}) \quad (2.3.2,а)$$

$$C_{ГВ} = f(t_{ГВ}) \quad (2.3.2,б)$$

2.3.3 Энтальпия холодного и горячего воздуха, Q_{XB}, Q_{GB} (кДж/кг):

$$Q_{XB} = \alpha \cdot V_{\text{в.л.г}}^0 \cdot C_{XB} \cdot t_{XB} \quad (2.3.3, \text{а})$$

$$Q_{GB} = \alpha \cdot V_{\text{в.л.г}}^0 \cdot C_{GB} \cdot t_{GB} \quad (2.3.3, \text{б})$$

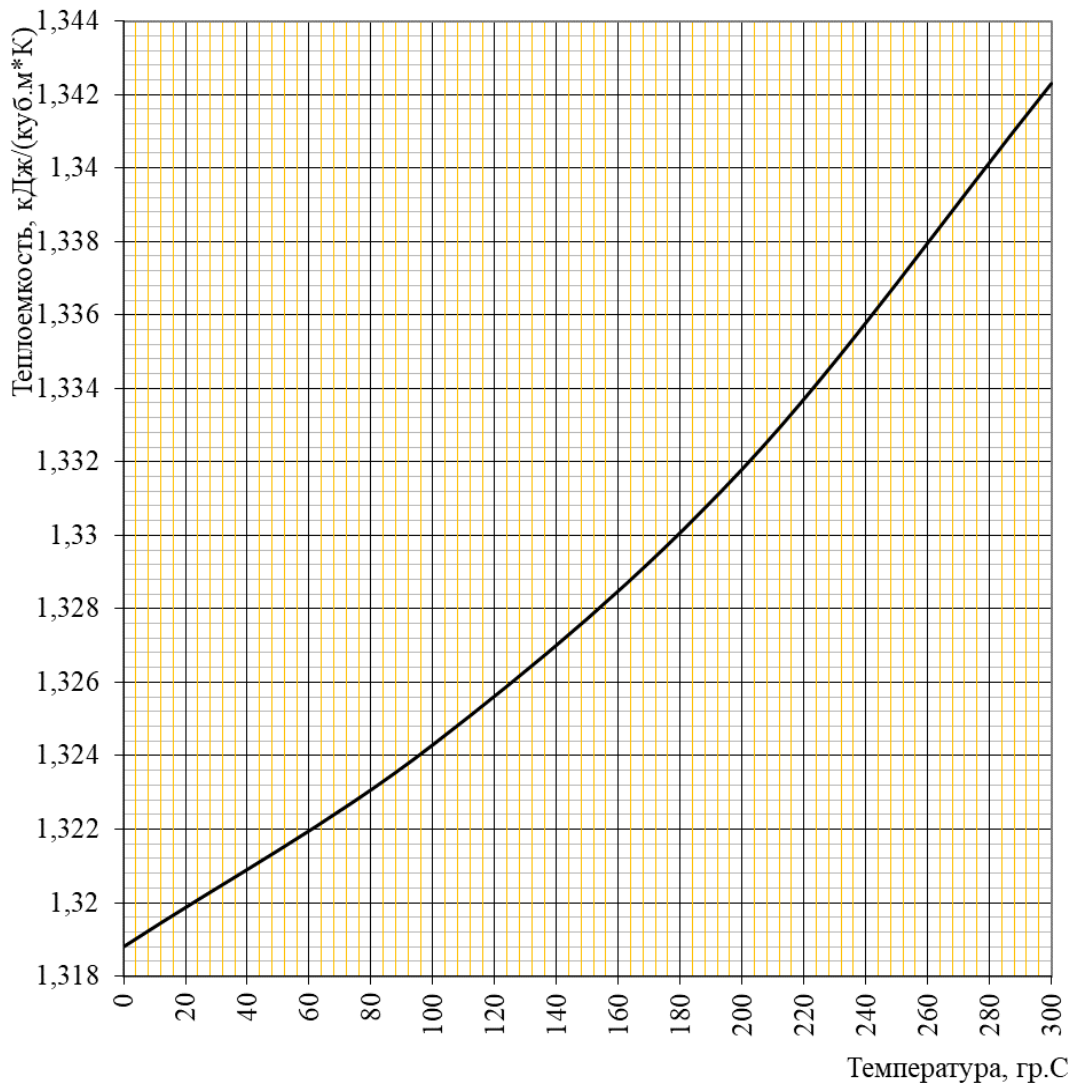


Рисунок 2.3 – К определению теплоемкости воздуха

2.3.4 Температура топлива (t_T), подаваемого на форсунки, (зависит от типа топлива и необходимого диапазона вязкости 12 – 40 сСт), определяется по номограмме (рисунок 2.4).

$$t_T = f(\nu_T) \quad (2.3.4)$$

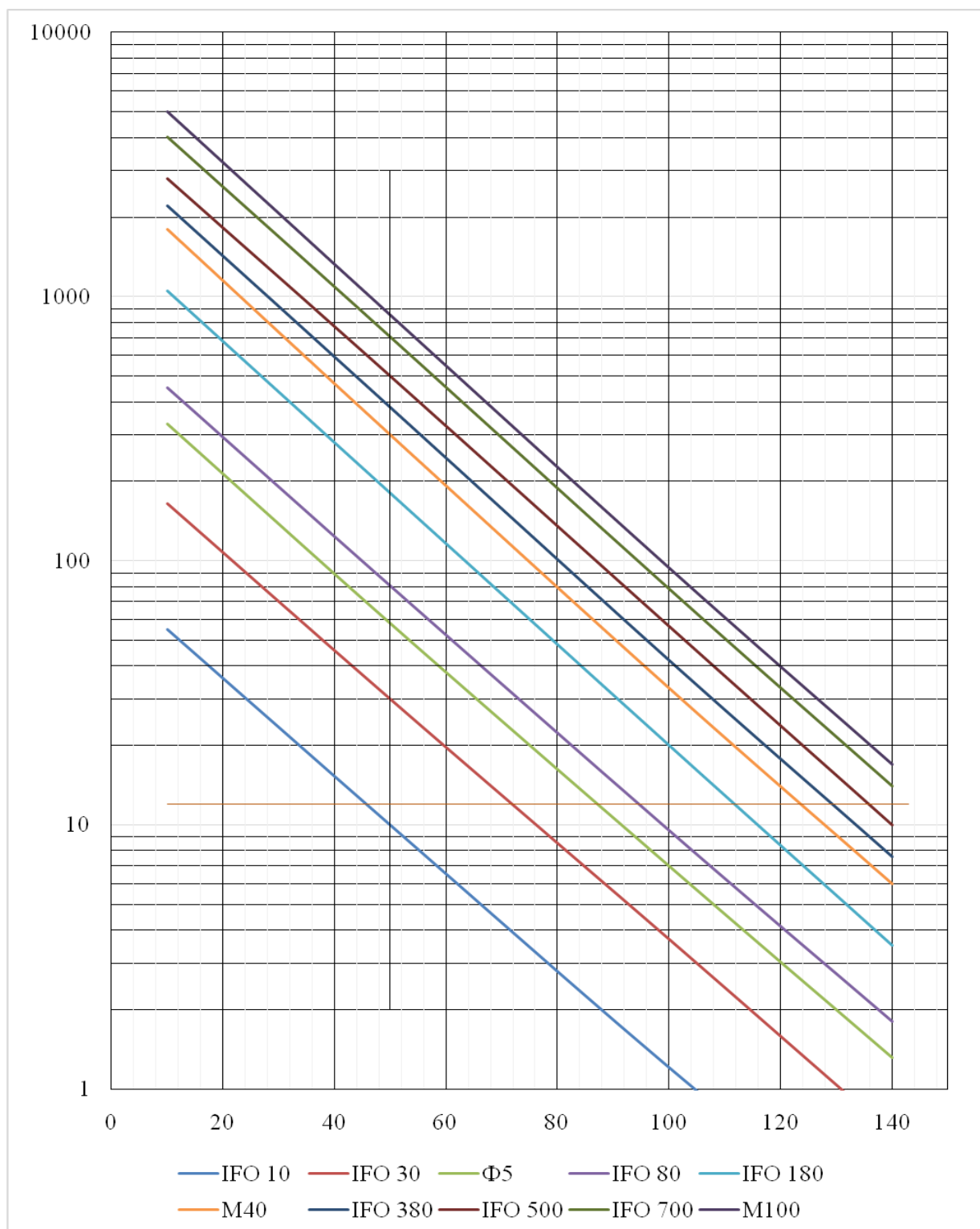


Рисунок 2.4 – Зависимость вязкости топлива от температуры

2.3.5 Теплоемкость топлива, C_T (кДж/(кг·К)):

$$c_T = (1,74 + 0,00252 \cdot t_T) \quad (2.3.5)$$

2.3.6 Энтальпия топлива, поступающего в топку, $Q_{ТОП}$ (кДж/кг):

$$Q_{ТОПЛ} = c_T \cdot t_T \quad (2.3.6)$$

2.3.7 Энтальпия пара, вносимого в топку форсунками, Q_{Φ} (кДж/кг):

$$Q_{\Phi} = G_{\Phi} \cdot (i'' - 2600) \quad (2.3.7)$$

где G_{Φ} – расход пара на форсунке, назначать из диапазона: для паромеханических форсунок $G_{\Phi} = 0,01 \dots 0,05$ кг пара/кг топлива, для пароструйных $G_{\Phi} = 0,1 \dots 0,5$ кг/кг.

2.3.8 Располагаемая теплота, Q_P^P (кДж/кг):

$$Q_P^P = Q_H^P + Q_{ТОПЛ} + Q_{\Phi} \quad (2.3.8)$$

2.3.9 Оценка относительных тепловых потерь.

а) от химической неполноты сгорания q_3 , % – назначается из интервала 0,25 ... 1,0;

$$q_3 = f(\text{характеристики котла}) \quad (2.3.9,а)$$

б) в окружающую среду q_5 , % – назначается из интервала 0,25...1,5;

$$q_5 = f(\text{современность котла}) \quad (2.3.9,б)$$

в) с уходящими газами q_2 , %:

$$q_2 = 100 - \eta_K - q_3 - q_5. \quad (2.3.9,в)$$

2.3.10 Расчет абсолютных потерь.

а) от химической неполноты сгорания, Q_3 (кДж/кг)

$$Q_3 = (Q_P^P \cdot q_3)/100 \quad (2.3.10.а)$$

б) в окружающую среду, Q_5 (кДж/кг);

$$Q_5 = (Q_P^P \cdot q_5)/100 \quad (2.3.10.б)$$

в) с уходящими газами q_2 , Q_2 (кДж/кг);

$$Q_2 = (Q_P^P \cdot q_2)/100 \quad (2.3.10.в)$$

2.3.11 Энтальпия уходящих газов (первая итерация), $J_{УХ}^I$ (кДж/кг)

$$J_{yx}^I = Q_2 + Q_{XB} \quad (2.3.11)$$

2.3.12 Температура уходящих газов (первая итерация), соответствующая энтальпии уходящих газов (определяется по J – ϑ диаграмме – рисунок 2.1 или по таблице 2.4), ϑ_y (°C):

$$\vartheta_y = f(J_{yx}^I) \quad (2.3.12)$$

2.3.13 Теоретическая энтальпия газов в топке, J_{TEOP} (кДж/кг):

$$(Q_H^p + Q_{топли}) \frac{100 - q_3}{100} + Q_{ГВ} + Q_{\phi} \quad (2.3.13)$$

если в конструкции котла воздухоподогреватель отсутствует, принимается $Q_{ГВ} = Q_{XB}$.

2.3.14 Температура газов, соответствующая теоретической энтальпии газов в топке (максимальная температура, определяется по J – ϑ диаграмме – рисунок 2.1 или по таблице 2.4), ϑ_{TEOP} (°C):

$$\vartheta_{TEOP} = f(J_{TEOP}) \quad (2.3.14)$$

2.3.15 Расход топлива

Часовой расход топлива, $B_{\text{ч}}$ (кг/ч):

$$B_{\text{ч}} = \frac{D_{\text{ч}} \cdot (i_{\text{БЫХ}} - i_{\text{ВХ}})}{Q_P^p \cdot \eta_k \cdot 0,01} \quad (2.3.15, \text{a})$$

где $D_{\text{ч}}$ - производительность котла, кг/ч;

$i_{\text{ВХ}}$ - энтальпия питательной воды на входе в котел, кДж/кг;

$i_{\text{БЫХ}}$ - энтальпия пара (перегретого или насыщенного) на выходе из котла, кДж/кг.

Секундный расход топлива, $B_{\text{с}}$ (кг/с):

$$B_{\text{с}} = \frac{B_{\text{ч}}}{3600} \quad (2.3.15, \text{б})$$

2.3.16 Коэффициент сохранения тепла, φ :

$$\varphi = \frac{(100 - q_5)}{100} \quad (2.3.16)$$

2.3.17 Теплота, необходимая для подогрева воды в экономайзере, отнесенная к 1 кг топлива, $Q_{ЭК}$ (кДж/кг):

$$Q_{ЭК} = \frac{D_q \cdot (i_{ЭК} - i_{ПВ})}{(B_q \cdot \varphi)} \quad (2.3.17)$$

если экономайзер отсутствует, $Q_{ЭК}=0$.

2.3.18 Теплота, необходимая на испарение, отнесенная к 1 кг топлива, $Q_{ИСП}$ (кДж/кг):

$$Q_{ИСП} = \frac{D_q \cdot (i'' - i_{ПВ})}{(B_q \cdot \varphi)} \quad (2.3.18)$$

2.3.19 Теплота, необходимая на перегрев отнесенная к 1 кг топлива, $Q_{ПП}$ (кДж/кг):

$$Q_{ПП} = \frac{D_q \cdot (i_{ПП} - i'')}{(B_q \cdot \varphi)} \quad (2.3.19)$$

если пароперегреватель отсутствует, $Q_{ПП}=0$.

2.3.20 Теплота, необходимая для подогрева воздуха в воздухоподогревателе, отнесенная к 1 кг топлива, $Q_{ВП}$ (кДж/кг):

$$Q_{ВП} = \frac{(Q_{ГВ} - Q_{ХВ})}{\varphi} \quad (2.3.20)$$

если воздухоподогреватель пароперегреватель отсутствует, $Q_{ВП}=0$.

2.3.21 Энтальпия уходящих газов (вторая итерация), $J_{УХ}^{II}$ (кДж/кг):

$$J_{УХ}^{II} = J_{ТЕОР} - Q_{ИСП} - Q_{ИСП} - Q_{ИСП} - Q_{ИСП} \quad (2.3.21)$$

2.3.22 Температура уходящих газов (вторая итерация), соответствующая энтальпии уходящих газов (определяется по J – ϑ диаграмме – рисунок 2.1 или по таблице 2.4), $\vartheta_{У}^{II}$ (°C):

$$\vartheta_{У}^{II} = f(J_{УХ}^{II}) \quad (2.3.22)$$

2.3.24 Проверка составления теплового баланса:

по энтальпии уходящих газов, ΔJ (кДж/кг):

$$\Delta J = |J_{УХ}^2 - J_{УХ}^1| \leq 100 \quad (2.3.24,а)$$

по температуре уходящих газов, $\Delta \vartheta (^{\circ}\text{C})$:

$$\Delta \vartheta = \left| \vartheta_{yx}^2 - \vartheta_{yx}^1 \right| \leq 5 \quad (2.3.24, \text{б})$$

2.3.25 Построение тепловой диаграммы котла.

а) Энтальпия газов перед воздухоподогревателем, J_{BP}^{Π} (кДж/кг):

$$J_{BP}^{\Pi} = J_{yx}^{\Pi} + Q_{BP} \quad (2.3.25, \text{а})$$

если воздухоподогреватель отсутствует – $J_{BP}^{\Pi} = J_{yx}^{\Pi}$.

б) Температура газов перед воздухоподогревателем, соответствующая энтальпии газов перед ВП (определяется по J – ϑ диаграмме – рисунок 2.1 или по таблице 2.4), $\vartheta_{BP}^{\Pi} (^{\circ}\text{C})$:

$$\vartheta_{BP}^{\Pi} = f(J_{BP}^{\Pi}) \quad (2.3.25, \text{б})$$

в) Энтальпия газов перед экономайзером, $J_{ЭК}^{\Pi}$ (кДж/кг):

$$J_{ЭК}^{\Pi} = J_{BP}^{\Pi} + Q_{ЭК} \quad (2.3.25, \text{в})$$

если экономайзер отсутствует – $J_{ЭК}^{\Pi} = J_{BP}^{\Pi}$.

г) Температура газов перед экономайзером, соответствующая энтальпии газов перед ЭК (определяется по J – ϑ диаграмме – рисунок 2.1 или по таблице 2.4), $\vartheta_{ЭК}^{\Pi} (^{\circ}\text{C})$:

$$\vartheta_{ЭК}^{\Pi} = f(J_{ЭК}^{\Pi}) \quad (2.3.25, \text{г})$$

д) Энтальпия газов перед пароперегревателем, $J_{ПП}^{\Pi}$ (кДж/кг):

$$J_{ПП}^{\Pi} = J_{ЭК}^{\Pi} + Q_{ПП} \quad (2.3.26, \text{д})$$

если пароперегреватель отсутствует – $J_{ПП}^{\Pi} = J_{ЭК}^{\Pi}$.

е) Температура газов перед пароперегревателем, соответствующая энтальпии газов перед ПП (определяется по J – ϑ диаграмме – рисунок 2.1 или по таблице 2.4), $\vartheta_{ПП}^{\Pi} (^{\circ}\text{C})$:

$$g_{III}^{\Pi} = f(J_{III}^{\Pi}) \quad (2.3.26, \text{е})$$

Построение тепловой диаграммы котла в координатах температура–пучек (на диаграмме указываются параметры газо-воздушного и пароводяного трактов СПК), форма представления изображена на рисунке 2.5.

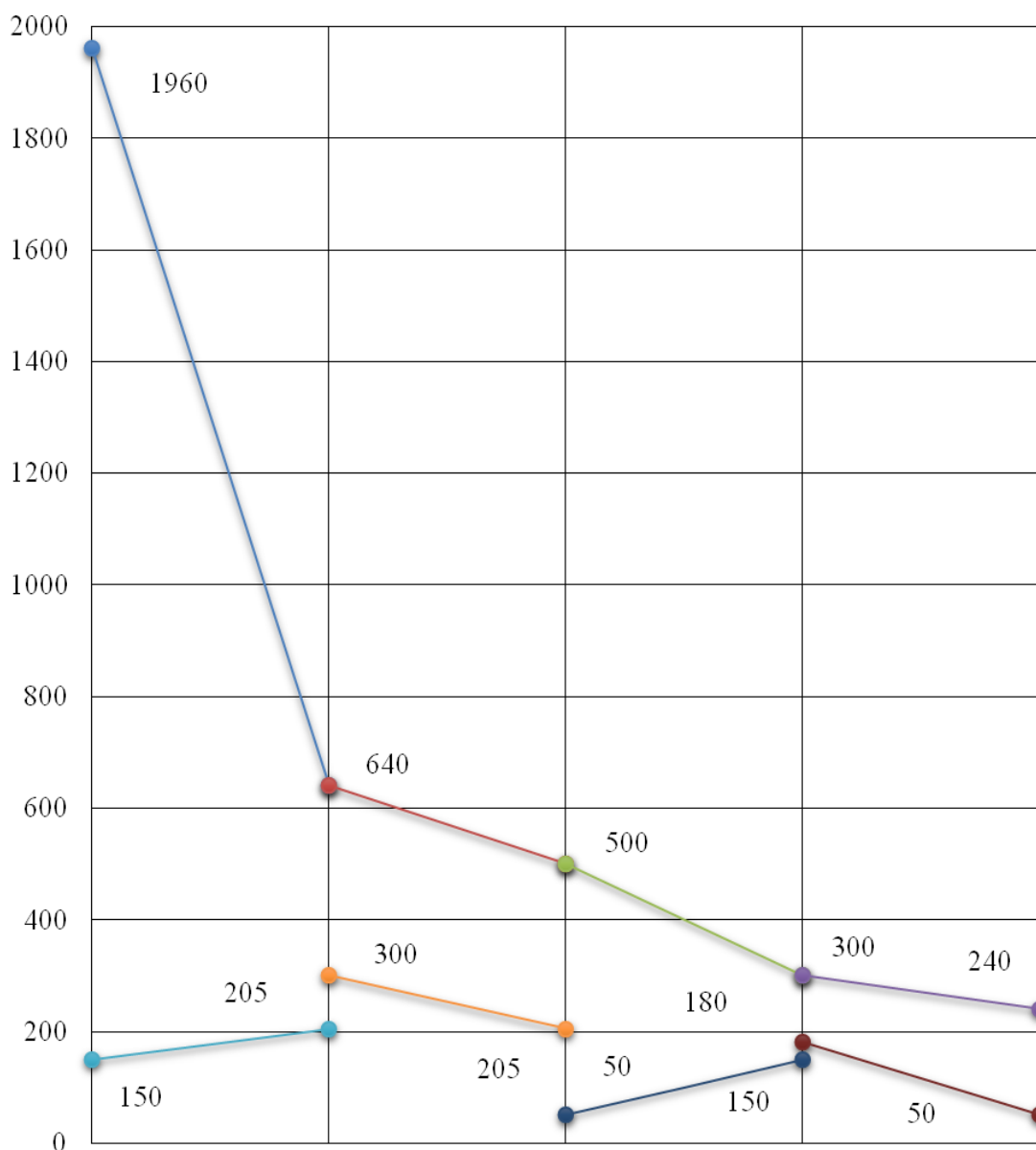


Рисунок 2.5 – Тепловая диаграмма котла

На рисунке 2.5 представлена тепловая диаграмма котла, построенная на основании анализа предварительного теплового баланса. Отрезок «150-205» соответствует подогреву и полному испарению воды в испаритель-

ном пучке. При этом температура продуктов сгорания отражена отрезком «2000-640»; отрезок «300-205» соответствует перегреву пара в пароперегревателе, при этом температура продуктов сгорания снижается («640-500»). Отрезок «50-150» соответствует подогреву воды в экономайзере со снижением температуры дымовых газов на интервале «500-300». Подогрев воздуха в воздухоподогревателе указан отрезком «180-50» при снижении температуры газов на отрезке «300-240». Температура 1961 °С является максимальной температурой сгорания (адиабатической), температура 240 °С является температурой уходящих газов. Можно отметить, в примере движение сред в пароперегревателе и воздухоподогревателе – прямоточное, а в экономайзере – прямоточное.

2.4. Расчет теплообмена в топке

Расчет теплообмена в топках паровых и водогрейных котлов основывается на приложении теории подобия к топочным процессам. На базе этой теории в НПО ЦКТИ имени И. И. Ползунова разработан нормативный метод теплового расчета котлов.

Исходные данные к расчету теплообмена в топке:

- расход топлива;
- максимальная температура и ее энтальпия;
- расходы воздуха и продуктов сгорания на 1 кг топлива;
- конструктивные параметры топки, в том числе:
 - площадь фронта топки или характерный эквивалентный размер, зависящий от формы топки;
 - диаметры труб экранов и первого ряда испарительного пучка;
 - расстояния между осями труб экранов и поперечный шаг первого ряда конвективного испарительного пучка

– площади поверхностей топки, не занятых парообразующими поверхностями.

Искомые параметры топки:

– площадь лучевоспринимающих паропроизводящих элементов топки;

– полная площадь поверхности топки;

– объем топки;

– степень экранирования;

– паропроизводительность топки;

– мощность топки;

– температура и энтальпия дымовых газов на выходе из топки.

Определение объема топки.

Топки котлов типа Kangrim, CPDB, Miura, Aalborg имеют простую форму: усеченную коническую, цилиндрическую. Поэтому определение конструктивных характеристик топок этих котлов несложно.

Топки котлов типа КАВ, КВ, Вагнер, МАС имеют постоянное вертикальное сечение, представляющее собой сложно-профильную фигуру. Поэтому объем топки котлов типа КАВ, КВ, Вагнер определяется площадью фронта топки, имеющего криволинейную форму и длиной топки.

На рисунке 2.6 представлена искомая площадь фронта котла типа КАВ. Искомая величина – площадь переднего фронта котла (представлена на рисунке желтым цветом с учетом площади топочного устройства, отмечена на рисунке красным цветом).

При этом фронт данного котла не содержит паропроизводящих элементов, в отличие от поверхности экрана и первого ряда испарительного конвективного пучка.

В котле типа Вагнер (Приложение 3) задний фронт экранирован парообразующими элементами, а на переднем расположено топочное устройство, на современных котла типа МАС (Приложение К) оба фронта экранированы парообразующими трубами, что существенно увеличивает эффективность котла.

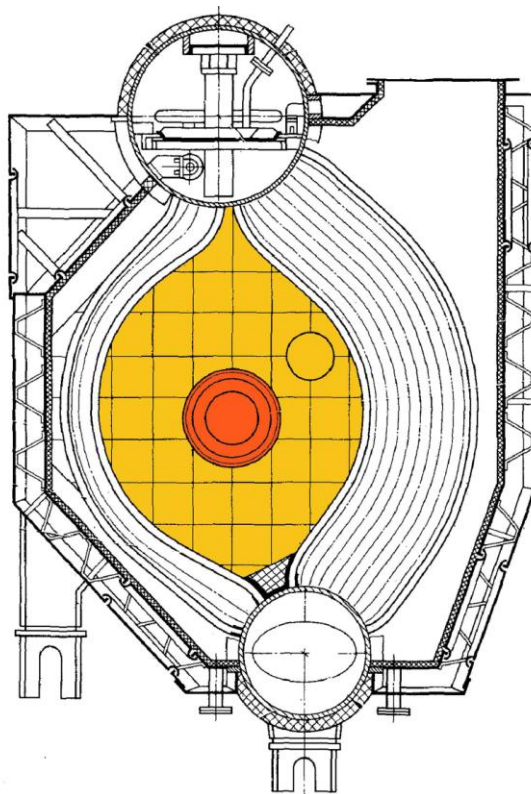


Рисунок 2.6 – К определению площади фронта топки котла

Для водотрубных котлов типа КВ, КАВ, Вагнер с фронтным расположением топочного устройства площадь топки можно определить посредством применения планиметра или методом Пика.

2.4.1 Для расчета площади фронта топки необходимо определить масштаб иллюстрации, используемого для определения площади фронта. Для определения масштаба наиболее рациональный размер котла- прототипа – расстояние по вертикали между осями пароводяного и водяного коллекторов (или иной характерный известный размер). Тогда масштаб определяется из выражения:

$$\mu = \frac{H_{\text{ДЕЙСТ}} (\text{мм})}{H_{\text{НА ИЗОБРАЖЕНИИ}} (\text{мм})} \quad (2.4.1)$$

2.4.2 При определении площади фронта по изображению $F_{\text{ПЛАН}}$ в см^2 площадь топки $F_T (\text{м}^2)$ определяется следующим образом:

$$F_T = F_{\text{ПЛАН}} \cdot \mu^2 \cdot 10^{-4} \quad (2.4.2)$$

Планиметр – инструмент (механический или электро механический), применяется для определения площади криволинейной плоской фигуры (индикаторной диаграммы двигателя внутреннего сгорания, площади фронта топки по чертежу и т.п.).

Общий вид простого механического планиметра представлен на рисунке 2.7. Устройство планиметра представлено на рисунке 2.8.

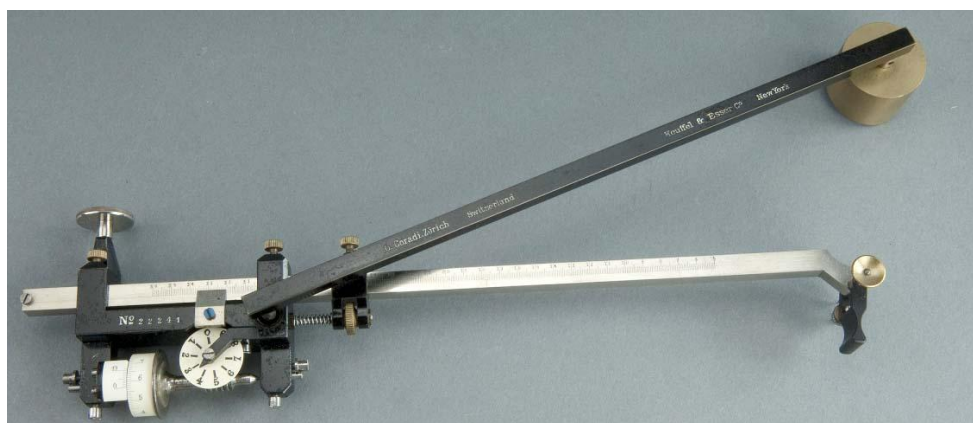
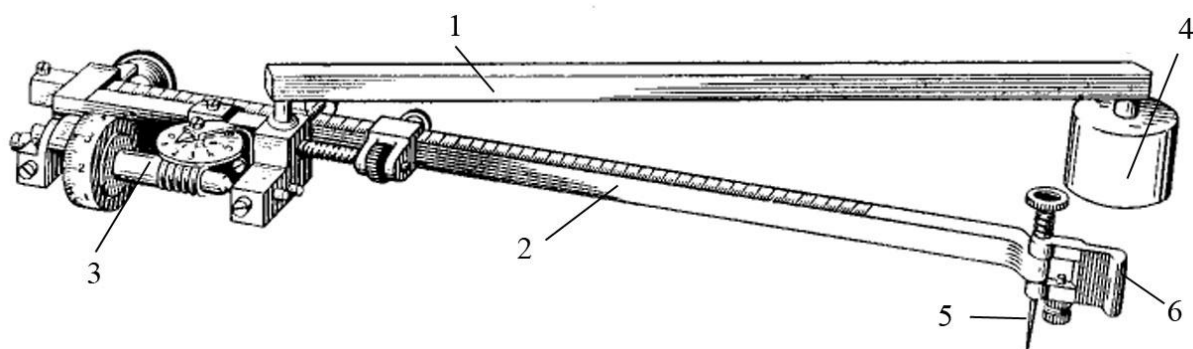


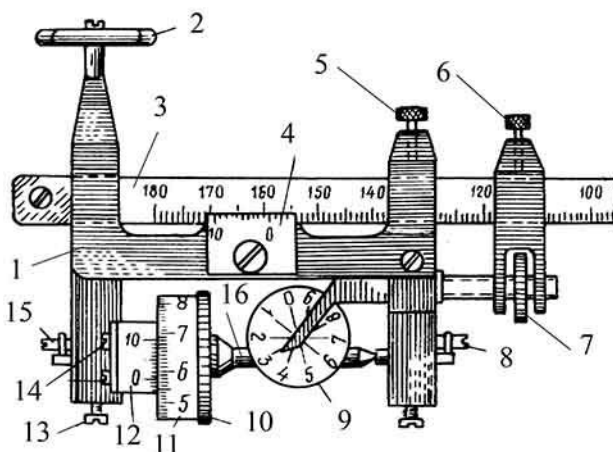
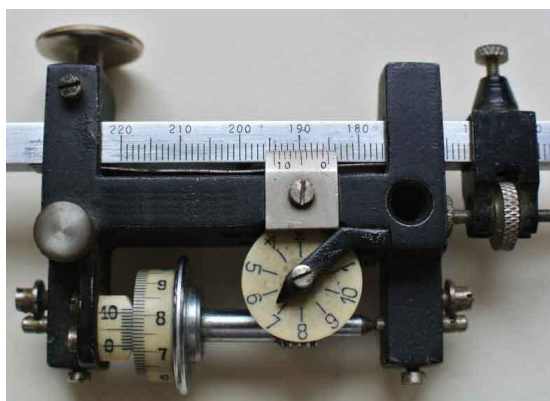
Рисунок 2.7 - Общий вид планиметра



1 – полюсный рычаг; 2 – обводной рычаг; 3 – каретка со счетным механизмом;
4 – опорный груз с иглой (полюс); 5 – обводная игла (шпиль); 6 – шарнирный поводок

Рисунок 2.8 – Устройство планиметра

На рисунке 2.8 представлено устройство каретки со счетным механизмом.



1 – подвижная каретка; 2 – опорный ролик; 3 – обводной рычаг; 4 – нониус для установки счетного механизма на необходимый масштаб; 5 – стопорный винт каретки; 6 – стопорный винт микрометрической каретки; 7 – микрометрическая передача перемещения каретки; 8, 15 – винт настройки опор механизма отсчета; 9 – горизонтальный счетный диск; 10 – обводной ролик; 11 – счетный барабан; 12 – нониус измерительный; 13 – стопорный винт установки игольчатых опор механизма отсчета; 14 – винты настройки нониуса; 16 – горизонтальная ось механизма отсчета

Рисунок 2.9 – Устройство каретки планиметра

Планиметр состоит из двух рычагов — полюсного и обводного. На обводном рычаге находится измерительная каретка со счетным механизмом.

Счетный механизм (рисунок 2.9) состоит из горизонтальной оси 16, на которой укреплен обводной ролик 10 со счетным барабаном 11. Один оборот барабана соответствует (повороту горизонтального счетного диска 9 на одно деление. Счетный барабан разделен на 100 частей и содержит нониус 12, укрепленный на каретке и позволяющим делать отсчеты с точностью до 0,001 оборота. Таким образом, отсчет, выраженный в тысячных долях оборота счетного барабана 11, состоит из четырех цифр, из которых первая отсчитывается по стрелке с горизонтального счетного диска 9, вторая и третья — по барабану 11, четвертая — по нониусу 12. Отсчет по но-

ниусу берется при совпадении черты деления нониуса с чертой деления барабана. Каретку можно перемещать вдоль обводного рычага. Положение каретки фиксируется винтом 5.

На втором конце обводного рычага 2 (рисунок 2.8) установлена обводная игла 5 для обвода площади искомой фигуры и шарнирный поводок 6 для удобства передвижения обводного рычага при обводе планиметра по контуру фигуры. На верхней поверхности обводного рычага нанесена шкала для установки каретки по масштабу, указанному в свидетельстве планиметра. Обычно для планиметрирования в том числе индикаторных диаграмм применяется масштаб, позволяющий определять площадь непосредственно см^2 или мм^2 . В таком случае отсчет по счетному диску дает число сотен, по барабану — число десятков и единиц, по нониусу — число десятых долей в см^2 .

На рисунке 2.9, при настройке планиметра при замерах в см^2 получена следующая величина: горизонтальный счетный диск указывает – 300 см^2 ; барабан – 57 см^2 ; нониус – 0,3 см^2 . Таким образом, размер исследуемой площади в см^2 – $F_{\text{ПЛАН}} = 357,3 \text{ см}^2$. Например, при масштабе 12,75:1 действительная площадь объекта $F_T = 357,3 \cdot 12,75^2 \cdot 10^{-4} = 5,81 \text{ м}^2$.

Полюсный рычаг 1 с одной стороны соединен с опорным грузом 4, стоящим на матрице. На нижней поверхности грузу установлена игла, которая является центром вращения рычага. С другой стороны полюсный рычаг имеет стержень с шаровидным концом, который установлен в глухое отверстие в каретке, прижимая счетный барабан к изображению, и дает возможность счетному механизму передвигаться по определенному закону.

Рекомендуется при определении площади криволинейной фигуры шпиль (иглу) 5 (рисунок 2.8) располагать с центре исследуемого участка, а для полюса выбирать точку, при которой рычаги планиметра составляют

прямой угол (рисунок 2.9). Затем производится беглый обвод контура. Крайние углы при обводе площади должны составлять не менее 30° и не более 150° . Если это условие не выполняется, тогда подбирается благоприятное положение полюса. Возможны случаи, при которых вышеуказанные граничные углы не выполняются. Тогда измерение площади следует выполнять с расположением полюса внутри контура.

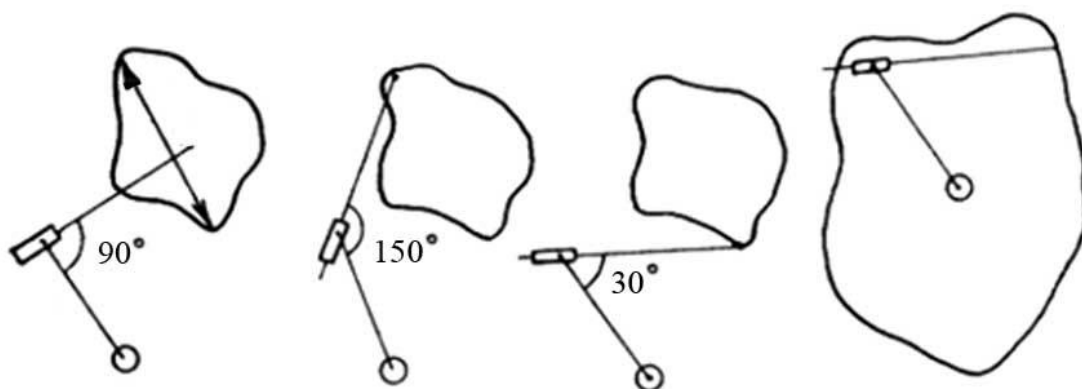
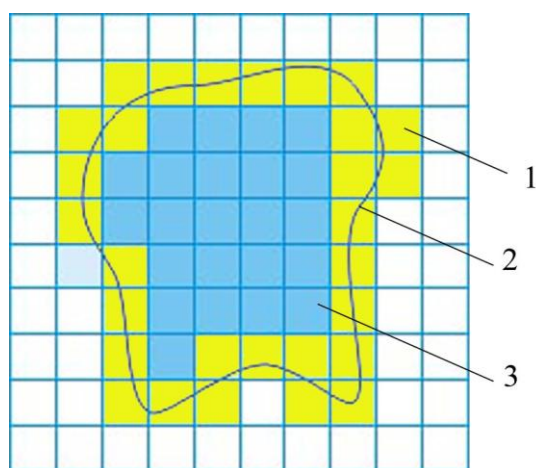


Рисунок 2.9 – К определению расположения планиметра относительно определяемой площади

При отсутствии планиметра площадь криволинейной плоской фигуры можно определить с помощью модифицированной формулы Пика (рисунок 2.10).



1 – нецелые клетки фигуры; 2 – определяемая площадь; 3 – целые клетки фигуры

Рисунок 2.10 – К определению площади фигуры с помощью палетки

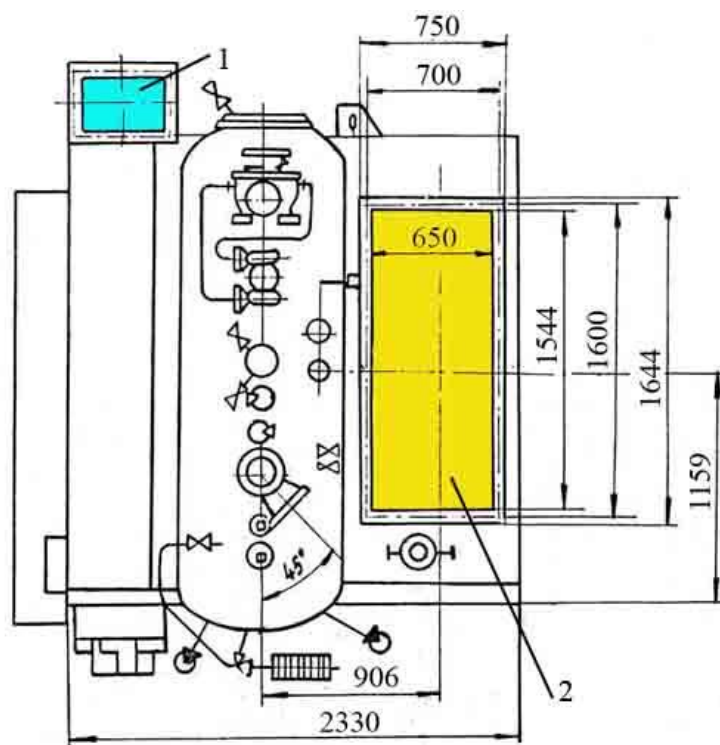
Палеткой в этом случае может быть миллиметровая бумага или бумага в клеточку со стандартной стороной клетки – 0,5 см. На палетку переносится план площади топки, который анализируется.

2.4.3 Площадь фигуры с учетом известного масштаба определяется по формуле:

$$F_T = \left(A + \frac{B}{2}\right) \cdot 0,25 \cdot \mu^2 \cdot 10^{-4} \quad (2.4.3),$$

где A – количество целых клеток; B – количество резанных клеток.

При определении длины топки анализируются конструктивные характеристики котла. Например, для котла КАВ 4/7 длину топки можно определить, изучая вид сверху (рисунок 2.11). Для выхода продуктов сгорания в верхней части котел имеет канал 2 габаритами 650×1544 мм. Для снижения коэффициента тепловой неравномерности при обогреве дымовыми газами испарительного пучка длина выходного отверстия должны соответствовать ширине потока дымовых газов. Таким образом длину топки можно назначить размером $L_T = 1600$ мм.



1 – вход воздуха от вентилятора; 2 – выход продуктов сгорания

Рисунок 2.11 – К определению длины топки

Также, длину труб и площадь фронта топки можно определить, используя возможности системы КОМПАС-3D v23 (приложение Щ).

2.4.4 Объем топки для котла, изображенного на рисунке 2.6 определяется элементарно V_T (м²):

$$V_T = F_T \cdot L_T \quad (2.4.4).$$

Для котлов иной конструкции объем топки приводится к объему элементарных геометрических фигур (цилиндр, усеченный конус и т.п.).

2.4.5 Тепловое напряжение топочного объема, q_T (кВт/ м³):

$$q_T = \frac{B_C \cdot Q_P^P}{V_T} \quad (2.4.5).$$

Назначается число топочных устройств на фронте (принимается равным прототипу), N .

2.4.6 Расчетная производительность одной форсунки, B_ϕ (кг/с):

$$B_\phi = B_C / N \quad (2.4.6)$$

2.4.7 Секундный расход воздуха через отверстие фурмы при вентиляторном дутье, V_{CEK} (м³/с):

$$V_\phi = \frac{(1,016 \cdot \alpha \cdot V^0 \cdot B_\phi \cdot (t_{XB} + 273))}{273} \quad (2.4.7)$$

2.4.8 Необходимая скорость воздуха в отверстие фурмы (для формирования факела принимается из интервала 20–50 м/с), ω_ϕ (м/с):

$$\omega_\phi = (20..50) \text{ м/с} \quad (2.4.8)$$

2.4.9. Живое сечение отверстия фурмы, $F_{\phi УРМА}$ (м²):

$$F_{\phi УРМА} = \frac{V_{CEK}}{\omega_\phi} \quad (2.4.9)$$

2.4.10 Диаметр фурмы, d_ϕ (м):

$$d_{\phi} = \sqrt{\frac{(4 \cdot F_{\phi})}{\pi}} \quad (2.4.10)$$

2.4.11 Луче-воспринимающая поверхность нагрева, H_L (м²). Определяется после изучения поверхности топки, покрытых паропроизводящими луче-воспринимающими трубами.

а) Для котлов, фронты которых не экранированы трубами (типа КВ, КВА):

$$H_L = (L_{\text{Э}} + L_{\text{П}}) \cdot L_T \quad (2.4.11, \text{а})$$

б) Для аналогичных котлов, имеющих трубный экран на одном из фронтов (типа Вагнер):

$$H_L = (L_{\text{Э}} + L_{\text{П}}) \cdot L_T + F_T \quad (2.4.11, \text{б})$$

в) для аналогичных котлов, имеющих полностью экранированную топку

$$H_L = (L_{\text{Э}} + L_{\text{П}}) \cdot L_T + 2 \cdot F_T - F_{\text{ФУРМА}} \quad (2.4.11, \text{в})$$

г) для котлов с цилиндрической топкой (типа Кангрим):

$$H_L = \pi \cdot D_T \cdot H_T - F_{\text{ФУРМА}} + 0,25 \cdot \pi \cdot D_T^2 - 0,25 \cdot \pi \cdot D_{\text{ОТВ}}^2 \quad (2.4.11, \text{г})$$

В выше указанных формулах D_T – диаметр топки; $D_{\text{ОТВ}}$ – диаметр газового выходного отверстия в потолке топки; $L_{\text{Э}}$ и $L_{\text{П}}$ – соответственно облучаемая длина труб экрана и облучаемая длина труб первого ряда конвективного притопочного пучка (принимается равной прототипу или определяется по чертежу).

Облучаемая длина труб определяются по изображению поперечного разреза котла с помощью измерительного инструмента – курвиметра (рисунк 2.12).



1 – обводной зубчатый ролик, 2 – шкала

Рисунок 2.12 – Общий вид курвиметра и определяемые характеристики

Результаты замера в см, поэтому для получения истинного размера труб учитывается масштаб. $L_{\text{Э}} = L_{\text{Э_Масшт}} \cdot \mu$, $L_{\text{П}} = L_{\text{П_Масшт}} \cdot \mu$.

2.4.12 Полная поверхность стен топки, $F_{\text{СТ}}$ (м²):

а) для котлов, фронты которых не экранированы трубами (типа КВ):

$$F_{\text{СТ}} = H_{\text{Л}} + 2 \cdot F_{\text{Т}} \quad (2.4.12, \text{а})$$

б) для аналогичных котлов, имеющих трубный экран на одном из фронтов (типа Вагнер):

$$F_{\text{СТ}} = H_{\text{Л}} + F_{\text{Т}} \quad (2.4.12, \text{б})$$

в) для аналогичных котлов, имеющих полностью экранированную топку:

$$F_{\text{СТ}} = H_{\text{Л}} + F_{\text{ФУРМА}} + F_{\text{ПОД}} \quad (2.4.12, \text{в})$$

г) для котлов с цилиндрической топкой (типа Кангрим):

$$F_{\text{СТ}} = H_{\text{Л}} + F_{\text{ФУРМА}} + 0,25 \cdot \pi \cdot D_{\text{Т}}^2 + 0,25 \cdot \pi \cdot D_{\text{ОТВ}}^2 \quad (2.4.12, \text{г})$$

Наружный диаметр пароводяного коллектора, $D_{\text{ПВК}}$ (м), принимается равным прототипу.

Наружный диаметр водяного коллектора, $D_{\text{ВК}}$ (м), принимается равным прототипу.

2.4.13 Степень экранирования топки, Ψ :

$$\psi = \frac{H_{\text{л}}}{F_{\text{СТ}}} \quad (2.4.13)$$

Далее в расчете теплообмена в топке анализ выполняется для 3 значений, чтобы реализовать графоаналитический метод исследования топки. Расчет безразмерной температуры на выходе из топки выполняется двумя способами, в результате решения которых определяется температура газов на выходе из топки.

2.4.14. Температура газов на выходе из топки ϑ_{3T} (оценивается снижением $\vartheta_{\text{ТЕОР}}$ до ϑ_{3T} ; принимаются 3 значения), рекомендуемые значения – 1100 °С; 1300 °С; 1500 °С.

$$\vartheta_{3T} = f(1100, 1300, 1500) \text{ °С.} \quad (2.4.14)$$

2.4.15 Энтальпия газов на выходе из топки, соответствующая принятым значениям температуры газов на выходе из топки ϑ_{3T}^i (определяется по J – ϑ диаграмме):

$$J_{3T(i)} = f(\vartheta_{3T(i)}) \quad (2.4.15)$$

2.4.16 Безразмерная температура газов на выходе из топки, $\Theta_{3T(i)}^*$:

$$\Theta_{3T(i)}^* = \frac{\vartheta_{3T(i)} + 273}{\vartheta_{\text{ТЕОР}} + 273} \quad (2.4.16)$$

2.4.17 Средняя суммарная объемная теплоемкость газов, $\sum VC_i$ (кДж/кг):

$$\sum VC_i = \frac{J_{\text{ТЕОР}} - J_{3T(i)}}{\vartheta_{\text{ТЕОР}} - \vartheta_{3T(i)}} \quad (2.4.17)$$

2.4.18 Эффективная толщина слоя пламени в топке, S (м):

$$S = 3,6 \cdot \frac{V_T}{F_{\text{СТ}}} \quad (2.4.18)$$

2.4.19 Суммарная объемная доля 3-атомных газов, r_n , используются результаты расчетов пп. 2.1.9 и 2.1.10:

$$r_{\Pi} = r_{H_2O} + r_{RO_2} . \quad (2.4.19)$$

2.4.20 Давление в топке (принимается из диапазона 0,10...0,12 МПа), p (МПа). Считая, что среднее избыточное давление в топке типового водотрубного СПК – 1000...5000 Па (для преодоления аэродинамический сопротивлений конвективных поверхностей) давление в топке составит 0,101...0,104 МПа. Таким образом, в виду малого влияния на теплообмен в СПК давления газовой среды, рекомендуется принимать 0,10 МПа.

$$p = f(\text{тип котла}). \quad (2.4.20)$$

2.4.21 Суммарное парциальное давление трехатомных газов, p_n (МПа):

$$p_{\Pi} = p \cdot r_{\Pi}. \quad (2.4.21)$$

2.4.22 Коэффициент ослабления лучей сажи частицами, $K_{C(i)}$ (1/МПа·м):

$$K_{C(i)} = 0,306 \cdot (2 - \alpha) \cdot (1,6 \cdot \frac{\vartheta_{3T(i)} + 273}{1000} - 0,5) \cdot \frac{C^p}{H^p}. \quad (2.4.22)$$

2.4.23 Коэффициент ослабления лучей трехатомными газами, $K_{R(i)}$ (1/МПа·м):

$$K_{R(i)} = (\frac{2,47 + 5,06 \cdot r_{H_2O}}{\sqrt{p_{\Pi} \cdot S}} - 1,02) \cdot (1 - 0,37 \cdot \frac{\vartheta_{3T(i)} + 273}{1000}) \cdot r_{\Pi}. \quad (2.4.23)$$

2.4.24 Коэффициент ослабления лучей в светящейся части факела, $K_{C\Phi(i)}$ (1/МПа·м):

$$K_{C\Phi(i)} = K_{C(i)} + K_{R(i)} \quad (2.4.24)$$

2.4.25 Степень черноты светящейся части факела, $a_{C\Phi(i)}$:

$$a_{C\Phi(i)} = 1 - e^{-K_{C\Phi(i)} \cdot p_{\Pi} \cdot S} \quad (2.4.25)$$

2.4.26 Степень черноты несветящейся части факела, $a_{P(i)}$:

$$a_{R(i)} = 1 - e^{-K_{R(i)} \cdot p_{II} \cdot S} \quad (2.4.26).$$

2.4.27 Коэффициент M , характеризующий неравномерность распределения тепловой мощности в объеме топки, определяется из графика, $M=f(q_T)$ (рисунок 2.13):

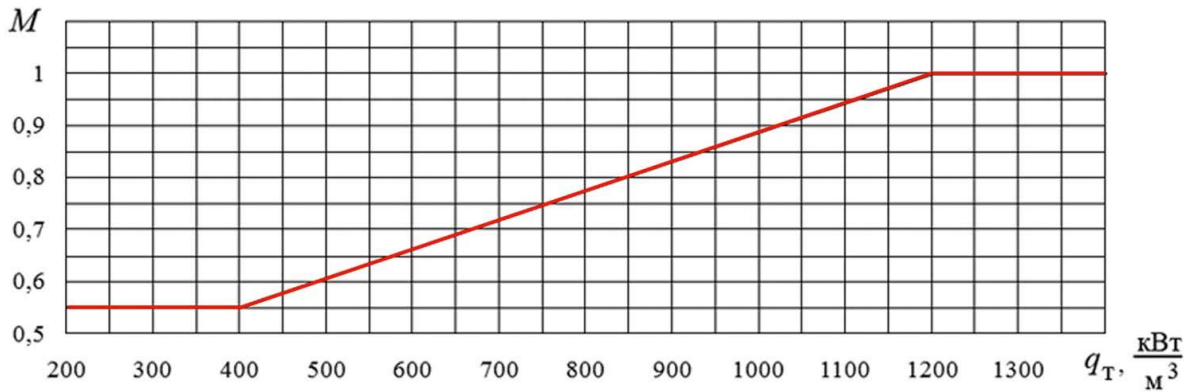


Рисунок 2.13 – К определению коэффициента M

2.4.28 Эффективная степень черноты факела, $a_{\Phi(i)}$:

$$a_{\Phi(i)} = M \cdot a_{C\Phi(i)} + (1 - M) \cdot a_{R(i)} \quad (2.4.28)$$

2.4.29 Средний условный коэффициент загрязнения (зависит от покрытия поверхностей нагрева (для голых труб $\xi = 0,4$; для труб, покрытых обмазкой $\xi = 0,2$; для частей нагрева, покрытых кирпичами $\xi = 0,1$), ξ :

$$\xi = \frac{\sum (H_i \cdot \xi_i)}{H_{\text{л}}} \quad (2.4.29)$$

2.4.30 Условная степень черноты топки, a_T :

$$a_{T(i)} = \frac{a_{\Phi(i)}}{a_{\Phi(i)} + (1 - a_{\Phi(i)}) \cdot \Psi \cdot \xi} \quad (2.4.30)$$

2.4.31 Критерий Больцмана, Bo :

$$Bo_i = \frac{\varphi \cdot B_c \cdot \sum VC_i}{5,67 \cdot 10^{-11} \cdot \xi \cdot H_{\text{л}} \cdot (t_{\text{TEOP}} + 273)^3} \quad (2.4.31)$$

2.4.32 Безразмерная температура газов на выходе из топки, $\Theta_{3T(i)}^{**}$

$$\Theta_{3T(i)}^{**} = \frac{(Bo_{(i)})^{0,6}}{0,69 \cdot (a_{T(i)})^{0,6} + (Bo_{(i)})^{0,6}} \quad (2.4.32)$$

2.4.33 Температура газов на выходе из топки, ϑ_{3T} (°C), определяется графически путем решения системы двух уравнений:

$$\begin{cases} \Theta_{3T(i)}^* = f(\vartheta_{3T(i)}) & - \text{из выражения (2.4.17)} \\ \Theta_{3T(i)}^{**} = f(\vartheta_{3T(i)}) & - \text{из выражения (2.4.32)} \end{cases}$$

$$\vartheta_{3T} = f \left(\begin{cases} \Theta_{3T(i)}^* = f(\vartheta_{3T(i)}) \\ \Theta_{3T(i)}^{**} = f(\vartheta_{3T(i)}) \end{cases} \right) \quad (2.4.33)$$

Пример нахождения искомого решения для некоторых результатов представлены на рисунке 2.14. Определенная графоаналитическим способом температура газов на выходе из топки составила 1185 °C.

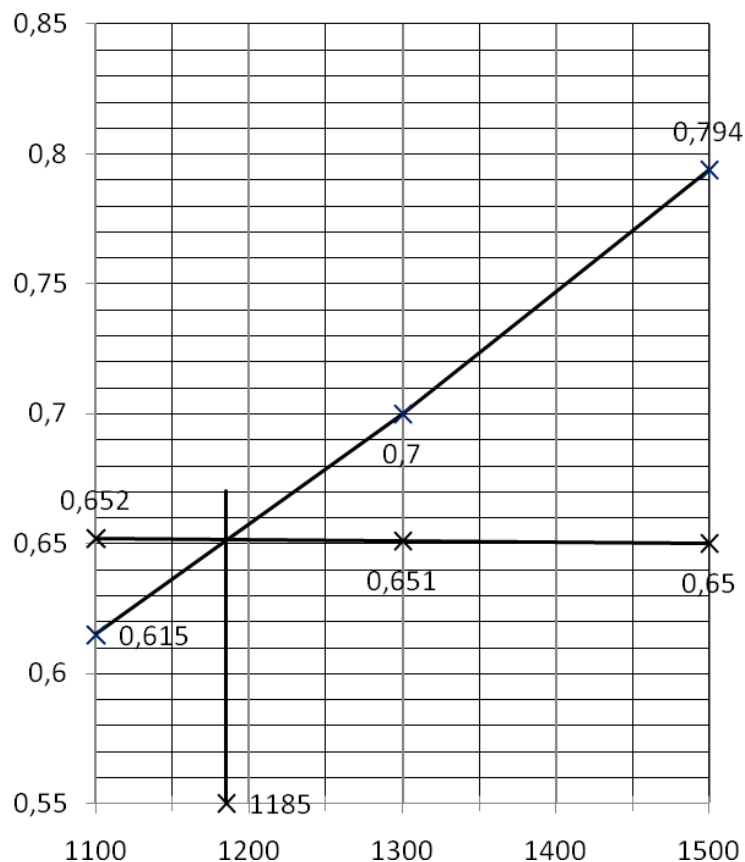


Рисунок 2.14 – К определению температуры газов на выходе из топки

2.4.34 Энтальпия газов на выходе из топки (по J - ϑ диаграмме), $J_{зТ}$ (кДж/кг).

$$J_{зТ} = f(^{\circ}\text{C}). \quad (2.4.34)$$

2.4.35 Мощность топки, Q_T^* (кВт):

$$Q_T^* = B_C \cdot (J_{ТЕОР} - J_{зТ}) \cdot \varphi \quad (2.4.35)$$

2.4.36 Паропроизводительность топки, D_T (кг/с)

$$D_T = Q_T^* / (i'' - i_{ПВ}) \quad (2.4.36)$$

при наличии экономайзера $i_{ПВ} = i_{ЭК}$

2.4.37 Доля топки в общей паропроизводительности котла, $\Delta_{ТОП}$ (%):

$$\Delta_{ТОП} = \frac{D_T}{D_C}, \quad (2.4.37)$$

где D_C – секундная паропроизводительность котла, кг/с.

2.4.38 Тепловая нагрузка луче- воспринимающей поверхности, T (кВт/м²):

$$T = \frac{Q_T^*}{H_{Л}}. \quad (2.4.38)$$

2.5 Расчет испарительного пучка

При расчете конвективных поверхностей нагрева используется уравнение теплопередачи и уравнение теплового баланса.

Исходные параметры: температура и энтальпия продуктов сгорания на входе в пучек, расход топлива, предварительные конструктивные параметры испарительного пучка.

Искомые параметры: мощность пучка, площадь поверхности испарительного пучка, скорость продуктов сгорания.

2.5.1 Наружный диаметр труб пучка (принимается по котлу прототипу), d (м), принимать из диапазона 29 ... 54 мм (0,029...0,054 м). Толщину стенок назначать от 2,5 до 3,5 мм.

$$d = f(29 \times 2,5 \dots 54 \times 3,5) \quad (2.5.1)$$

2.5.2 Поперечный шаг пучка S_1 (м), назначать таким образом, чтобы отношение $S_{1_отн} = \frac{S_1}{d}$ находилось в диапазоне: 1,25...2; величина, $(S_1 - d)$

не должна быть меньше 13 мм:

$$S_1 = S_{1_отн} \cdot d \quad (2.5.2)$$

2.5.3 Продольный шаг пучка ($\frac{S_2}{d}$ принимать в тех же пределах, что и $\frac{S_1}{d}$), S_2 (м):

$$S_2 = S_{2_отн} \cdot d \quad (2.5.3)$$

Принятые конструктивные параметры пучка представлены на рисунке 2.15.

2.5.4 Число труб в одном ряду, Z_1^* (шт):

$$Z_1^* = \frac{L_T}{S_1} \quad (2.5.4)$$

Принятое число труб, Z_1 (шт).

2.5.5 Линейные параметры труб среднего ряда пучка необходимы для определения скорости движения газового потока, коэффициента полноты омывания, площади поверхности одного ряда труб. Определяются после построения графической интерпретации движения дымовых газов через пучек, посредством которой можно оценить полноту омывания пучка продуктами сгорания и назначение зон неэффективного теплообмена (рисунок 2.16). Представленные на рисунке расстояния измеряются курвиметром с учетом масштаба. Для получения усредненных величин при омывании пучка линейные габариты определяются по среднему ряду пуч-

ка. Необходимо также учитывать отношение секундного объема продуктов сгорания, выделяемых в топке расхода воздуха через отверстие фурмы и объема топки.

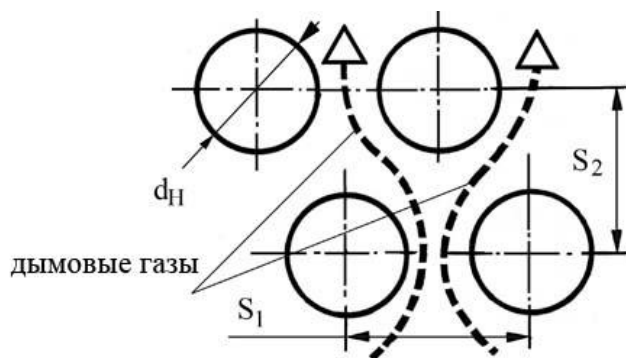


Рисунок 2.15 – Основные конструктивные параметры пучка

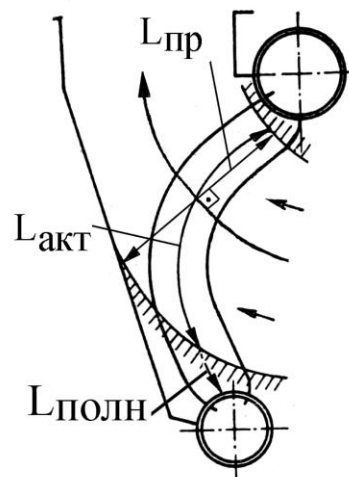


Рисунок 2.16 – К определению линейных характеристик ряда трубного пучка

Полная длина труб среднего ряда, $L_{\text{полн}}$ (м):

$$L_{\text{полн}} = L_{\text{полн_масшт}} \cdot \mu \quad (2.5.5, \text{а})$$

Активная длина труб среднего ряда, $L_{\text{акт}}$ (м):

$$L_{\text{акт}} = L_{\text{пакт_масшт}} \cdot \mu \quad (2.5.5, \text{б})$$

Проекция средней активной длины на прямую, $L_{\text{пр}}$ (м):

$$L_{\text{пр}} = L_{\text{пр_масшт}} \cdot \mu \quad (2.5.5, \text{в})$$

2.5.6 Коэффициент полноты омывания, $\omega_{\text{исп}}$:

$$\omega_{\text{исп}} = \frac{L_{\text{акт}}}{L_{\text{полн}}} \quad (2.5.6)$$

2.5.7 Коэффициент свободного прохода газов, $\varphi_{\text{исп}}$:

$$\varphi_{\text{исп}} = \frac{(S_1 - d)}{S_1} \quad (2.5.7)$$

2.5.8 Площадь живого сечения для прохода газов, $F_{\text{исп}}$ (м²):

$$F_{исп} = \varphi_{исп} \cdot L_{ип} \cdot L_T \quad (2.5.8)$$

2.5.9 Поверхность нагрева одного ряда труб, H_1 (м²):

$$H_1 = \pi \cdot d \cdot L_{полн} \cdot z_1 \quad (2.5.9)$$

2.5.10 Мощность конвективного парообразующего пучка труб (тепловой поток), $Q_{исп}^*$, кВт (при наличии экономайзера $i_{пв} = i_{эк}$):

$$Q_{исп}^* = D_C (i'' - i_{пв}) - Q_T^* \quad (2.5.10)$$

2.5.11 Энтальпия газов за пучком, $J_{исп}$ (кДж/кг):

$$J_{исп} = J_{зт} - \frac{Q_{исп}}{\varphi \cdot B_C} \quad (2.5.11)$$

2.5.12 Температура газов за пучком (определяется по J – ϑ диаграмме – рисунок 2.1 или по таблице 2.4), $\vartheta_{исп}$ (°C):

$$\vartheta_{исп} = f(J_{исп}) \quad (2.5.12)$$

2.5.13 Средняя температура газов в пучке, $\vartheta_{исп_ср}$ (°C):

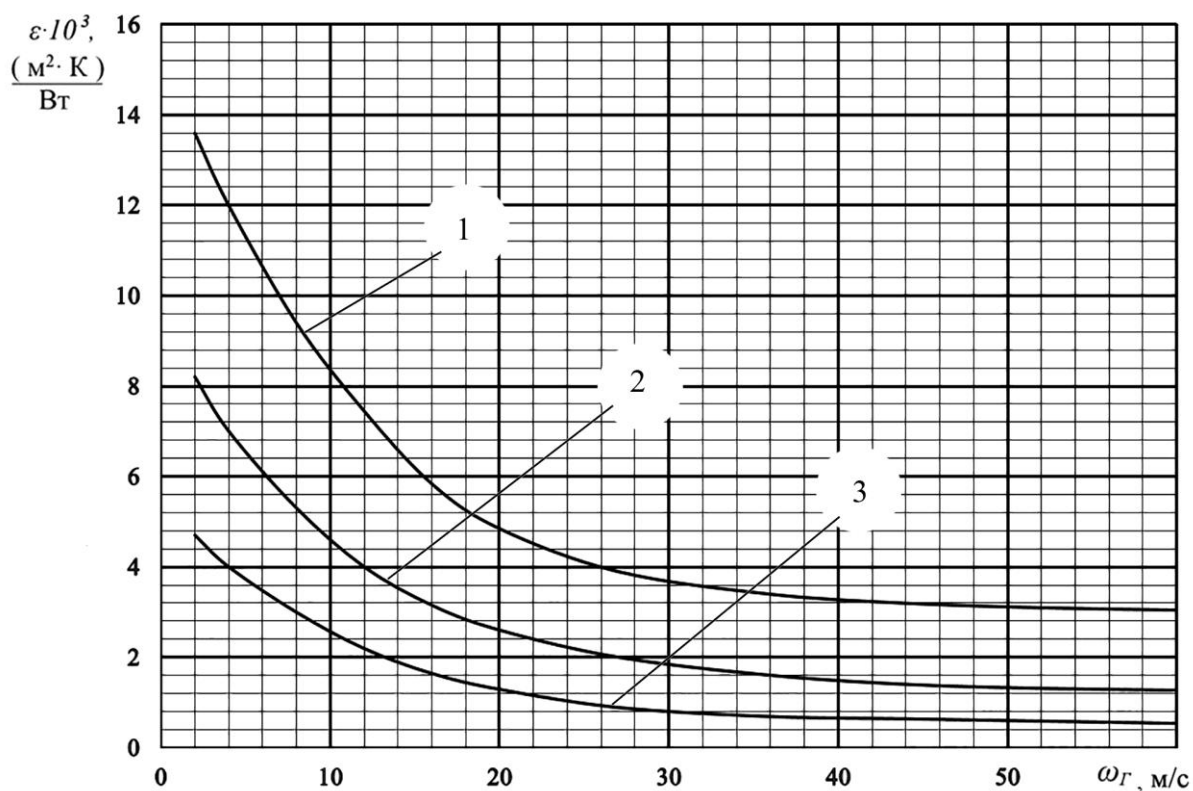
$$\vartheta_{исп_ср} = 0,5 \cdot (\vartheta_{зт} + \vartheta_{исп}) \quad (2.5.13)$$

2.5.14 Средняя скорость газов в пучке, $\omega_{Г_исп}$ (м/с):

$$\omega_{Г_исп} = \frac{B_C \cdot V_G \cdot (\vartheta_{исп_ср} + 273)}{F_{исп} \cdot 273} \quad (2.5.14)$$

2.5.15 Коэффициент загрязнения (определяется средней скоростью продуктов сгорания $\omega_{Г_исп}$ по графику – Рисунок 2.17.). Коэффициент загрязнения используется при расчете коэффициента теплопередачи и учитывает степень загрязнения сажей труб испарительного пучка, как функции скорости продуктов сгорания. На рисунке для сравнения представлены эта характеристика для различных трубных пучков: испарительного, пароперегревателя и экономайзера.

$$\varepsilon_{Г_исп} = f(\omega_{Г_исп}) \quad (2.5.15)$$



1– испарительный пучок; 2 – пароперегреватель; 3 – экономайзер

Рисунок 2.17 – Зависимость коэффициента загрязнения пучка от скорости продуктов сгорания

2.5.16 Плотность теплового потока (для испарительного пучка находится в интервале 10000 ... 50000 Вт/м²), q (Вт/м²):

$$q = f(\text{тип котла}) \quad (2.5.16)$$

2.5.17 Температура загрязненной стенки трубы испарительного пучка, t_{CT} (°C):

$$t_{CT} = t_s + \varepsilon_{\Gamma_ИСП} \cdot q \quad (2.5.17)$$

2.5.18 Теплофизические характеристики продуктов сгорания в пучке при средней температуре газов определяются по рисунку 2.18.

Теплопроводность продуктов сгорания, λ (Вт/(м·К):

$$\lambda = f(\vartheta_{ИСП_СР}) \quad (2.5.18,а)$$

Кинематическая вязкость продуктов сгорания, ν (м²/с):

$$\nu = f(\vartheta_{ИСП_СР}) \quad (2.5.18,б)$$

Критерий Прандтля, P_r :

$$P_r = f(\vartheta_{ИСП_СР}) \quad (2.5.18,в)$$

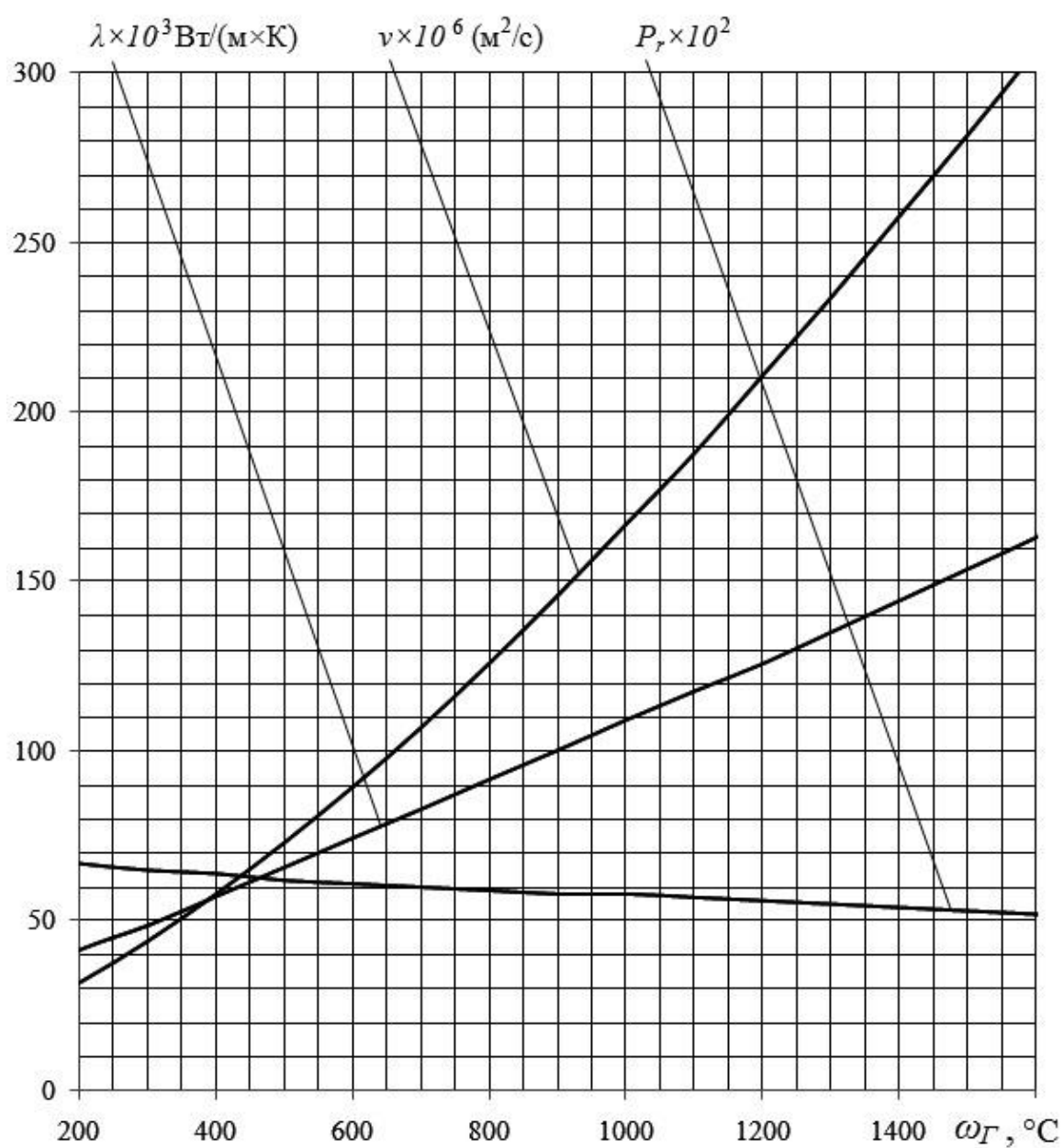


Рисунок 2.18 – Зависимость теплофизических характеристик продуктов сгорания от температуры

2.5.19 Критерий Рейнольдса, Re :

$$Re = \frac{\omega_{Г_исп} \cdot d_H}{\nu} \quad (2.5.19)$$

2.5.20 Поправки на компоновку испарительного трубного пучка.

Поправка на количество рядов в пучке C_z (z_2 предварительно назначается как у прототипа). Рекомендации по назначению или расчеты следующие:

$$\begin{cases} C_z = 3,12 \cdot z_2^{0,05} - 2,5 & \text{при } z_2 < 10 \text{ и } \left(\frac{S}{d}\right) < 3; \\ C_z = 4 \cdot z_2^{0,02} - 3,2 & \text{при } z_2 < 10 \text{ и } \left(\frac{S}{d}\right) \geq 3; \\ C_z = 1 & \text{при } z_2 \geq 10 \end{cases} \quad (2.5.20.a)$$

Поправка на компоновку C_s , для определения которой учитывается параметр φ_c :

$$\varphi_c = \frac{\left(\frac{S_1}{d}\right) - 1}{\sqrt{\left(\frac{S_1}{d}\right)^2 \cdot 0,25 + \left(\frac{S_2}{d}\right)^2} - 1} \quad (2.5.20,б)$$

Поправка на компоновку C_s :

$$\begin{cases} C_s = 0,34 \cdot (\varphi_c)^{0,1} & \text{при } 0,1 < \varphi_c < 1,7; \\ C_z = 0,275 \cdot (\varphi_c)^{0,5} & \text{при } 1,7 < \varphi_c < 4,5 \text{ и } \left(\frac{S_1}{d}\right) < 3; \\ C_z = 0,34 \cdot (\varphi_c)^{0,1} & \text{при } 1,7 < \varphi_c < 4,5 \text{ и } \left(\frac{S_1}{d}\right) \geq 3 \end{cases} \quad (2.5.20,в)$$

2.5.21 Коэффициент теплоотдачи конвекцией, α_k (Вт/(м²·°C)):

$$\alpha_k = C_z \cdot C_s \cdot \frac{\lambda}{d} \cdot (\text{Re})^{0,6} \cdot P_r^{0,33} \quad (2.5.21)$$

2.5.22 Эффективная толщина излучающего слоя, $S_{исп}$ (м):

$$S_{исп} = 0,9 \cdot d \cdot \left(\frac{4 \cdot S_1 \cdot S_2}{\pi \cdot d^2} - 1 \right) \quad (2.5.22)$$

2.5.23 Коэффициент ослабления лучей трехатомными газами, K_R (1/МПа·м):

$$K_r = \left(\frac{2,47 + 5,06 \cdot r_{H_2O}}{\sqrt{p \cdot r_{II} \cdot S_{исп}}} - 1,02 \right) \cdot \left(1 - 0,37 \cdot \frac{g_{исп_ср} + 273}{1000} \right) \cdot r_{II} \quad (2.5.23)$$

2.5.24 Степень черноты трехатомных газов, a_T :

$$a_T = 1 - e^{-k_r \cdot p \cdot r_{II} \cdot S_{исп}} \quad (2.5.24)$$

2.5.25 Приведенная степень черноты трехатомных газов, $a_{пр}$:

$$a_{пр} = 0,5 \cdot (a_{ср} + 1) \cdot a_T \quad (2.5.25)$$

2.5.26 Коэффициент теплоотдачи излучением от трёхатомных газов в межтрубном пространстве, α_L (Вт/(м²·°C)):

$$\alpha_L = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot a_{пр} \cdot (g_{исп_ср} + 273)^3 \cdot \frac{1 - \left(\frac{t_{ср} + 273}{g_{исп_ср} + 273} \right)^4}{1 - \left(\frac{t_{ср} + 273}{g_{исп_ср} + 273} \right)} \quad (2.5.26)$$

2.5.27 Коэффициент теплоотдачи от газов к стенке, α_1 (Вт/(м²·°C)):

$$\alpha_1 = \omega_{исп} \cdot \alpha_K + \alpha_L \quad (2.5.27)$$

2.5.28 Коэффициент теплопередачи, k (Вт/(м²·°C)):

$$k = \frac{\alpha_1}{1 + \varepsilon \cdot \alpha_1} \quad (2.5.28)$$

2.5.29 Средний температурный напор, Δt (°C):

$$\Delta t = \frac{g_{зт} - g_{исп}}{\ln \left(\frac{g_{зт} - t_s}{g_{исп} - t_s} \right)} \quad (2.5.29)$$

2.5.30 Поверхность нагрева парообразующего пучка, $H_{исп}$ (м²):

$$H_{исп} = \frac{Q_{исп}^* \cdot 10^3}{k \cdot \Delta t} \quad (2.5.30)$$

2.5.31 Число рядов труб, Z_2^* (шт):

$$Z_2^* = \frac{H_{исп}}{H_1} \quad (2.5.31)$$

2.5.31 Принятое число рядов пучка, Z_2 .

Округление расчетного количества рядов до принятого выполняется до меньшего целого. При этом, естественно, меняется площадь поверхности пучка и потребляемая мощность испарительного пучка и, как следствие паропроизводительность пучка и котла в целом. Однако в виду малой величины отклонения в настоящем расчете поверочный расчет пучка не выполняется, также, как и для других конвективных пучков (пароперегревателя, экономайзера, при их наличии). Для достижения целочисленного результата в пп. 2.5.30 используются итерационные методы решения, где например можно варьировать величиной поперечного и продольного шага пучка.

$$Z_2 = f(Z_2^*). \quad (2.5.32)$$

2.6 Расчет пароперегревателя

Задачей раздела является определение конструктивных параметров пучка для получения заданных характеристик пара.

Пучек пароперегревателя для повышения надежности обычно устанавливается сразу за топкой или за испарительным пучком. В соответствии с классификацией их выполняют змеевиковыми, одноколлекторными петлевыми и двухколлекторными с трубами малого погиба. Во вспомогательных котлах применяются в основном змеевиковые (СПК типа КВ 35/25-1) и реже – двухколлекторные (КВ-2, КВ-22, КВ 1-1).

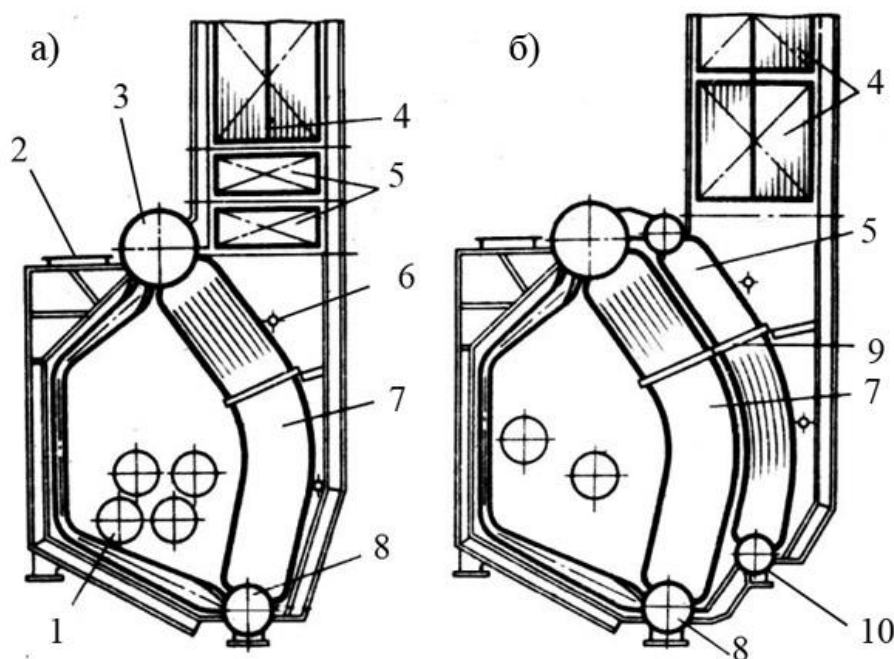
Исходные параметры для расчета: температура и энтальпия продуктов сгорания на входе в пучек, расход топлива.

Промежуточные данные: конструктивные параметры трубного пучка пароперегревателя.

Искомые параметры: мощность пучка, площадь поверхности паропрегревателя, скорость продуктов сгорания, температура продуктов сгорания на выходе из пучка и др.

Определение ряда параметров идентичны расчету подобных для испарительного пучка. Поэтому, для упрощения, представлены ссылки на соответствующие зависимости.

Расположение пароперегревателей в СПК представлено на рисунке 2.19. Для рассмотренных на рисунке 2.19 пароперегревателей существенно отличается коэффициент омывания трубного пучка. На рисунке 2.19,а представлен котел со змеевиковым пароперегревателем, для которого коэффициент омывания близок к единице. На рисунке 2.19,б изображен двухколлекторный пучек, параметры труб которого (для среднего ряда) различаются полной и активной длинами.



1 – топочное устройство; 2 – вход воздуха в меж-обшивочное пространство котла; 3 – пароводяной коллектор; 4 – воздухоподогреватель; 5 – пароперегреватель; 6 – сажеобдувочный аппарат; 7 – испарительный пучек; 8 – водяной коллектор; 9 – гребенка для крепления труб пучков; 10 – коллектор пароперегревателя

Рисунок 2.19 – Схемы расположения пароперегревателей в котлах

2.6.1 Наружный диаметр труб пучка (принимается по котлу прототипу), d (мм), принимать из диапазона 25 и 29 мм при толщине стенки 2,5 ... 3,0 мм.

$$d = f(25 \times 2,5 \dots 29 \times 3,0) \quad (2.6.1)$$

2.6.2 Поперечный шаг пучка S_1 (мм), назначать таким образом, чтобы отношение $S_{1_отн} = \frac{S_1}{d}$ находилось в диапазоне: 1,25...2; величина, $(S_1 - d)$ не должна быть меньше 13 мм:

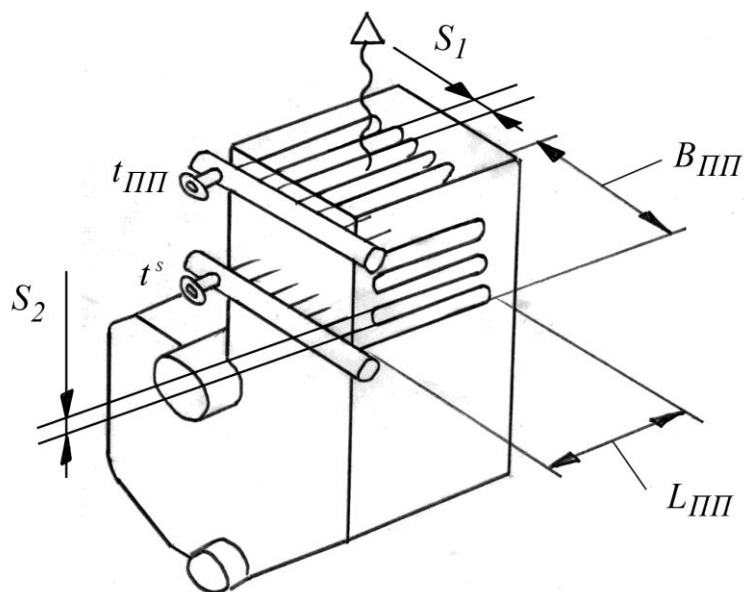
$$S_1 = S_{1_отн} \cdot d \quad (2.6.2)$$

2.6.3 Продольный шаг пучка ($\frac{S_2}{d}$ принимать в тех же пределах, что и $\frac{S_1}{d}$), S_2 (мм):

$$S_2 = S_{2_отн} \cdot d \quad (2.6.3)$$

2.6.4 Число труб в одном ряду, Z_1^* (шт). Число труб учитывает расположение коллекторов пароперегревателя относительно газохода. На рисунке 2.20 представлена структура змеевикового пароперегревателя с коллекторами расположенными перпендикулярно осям паро-водяного и водяного коллекторов. На рисунке длина змейки L_{III} соответствует длине топки. Ширина пароперегревателя B_{III} соответствует ширине хвостовой поверхности нагрева. В этом случае, Z_1^* (шт):

$$Z_1^* = \frac{B_{III}}{S_1} \quad (2.6.4)$$



$L_{ПП}$ – длина змейки; $B_{ПП}$ – ширина пароперегревателя; S_1, S_2 – поперечный и продольный шаги змеевикового пароперегревателя; $t^s, t_{ПП}$ – соответственно температура насыщения и температура перегретого пара

Рисунок 2.20 – Схема змеевикового пароперегревателя

2.6.5 Принятое число труб, Z_1 (шт):

$$Z_1 = f(Z_1^*) \quad (2.6.5)$$

2.6.6 Линейные параметры труб среднего ряда пучка необходимы для определения скорости движения газового потока, коэффициента полноты омывания, площади поверхности одного ряда труб. Определяются после построения схемы пучка, содержащего оценку полноты омывания пучка продуктами сгорания и назначение зон неэффективного теплообмена. Методика нахождения данных параметров отражена на рисунке 2.21. Представленные на рисунке расстояния измеряются курвиметром с учетом масштаба. Последовательность действий следующая: определяется полная длина среднего ряда пучка (кривая А-Е, рисунок 2.21). После построения предполагаемых ограничений потока газов (кривая 1 и 8 красного цвета) определяется активная длина среднего ряда пучка (расстояние А-Д). Далее

назначается средняя линия тока продуктов сгорания через пароперегреватель – кривая 3 синего цвета. В точке пересечения кривых 3 и 6 восстанавливается перпендикуляр 4. На полученный перпендикуляр 4 проецируются точки А и Д. Полученный отрезок Б-Г – длина проекции активной длины трубы. Знание этого необходимо для определения усредненной скорости движения газов через пучек. После определения $L_{ПОЛН}$, $L_{АКТ}$, $L_{ПР}$ рассчитываются параметры $\omega_{ПП}$, $\varphi_{ПП}$, $F_{ПП}$, H_1 соответственно пп. 2.5.5, 2.5.6, 2.5.7, 2.5.8, 2.5.9. Для змеевикового пучка параметры $L_{ПОЛН}$, $L_{АКТ}$ и $L_{ПР}$ в соответствии с рисунком 2.20 равны между собой. Таким образом для змеевикового трубного пучка коэффициент омывания ($\omega_{ПП}$) равен единице.

Полная длина труб среднего ряда, $L_{ПОЛН}$ (м):

$$L_{ПОЛН} = L_{ПОЛН_Масшт} \cdot \mu \quad (2.6.6,а)$$

Активная длина труб среднего ряда, $L_{АКТ}$ (м):

$$L_{АКТ} = L_{ПАКТ_Масшт} \cdot \mu \quad (2.6.6,б)$$

Проекция средней активной длины на прямую, $L_{ПР}$ (м):

$$L_{ПР} = L_{ПР_Масшт} \cdot \mu \quad (2.6.6,в)$$

2.6.7 Коэффициент полноты омывания, $\omega_{ПП}$:

$$\omega_{ПП} = \frac{L_{АКТ}}{L_{ПОЛН}} \quad (2.6.7)$$

2.6.8 Коэффициент свободного прохода газов, $\varphi_{ПП}$:

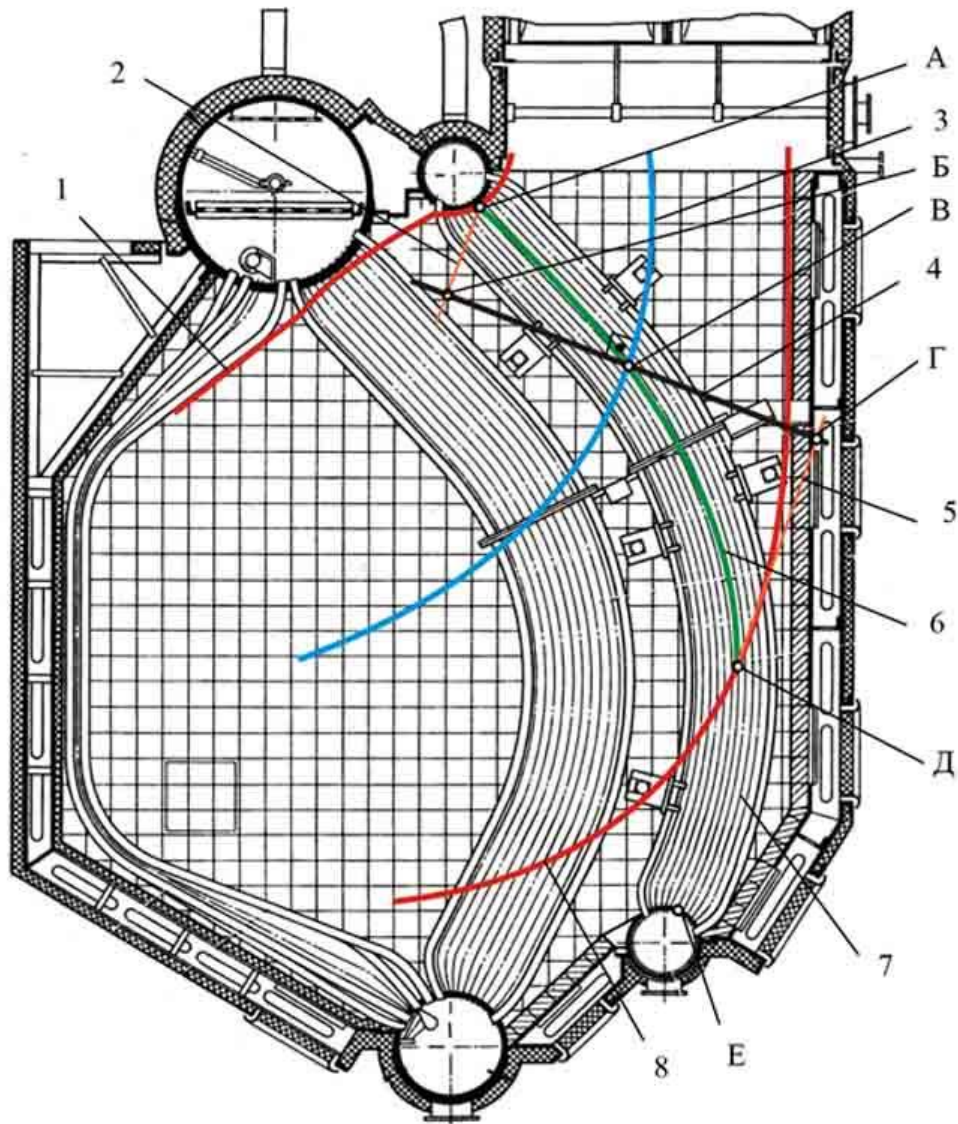
$$\varphi_{ПП} = \frac{(S_1 - d)}{S_1} \quad (2.6.8)$$

2.6.9 Площадь живого сечения для прохода газов, $F_{ПП}$ (м²):

$$F_{ПП} = \varphi_{ПП} \cdot L_{ПР} \cdot L_T \quad (2.6.9)$$

2.6.10 Поверхность нагрева одного ряда труб, H_1 (м²):

$$H_1 = \pi \cdot d \cdot L_{ПОЛН} \cdot z_1 \quad (2.6.10)$$



1, 8 – назначенные верхний и нижний края потока дымовых газов через пароперегреватель; 2, 5 – проекционные связи; 4 – нормаль к средней линии потока газов; 3 – назначенная средняя линия потока газов; 6 – активная часть трубы среднего ряда; 7 – пароперегреватель; А, Д – длина активной длины среднего ряда пучка; В – точка пересечения средней линии потока газов и активной части среднего ряда; Б, Г – длина проекции активной части среднего ряда пучка; А, Е – полная длина среднего ряда пучка

Рисунок 2.21 – Определение линейных параметров пароперегревателя

2.6.11. Мощность пароперегревателя (тепловой поток), Q_{III}^* , кВт (при наличии экономайзера $i_{ПВ} = i_{ЭК}$):

$$Q_{III}^* = D_C (i_{III} - i'') \quad (2.6.11)$$

2.6.12 Энтальпия газов за пароперегревателем, J_{III} (кДж/кг):

$$J_{III} = J_{исп} - \frac{Q_{III}^*}{\varphi \cdot B_C} \quad (2.6.12)$$

2.6.13 Температура газов за пучком (определяется по J – ϑ диаграмме – рисунок 2.1 или по таблице 2.4), ϑ_{III} (°C):

$$\vartheta_{III} = f(J_{III}) \quad (2.6.13)$$

2.6.14 Средняя температура газов в пучке, ϑ_{III_CP} (°C):

$$\vartheta_{III_CP} = 0,5 \cdot (\vartheta_{исп} + \vartheta_{III}) \quad (2.6.14)$$

2.6.15 Средняя скорость газов в пучке, $\omega_{Г_III}$ (м/с):

$$\omega_{Г_III} = \frac{B_C \cdot V_G \cdot (\vartheta_{III_CP} + 273)}{F_{III} \cdot 273} \quad (2.6.15)$$

2.6.16 Коэффициент загрязнения для пароперегревателя (определяется средней скоростью продуктов сгорания $\omega_{Г_III}$ по графику – Рисунок 2.17).

$$\varepsilon_{Г_III} = f(\omega_{Г_III}) \quad (2.6.16)$$

2.6.17. Плотность теплового потока (для пароперегревателя находится в интервале 10000-50000 Вт/м²), q (Вт/м²):

$$q = f(\text{тип котла}) \quad (2.6.17)$$

2.6.18 Температура загрязненной стенки трубы пароперегревателя, $t_{СТ}$ (°C):

$$t_{СТ} = t_S + \varepsilon_{Г_III} \cdot q \quad (2.6.18)$$

2.6.19 Теплофизические характеристики продуктов сгорания в пароперегревателе при средней температуре газов (ϑ_{III_CP}) определяются по рисунку 2.18.

Теплопроводность продуктов сгорания, λ (Вт/(м·K):

$$\lambda = f(\vartheta_{исп_CP}) \quad (2.6.19,а)$$

Кинематическая вязкость продуктов сгорания, ν (м²/с):

$$\nu = f(\vartheta_{ИСП_CP}) \quad (2.6.19,б).$$

Критерий Прандтля, P_r :

$$P_r = f(\vartheta_{ИСП_CP}) \quad (2.6.19,в).$$

2.6.20 Критерий Рейнольдса, Re :

$$Re = \frac{\omega_{г_III} \cdot d_H}{\nu} \quad (2.6.20).$$

2.6.21 Поправки на компоновку испарительного трубного пучка.

Поправка на количество рядов в пучке C_z (z_2 предварительно назначается как у прототипа). Рекомендации по назначению или расчеты следующие:

$$\begin{cases} C_z = 3,12 \cdot z_2^{0,05} - 2,5 & \text{при } z_2 < 10 \text{ и } \left(\frac{S}{d}\right) < 3; \\ C_z = 4 \cdot z_2^{0,02} - 3,2 & \text{при } z_2 < 10 \text{ и } \left(\frac{S}{d}\right) \geq 3; \\ C_z = 1 & \text{при } z_2 \geq 10 \end{cases} \quad (2.6.21.а)$$

Поправка на компоновку C_s , для определения которой учитывается параметр φ_c :

$$\varphi_c = \frac{\left(\frac{S_1}{d}\right) - 1}{\sqrt{\left(\frac{S_1}{d}\right)^2 \cdot 0,25 + \left(\frac{S_2}{d}\right)^2} - 1} \quad (2.6.21,б)$$

Поправка на компоновку C_s :

$$\begin{cases} C_s = 0,34 \cdot (\varphi_c)^{0,1} & \text{при } 0,1 < \varphi_c < 1,7; \\ C_z = 0,275 \cdot (\varphi_c)^{0,5} & \text{при } 1,7 < \varphi_c < 4,5 \text{ и } \left(\frac{S_1}{d}\right) < 3; \\ C_z = 0,34 \cdot (\varphi_c)^{0,1} & \text{при } 1,7 < \varphi_c < 4,5 \text{ и } \left(\frac{S_1}{d}\right) \geq 3 \end{cases} \quad (2.6.21,в)$$

2.6.22 Коэффициент теплоотдачи конвекцией, α_K (Вт/(м²·°C)):

$$\alpha_k = C_z \cdot C_s \cdot \frac{\lambda}{d} \cdot (\text{Re})^{0,6} \cdot P_r^{0,33} \quad (2.6.22)$$

2.6.23 Эффективная толщина излучающего слоя, $S_{ИСП}$ (м):

$$S_{III} = 0,9 \cdot d \cdot \left(\frac{4 \cdot S_1 \cdot S_2}{\pi \cdot d^2} - 1 \right) \quad (2.5.23)$$

2.6.24 Коэффициент ослабления лучей трехатомными газами, K_R (1/МПа·м):

$$K_r = \left(\frac{2,47 + 5,06 \cdot r_{H_2O}}{\sqrt{p \cdot r_{II} \cdot S_{III}}} - 1,02 \right) \cdot \left(1 - 0,37 \cdot \frac{\vartheta_{III_CP} + 273}{1000} \right) \cdot r_{II} \quad (2.6.24)$$

2.6.25 Степень черноты трехатомных газов, a_T :

$$a_T = 1 - e^{-k_r \cdot p \cdot r_{II} \cdot S_{III}} \quad (2.6.25)$$

2.6.26 Приведенная степень черноты трехатомных газов, $a_{ПР}$:

$$a_{ПР} = 0,5 \cdot (a_{СТ} + 1) \cdot a_T \quad (2.6.26)$$

2.6.27 Коэффициент теплоотдачи излучением от трёхатомных газов в межтрубном пространстве, α_L (Вт/(м²·°C)):

$$\alpha_{,L} = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot a_{ПР} \cdot (\vartheta_{III_CP} + 273)^3 \cdot \frac{1 - \left(\frac{t_{СТ} + 273}{\vartheta_{III_CP} + 273} \right)^4}{1 - \left(\frac{t_{СТ} + 273}{\vartheta_{III_CP} + 273} \right)} \quad (2.6.27)$$

2.6.28 Средняя температура перегретого пара, t_{CP} (°C):

$$t_{CP} = 0,5 \cdot (t_s + t_{III}) \quad (2.6.28)$$

2.6.29 Среднее давление перегретого пара, p_{CP} (МПа):

$$p_{CP} = 0,5 \cdot (P_K + P_{III}) \quad (2.6.29)$$

2.6.30 Средняя скорость перегретого пара (принимаяем), ω_{III}^* (м/с),
назначается из интервала 15... 25 м/с:

$$\omega_{III}^* = f(15...25) \quad (2.6.30)$$

2.6.31 Используя справочные таблицы теплофизических свойств воды и пара, определяются следующие параметры:

– средний удельный объем перегретого пара при t_{CP} и p_{CP} , v_{CP} (м³/кг):

$$v_{CP} = f(p_{CP}, t_{III}) \quad (2.6.31,а)$$

– средняя плотность перегретого пара, ρ_{CP} (кг/м³):

$$\rho_{CP} = f(p_{CP}, t_{III}) \quad (2.6.31,б)$$

– коэффициент динамической вязкости перегретого пара, μ_{CP} (Па·с):

$$\mu_{CP} = f(p_{CP}, t_{III}) \quad (2.6.31,в)$$

– коэффициент кинематической вязкости, ν_{CP} (м²/с):

$$\nu_{CP} = f(p_{CP}, t_{III}) \quad (2.6.31,г)$$

– коэффициент теплопроводности, λ_{CP} (Вт/(м·°C)):

$$\lambda_{CP} = f(p_{CP}, t_{III}) \quad (2.6.31,д);$$

– критерий Прандтля для перегретого пара, P_r :

$$P_r = f(p_{CP}, t_{III}) \quad (2.6.31,е).$$

2.6.32 Критерий Рейнольдса для пара, $Re = \omega_{III}^* \cdot d_{BH} / \nu$

$$Re = \frac{\omega_{III}^* \cdot d_{BH}}{\nu_{CP}} \quad (2.6.32),$$

где d_{BH} - внутренний диаметр трубы пароперегревателя, м.

2.6.33 Поправки на компоновку пароперегревателя.

– поправка, учитывающая направление теплового потока, C_t

$$C_t = f(\text{угол наклона к газовому потоку}) \quad (2.6.33,а);$$

для пароперегревателей $C_t = 1$;

– поправка, учитывающая относительную длину труб, C_L

$$C_L = f(\text{отношение длины к диаметру отверстия}) \quad (2.6.33,б);$$

в случае, когда отношение (L_{III}/d_{BH}) более 50, $C_L = 1$.

2.6.34 Коэффициент теплоотдачи от стенки к пару, α_2 (Вт/(м²·°C)):

$$\alpha_2 = 0,023 \cdot \frac{\lambda_{CP}}{d_{BH}} \text{Re}^{0,8} \cdot \text{Pr}^{0,4} \cdot C_t \cdot C_L \quad (2.6.34)$$

2.6.35 Коэффициент теплопередачи, k (Вт/(м²·°C)):

$$k = \frac{1}{\frac{1}{(\omega_{III} \cdot \alpha_K + \alpha_L)} + \varepsilon + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (2.6.35)$$

2.6.36 Средний температурный напор, Δt (°C):

$$\Delta t = \frac{g_{исп} - g_{III}}{\ln \left(\frac{g_{исп} - t_{CP}}{g_{III} - t_{CP}} \right)} \quad (2.6.36)$$

2.6.37 Поверхность нагрева пароперегревателя, H_{III} (м²):

$$H_{III} = \frac{Q_{III}^* \cdot 10^3}{k \cdot \Delta t} \quad (2.6.37)$$

2.6.38 Число рядов труб, Z_2^* (шт):

$$Z_2^* = \frac{H_{III}}{H_1} \quad (2.6.38)$$

2.6.39 Принятое число рядов, Z_2 :

Округление расчетного количества рядов до принятого выполняется до меньшего целого. При этом, естественно, меняется площадь поверхности пучка и потребляемая мощность пароперегревателя и, как следствие мощность пучка и котла в целом. Однако в виду малой величины отклонения в настоящем расчете поверочный расчет пучка не выполняется, также, как и для других конвективных пучков. Для достижения целочисленного результата в пп. 2.6.38 используются итерационные методы решения, где например можно варьировать величиной поперечного и продольного шага пучка.

$$Z_2 = f(Z_2^*) \quad (2.6.39)$$

2.6.40 Средняя скорость перегретого пара в одноходовом (однозаконном) пароперегревателе, ω_{III}^{OX} :

$$\omega_{III}^{OX} = \frac{4 \cdot D_C \cdot v_{III}^*}{\pi \cdot d_{BH}^2 \cdot z_1 \cdot z_2} . \quad (2.6.40)$$

2.6.41 Принятое число ходов (заходность змейки) для змеевикового пароперегревателя, m :

$$m = \frac{\omega_{III}}{\omega_{III}^{OX}} . \quad (2.6.42,a)$$

Принятое число ходов для двухколлекторного пароперегревателя (количество перегородок) , m :

$$m = \frac{\omega_{III}}{\omega_{III}^{OX}} - 1 . \quad (2.6.42,b)$$

2.7 Расчет экономайзера

Задачей раздела является определение конструктивных параметров пучка для получения воды, поступающей в пароводяной коллектор, назначенной температуры.

Пучек экономайзера обычно устанавливается в хвостовой поверхности котла: последним или перед воздухоподгревателем. Обычно экономайзеры выполняются змеевиковыми. Для обеспечения требуемой скорости воды в трубах пучка (1,5...2,5 м/с) змеевики экономайзеров имеют определенную заходность.

Исходные параметры для расчета: температура и энтальпия продуктов сгорания на входе в пучек, расход топлива, теплофизические характеристики воды на входе и выходе из пучка.

Промежуточные данные: конструктивные параметры трубного пучка экономайзера, схема включения пучка в газовый поток (прямоточное, противоточное или смешанное).

Искомые параметры: мощность пучка, площадь поверхности пароперегревателя, скорость продуктов сгорания, температура продуктов сгорания на выходе из пучка и др.

Определение ряда параметров идентичны расчету подобных для испарительного пучка. Поэтому, для упрощения, представлены ссылки на соответствующие зависимости.

Расположение экономайзера в СПК представлено на рисунке 2.22. Обычно коллектора пучка располагаются параллельно фронтам котла. На рисунке 2.22 $L_{ЭК}$ соответствует длине топки котла.

2.7.1 Наружный диаметр труб пучка (принимается по котлу прототипу), d (м), принимать из диапазона 25 и 29 мм при толщине стенки 2,5 ... 3,0 мм.

$$d = f(25 \times 2,5 \dots 29 \times 3,0) \quad (2.7.1)$$

2.7.2 Поперечный шаг пучка S_1 (м), назначать таким образом, чтобы отношение $S_{1_отн} = \frac{S_1}{d}$ находилось в диапазоне: 1,25...2; величина, $(S_1 - d)$ не должна быть меньше 13 мм:

$$S_1 = S_{1_отн} \cdot d \quad (2.7.2)$$

2.7.3 Продольный шаг пучка ($\frac{S_2}{d}$ принимать в тех же пределах, что и $\frac{S_1}{d}$), S_2 (м):

$$S_2 = S_{2_отн} \cdot d \quad (2.7.3)$$

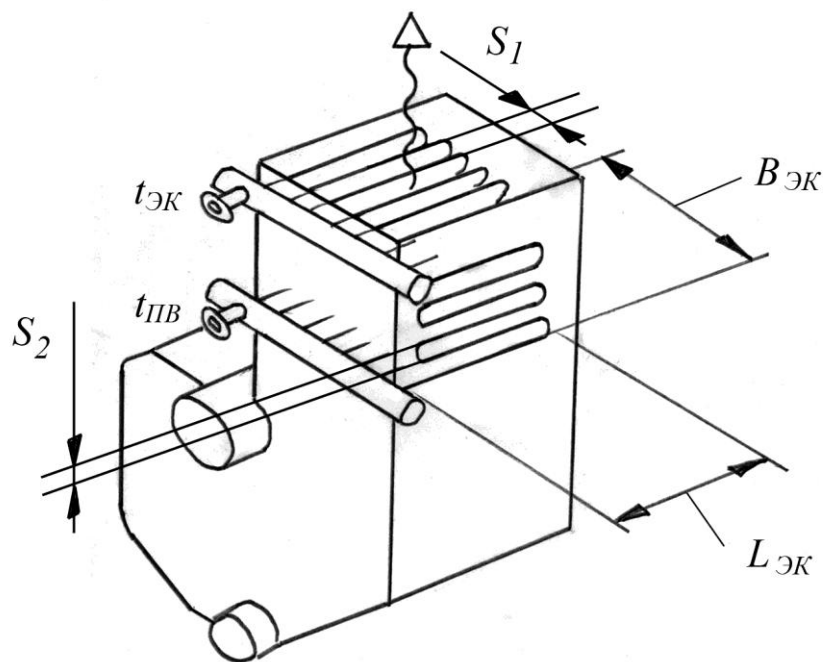
2.7.4 Число труб в одном ряду, Z_1^* (шт). Для экономайзера, расположенного в котле в соответствии с рисунком 2.22:

$$Z_1^* = \frac{B_{ЭК}}{S_1} \quad (2.7.4)$$

Принятое число труб, Z_1 (шт).

2.7.5 Принятое число труб в ряду, Z_1 (шт).

$$Z_1 = f(Z_1^*) \quad (2.7.5)$$



$L_{ЭК}$ – длина змейки; $B_{ЭК}$ – ширина экономайзера; S_1 , S_2 – поперечный и продольный шаги экономайзера; $t_{ПВ}$, $t_{ЭК}$ – соответственно температура питательной воды и воды на выходе из экономайзера

Рисунок 2.22 – Схема экономайзера

2.7.6 Линейные параметры труб среднего ряда пучка необходимы для определения скорости движения газового потока, коэффициента полноты омывания, площади поверхности одного ряда труб. Определяются после построения схемы пучка, содержащего оценку полноты омывания пучка продуктами сгорания и назначение зон неэффективного теплообмена (рисунок 2.16). Представленные на рисунке расстояния измеряются с учетом масштаба. Для змеевикового пучка параметры $L_{ПОЛН}$, $L_{АКТ}$ и $L_{ПР}$ в соответствии с рисунком 2.22 равны между собой. Таким образом для змеевикового трубного пучка коэффициент омывания ($\omega_{ЭК}$) равен единице.

Полная длина труб среднего ряда, $L_{ПОЛН}$ (м):

$$L_{ПОЛН} = L_{ПОЛН_Масшт} \cdot \mu \quad (2.7.6,а)$$

Активная длина труб среднего ряда, $L_{АКТ}$ (м):

$$L_{AKT} = L_{ПАКТ_Масшт} \cdot \mu \quad (2.7.6,б)$$

Проекция средней активной длины на прямую, $L_{ПР}$ (м):

$$L_{ПР} = L_{ПР_Масшт} \cdot \mu \quad (2.7.6,в)$$

2.7.7 Коэффициент полноты омывания, $\omega_{ЭК}$:

$$\omega_{ЭК} = \frac{L_{AKT}}{L_{ПОЛН}} \quad (2.7.7)$$

2.7.8 Коэффициент свободного прохода газов, $\varphi_{ЭК}$:

$$\varphi_{ЭК} = \frac{(S_1 - d)}{S_1} \quad (2.7.8)$$

2.7.9 Площадь живого сечения для прохода газов, $F_{ЭК}$ (м²):

$$F_{ЭК} = \varphi_{ЭК} \cdot L_{ПР} \cdot B_{ЭК} \quad (2.7.9)$$

2.7.10 Поверхность нагрева одного ряда труб, H_1 (м²):

$$H_1 = \pi \cdot d \cdot L_{ПОЛН} \cdot z_1 \quad (2.7.10)$$

2.7.11 Скорость воды при однозаходной змейке, ω^{OX} (м/с):

$$\omega^{OX} = \frac{4 \cdot D_C \cdot (\nu_{ПВ} + \nu_{ЭК})}{\pi \cdot d_{ВН}^2 \cdot Z_1} \quad (2.7.11)$$

2.7.12 Заходность змейки (принимается значение, обеспечивающее требуемую скорость движения среды в трубах) - $n_{ЗМ}$.

$$n_{ЗМ} = f(\text{число, кратное } Z_1) \quad (2.7.12)$$

2.7.13 Действительная скорость воды в трубах, ω (м/с):

$$\omega = n_{ЗМ} \cdot \omega^{OX} \quad (2.7.13)$$

2.7.14 Мощность экономайзера, $Q_{ЭК}^*$ (кВт):

$$Q_{ЭК}^* = D_C \cdot (i_{ЭК}^* - i_{ПВ}) \quad (2.7.14)$$

2.7.15 Температура газов при входе в экономайзер, $\vartheta_{ЭК}^{ВХОД}$ (°C), соответствует температуре продуктов сгорания на выходе из предыдущего пучка (испарительного или пароперегревателя).

$$\vartheta_{ЭК}^{ВХОД} = \vartheta_{III} \quad (2.7.15)$$

2.7.16 Энтальпия газов при входе в экономайзер, $J_{ЭК}^{ВХОД}$ (кДж/кг), соответствует энтальпии продуктов сгорания на выходе из предыдущего пучка (испарительного или пароперегревателя).

$$J_{ЭК}^{ВХОД} = J_{III(ЭК)} \quad (2.7.16)$$

2.7.17 Энтальпия газов при выходе из экономайзера, $J_{ЭК}$ (кДж/кг):

$$J_{ЭК} = J_{ЭК}^{ВХОД} - \frac{Q_{ЭК}^*}{\varphi \cdot B_C} \quad (2.7.17)$$

2.7.18 Температура газов за экономайзером пучком (определяется по J – ϑ диаграмме – рисунок 2.1 или по таблице 2.4), $\vartheta_{ЭК}$ (°C):

$$\vartheta_{ЭК} = f(J_{ЭК}) \quad (2.7.18)$$

2.7.19 Средняя температура газов в пучке, $\vartheta_{ЭК-CP}$ (°C):

$$\vartheta_{ЭК-CP} = 0,5 \cdot (\vartheta_{III} + \vartheta_{ЭК}) \quad (2.7.19)$$

2.7.20 Средняя скорость газов в пучке, $\omega_{Г-ЭК}$ (м/с):

$$\omega_{Г-ЭК} = \frac{B_C \cdot V_{Г} \cdot (\vartheta_{ЭК-CP} + 273)}{F_{ЭК} \cdot 273} \quad (2.7.20)$$

2.7.21 Коэффициент загрязнения для пароперегревателя (определяется средней скоростью продуктов сгорания $\omega_{Г-ЭК}$ по графику – Рисунок 2.17).

$$\varepsilon_{Г-ЭК} = f(\omega_{Г-ЭК}) \quad (2.7.21)$$

2.7.22. Плотность теплового потока (для пароперегревателя находится в интервале 10000-50000 Вт/м²), q (Вт/м²):

$$q=f(\text{тип котла}) \quad (2.7.22)$$

2.7.23 Температура загрязненной стенки трубы экономайзера, t_{CT} (°C):

$$t_{CT} = t_S + \varepsilon_{\Gamma_ЭК} \cdot q \quad (2.7.23)$$

2.7.24 Теплофизические характеристики продуктов сгорания в экономайзере при средней температуре газов ($\vartheta_{ЭК_CP}$) определяются по рисунку 2.18.

Теплопроводность продуктов сгорания, λ (Вт/(м·К):

$$\lambda = f(\vartheta_{ЭК_CP}) \quad (2.7.24,a)$$

Кинематическая вязкость продуктов сгорания, ν (м²/с):

$$\nu = f(\vartheta_{ЭК_CP}) \quad (2.7.24,б)$$

Критерий Прандтля, P_r :

$$P_r = f(\vartheta_{ЭК_CP}) \quad (2.7.24,в).$$

2.7.25 Критерий Рейнольдса, Re :

$$Re = \frac{\omega_{\Gamma_ЭК} \cdot d_H}{\nu} \quad (2.7.25).$$

2.7.26 Поправки на компоновку испарительного трубного пучка.

Поправка на количество рядов в пучке C_z (z_2 предварительно назначается как у прототипа). Рекомендации по назначению или расчеты следующие:

$$\left\{ \begin{array}{l} C_z = 3,12 \cdot z_2^{0,05} - 2,5 \quad \text{при } z_2 < 10 \text{ и } \left(\frac{S}{d}\right) < 3; \\ C_z = 4 \cdot z_2^{0,02} - 3,2 \quad \text{при } z_2 < 10 \text{ и } \left(\frac{S}{d}\right) \geq 3; \\ C_z = 1 \quad \text{при } z_2 \geq 10 \end{array} \right. \quad (2.7.26.a)$$

Поправка на компоновку C_s , для определения которой учитывается параметр φ_C :

$$\varphi_c = \frac{\left(\frac{S_1}{d}\right) - 1}{\sqrt{\left(\frac{S_1}{d}\right)^2 \cdot 0,25 + \left(\frac{S_2}{d}\right)^2} - 1} \quad (2.7.26,6)$$

Поправка на компоновку C_s :

$$\begin{cases} C_s = 0,34 \cdot (\varphi_c)^{0,1} & \text{при } 0,1 < \varphi_c < 1,7; \\ C_z = 0,275 \cdot (\varphi_c)^{0,5} & \text{при } 1,7 < \varphi_c < 4,5 \text{ и } \left(\frac{S_1}{d}\right) < 3; \\ C_z = 0,34 \cdot (\varphi_c)^{0,1} & \text{при } 1,7 < \varphi_c < 4,5 \text{ и } \left(\frac{S_1}{d}\right) \geq 3 \end{cases} \quad (2.7.26,в)$$

2.7.27 Коэффициент теплоотдачи конвекцией, α_k (Вт/(м²·°C)):

$$\alpha_k = C_z \cdot C_s \cdot \frac{\lambda}{d} \cdot (\text{Re})^{0,6} \cdot P_r^{0,33} \quad (2.7.27)$$

2.7.28 Коэффициент теплоотдачи от газов к стенке, α_1 (Вт/(м²·°C)):

$$\alpha_1 = \omega_{ЭК} \cdot \alpha_K \quad (2.7.28)$$

2.7.29 Коэффициент теплопередачи в экономайзере, k (Вт/(м²·°C)):

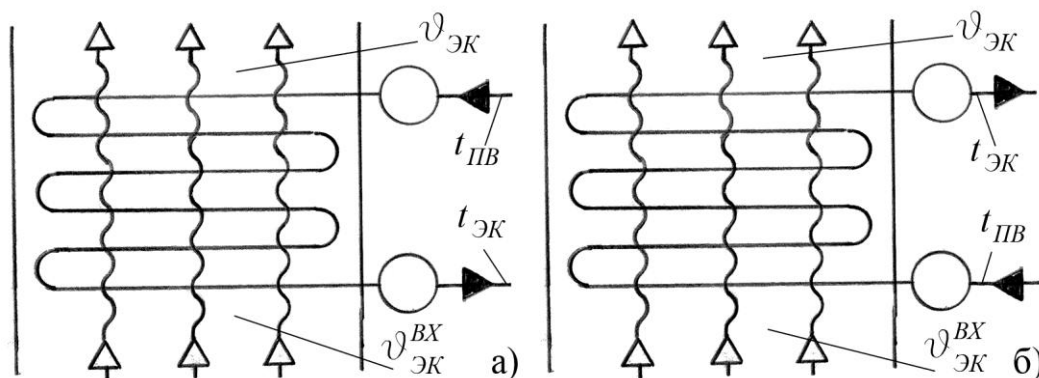
$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \varepsilon} \quad (2.9.29)$$

2.7.30 Средний температурный напор, Δt (°C):

$$\Delta t = \frac{\Delta t_{MAX} - \Delta t_{MIN}}{\ln\left(\frac{\Delta t_{MAX}}{\Delta t_{MIN}}\right)} \quad (2.7.30)$$

где Δt_{MAX} – разность температур сред в том конце поверхности нагрева, где она больше; Δt_{MIN} – разность температур сред в том конце поверхности нагрева, где она меньше. Для понимания входящих параметров представлен рисунок 2.23. В соответствии с рисунком 2.23 разницы сред определяются

большей и меньшей разностью $(\vartheta_{ЭК}-t_{ПВ})$ и $(\vartheta_{ПВ}^{BX}-t_{ЭК})$ – для противоточной схемы включения и $(\vartheta_{ЭК}-t_{ЭК})$ и $(\vartheta_{ПВ}^{BX}-t_{ПВ})$ – для противоточной схемы включения.



а) противоточная схема включения трубного пучка;
б) прямоточная схема включения трубного пучка

Рисунок 2.23 – К определению температурного напора в экономайзере

2.7.31 Поверхность нагрева экономайзера, $H_{ЭК}$ (m^2):

$$H_{ЭК} = \frac{10^3 \cdot Q_{ЭК}^*}{\kappa \cdot \Delta t} \quad (2.7.31)$$

2.7.32. Число рядов труб в экономайзере, Z^* (шт):

$$Z_2^* = \frac{H_{ЭК}}{H_1} \quad (2.7.32)$$

2.7.33 Принятое число рядов пучка, Z_2 .

Округление расчетного количества рядов до принятого выполняется до меньшего целого. При этом, естественно, меняется площадь поверхности пучка и потребляемая мощность экономайзера и, как следствие мощность пучка и котла в целом. Однако в виду малой величины отклонения в настоящем расчете поверочный расчет пучка не выполняется, также, как и для других конвективных пучков. Для достижения целочисленного результата в пп. 2.7.32 используются итерационные методы решения, где на-

пример можно варьировать величиной поперечного и продольного шага пучка.

$$Z_2 = f(Z_2^*) \quad (2.7.33)$$

2.8 Расчет воздухоподогревателя

Задачей раздела является определение конструктивных параметров пучка для получения заданных характеристик воздуха.

Воздухоподогреватель по ходу дымовых газов является последней конвективной поверхностью СПК.

Исходные параметры для расчета: температура и энтальпия продуктов сгорания на входе в пучек, расход топлива.

Промежуточные данные: конструктивные параметры трубного пучка воздухоподогревателя.

Искомые параметры: мощность пучка, площадь поверхности пучка (или его высота), скорость продуктов сгорания, температура продуктов сгорания на выходе из пучка и др.

2.8.1 Геометрические характеристики труб пучка.

Наружный диаметр труб пучка (принимается по котлу прототипу), d (м), принимать из диапазона 29 и 38 мм при толщине стенки 1,5 ... 2,0 мм.

$$d = f(29 \times 1,5 \dots 38 \times 2,0) \quad (2.8.1,а)$$

Внутренний диаметр труб, d_{BH} (м):

$$d_{BH} = d - 2\Delta \quad (2.8.1,б)$$

Средний диаметр трубы пучка, d_{CP} (м):

$$d_{CP} = (d + d_{BH}) \cdot 0,5 \quad (2.8.1,в)$$

2.8.2 Поперечный шаг пучка относительно движения воздуха S_1 (м), назначать таким образом, чтобы отношение $S_{1_опт} = \frac{S_1}{d}$ находилось в диапазоне: 1,25...2; величина, $(S_1 - d)$ не должна быть меньше 13 мм:

$$S_1 = S_{1_отн} \cdot d \quad (2.8.2)$$

2.8.3 Продольный шаг пучка относительно движения воздуха S_1 ($\frac{S_2}{d}$

принимать в тех же пределах, что и $\frac{S_1}{d}$), S_2 (м):

$$S_2 = S_{2_отн} \cdot d \quad (2.8.3)$$

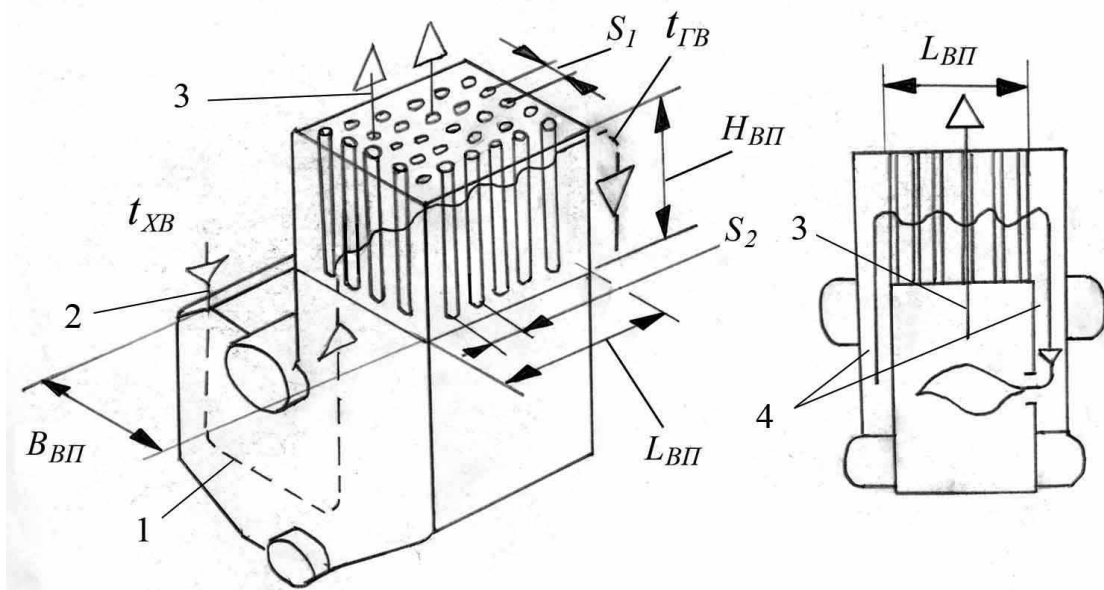
2.8.4 Длина газохода по ходу воздуха, $L_{ВП}$ (м):

$$L_{ВП} = f(\text{котла прототипа}) \quad (2.8.4)$$

2.8.5 Ширина газохода по ходу воздуха, $B_{ВП}$ (м):

$$B_{ВП} = f(\text{котла прототипа}) \quad (2.8.5)$$

2.8.6 Число труб в одном ряду по ходу воздуха, расчетное $-Z_1^*$ и принятое $-Z_1$ определяется аналогично в соответствии со схемой установки конвективного пучка в газоход котла. На рисунке 2.24 представлена структура типового воздухоподогревателя.



1 – движение воздуха через котел; 2 – вход холодного воздуха в котел; 3 – выход продуктов сгорания из котла (уходящие газы); 4 – меж-обшивочное пространство котла; $L_{ВП}$ – длина воздухоподогревателя; $B_{ВП}$ – ширина воздухоподогревателя; S_1, S_2 – поперечный и продольный шаги воздухоподогревателя по ходу воздуха; t_{XB}, t_{GB} – соответственно температура холодного и горячего воздуха

Рисунок 2.24 – Расположение воздухоподогревателя в котле

На рисунке длина воздухоподогревателя $L_{ВП}$ соответствует длине топки. Ширина пучка B_{III} соответствует ширине хвостовой поверхности нагрева. Искомая величина – высота пучка H_{III} .

$$Z_1^* = \frac{B_{III}}{S_1} \quad (2.8.6, a)$$

$$Z_1 = f(Z_1^*) \quad (2.8.6, б)$$

2.8.7 Число труб в одном ряду по ширине хода воздуха, расчетное – Z_2^* и принятое – Z_2 .

$$Z_2^* = \frac{B_{III}}{S_1} \quad (2.8.7, a)$$

$$Z_2 = f(Z_2^*) \quad (2.8.7, б)$$

2.8.8 Общее количество труб, N_Σ (шт):

$$N_\Sigma = Z_1 \cdot Z_2 \quad (2.8.8)$$

2.8.9 Живое сечение для прохода газов, F (m^2):

$$F = \frac{\pi \cdot d_{BH}^2}{4} N_\Sigma \quad (2.8.9)$$

2.8.10 Температура газов при входе в воздухоподогреватель, $g_{ВП}^{BX}$ ($^{\circ}C$), соответствует температуре за пучком, расположенным перед ВП:

$$g_{ВП}^{BX} = g_{ЭК} \quad (2.8.10)$$

2.8.11 Энтальпия газов при входе в воздухоподогреватель, $J_{ВП}^{BX}$ (кДж/кг).

$$J_{ВП}^{BX} = J_{ЭК} \quad (2.8.11)$$

2.8.12 Средняя температура воздуха, t_{CP} ($^{\circ}C$):

$$t_{CP} = (t_{ГОР} + t_{ХОЛ}) \cdot 0,5 \quad (2.8.12)$$

2.8.13 Средняя теплоемкость воздуха, c_{CP} (кДж/($m^3 \cdot K$)):

$$c_{CP} = f(t_{CP}) \quad (2.8.13)$$

2.8.14 Мощность воздухоподогревателя, Q (кВт):

$$Q_{BP}^* = \alpha \cdot V^0 \cdot B_c \cdot c_{CP} \cdot (t_{TB} - t_{XB}) \quad (2.8.14)$$

2.8.15 Энтальпия газов при выходе из воздухоподогревателя, J_{BP} (кДж/кг):

$$J_{BP} = J_{BP}^{BX} - \frac{Q_{BP}^*}{\varphi \cdot B_c} \quad (2.8.15)$$

2.8.16 Температура газов при выходе из воздухоподогревателя (диаграмма $J - \vartheta$), ϑ_{BP} (°C):

$$\vartheta_{BP} = f(J_{BP}) \quad (2.8.16)$$

2.8.17 Средняя температура газов в воздухоподогревателе, ϑ_{CP} (°C):

$$\vartheta_{CP} = (\vartheta_{BX}^{BP} + \vartheta_{BP}) \cdot \frac{1}{2}. \quad (2.8.17)$$

2.8.18 Средняя скорость газов, ω_Γ (м/с):

$$\omega_\Gamma = \frac{B_c \cdot V_\Gamma \cdot (\vartheta_{CP} + 273)}{F \cdot 273} \quad (2.8.18)$$

2.8.19 Теплофизические характеристики продуктов сгорания и воздуха в пучке средней температуре сред определяются по рисунку 2.25.

Теплопроводность продуктов сгорания, λ_Γ (Вт/(м·K):

$$\lambda_\Gamma = f(\vartheta_{CP}) \quad (2.8.19,а)$$

Кинематическая вязкость продуктов сгорания, ν_Γ (м²/с):

$$\nu_\Gamma = f(\vartheta_{CP}) \quad (2.8.19,б)$$

Критерий Прандтля, P_r :

$$P_r = f(\vartheta_{CP}) \quad (2.8.19,в)$$

Теплопроводность воздуха, λ_B (Вт/(м·K):

$$\lambda_B = f(t_{CP}) \quad (2.8.19,г)$$

Кинематическая вязкость воздуха, ν_B (м²/с):

$$\nu_B = f(t_{CP}) \quad (2.8.19,д)$$

Критерий Прандтля, P_r :

$$P_r = f(t_{CP}) \quad (2.8.19,е)$$

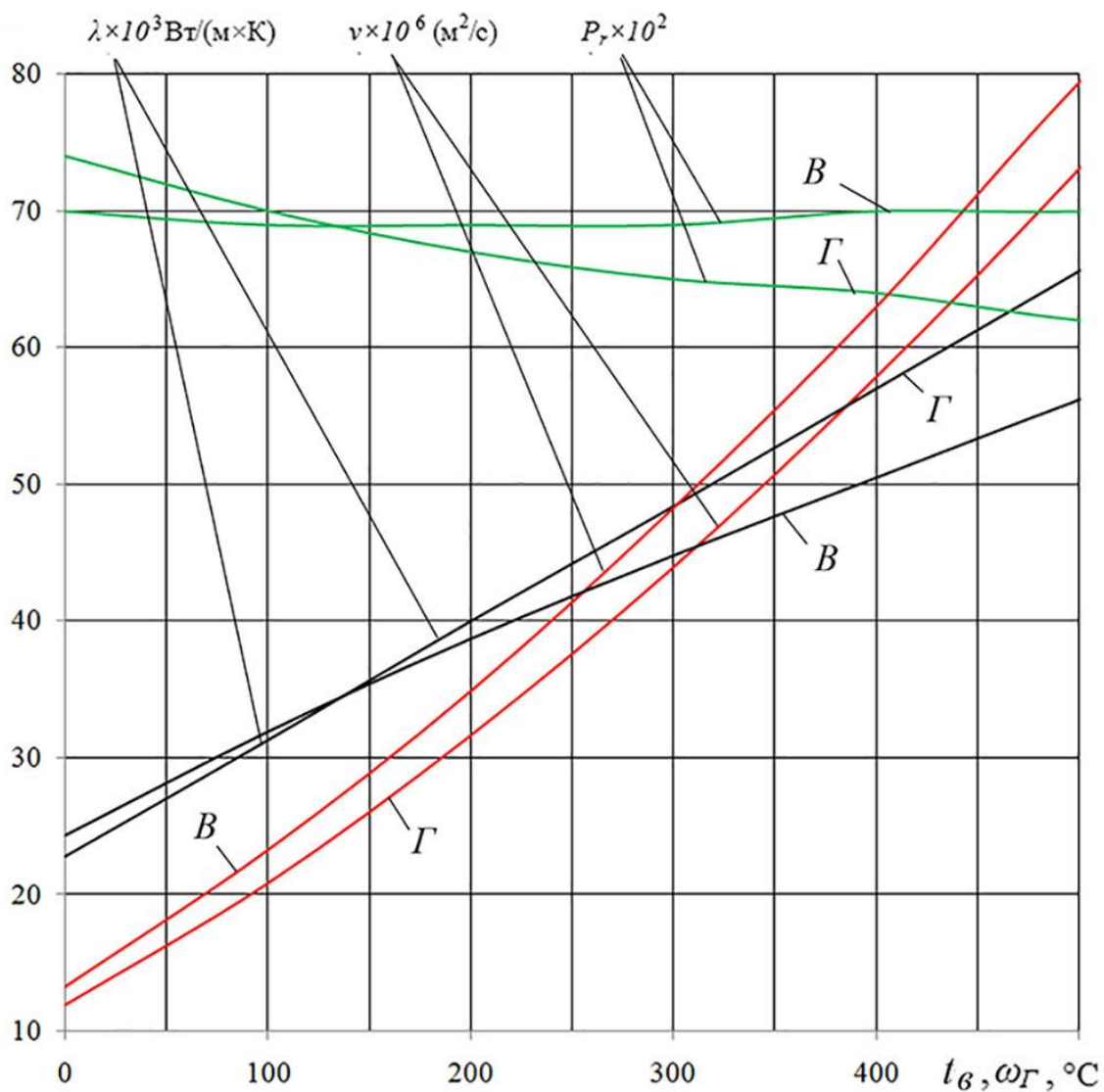


Рисунок 2.25 – Теплофизические характеристики теплообменивающихся сред (воздух и газ) в газовом воздухоподогревателе

2.8.20 Критерий Рейнольдса для продуктов сгорания, Re :

$$Re = \frac{\omega_{\Gamma} \cdot d}{\nu} \quad (2.8.20)$$

2.8.21 Поправки на компоновку воздухоподогревателя для газов.

– поправка, учитывающая направление теплового потока, C_t

$$C_t = f(\text{угол наклона к газовому потоку}) \quad (2.8.21, a)$$

для воздухоподогревателей $C_t = 1$;

– поправка, учитывающая относительную длину труб, C_L

$$C_L = f(\text{отношение длины к диаметру отверстия}) \quad (2.8.21, б)$$

в случае, когда отношение $(L_{ПП}/d_{ВН})$ более 50, $C_L = 1$.

2.8.22 Коэффициент теплоотдачи от газов к стенке, α_1 (Вт/(м²·°C)):

$$\alpha_1 = 0,023 \cdot \frac{\lambda_{CP}}{d_{ВН}} \text{Re}^{0,8} \cdot \text{Pr}^{0,4} \cdot C_t \cdot C_L \quad (2.8.22)$$

2.8.23 Принятое число ходов по воздушной стороне, m :

$$m = f(\text{модель котла}) \quad (2.8.23)$$

2.8.24 Температурный напор при противотоке, $\Delta t_{ПРТ}$ (°C):

$$\Delta t_{ПРТ} = \frac{(\vartheta_{ВП}^{BX} - t_{XB}) - (\vartheta_{ВП} - t_{ГВ})}{\ln \frac{\vartheta_{ВП}^{BX} - t_{XB}}{\vartheta_{ВП} - t_{ГВ}}} \quad (2.8.24)$$

2.8.25 Коэффициент перевода при перекрестном токе, ψ :

$$\psi = f(\text{схема включения ВП}) \quad (2.8.25)$$

На рисунке 2.26 и 2.27 представлены типовые заходности воздухоподогревателя и $P = \frac{\tau_M}{\vartheta_{ВХОД} - t_{ХОЛ}}$; $R = \frac{\tau_B}{\tau_M}$, где τ_M - разность температур между входом и выходом той среды (греющей или нагреваемой), у которой она меньше, °C; τ_B - разность температур между входом и выходом той среды, у которой она больше, °C; $\vartheta_{ВХОД}$ и $t_{ХОЛ}$ - начальные (при входе) температуры греющей и нагреваемой сред, °C.

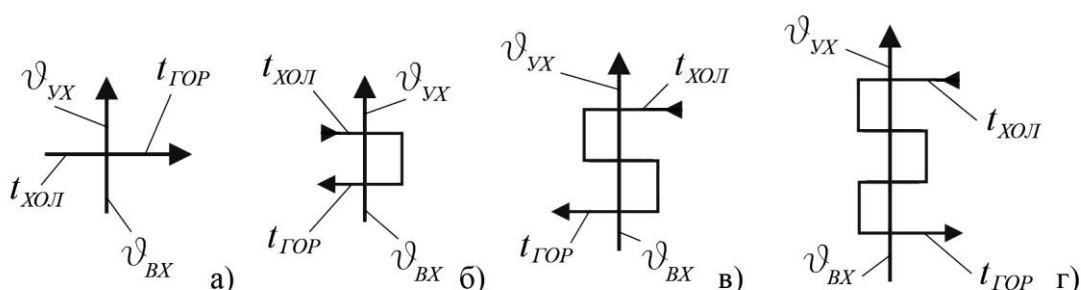


Рисунок 2.26 – Структуры движения воздуха через пучек

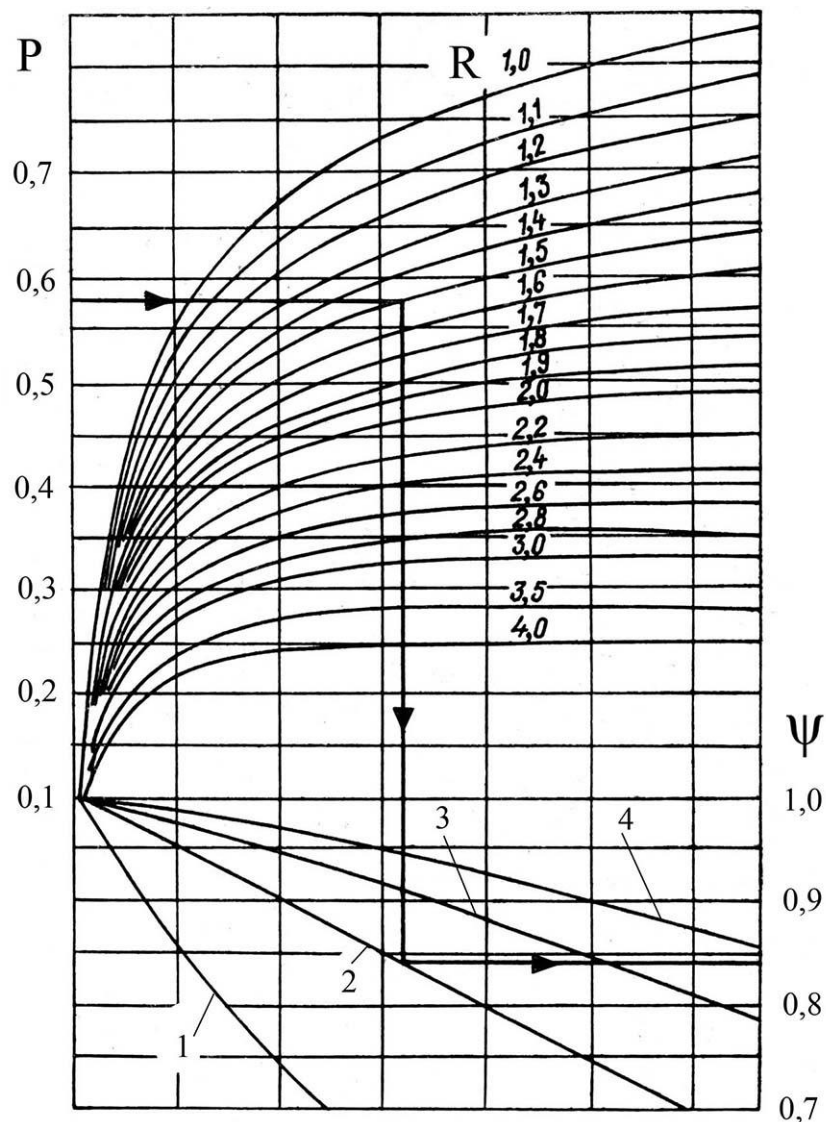


Рисунок 2.27 – Номограмма для определения коэффициента ψ

2.8.26 Температурный напор в воздухоподогревателе, Δt ($^{\circ}\text{C}$):

$$\Delta t = \Psi \cdot \Delta t_{\text{ПРТ}} \quad (2.8.26)$$

2.8.27 С настоящего пункта расчет ведется для трех принятых значений высоты воздухоподогревателя. Общая высота труб, м – $h_i = 1, 2, 3$.

$$h_i = 1, 2, 3 \quad (2.8.27)$$

2.8.28 Площадь поверхности нагрева по газовой стороне, H_i (м^2):

$$H_i = N_{\Sigma} \cdot \pi \cdot d_{\text{BH}} \cdot h_i \quad (2.8.28)$$

2.8.29 Живое сечение для прохода воздуха, $F_{BO3Д}$ (м²):

$$F_{BO3Д(i)} = \frac{h_i}{m} \cdot (b_{БП} - Z_1 \cdot d) \quad (2.8.29)$$

2.8.30 Средняя скорость воздуха, ω_{BO3i} (м/с):

$$\omega_{BO3Д(i)} = \frac{\alpha \cdot B_c \cdot V_o \cdot (t_{CP} + 273)}{273 \cdot F_{BO3(i)}} \quad (2.8.30)$$

2.8.31 Критерий Рейнольдса для воздуха, $Re_{(i)}$:

$$Re_{(i)} = \frac{\omega_{BO3(i)} \cdot d}{\nu} \quad (2.8.31)$$

2.8.32 Поправки на компоновку воздухоподогревателя по воздушной стороне.

Поправка на количество рядов в пучке C_z (z_2 предварительно назначается как у прототипа). Рекомендации по назначению или расчеты следующие:

$$\begin{cases} C_z = 3,12 \cdot z_2^{0,05} - 2,5 & \text{при } z_2 < 10 \text{ и } \left(\frac{S}{d}\right) < 3; \\ C_z = 4 \cdot z_2^{0,02} - 3,2 & \text{при } z_2 < 10 \text{ и } \left(\frac{S}{d}\right) \geq 3; \\ C_z = 1 & \text{при } z_2 \geq 10 \end{cases} \quad (2.8.32.a)$$

Поправка на компоновку C_s , для определения которой учитывается параметр φ_c :

$$\varphi_c = \frac{\left(\frac{S_1}{d}\right) - 1}{\sqrt{\left(\frac{S_1}{d}\right)^2 \cdot 0,25 + \left(\frac{S_2}{d}\right)^2} - 1} \quad (2.8.32,б)$$

Поправка на компоновку C_s :

$$\begin{cases} C_s = 0,34 \cdot (\varphi_c)^{0,1} & \text{при } 0,1 < \varphi_c < 1,7; \\ C_z = 0,275 \cdot (\varphi_c)^{0,5} & \text{при } 1,7 < \varphi_c < 4,5 \text{ и } \left(\frac{S_1}{d}\right) < 3; \\ C_z = 0,34 \cdot (\varphi_c)^{0,1} & \text{при } 1,7 < \varphi_c < 4,5 \text{ и } \left(\frac{S_1}{d}\right) \geq 3 \end{cases} \quad (2.8.32, \text{в})$$

2.8.33 Коэффициент теплоотдачи конвекцией от стенки к воздуху, α_2 (Вт/(м²·°C)):

$$\alpha_{2(i)} = C_z \cdot C_s \cdot \frac{\lambda}{d} \cdot (\text{Re}_{(i)})^{0,6} \cdot P_r^{0,33} \quad (2.8.33)$$

2.8.34 Коэффициент теплопередачи от газов к воздуху, $k_{(i)}$ (Вт/(м²·°C)):

$$k_{(i)} = \frac{0,8 \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_{2(i)}}{\alpha_1 + \alpha_{2(i)}} \quad (2.8.34)$$

2.8.35 Выделяемая мощность кВт – $Q_{(i)}$:

$$Q_{(i)} = H_{(i)} \cdot k_{(i)} \cdot \Delta t \cdot 10^{-3} \quad (2.8.35)$$

2.8.36 Высота воздухоподогревателя.

Высота воздухоподогревателя определяется графически (рисунок 2.28).

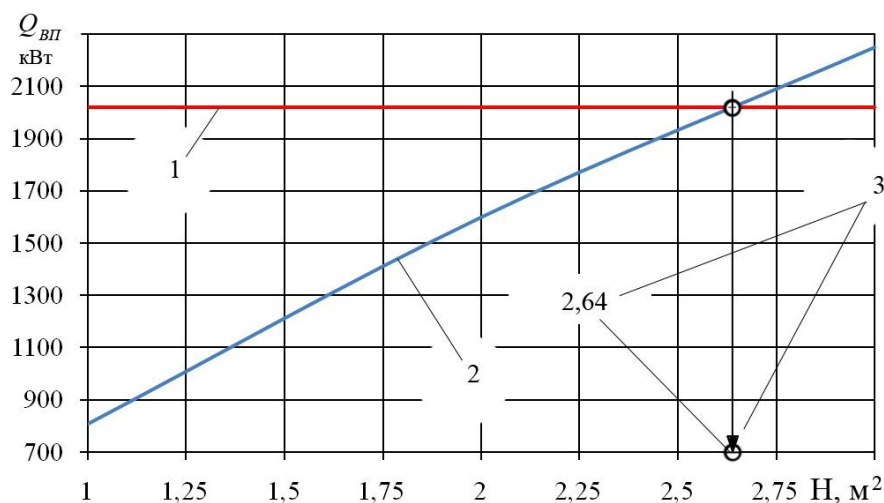


Рисунок 2.28 – К определению высоты воздухоподогревателя

решением системы двух уравнений, отражающих требуемую мощность воздухоподогревателя (независимую от высоты последнего) - (пп. 2.8.27 и 2.8.14) и мощность передаваемую воздухоподогревателю в зависимости от его высоты (пп.2.8.27 и 2.8.35).

2.9 Окончательный тепловой баланс

Задачей раздела является проверка верности выполненного расчета котла посредством определения расхождения величин КПД котла заданной и полученной.

2.8.1 Мощность (тепловой поток) трубных пучков, полученных в ходе их расчета:

- топки (раздел 2.4), кВт – Q_T^* (2.8.1, а);

- испарительного пучка (раздел 2.5), кВт – $Q_{исп}^*$; (2.8.1, б);

- пароперегревателя (раздел 2.6), кВт – $Q_{пп}^*$; (2.8.3, в);

- экономайзера (раздел 2.7), кВт – $Q_{ЭК}^*$. (2.8.4, г).

2.8.2 Полезно использованный тепловой поток, кВт -

$$Q_1 = Q_T^* + Q_{исп}^* + Q_{пп}^* + Q_{ЭК}^*. \quad (2.8.2)$$

2.9.3 Паропроизводительность котла, кг/с – D :

$$D = \frac{Q_T^* + Q_{исп}^* + Q_{ЭК}^* + Q_{пп}^*}{i_{ВЫХ} - i_{ВХ}} \quad (2.9.3)$$

2.9.4 КПД по прямому балансу, % - η_K^{PP}

$$\eta_K^{PP} = \frac{Q_1}{B_C \cdot (Q_H^P + Q_{ТОПЛ})} \cdot 100 \quad (2.9.4)$$

2.9.5 Расхождение величины КПД по прямому балансу, % - $\Delta \eta_{PP}$:

$$\Delta \eta_{PP} = \frac{\eta_K - \eta_K^{PP}}{\eta_K} \cdot 100 \quad (2.9.5)$$

2.9.6 Потеря теплоты с уходящими газами, % - $q'_{OБP}$

$$q'_{OБP} = \frac{J_{ПОСЛ} - Q_{XB}}{Q_H^P + Q_{ТООПЛИВ}} \cdot 100 \quad (2.9.6)$$

где $J_{ПОСЛ}$ - энтальпия продуктов сгорания на выходе их последнего трубного пучка.

2.9.7 КПД по обратному балансу, % - $\eta_K^{OБP}$:

$$\eta_K^{OБP} = 100 - (q'_{OБP} + q_3 + q_5) \quad (2.9.7)$$

2.9.8 Расхождение КПД по обратному балансу, % - $\eta_K^{OБP}$:

$$\eta_K^{OБP} = \frac{\eta_K - \eta_K^{OБP}}{\eta_K} \cdot 100 \quad (2.9.8)$$

$$\eta_K^{OБP} =$$

2.9.9 Расхождение по паропроизводительности, кг/с - $|D_C - D|$.

$$\Delta\eta_{IP} = \frac{|D_C - D|}{D_C} \cdot 100 \quad (2.9.9)$$

3. АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СПК

Задачей расчета является определение суммарного аэродинамического сопротивления газо-воздушного тракта котла, на основании которого рассчитывается необходимая мощность вентилятора.

Исходными данными для расчета являются конструктивные параметры пучков котла, скорости воздуха и продуктов сгорания в характерных точках конструкции и др.

3.1 Сопротивление межобшивочного пространства

Сопротивление межобшивочного пространства (принимается ориентировочно из диапазона 100-200 Па, меньшие значения соответствуют котлам небольшой паропроизводительности), $\Delta_{\text{МОП}}$ (Па):

$$\Delta_{\text{МОП}} = f(\text{конструкция котла-прототипа}) \quad (3.1)$$

3.2 Сопротивление воздухонаправляющего устройства

3.2.1 Скорость воздуха в фурмах (принимается из конструктивного расчёта топки), $W_{\text{ф}}$ (м/с):

$$W_{\text{ф}} = f(30...50) \quad (3.2)$$

3.2.2 Плотность воздуха в ВНУ, $\rho_{\text{ВНУ}}$ (кг/м³):

Плотность воздуха при нормальных условиях $\rho_{\text{НУ}} = 1,293 \text{ кг/м}^3$;

$$\rho_{\text{ВНУ}} = \frac{\rho_{\text{НУ}} \cdot 273}{273 + t_{\text{ГВ}}} \quad (3.3)$$

3.2.3 Коэффициент сопротивления ВНУ (назначается из интервала 2...4, меньшие значения соответствуют котлам с низким КПД малой производительности)

$$\xi_{\text{ВНУ}} = f(\text{тип котла}) \quad (3.2.3)$$

3.2.4 Сопротивление ВНУ, $\Delta_{ВНУ}$ (Па):

$$\Delta_{ВНУ} = \xi_{ВНУ} \cdot \frac{W_{\Phi}^2 \cdot \rho_{ВНУ}}{2}. \quad (3.2.4)$$

3.3 Сопротивление трубных пучков котла

Расчет выполняется для каждого из пучков пароводяного тракта по газовому тракту и воздухоподогревателя (при наличии) по воздушной стороне, присутствующих в котле. Исходными данными являются принятые и рассчитанные ранее параметры пучков: диаметры и труб и шаги пучков, скорости газов, количество рядов в пучке, средняя температура газов в пучке, критерий Re и др.

3.3.1 Относительные шаги: σ_1 и σ_2 :

$$\sigma_1 = s_1/d \quad (3.3.1,a)$$

$$\sigma_2 = s_2/d \quad (3.3.1,б)$$

3.3.2 Коэффициент Ψ :

$$\psi = \frac{\sigma_1 - 1}{\sigma_2 - 1} \quad (3.3.2)$$

3.3.3 Коэффициент сопротивления одного ряда труб: $\xi_{(1)}$:

$$\xi_{(1)} = 1,52 \cdot (\sigma_1 - 1)^{-0,5} \cdot \psi^{-0,2} \cdot Re^{-0,2} \quad (3.3.3)$$

3.3.4 Коэффициент сопротивления омываемого пучка труб: ξ ,

$$\xi = \xi_{(1)} \cdot z_2 \quad (3.3.4)$$

исп =

3.3.5 Средняя плотность газов: ρ (кг/м³):

Плотность дымовых газов при нормальных условиях $\rho_{ДГНУ} = 1,34$ кг/м³;

$$\rho = \rho_{ДГНУ} \cdot \frac{273}{(273 + \nu)} \quad (3.3.5)$$

3.3.6 Сопротивление пучка: Δ (Па):

$$\Delta = \xi \cdot \frac{\omega_r^2 \cdot \rho}{2}. \quad (3.3.6)$$

3.4 Сопротивление газопроводов

Сопротивление газопроводов (складывается из сопротивления трения и местных сопротивлений. Принимаем в пределах 50 - 150 Па), $\Delta_{ГП}$ (Па):

$$\Delta_{ГП} = f(\text{конструкция котла}) \quad (3.4)$$

3.5 Сопротивление газового воздухоподогревателя по газовой стороне

3.5.1 Абсолютная шероховатость стенки внутренней поверхности трубы (принимается из диапазона $0,2 - 0,7 \text{ м} \cdot 10^{-3}$), K_{Rz} (м):

$$K_{Rz} = f(0,2...0,7) \quad (3.5.1)$$

3.5.2 Коэффициенты: K_1 , K_2 :

$$K_1 = \frac{K_{Rz}}{d} \quad (3.5.2,a)$$

$$K_2 = \frac{23}{Re} \quad (3.5.2,b)$$

3.5.3 Коэффициент сопротивления трения λ_s :

$$\text{при } K_1 \leq K_2 \quad \lambda_s = \frac{0,3164}{Re^{0,25}} \quad (3.5.3,a)$$

$$\text{при } K_1 > K_2 \quad \lambda_s = (2 \cdot \log(\frac{d}{K_{Rz}}) + 1,14)^{-2} \quad (3.5.3,b)$$

3.5.4 Сопротивление трения: $\Delta_{ВПГС}$ (Па):

$$\Delta_{ВПГС} = \lambda_s \cdot \frac{m \cdot L}{d} \cdot \frac{\rho_{ВП} \cdot \omega_r}{2} \quad (3.5.4)$$

где L – высота воздухоподогревателя, m – количество секций.

3.6. Расчет суммарной естественной тяги (самотяги)

Для аэродинамических расчетов вспомогательных котлов расчет самотяги выполняется следующим образом, Δ_C (Па):

$$\Delta_C = 3500 \cdot H \cdot ((T_{\Gamma} - T_B) / (T_{\Gamma} \cdot T_B)), \quad (3.6)$$

где H – высота котла от ВНУ до среза дымовой трубы, м;

T_{Γ} – средняя температура газов в газоходе, К;

T_B – температура окружающей среды, К.

3.7 Суммарное сопротивление газовоздушного тракта

Суммарное сопротивление газовоздушного тракта: Δ_{Σ} , МПа.

$$\begin{aligned} \Delta_{\Sigma} = & \Delta_{\text{МОП}} + \Delta_{\text{ВНУ}} + \Delta_{\text{ИСП}} + \Delta_{\text{ПП}} + \\ & + \Delta_{\text{ЭК}} + \Delta_{\text{ГП}} + \Delta_{\text{ВПВС}} + \Delta_{\text{ВППС}} - \Delta_C \end{aligned} \quad (3.7)$$

3.8 Подбор вентилятора

Исходными данными являются расход топлива, (B_s , кг/с); теоретически необходимое количество влажного воздуха ($V_o^{\text{ВЛ}}$, м³/кг); коэффициент избытка воздуха (α); температура холодного воздуха (v_{XB} , °С).

3.8.1. Производительность вентилятора, Q (м³/с):

$$Q = \frac{B_s \cdot V_o^{\text{ВЛ}} \cdot \alpha \cdot (v_{XB} + 273)}{273} \quad (3.8.1)$$

3.8.2 Характеристики вентилятора:

гидравлический КПД вентилятора (назначается из диапазона 0,6 - 0,65), η_{Γ} :

$$\eta_{\Gamma} = f(\text{тип вентилятора}) \quad (3.8.2, a)$$

механический КПД вентилятора (назначается из диапазона 0,90 – 0,95):

$$\eta_M = f(\text{тип вентилятора}) \quad (3.8.2,б)$$

коэффициент запаса мощности (назначается из диапазона 1,05 – 1,10), с:

$$c = f(\text{тип вентилятора}) \quad (3.8.2,в)$$

3.8.3 Мощность на валу вентилятора, N (кВт)

$$N = \frac{c \cdot Q \cdot \alpha \cdot \Delta_{\Sigma}}{\eta_{\Gamma} \cdot \eta_M \cdot 1000} \cdot \quad (3.8.3)$$

4. ПРОЧНОСТНОЙ РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ КОТЛА

Корпус действующего судового парового котла испытывает значительные нагрузки. Эти нагрузки вызваны параметрами рабочих сред: высокая температура дымовых газов, высокая температура и давление воды и пара. Полученные в ходе выполнения теплового расчета котла рабочие параметры являются исходными для выполнения расчета на прочность элементов котла. Рассчитываемыми элементами являются толщина стенки пароводяного коллектора и толщина стенки трубы испарительного пучка (в случае наличия пароперегревателя определяется толщина стенки трубы пароперегревателя). Расчеты элементов отличаются коэффициентом прочности φ , поэтому рассматривается расчет только толщины трубной доски пароводяного коллектора.

4.1 Расчетное давление, принимается равным рабочему давлению среды, p (МПа):

$$p = f(\text{параметры пароводяного тракта}) \quad (4.1)$$

4.2 Внутренний диаметр коллектора, D (мм):

$$D = f(\text{конструкция котла}) \quad (4.2)$$

4.3 Коэффициент прочности φ .

Коэффициент прочности труб трубных пучков принимать равным $\varphi=1$. Коэффициент прочности коллекторов, ослабленных отверстиями одинакового диаметра (рисунки 4.1 и 4.2), должен приниматься равным наименьшему из трех коэффициентов:

- коэффициент прочности цилиндрических стенок, ослабленных продольным рядом или коридорным полем отверстий с одинаковым шагом (рисунок 4.1), φ_1 :

$$\varphi_1 = (s_1 - d) / s_1 \quad (4.3,a)$$

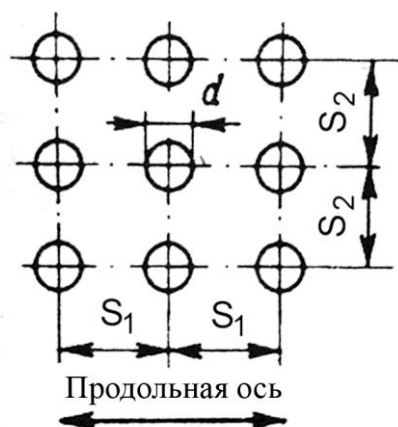


Рисунок 4.1 – Коридорное строение пучка

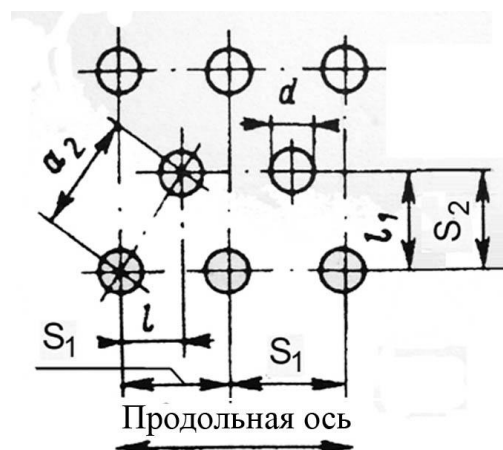


Рисунок 4.2 – Шахматное строение пучка

- приведенному к продольному направлению коэффициенту прочности цилиндрических стенок, ослабленных поперечным рядом или полем отверстий с одинаковым шагом (рисунок 4.3), φ_2 :

$$\varphi_2 = 2 \cdot (s_2 - d) / s_2 \quad (4.3,б)$$

- приведенному к продольному направлению коэффициенту прочности цилиндрических стенок, ослабленных полем отверстий, расположенных в шахматном порядке с равномерным расположением отверстий (рисунок 4.2), φ_3 :

$$\varphi_3 = k \cdot (a_2 - d) / a_2 \quad (4.3,в)$$

где a_2 – диагональный шаг, $a_2 = \sqrt{l^2 + l_1^2}$; k – коэффициент, определяется по таблице:

l_1/l	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5
k	1,76	1,73	1,70	1,65	1,60	1,51	1,41	1,27	1,13	1,0

4.4 Расчетная температура стенки.

Расчетная температура стенки (t_{CT}) определяется по таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Определение расчетной температуры стенки.

№ п/п	Элементы котлов и условия их работы	Расчетная температура стенки t_{CT}
1	Элементы, подверженные воздействию лучистого тепла	
1.1	Трубы котельные	$t_M + 50$
1.2	Трубы пароперегревателей	$t + 50$
2	Элементы, обогреваемые горячими газами, но защищенные от воздействия лучистого тепла	$t_M + 50$
2.1	Обечайки, днища, коллектора, трубные решетки	$t_M + 30$
2.2	Коллекторы и трубы пароперегревателей при температуре пара	$t_M + 35$

в таблице t_M – наибольшая температура нагреваемой среды в рассматриваемом элементе, °C; t – номинальная расчетная температура стенки трубы, °C.

4.5 Материал труб пучка

Стали для труб котлов низкого и среднего давления изготавливают из малоуглеродистой качественной стали 10 и 20. Трубы из углеродистой стали можно использовать для изготовления поверхностей нагрева, температура стенки которых не превышает 500 °C. Широко используются котельные стали 15К, 18К.

При более высоких температурах применяют трубы из низколегированных хромомолибденовых сталей марок 12МХ (до 540 °C) и 15ХМ (до 560°C). Добавка молибдена в количестве около 0,5% повышает прочность этих сталей при высокой температуре. Хром обеспечивает увеличение жаростойкости, придает устойчивость карбидам и преду-

преждает графитизацию. Хромомолибденовые стали отличаются стабильностью механических свойств в процессе длительной эксплуатации.

Стоимость труб из стали 12МХ и 15ХМ на 50 ... 60% выше стоимости труб из углеродистой стали.

В интервале температур 560 – 600 °С используют трубы, изготовленные из хромо-молибден-ванадиевых сталей 12Х1МФ и 15Х1М1Ф. Повышенное содержание хрома в этих сталях обеспечивает высокую жаростойкость. Присадки молибдена и ванадия повышают жаропрочность. Сталь 12Х1МФ имеет высокую пластичность, вследствие чего допускается холодная гибка и развальцовка труб. Сталь хорошо сваривается. Все стали содержат углерода в количестве до 0,2%.

К низколегированным хромо-молибден-ванадиевым сталям относится сталь 12Х2МФСР. Ее можно применять вплоть до температуры 620 °С. Молибден, ванадий и бор введены в эту сталь для повышения жаропрочности, а хром и кремний - для повышения жаростойкости. Необходимо заметить, что кремний повышает стойкость против окисления только в среде продуктов сгорания топлива и не оказывает заметного влияния на коррозионную стойкость в пароводяной среде.

Сталь 12Х2МФСР обладает пластичностью и стабильностью структуры, что обеспечивает высокую длительную прочность.

Свариваемость этой стали оценивают как вполне удовлетворительную. По стоимости хромомолибденовые стали дороже углеродистых в 1,8 - 2,1 раза.

Для повышения пластичности и отсутствие свойство закаливаемости котельные стали – низкоуглеродистые по содержанию углерода.

$$\text{Материал коллектора} = f(\text{условия работы элемента}) \quad (4.5)$$

4.6 Допускаемые напряжения, $\sigma_{\text{доп}}$ (МПа)

Допускаемые напряжения, $\sigma_{\text{доп}}$ (МПа), назначается на основании температуры стенки трубы и материала по рисунку 4.3:

$$\sigma_{\text{доп}} = f(\sigma_s / (n \cdot k)) \quad (4.6)$$

где n – коэффициент запаса прочности (таблица 4.2); k – коэффициент ослабления трубной доски (таблица 4.3).

Таблица 4.2 – Коэффициенты запаса прочности, n

№	Элемент котла	Внутреннее давление	Наружное давление
1	Цилиндрические стенки	1,7	1,9
2	Котельные трубы	1,7	2,0
3	Выпуклые днища	1,7	2,0
4	Плоские стенки	1,7	–
5	Прямоугольные камеры	1,7	–
6	Связи и связные трубы	2,5	2,5

Таблица 4.3 – Коэффициенты ослабления трубной доски

$2 \cdot S_2 / S_1$	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5
k	1,76	1,73	1,70	1,65	1,60	1,51	1,41	1,27	1,13	1,0

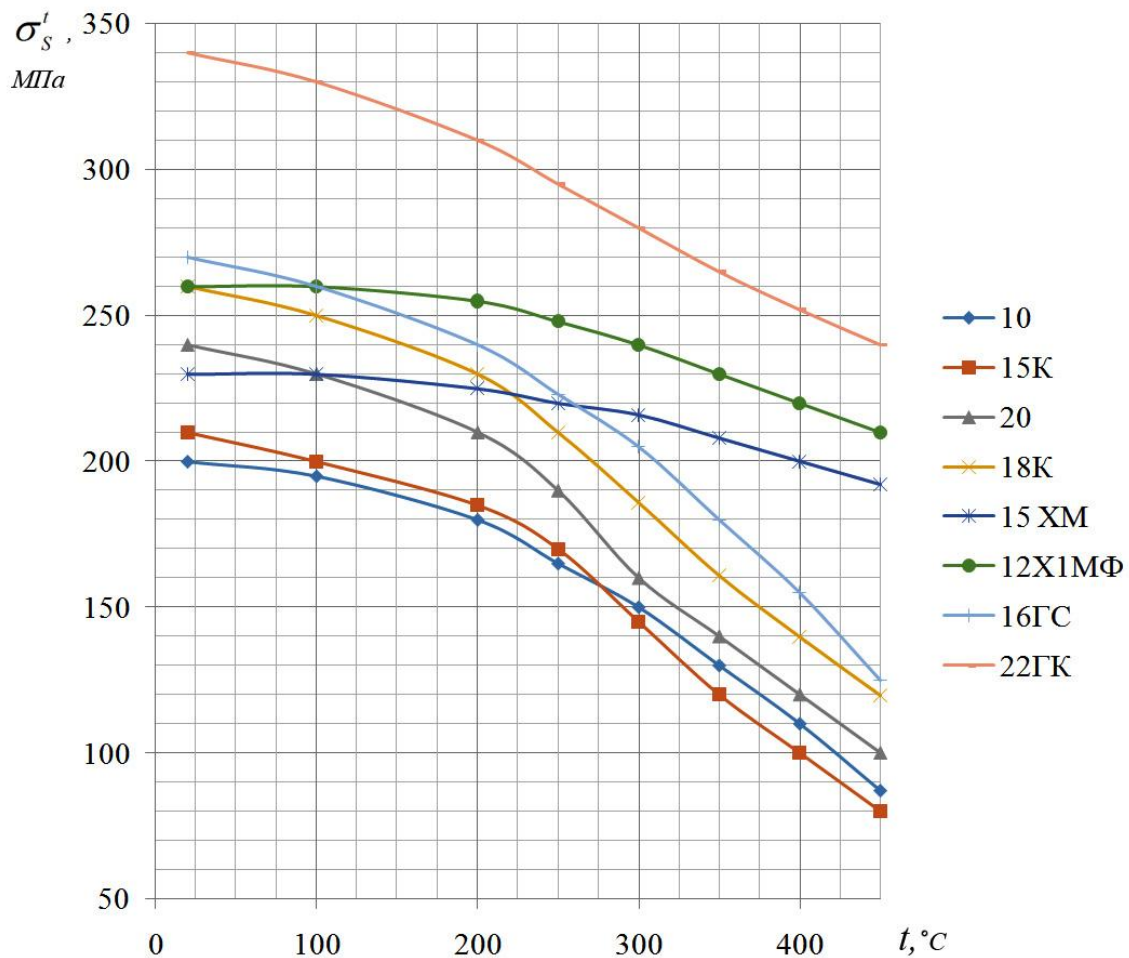


Рисунок 4.3 – К назначению свойств материала

4.7 Расчетная толщина стенки элемента, S^* (мм):

$$S^* = \frac{D \cdot p}{2 \cdot \sigma_{\text{доп}} \cdot \varphi - p} \quad (4.7)$$

4.8 Принятая толщина стенки элемента, S (мм):

$$S = f(\text{конструкция котла}). \quad (4.8)$$

4.9 Прибавка к расчетной толщине. При сравнении с ранее принятой толщиной трубы необходимо учитывать прибавка s , которая принимается не менее 1 мм для элементов толщиной до 30 мм и равной 0 мм для элементов толщиной свыше 30 мм:

$$s = S - S^*. \quad (4.9)$$

5. ВОДОПОДГОТОВКА. РАСЧЕТ ВОДНОГО РЕЖИМА КОТЛА

Водоподготовка это комплекс мероприятий по улучшению качества питательной и котловой воды в целях предотвращения накипеобразования, устранения причин вскипания и уноса котловой вода и уменьшения коррозии металла.

Для водотрубных и утилизионных котлов с давлением до 2,0 МПа рекомендуется фосфатно-нитратный режим внутрикотловой обработки воды.

При ведении этого режима в котле вводятся тринатрийфосфат ($\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) и селитра (нитрат натрия NaNO_3). Тринатрийфосфат образует при взаимодействии с солями кальция (Ca) и магния (Mg) трудно-растворимые в воде фосфаты, выпадающие в виде шлама. В котловой воде всегда должен быть избыток тринатрийфосфата. Щелочь, образуемая в результате введения тринатрийфосфата, придает котловой воде агрессивные свойства, которые могут вызывать при пропаривании в напряженных участках соединений хрупкое разрушение металла. Эти агрессивные свойства погашаются введением селитры в котловую воду. Селитра снижает агрессивные свойства воды (общую коррозию металла), но не предохраняет от кислородной коррозии, борьба с которой производится обескислораживанием воды.

Соленость и щелочное число котловой воды поддерживается периодическим продуванием котла. Фосфатное и нитратное числа поддерживаются вводом в котел определенных доз тринатрийфосфата и селитры и продувания котла.

Для котлов с фосфатно-нитратным режимом внутрикотловой обработки показателями качества котловой воды являются содержание хлоридов, солесодержание, щелочное число, фосфатное число, нитратное число.

Для котловой воды водотрубных котлов с давлением до 2,0 МПа щелочное число должно быть в пределах 150...200 мг/л; фосфатное число – 10...30 мг/л; нитратное число 75...100 мг/л.

5.1 Масса воды в котле.

Масса воды определяется на основании известных из теплового расчета внутреннего диаметра труб испарительного пучка и коллекторов, их длин, количества труб в ряду и рядов труб и др.

Масса воды m (кг):

$$m = \left(0,5 \cdot \frac{\pi \cdot D_{ПВК}^2}{4} \cdot L_{ПВК} + \frac{\pi \cdot D_{БК}^2}{4} \cdot L_{БК} + \frac{\pi \cdot d_{ВН}^2}{4} \cdot Z_1 \cdot Z_2 \cdot l_{ПОЛН} \right) \cdot 10^3 . \quad (5.1)$$

5.2 Количество тринатрийфосфата вводимого в котловую воду при заполнении котла водой, T (кг):

$$T = \frac{(\Phi \cdot m \cdot K_1 + T_{Ж} \cdot m \cdot H)}{A \cdot 10^4} . \quad (5.2)$$

где Φ – верхний предел фосфатного числа котловой воды, мг/л, принимается $\Phi = 50$ мг/л; K_1 – переводной коэффициент перерасчета мг P_2O_5 на мг тринатрийфосфата, принимается $K_1 = 5,35$; $T_{Ж}$ – количество тринатрийфосфата, необходимое для осаждения солей жесткости в воде, жесткость которой равна 1°Н, принимается $T_{Ж} = 45, 2$; A – содержание тринатрийфосфата в техническом продукте, %, принимается из интервала $A = 20...100$ %; H – жесткость питательной воды, °Н.

5.3 Количество тринатрийфосфата вводимого в котловую воду при работе котла, T_1 (кг):

$$T_1 = \frac{(\Phi - \Phi_{ФАКТ}) \cdot m \cdot K_1}{A \cdot 10^4} . \quad (5.3)$$

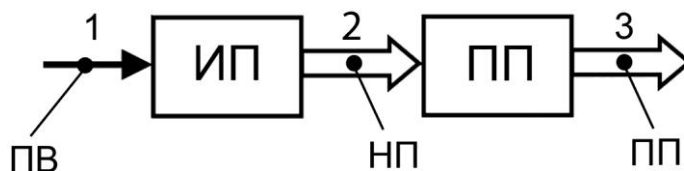
6. ПРИМЕР РАСЧЕТА ПАРОВОГО КОТЛА

Для закрепления выше приведенных рекомендаций предлагается пример расчета судового парового котла типа КВ-2. Пример содержит наиболее важные разделы расчета: предварительный тепловой баланс, расчет теплообмена в топке, расчет испарительного пучка.

Таблица 6.1 – Исходные данные к расчету

№ п/п	П а р а м е т р	Обоз- наче- ния	Еди- ницы изме- ре- ния	Числен- ное значе- ние
1	Марка котла-прототипа			
2	Паропроизводительность	D	т/ч	26
	– в т.ч. насыщенный пар	$D_{НП}$	т/ч	–
	– в т.ч. перегретый пар	$D_{ПП}$	т/ч	26
3	Давление пара в паро-водяном коллекторе	p_k	МПа	1,85
4	Температура перегретого пара	t_{nn}	°С	230
5	Температура питательной воды	$t_{нс}$	°С	40
6	КПД котла	η	%	84
7	Коэффициент избытка воздуха	α	–	1,18
8	Марка топлива	–	–	IFO380

В примере, рассматривается СПК, структурная схема которого представлена на рисунке 6.1.



1 – подвод питательной воды в ПВК СПК; 2 – подача отвод насыщенного пара к пароперегревателю (НП); 3 – отвод перегретого пара к потребителю

Рисунок 6.1 – Структурная схема котла

Структурная схема рассматриваемого в примере котла (таблица 6.1) имеет испарительный пучек, в который из теплого ящика ПВ питательным насосом подается в ПВК. Из ПВК насыщенный пар поступает в ПП, откуда идет к потребителю. В хвостовой части котле оснащен газовым воздухоподогревателем, который в структурную схему котла не входит.

В рассматриваемом примере приняты потери в пароперегревателе 7%. Таким образом, давление пара на выходе из пароперегревателя составляют $p_{ПВ} = p_K + 0,93 \cdot p_K = 1,85 \cdot 0,93 = 1,72$ МПа. Таким образом известны и назначены давления рабочей среды в характерных точках 1, 2, 3 и температуры среды в точках 1 и 3. На основании этих данных и справочных материалов [2, 9] заполняется таблица параметров пароводяного тракта котла (таблица 6.2).

Таблица 6.2 – Параметры пароводяного тракта СПК

№ точки	давление	температура	энтальпия	дельный объем
	МПа	°С	кДж/кВт	м ³ /кг
1	(задано) $p_{ПВ} = 1,85$	(задано) $t_{ПВ} = 40$	$i_{ПВ} = f(p_K, t_{ПВ})$ 169	$v_{ПВ} = f(p_K, t_{ПВ})$ 0,001007
2	(задано) $p_K = 1,85$	$t_S = f(p_K)$ 208,5	$i_S = f(p_K)$ 2796	$v_S = f(p_K)$ 0,107462
3	$p_{ПП} = 1,72$	(задано) $t_{ПП} = 230$	$i_{ПП} = f(p_K, t_{ПП})$ 2865	$v_{ПП} = f(p_K, t_{ПП})$ 0,124548

На основании расчета объемов воздуха и продуктов сгорания выполняется расчет предварительного теплового баланса.

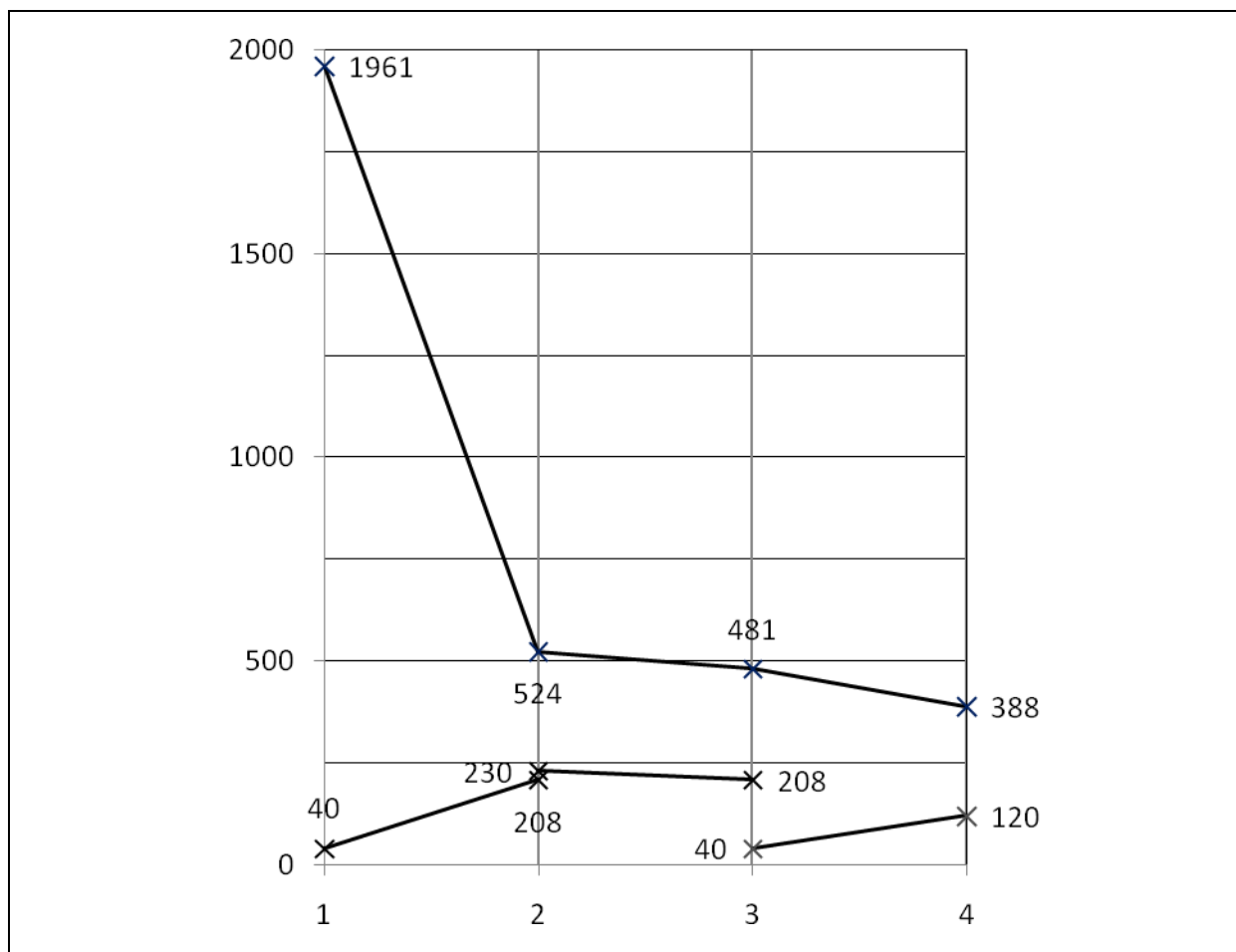
В таблице 6.3 представлены результаты анализа теплового баланса котла.

Таблица 6.3 – Предварительный тепловой баланс

№	Наименование искомого параметра, расчетная формула и расчет	Об.	Разм.	Знач.
1.	Температура холодного воздуха (назначается из условий работы МКО)	t_{XB}	°С	50
2.	Температура горячего воздуха (назначается на основании изучения котла прототипа и конструктивных особенностей)	$t_{ГВ}$	°С	160
3.	Температура топлива, подаваемого на форсунки, (зависит от типа топлива и необходимого диапазона вязкости 12– 40 сСт, определяется по номограмме)	t_T	°С	110
4.	Теплоемкость холодного воздуха (определяется по таблицам или графику зависимости теплоемкости от температуры)	c_{XB}	кДж/(м ³ ·К)	1,3215
5.	Энтальпия холодного воздуха $Q_{XB} = 1,016 \cdot \alpha \cdot V^0 \cdot c_{XB} \cdot t_{XB} =$ $= 1,016 \cdot 1,18 \cdot 10,56 \cdot 1,3215 \cdot 50 = 836,50$	Q_{XB}	кДж/кг	836,50
6.	Теплоемкость горячего воздуха (аналогично пп. 2.3.4)	$c_{ГВ}$	кДж/(м ³ ·К)	1,329
7.	Энтальпия горячего воздуха, $Q_{ГВ} = 1,016 \cdot \alpha \cdot V^0 \cdot c_{ГВ} \cdot t_{ГВ} =$ $= 1,016 \cdot 1,18 \cdot 10,56 \cdot 1,329 \cdot 160 = 2692,1$	$Q_{ГВ}$	кДж/кг	2692,1
8	Теплоемкость топлива $c_T = (1,74 + 0,00252 \cdot t_T) = (1,74 + 0,00252 \cdot 110) =$ $= 2,017$	c_T	кДж/(кг·К)	2,017
9	Энтальпия топлива, поступающего в топку, кДж/кг $Q_{ТОП} = c_T \cdot t_T = 2,017 \cdot 110 = 221,9$	$Q_{ТОП}$	кДж/кг	221,9
10	Энтальпия пара, вносимого в топку форсунками, $Q_{\Phi} = G_{\Phi} \cdot (h'' - 2600) = 0,03 \cdot (2794 - 2600) = 5,82$	Q_{Φ}	кДж/кг	5,82
11	Располагаемая теплота $Q_P^P = Q_H^P + Q_{ТОП} + Q_{\Phi} =$ $= 5,82 + 221,9 + 40307 = 40534$	Q_P^P	кДж/кг	40534
12.	Тепловые потери:			
	а) от химической неполноты сгорания			
	в относительных единицах (назначается из интервала 0,25–1,0)	q_3	%	0,5
	в абсолютном исчислении, кДж/кг – $Q_3 = Q_P^P \cdot q_3 / 100 = 40534 \cdot 0,5 / 100 = 202,7$	Q_3	кДж/кг	202,7
	б) в окружающую среду			
	в относительных единицах (назначается из интервала 0,25–1,5)	q_5	%	0,5
	в абсолютном исчислении $Q_5 = Q_P^P \cdot q_5 / 100 = 40534 \cdot 0,5 / 100 = 202,7$	Q_5	кДж/кг	202,7
	в) с уходящими газами:			

	в относительных единицах, $q_2 = 100 - \eta_K - q_3 - q_5 = 100 - 83 - 0,5 - 0,5 = 16$	q_2	%	16
	в абсолютном исчислении $Q_2 = Q_P^P \cdot q_2 / 100 = 40534 \cdot 16 / 100 = 6485$	Q_2	кДж/ кг	6485
13	Энтальпия уходящих газов $J_{УХ}^I = Q_2 + Q_{ХВ} = 6485,4 + 836,5 = 7322$	$J_{УХ}^I$	кДж/ кг	7322
14	Температура уходящих газов, (определяется по $J-\vartheta$ диаграмме, рассчитанной в пп. 2.2, см. приложение Б)	$\vartheta_{УХ}^I$	°С	387
15	Теоретическая энтальпия газов в топке $J_{ТЕОР} = (Q_H^P + Q_{ТОП}) \cdot (100 - q_3) / 100 + Q_{ГВ} + Q_{\Phi} =$ $(40307 + 221,982) \cdot (100 - 0,5) / 100 + 2692,1 + 5,8 =$ 43024 Если ВП нет тогда $Q_{ГВ} = Q_{ХВ}$	$J_{ТЕОР}$	кДж/ кг	43024
16	Температура газа, соответствующая теоретической энтальпии газов в топке (максимальная температура, определяется по $J-\vartheta$ диаграмме, рассчитанной в пп. 2.2, см. приложение Б)	$\vartheta_{ТЕОР}$	°С	1961
17	Часовой расход топлива, $B_{\text{ч}} = (D_{\text{ч}}(i_{\text{ВЫХ}} - i_{\text{ВХ}})) / (Q_P^P \cdot \eta_K \cdot 0,01)$, где $i_{\text{ВХ}}$ - энтальпия , воды на входе в котел; $i_{\text{ВЫХ}}$ - энтальпия пара на выходе из котла (параметры определены ранее, см. табл. 2) $D_{\text{ч}}$ - производительность котла, кг/ч $B_{\text{ч}} = (26000 \cdot (2865 - 169)) / (40534 \cdot 84 \cdot 0,01) =$ $2083,5$	$B_{\text{ч}}$	кг/ч	2083,5
18	Секундный расход топлива, $B_{\text{с}} = B_{\text{ч}} / 3600 = 2083,5 / 3600 = 0,579$	$B_{\text{с}}$	кг/с	0,579
19	Коэффициент сохранения тепла $\varphi = (100 - q_5) / 100 = (100 - 0,5) / 100 = \varphi$	φ	—	0,995
20	Теплота, необходимая для подогрева воды в экономайзере, отнесенная к 1 кг топлива. Экономайзер с конструкции котла отсутствует.	$Q_{ЭК}$	кДж/кг	0
21	Теплота, необходимая на испарение: $Q_{ИСП} = (D_{\text{ч}}(i'' - i_{\text{ПВ}})) / (B_{\text{ч}} \cdot \varphi) = (26000 \cdot (2794 - 169)) /$ $(2083,5 \cdot 0,995) = 32930$	$Q_{ИСП}$	кДж/кг	32930
22	Теплота, необходимая на перегрев: $Q_{ПП} = (D_{\text{ч}}(i_{\text{ПП}} - i'')) / (B_{\text{ч}} \cdot \varphi) = (26000 \cdot (2865 - 2794)) /$ $(2083,5 \cdot 0,995) = 891$	$Q_{ПП}$	кДж/кг	891
23	Теплота для подогрева воздуха в ВП: $Q_{ВП} = (Q_{ГВ} - Q_{ХВ}) / \varphi = (2692,1 - 836,5) / 0,995 = 1865$	$Q_{ВП}$	кДж/кг	1865
24	Энтальпия уходящих газов $J_{УХ}^2 = Q_{ИСП} - Q_{ПП} - Q_{ЭК} - Q_{ВП} = 43024 - 32930 - 891 - 0 - 1865 = 7339$	$J_{УХ}^2$	кДж/кг	7339

25	Температура уходящих газов (определяется по J – ϑ диаграмме, рассчитанной в пп. 2.2, см. приложение Б)	ϑ_{yx}^2	°С	388
26	Проверка составления теплового баланса $\Delta J = J_{yx}^2 - J_{yx}^1 \leq 100$ $\Delta J = 7322 - 7339 = 17$	ΔJ	кДж/кг	17
	$\Delta \vartheta = \vartheta_{yx}^2 - \vartheta_{yx}^1 \leq 5 \text{ °С}$ $\Delta \vartheta = 387 - 388 = 1$		°С	1
	Далее, для проверки правильности подбора исходных данных в тепловом расчете СПК выполняется построение тепловой диаграммы котла в координатах температура –пучек (на диаграмме указываются параметры газо-воздушного и пароводяного трактов СПК)			
27	Энтальпия газов перед ВП $J_{ВП}^II = J_{yx} + Q_{ВП} = 7321,96 + 1865 = 9187,0$	$J_{ВП}^II$	кДж/кг	9187
28	Температура газов перед ВП, (определяется по J – ϑ диаграмме, рассчитанной в пп. 2.2, см. приложение Б)	$\vartheta_{ВП}^II$	°С	481
29	Энтальпия газов перед ПП $J_{ПП}^II = J_{ВП}^II + Q_{ПП} = 9187 + 891 = 10078$	$J_{ПП}^II$	кДж/кг	10078
30	Температура газов перед пароперегревателем (определяется по J – ϑ диаграмме, рассчитанной в пп. 2.2, см. приложение Б)	$\vartheta_{ПП}^II$	°С	524
	Тепловая диаграмма (строится на основании значений таблицы 2, пп. 1, 2, 25, 28, 30, 16 предварительного расчета)			



В таблице 6.4 представлен расчет топки котла

Таблица 6.4 - Расчет топки

1	Площадь фронта топки	F_T	м^2	8,2
2	Длина топки (принимается равной прототипу или определяется по чертежу),	L_T	м	3,64
3	Объем топки (определяется в соответствии с конструкцией котла и его топки (рис. 2.1), – $V_T = F_T \cdot L_T$ (рис 2.1 а); $V_T = 0.25 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot h$ (рис 2.1 б); на рис 2.1, в объем топки определяется объемом усеченного конуса высотой h и т.д.. $V_T = 8,2 \cdot 3,64 = 29,85$	V_T	м^3	29,85
4	Тепловое напряжение топочного объема $q_T = B_c \cdot Q_P^P / V_T$ $q_T = 40534 \cdot 0,579 / 29,85 = 786,2$	q_T	кВт/ м^3	786,2

5	Число форсунок на фронте (принимается равным прототипу), $N = 2$	N	—	2
6	Расчетная производительность одной форсунки, $B_{\phi} = B_C / N$. $B_{\phi} = 0,579/2 = 0,29$	B_{ϕ}	кг/с	0,29
7	Секундный расход воздуха через отверстие фурмы при вентиляторном дутье, $V_{CEK} = (1,016 \cdot \alpha \cdot V^0 \cdot B_{\phi} \cdot (t_{XB} + 273))/273$ $V_{CEK} = 1,016 \cdot 1,18 \cdot 10,56 \cdot 0,29 \cdot (160+273)/273 = 5,82$	V_{CEK}	м ³ /с	5,82
8	Необходимая скорость воздуха в отверстие фурмы (для формирования факела принимается из интервала 20–50 м/с); $\omega_{\phi} = 30$	ω_{ϕ}	м/с	30
9	Живое сечение отверстия фурмы $F_{\phi} = V_{CEK} / \omega_{\phi}$ $F_{\phi} = 5,82/30 = 0,194$	F_{ϕ}	м ²	0,194
10	Диаметр фурм, $d_{\phi} = \sqrt{(4 \cdot F_{\phi}) / \pi}$ $d_{\phi} =$	d_{ϕ}	м	0,5
11	Облучаемая длина труб экрана	$L_{Э}$	м	6,77
12	Облучаемая длина труб первого ряда конвективного притопочного пучка $L_{П}$	$L_{П}$	м	5,2
13	Лучевоспринимающая поверхность нагрева $H_{Л} = (L_{Э} + L_{П}) \cdot L_T$; $H_{Л} = (6,77 + 5,2) \cdot 3,64 = 43,57$	$H_{Л}$	м ²	43,57
14	Полная поверхность стен топки, $F_{СТ} = H_{Л} + 2 \cdot F_T$ $F_{СТ} = 43,57 + 2 \cdot 8,2 = 60,0$	F_{ϕ}	м ²	60,0
15	Наружный диаметр пароводяного коллектора (принимается равным прототипу), $D_{ПК} = 1,3$	$D_{ПК}$	м	1,3
16	Наружный диаметр водяного барабана (принимается равным прототипу), $D_{БК} = 0,8$	$D_{БК}$	м	0,8
17	Степень экранирования топки, $\Psi = H_{Л} / F_{СТ}$ $\Psi = 43,57/60 = 0,73$	Ψ	—	0,73
20	Температура газов на выходе из топки (оценивается снижение $\vartheta_{ТЕОР}$ до $\vartheta_{ЗТ}$; принимают-	$\vartheta_{ЗТ}$	°С	

	ся 3 значения),			
	$\vartheta_{3T(1)} = 1100$	$\vartheta_{3T(1)}$		1100
	$\vartheta_{3T(2)} = 1300$	$\vartheta_{3T(2)}$		1300
	$\vartheta_{3T(3)} = 1500$	$\vartheta_{3T(3)}$		1500
21	Безразмерная температура газов на выходе из топки (три значения)	Θ_{3T}	–	
	$\Theta_{3T}^{(1)} = \frac{\vartheta_{3T} + 273}{\vartheta_{TEOP} + 273}$			
	$\Theta_{3T(1)}^{(1)} = (1100+273)/(1961+273)$	$\Theta_{3T(1)}$	–	0,615
	$\Theta_{3T(2)}^{(1)} = (1300+273)/(1961+273)$	$\Theta_{3T(2)}$	–	0,70
	$\Theta_{3T(3)}^{(1)} = (1500+273)/(1961+273)$	$\Theta_{3T(3)}$	–	0,794
22	Энтальпия газов на выходе из топки, соответствующая принятым значениям температуры газов на выходе из топки ϑ_{3T} (определяется по J – ϑ диаграмме, рассчитанной в пп. 2.2, см. приложение Б)	J_{3T}	кЖд/кг	
	$J_{3T(1)} = 22622$	$J_{3T(1)}$		22622
	$J_{3T(2)} = 27246$	$J_{3T(2)}$		27246
	$J_{3T(3)} = 31962$	$J_{3T(3)}$		31962
23	Средняя суммарная объемная теплоемкость газов (определяются три значения)	ΣVC	кДж/кг	
	$\Sigma VC = \frac{J_{TEOP} - J_{3T}}{\vartheta_{TEOP} - \vartheta_{3T}}$			
	$\Sigma VC_1 = (43024 - 22622)/(1961 - 1100) = 23,7$	ΣVC_1		23,7
	$\Sigma VC_2 = (43024 - 27246)/(1961 - 1300) = 23,87$	ΣVC_2		23,87
	$\Sigma VC_3 = (43024 - 31962)/(1961 - 1500) = 24,0$	ΣVC_3		24,0
24	Эффективная толщина слоя пламени в топке, $S = 3,6 \cdot V_T / F_{CT}$ $S = 3,6 \cdot 29,85/60 = 1,791$	S	м	1,791
25	Суммарная объемная доля 3-атомных газов, $r_n = r_{H_2O} + r_{RO_2}$ (r_{H_2O} и r_{RO_2} – см. пп. 2.1) $r_n = 0,106 + 0,123 = 0,229$	r_n	–	0,229
26	Давление в топке (принимается из диапазона 0,10...0,12 МПа), $p = 0,1$	p	МПа	0,11
27	Суммарное парциальное давление трехатом-	p_n	МПа	0,0252

	ных газов, $p_n = p \cdot r_n$ $p_n = 0,11 \cdot 0,229 = 0,0252$			
28	Коэффициент ослабления лучей сажистыми частицами (определяются три значения),	K_C	1/ МПа·м	
	$K_C = 0,306 \cdot (2 - \alpha) \cdot (1,6 \cdot \frac{g_{3T} + 273}{1000} - 0,5) \cdot \frac{C^P}{H^P}$			
	$K_{C1} = 0,306 \cdot (2 - 1,18) \cdot (1,6 \cdot (1100 + 273) / 1000 - 87,1 / 10,5 =$	K_{C1}		3,532
	$K_{C2} = 0,306 \cdot (2 - 1,18) \cdot (1,6 \cdot (1300 + 273) / 1000 - 87,1 / 10,5$	K_{C2}		4,198
	$K_{C3} = 0,306 \cdot (2 - 1,18) \cdot (1,6 \cdot (1500 + 273) / 1000 - 87,1 / 10,5$	K_{C3}		4,864
29	Коэффициент ослабления лучей трехатомными газами (определяются три значения),	K_R	1/ МПа·м	
	$K_R = (\frac{2,47 + 5,06 \cdot r_{H_2O}}{\sqrt{p_n \cdot S}} - 1,02) \cdot (1 - 0,37 \cdot \frac{g_{3T} + 273}{1000}) \cdot r_n$			
	$K_{R1} = ((2,47 + 5,06 \cdot 0,123) / (0,0252 \cdot 1,791))^{0,5} - 1,02) \cdot (1 - 0,37 \cdot (1100 + 273) / 1000) \cdot 0,229$	K_{R1}		1,4793
	$K_{R2} = ((2,47 + 5,06 \cdot 0,123) / (0,0252 \cdot 1,791))^{0,5} - 1,02) \cdot (1 - 0,37 \cdot (1300 + 273) / 1000) \cdot 0,229$	K_{R2}		1,2568
	$K_{R3} = ((2,47 + 5,06 \cdot 0,123) / (0,0252 \cdot 1,791))^{0,5} - 1,02) \cdot (1 - 0,37 \cdot (1500 + 273) / 1000) \cdot 0,229$	K_{R3}		1,0343
30	Коэффициент ослабления лучей в светящейся части факела (определяются три значения),	$K_{C\Phi}$	1/ МПа·м	
	$K_{C\Phi} = K_C + K_R$			
	$K_{C\Phi1} = 3,532 + 1,4793 = 5,0113$	$K_{C\Phi1}$		5,0113
	$K_{C\Phi2} = 4,198 + 1,2568 = 5,4548$	$K_{C\Phi2}$		5,4548
	$K_{C\Phi3} = 4,864 + 1,0343 = 5,8983$	$K_{C\Phi3}$		5,8983
31	Степень черноты светящейся части факела (определяются три значения),	$a_{C\Phi}$	–	
	$a_{C\Phi} = 1 - e^{-K_{C\Phi} \cdot p \cdot S}$			
	$a_{C\Phi1} = 1 - 2,71^{-5,0113 \cdot 0,11 \cdot 1,791} = 0,630$	$a_{C\Phi1}$		0,630
	$a_{C\Phi2} = 1 - 2,71^{-5,4548 \cdot 0,11 \cdot 1,791} = 0,659$	$a_{C\Phi2}$		0,659
	$a_{C\Phi3} = 1 - 2,71^{-5,8983 \cdot 0,11 \cdot 1,791} = 0,687$	$a_{C\Phi3}$		0,687
32	Степень черноты несветящейся части факела (определяются три значения),	a_R	–	
	$a_R = 1 - e^{-K_R \cdot p \cdot S}$			

	$a_{R1} = 1 - 2,71^{-1,4793 \cdot 0,11 \cdot 1,791} = 0,253$	a_{R1}		0,253
	$a_{R2} = 1 - 2,71^{-1,2568 \cdot 0,11 \cdot 1,791} = 0,219$	a_{R2}		0,219
	$a_{R3} = 1 - 2,71^{-1,0343 \cdot 0,11 \cdot 1,791} = 0,184$	a_{R3}		0,184
33	Коэффициент M (рисунок 2.3), $M=f(q_T)$ q_T – из п. 2.4.4	M	–	
	$M = f(786,2 \text{ кВт/м}^3) = f(0,79 \text{ МВт/м}^3) = 0,78$	a_ϕ	–	0,78
34	Эффективная степень черноты факела (определяются три значения), $a_\phi = M \cdot a_{c\phi} + (1 - M) \cdot a_R$			
	$a_{\phi1} = 0,78 \cdot 0,630 + (1 - 0,78) \cdot 0,253 = 0,555$	a_{R1}	–	0,555
	$a_{\phi2} = 0,78 \cdot 0,659 + (1 - 0,78) \cdot 0,219 = 0,571$	a_{R2}	–	0,571
	$a_{\phi3} = 0,78 \cdot 0,687 + (1 - 0,78) \cdot 0,184 = 0,586$	a_{R3}	–	0,586
35	Средний условный коэффициент загрязнения (зависит от покрытия поверхностей нагрева (для голых труб $\xi = 0,4$; для труб, покрытых обмазкой $\xi = 0,2$; для частей нагрева, покрытых кирпичами $\xi = 0,1$), $\xi = \frac{H_\Gamma \cdot \xi_\Gamma + H_O \cdot \xi_O + H_K \cdot \xi_K}{H_\Gamma} = \frac{\sum (H_i \cdot \xi_i)}{H_\Gamma}$	ξ	–	
	$\xi = (43,57 \cdot 0,4 + 0,0 \cdot 0,2 + 0,0 \cdot 0,1) / 43,57 = 0,4$			0,4
36	Условная степень черноты топки (определяются три значения), $a_T = \frac{a_\phi}{a_\phi + (1 - a_\phi) \cdot \Psi \cdot \xi}$	a_T	–	
	$a_{T1} = 0,555 / (0,555 + (1 - 0,555) \cdot 0,73 \cdot 0,4) =$	a_{T1}		0,81
	$a_{T2} = 0,571 / (0,571 + (1 - 0,571) \cdot 0,73 \cdot 0,4) =$	a_{T2}		0,82
	$a_{T3} = 0,586 / (0,586 + (1 - 0,586) \cdot 0,73 \cdot 0,4) =$	a_{T3}		0,83
37	Критерий Больцмана (определяются три значения) $B_O = \frac{\varphi \cdot B_c \cdot \sum VC}{5,67 \cdot 10^{-11} \cdot \xi \cdot H_\Gamma \cdot (t_{TEOP} + 273)^3}$	B_O	–	
	$B_{O1} = (0,995 \cdot 0,579 \cdot 23,7) / (5,67 \cdot 10^{-11} \cdot 0,4 \cdot 43,57 \cdot (1961 + 273)^3) = 1,239$	B_{O1}	–	1,239
	$B_{O2} = (0,995 \cdot 0,579 \cdot 23,87) / (5,67 \cdot 10^{-11} \cdot 0,4 \cdot 43,57 \cdot (1961 + 273)^3) = 1,248$	B_{O2}	–	1,248
	$B_{O3} = (0,995 \cdot 0,579 \cdot 24,0) / (5,67 \cdot 10^{-11} \cdot 0,4 \cdot 43,57 \cdot (1961 + 273)^3) = 1,255$	B_{O3}	–	1,255

	$43,57 \cdot (1961+273)^3=1,255$			
38	Безразмерная температура газов на выходе из топки (определяются три значения),	$\Theta_{3T}^{(II)}$	–	
	$\Theta_{3T}^{(II)} = \frac{Bo^{0,6}}{0,69 \cdot a_T^{0,6} + Bo^{0,6}}$			
	$\Theta_{3T(1)}^{(II)} = (1,239^{0,6}) / (0,69 \cdot 0,81^{0,6} + 1,239^{0,6}) = 0,652$	$\Theta_{3T(1)}^{(II)}$	–	0,652
	$\Theta_{3T(2)}^{(II)} = (1,248^{0,6}) / (0,69 \cdot 0,82^{0,6} + 1,248^{0,6}) = 0,651$	$\Theta_{3T(2)}^{(II)}$	–	0,651
	$\Theta_{3T(3)}^{(II)} = (1,255^{0,6}) / (0,69 \cdot 0,83^{0,6} + 1,255^{0,6}) = 0,650$	$\Theta_{3T(3)}^{(II)}$	–	0,65
39	Температура газов на выходе из топки, ϑ_{3T} : определяется графически путем решения системы двух уравнений $\Theta_{3T(i)}^{(I)} = f(\vartheta_{3T(i)})$ и $\Theta_{3T(i)}^{(II)} = f(\vartheta_{3T(i)})$	ϑ_{3T}	°C	1185
Полученная диаграмма представлена на рисунке 2.14				

Таблица 6.5 - Расчет испарительного пучка

1	Наружный диаметр труб пучка	d	м	0,029
2	Толщина стенки трубы	t	м	0,0025
3	Поперечный шаг пучка	S_1	м	0,045
4	Продольный шаг пучка	S_2	м	0,045
5	Число труб в одном ряду, $Z_1^* = 3,64/0,045$	Z_1^*	шт	81,3
6	Принятое число труб	Z_1	шт	81
7	Полная длина труб среднего ряда	$L_{ПОЛН}$	м	5,3
8	Активная длина труб среднего ряда	$L_{АКТ}$	м	3,925
9	Коэффициент полноты омывания, $\omega_{ИСП} = L_{АКТ} / L_{ПОЛН}$ $\omega_{ИСП} = 3,925/5,3=0,74$	$\omega_{ИСП}$	–	0,74
10	Проекция средней активной длины на прямую, - $L_{ПР} = 3,534$	$L_{ПР}$	м	3,534
11	Коэффициент свободного прохода газов, $\phi_{ИСП} = (S_1 - d) / S_1$	$\phi_{ИСП}$	–	0,356

	$\varphi_{\text{исп}} = (0,045 - 0,029) / 0,045 = 0,356$			
12	Площадь живого сечения для прохода газов, $F_{\text{исп}} = \varphi_{\text{исп}} \cdot L_{\text{пп}} \cdot L_{\text{т}}$ $F_{\text{исп}} = 0,356 \cdot 3,534 \cdot 3,64 = 4,57$	$F_{\text{исп}}$	м ²	4,57
13	Поверхность нагрева одного ряда труб, $H_1 = Z_1 \cdot \pi \cdot d \cdot L_{\text{полн}}$ $H_1 = 81 \cdot 3,14 \cdot 0,029 \cdot 5,3 = 39,112$	H_1	м ²	39,112
14	Мощность конвективного парообразующего пучка труб (тепловой поток), $Q_{\text{исп}} = D_{\text{с}} \cdot (h'' - h_{\text{пв}}) - Q_{\text{т}}$ $Q_{\text{исп}} = 7,222 \cdot (2794 - 169) - 10429 = 8524$	$Q_{\text{исп}}$	кВт	8524
15	Энтальпия газов за пучком, $J_{\text{исп}} = J_{\text{зт}} - \frac{Q_{\text{исп}}}{\varphi \cdot B_{\text{с}}}$ $J_{\text{исп}} = 24921 - (8524 / 0,995 \cdot 0,579) = 10125$	$J_{\text{исп}}$	кДж/ кг	10125
16	Температура газов за пучком (определяется по J–θ диаграмме, рассчитанной в пп. 2.2, см. приложение Б), $\theta_{\text{исп}} = 526$	$\theta_{\text{исп}}$	°С	526
17	Средняя температура газов в пучке, $\theta_{\text{исп_ср}} = 0,5 \cdot (\theta_{\text{зт}} + \theta_{\text{исп}})$ $\theta_{\text{исп_ср}} = 0,5 \cdot (1200 + 526) = 863$	$\theta_{\text{исп_ср}}$	°С	863
18	Средняя скорость газов в пучке, $\omega_{\text{г_исп}} = \frac{B_{\text{с}} \cdot V_{\text{г}} \cdot (\theta_{\text{ср}} + 273)}{F_{\text{исп}} \cdot 273}$ $\omega_{\text{г_исп}} = (0,579 \cdot 13,29 \cdot (863 + 273)) / (4,57 \cdot 273) = 7,01$	$\omega_{\text{г_исп}}$	м/с	7,01
19	Коэффициент загрязнения (определяется средней скоростью продуктов сгорания $\omega_{\text{г_исп}}$ по вспомогательному графику – Приложение Г)	ε	(м ² ·°С) / Вт	0.008
20	Плотность теплового потока (назначать из интервала 10000-50000 Вт/м ²), q	q	Вт/м ²	30000
21	Температура загрязненной стенки, $t_{\text{СТ}} = t_{\text{с}} + \varepsilon \cdot q$ $t_{\text{СТ}} = 204 + 0,008 \cdot 30000 = 450$	$t_{\text{СТ}}$	°С	450
22	Коэффициент теплопроводности газов при средней температуре газов в пучке (Приложение Ж), $\lambda = 0,062$	λ	Вт/ (м ² ·°С)	0,062

23	Коэффициент кинематической вязкости газов при средней температуре газов в пучке (Приложение Ж), $\nu = 0,000063$	ν	$\text{м}^2/\text{с}$	$0,63 \cdot 10^{-4}$
24	Критерий Прандтля при средней температуре газов в пучке (Приложение Ж), $P_r = 0,625$	P_r	–	0,625
25	Критерий Рейнольдса, $Re = \omega_{\Gamma_ИСП} \cdot d / \nu$ $Re = 7,037 \cdot 0,029 / 0,000063 = 3174,6$	Re		3174,6
26	Поправка на число рядов C_z (z_2 предварительно назначается как у прототипа), $C_z = 3,12 \cdot z_2^{0,05} - 2,5$ при $z_2 < 10$ и $(S_1/d) < 3$; $C_z = 4 \cdot z_2^{0,02} - 3,2$ при $z_2 < 10$ и $(S_1/d) \geq 3$; $C_z = 1$ при $z_2 \geq 10$. $C_z = 1$	C_z	–	1
27	Поправка на компоновку C_s , $C_s = 0,34 \cdot \varphi_c^{0,1}$ при $0,1 < \varphi_c \leq 1,7$ $C_s = 0,275 \cdot \varphi_c^{0,5}$ при $1,7 < \varphi_c \leq 4,5$ и $(S_1/d) < 3$; $C_s = 0,34 \cdot \varphi_c^{0,1}$ при $1,7 < \varphi_c \leq 4,5$ и $(S_1/d) \geq 3$. $C_s = 0,34 \cdot 0,39^{0,1} = 0,355$	C_s	–	0,355
28	Коэффициент теплоотдачи конвекцией , $\alpha_K = C_z \cdot C_s \cdot \frac{\lambda}{d} \cdot (Re)^{0,6} \cdot P_r^{0,33}$ $\alpha_K = 1 \cdot 0,355 \cdot (0,062/0,029) \cdot (3174,6)^{0,6} \cdot 0,625^{0,33} =$	α_K	$\frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})}$	75,97
29	Эффективная толщина излучающего слоя, $S_{ИСП} = 0,9 \cdot d \cdot \left(\frac{4 \cdot S_1 \cdot S_2}{\pi \cdot d^2} - 1 \right)$ $S_{ИСП} = 0,9 \cdot 0,029 \cdot ((4 \cdot 0,045 \cdot 0,045) / (3,14 \cdot 0,029^2) - 1) = 0,054$	$S_{ИСП}$	м	0.054
30	Коэффициент ослабления лучей трехатомными газами	k_r		11,17

	$k_r = \left(\frac{2,47 + 5,06 \cdot r_{H_2O}}{\sqrt{p \cdot r_{II} \cdot S_{ИСП}}} - 1,02 \right) \cdot \left(1 - 0,37 \cdot \frac{\vartheta_{CP-ИСП} + 273}{1000} \right) \cdot r_{II}$ $k_r = ((2,47+5,06 \cdot 0,106)/(0,1 \cdot 0,229 \cdot 0,054)^{0,5} - 1,02) \cdot (1 - 0,37 \cdot (863 + 273)/1000) \cdot 0,229 = 11,17$			
31	Степень черноты трехатомных газов $a_T = 1 - e^{-K_R \cdot p \cdot r_n \cdot S_{ИСП}}$ $a_T = 1 - 2,17^{(-11,17 \cdot 0,1 \cdot 0,229 \cdot 0,054)} = 0,0137$	a_T		0,0137
32	Приведенная степень черноты трехатомных газов $a_{CT} = 0,8$ $a_{ПП} = 0,5 \cdot (a_{CT} + 1) \cdot a_T$ $a_{ПП} = 0,5 \cdot (0,8 + 1) \cdot 0,0137 = 0,0123$	$a_{ПП}$		0,0123
33	Коэффициент теплоотдачи излучением от трёхатомных газов в межтрубном пространстве, $\alpha_{JI} = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot a_{ПП} \cdot (\vartheta_{CP} + 273)^3 \cdot \frac{1 - \left(\frac{t_{CT} + 273}{\vartheta_{CP} + 273} \right)^4}{1 - \left(\frac{t_{CT} + 273}{\vartheta_{CP} + 273} \right)}$ $\alpha_{JI} = 1,03597 \cdot ((1 - ((450+273)/(863+273))^4)/((1 - ((450+273)/(863+273)))) = 2,375$	α_{JI}	Вт/ (м ² ·°C)	2,375
34	Коэффициент теплоотдачи от газов к стенке, $\alpha_1 = \omega_{ИСП} \cdot \alpha_K + \alpha_{JI}$ $\alpha_1 = 0,74 \cdot 75,97 + 2,375 = 58,59$	α_1	Вт/ (м ² ·°C)	58,59
35	Коэффициент теплопередачи, $K = \frac{\alpha_1}{1 + \varepsilon \cdot \alpha_1}$ $K = 58,59 / (1 + 0,008 \cdot 58,59) = 39,891$	K	Вт/ (м ² ·°C)	39,891
36	Средний температурный напор,	Δt	°C	604,4

	$\Delta t = \frac{g_{3T} - g_{исп}}{\ln\left(\frac{g_{3T} - t_s}{g_{исп} - t_s}\right)}$ $\Delta t = (1200 - 536)/(\ln((1200 - 204)/(536 - 204)))$ $= 604,4$			
37	Поверхность нагрева испарительного пучка $H_{исп} = \frac{Q_{исп}^* \cdot 10^3}{K \cdot \Delta t}$ $H_{исп} = 8524 \cdot 10^3 / (39,891 \cdot 604,4) = 353,59$	$H_{исп}$	m^2	353.59
38	Число рядов труб, $Z_2^* = H_{исп} / H_1$ $Z_2^* = 353,59 / 39,112 = 9,04$	Z_2^*	шт.	9,04
39	Принятое число рядов труб пучка - $Z_2 = 9$	Z_2	шт	9

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящем учебном пособии представлены рекомендации к выполнению задач, стоящих перед обучающимся при выполнении различных расчетов судового котла.

В пособии рассмотрены конструкции современных судовых паровых котлов. В частности, рассматриваемые котлы имеют различную степень экранирования топки, разнообразные дополнительные поверхности нагрева, что позволит студенту почувствовать положительные и отрицательные стороны котлов различного исполнения.

В ходе теплового расчета обучающимся составляется тепловой баланс котла при работе на определенном виде топлива. Определяется паропроизводительность топки. Рассчитываются коэффициенты теплопередачи и количество передаваемой теплоты для каждого из участков теплообмена. По результатам теплового расчетов, для поддержания требуемых параметров пара на выходе из котла обучающийся принимает решения по модернизации, в частности, связанные с изменением площади поверхности нагрева.

Для реализации подразделов теплового расчета: определение объемов воздуха и продуктов сгорания и построения зависимости энтальпии продуктов сгорания от температуры можно воспользоваться имеющимся программным обеспечением [4].

При расчете топок судовых котлов можно использовать методические указания [5], в которых имеются рекомендации для анализа работы топок различных конфигураций.

При расчете конвективных поверхностей водотрубных котлов можно обратиться к указаниям, выполненным в виде рабочей тетради [5].

При расчете конвективных поверхностей газотрубных котлов можно обратиться к указаниям, выполненным в виде рабочей тетради [6].

ЛИТЕРАТУРА

1. Очеретяный В.А. Расчеты судового парового котла: учебное пособие к курсовому и дипломному проектированию / В.А. Очеретяный; Министерство науки и высшего образования РФ, Севастопольский государственный университет, Морской институт. – Севастополь: СевГУ, 2021. – 167 с. / Текст электронный – Режим доступа: <http://lib.sevsu.ru/xmlui/handle/123456789/10016>.

2. Шерстнев Н.В. Обслуживание и ремонт судовых котлов: учебное пособие / Н.В. Шерстнев. – М.: ИНФРА-М. 2023. – 497с. Текст непосредственный.

3. Хряпченков А.С. Судовые вспомогательные и утилизационные котлы: Учебное пособие / А.С. Хряпченков. – Л.: Судостроение, 1988. – 296 с. Текст непосредственный.

4. Очеретяный В. А. Тепловой расчет парового котла. Определение объемов воздуха и расчет диаграммы "Температура-энтальпия" для выполнения КП и ДП для студентов специальности Эксплуатация СЭУ: [компьютерное программное обеспечение "Тепловой расчет котла.xls"] / разработчик: Очеретяный В. А.; СевГУ, кафедра «ЭМСС». – Загл. с титул. экрана. – Электронная программа: электронная // Own Cloud Infinite Scale: Secure Cloud Platform. – 2024. – Режим доступа: <https://disk.sevsu.ru/index.php/s/b6TGMAapudSnyiT> (дата обращения: 13.02.2024).

5. Очеретяный В.А. Расчет судового парового водотрубного котла. Рабочая тетрадь : учебно-методическое пособие к выполнению курсового проекта по дисциплине «Судовые котельные и паропроизводящие установки» / В. А. Очеретяный ; Севастопольский государственный университет, Морской институт. – Севастополь : СевГУ, 2024. – 53 с.: ил. Текст электронный – Режим доступа: <http://lib.sevsu.ru/xmlui/handle/123456789/11436>

6. Очеретяный В.А. Расчет судового парового утилизационного газотрубного котла. Рабочая тетрадь : учебно-методическое пособие к выполнению курсового проекта по дисциплине «Судовые котельные и паропро-

изводящие установки» / В. А. Очеретяный ; Севастопольский государственный университет, Морской институт, кафедра «Энергоустановки морских судов и сооружений». – Севастополь : СевГУ, 2024. – 24 с. : ил. Текст электронный – Режим доступа: [http:// lib. sevsu. ru/ xmlui/ handle/123456789/11434](http://lib.sevsu.ru/xmlui/handle/123456789/11434)

7. Милтон Д.Х. Судовые паровые котлы / Д.Х.Милтон, Р.М.Лич. – М.: Транспорт, 1985. – 295 с. Текст непосредственный.

8. Енин В.И. Судовые котельные установки: учебник / В.И.Енин, Н.И. Денисенко, И.И.Костылев. – М.: Транспорт, 1993. – 216 с .

9. Денисенко Н.И. Судовые котельные установки / Н.И. Денисенко, И.И. Костылев. – СПб.: Эльмор, 2005. – 197с.

10. Абтюрин А.А. Тепловой расчет котлов. Нормативный метод. /А.А. Абтюрин А.А, Э.С.Карасина. – СПб.:ВТИ, НПО ЦКТИ, 1998. – 257 с.

11. Александров А.А. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара: Справочник / А.А.Александров, Б.А.Григорьев. – М.:МЭИ, 1999. – 168 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
Исходные данные для курсового проектирования

№	Прототип котла	Паропроизводи- тельность			Давление пара в паро- водяном коллекторе	Температура перегретого пара	Температура питательной воды	КПД котла	Коэффициент избытка воздуха	Марка топлива
		суммарная	в том чис- ле							
			насыщенный пар	перегретый пар						
D	D _{НП}	D _{ПП}	p _к	t _{пп}	t _{пв}	η	α			
1	КАВ 1,6/7	1,6	1,6	—	0,70	—	50	80,0	1,20	M40
2	КАВ 1,6/7	1,5	1,5	—	0,65	—	50	79,5	1,21	M40
3	КАВ 1,6/7	1,7	1,7	—	0,60	—	50	79,0	1,22	M40
4	КАВ 1,6/7	1,6	1,6	—	0,65	—	50	78,5	1,23	M40
5	КАВ 1,6/7	1,6	1,5	—	0,65	—	50	79,0	1,20	IFO 180
6	КАВ 2,5/7	2,5	2,5	—	0,60	—	50	80,0	1,21	M40
7	КАВ 2,5/7	2,4	2,4	—	0,65	—	40	81,0	1,22	IFO 180
8	КАВ 2,5/7	2,3	2,3	—	0,70	—	50	81,0	1,21	M40
9	КАВ 2,5/7	2,1	2,1	—	0,60	—	50	79,0	1,22	IFO 180
10	КАВ 2,5/7	2,6	2,6	—	0,65	—	50	79,5	1,21	M40
11	КАВ 4/7	4,0	4,0	—	0,60	—	50	81,0	1,20	IFO 380
12	КАВ 4/7	4,1	4,1	—	0,65	—	40	80,0	1,21	IFO 380
13	КАВ 4/7	4,2	4,2	—	0,65	—	50	80,2	1,22	IFO 380
14	КАВ 4/7	3,9	3,9	—	0,60	—	40	80,4	1,20	M40
15	КАВ 4/7	3,8	3,8	—	0,65	—	50	80,6	1,19	M40
16	КАВ 6,3/7	6,3	6,3	—	0,70	—	50	80,5	1,20	IFO 380
17	КАВ 6,3/7	6,5	6,5	—	0,70	—	50	80,5	1,21	IFO 380
18	КАВ 6,3/7	6,1	6,1	—	0,65	—	50	80,5	1,22	IFO 380
19	КАВ 6,3/7	6,2	6,2	—	0,65	—	50	80,5	1,20	M40
20	КАВ 6,3/7	6,4	6,4	—	0,65	—	50	80,6	1,20	IFO 380
21	КАВ 16/7	15,5	15,5	—	0,65	—	60	80,4	1,19	M40

№	Прототип котла	Паропроизводи- тельность			Давление пара в паро- водяном коллекторе	Температура перегретого пара	Температура питательной воды	КПД котла	Коэффициент избытка воздуха	Марка топлива
		суммарная	в том чис- ле							
			насыщенный пар	перегретый пар						
		D	D _{НП}	D _{ПП}	p _к	t _{пп}	t _{пв}	η	α	
22	КАВ 16/7	15,75	15,75	–	0,70	–	65	80,6	1,20	М40
23	КАВ 16/7	16,0	16,0	–	0,75	–	70	80,8	1,18	М40
24	КАВ 16/7	16,5	16,5	–	0,60	–	75	81,0	1,17	М40
25	КАВ 16/7	17,0	17,0	–	0,65	–	80	81,2	1,16	М40
26	Вагнер	2,5	2,5	–	0,80	–	60	84,5	1,19	Ф5
27	Вагнер	2,3	2,3	–	0,70	–	60	84,0	1,20	IFO 30
28	Вагнер	2,4	2,4	–	0,75	–	60	84,5	1,24	IFO 80
29	Вагнер	2,6	2,6	–	0,85	–	60	85,0	1,19	Ф5
30	Вагнер	2,7	2,7	–	0,85	–	60	85,0	1,18	IFO 30
31	Kangrim MB-02	9,0	9,0	–	0,70	–	60	83,0	1,13	IFO 30
32	Kangrim MB-02	9,1	9,1	–	0,65	–	60	82,5	1,14	Ф5
33	Kangrim MB-02	9,2	9,2	–	0,75	–	60	82,0	1,15	IFO 80
34	Kangrim MB-02	8,9	8,9	–	0,6	–	60	83,5	1,12	IFO 30
35	Kangrim MB-02	8,8	8,8	–	0,65	–	50	84,0	1,12	Ф5
36	MAC 30B	26,0	26,0	–	1,6	–	80	80,5	1,16	IFO 500
37	MAC 30B	25,0	25,0	–	1,6	–	80	80,7	1,17	IFO 500
38	MAC 30B	24,0	24,0	–	1,6	–	80	80,9	1,16	IFO 380
39	MAC 30B	23,0	23,0	–	1,65	–	80	80,4	1,19	М40
40	MAC 30B	27,0	27,0	–	1,7	–	80	80,5	1,18	IFO 380
41	MAC 35B	35,0	35,0	–	1,6	–	60	80,5	1,17	IFO 380
42	MAC 35B	34,0	34,0	–	1,6	–	50	80,7	1,16	IFO 500

№	Прототип котла	Паропроизводи- тельность			Давление пара в паро- водяном коллекторе	Температура перегретого пара	Температура питательной воды	КПД котла	Коэффициент избытка воздуха	Марка топлива
		суммарная	в том чис- ле							
			насыщенный пар	перегретый пар						
		т/ч	т/ч	т/ч	МПа	°С	°С	%	–	–
		D	D _{НП}	D _{ПП}	p _к	t _{пп}	t _{пв}	η	α	
43	МАС 35В	33,0	33,0	–	1,6	–	60	80,9	1,15	IFO 380
44	МАС 35В	36,0	36,0	–	1,65	–	50	80,4	1,18	М40
45	МАС 35В	37,0	37,0	–	1,7	–	60	80,1	1,18	IFO 380
46	КВ-1	35,0	35,0	–	2,6	–	40	92,0	1,10	IFO 500
47	КВ-1	36,0	36,0	–	2,5	–	40	92,3	1,11	IFO 380
48	КВ-1	37,0	37,0	–	2,7	–	40	92,7	1,12	IFO 700
49	КВ-1	35,0	35,0	–	2,8	–	40	93,2	1,13	М100
50	КВ-1	36,0	36,0	–	2,8	–	40	93,0	1,12	IFO 380
51	КВ 1-1	30,0	–	30,0	2,7	350	40	92,0	1,09	IFO 380
52	КВ 1-1	31,0	–	31,0	2,7	340	40	92,0	1,10	IFO 700
53	КВ 1-1	32,0	–	32,0	2,6	330	40	91,5	1,11	IFO 500
54	КВ 1-1	33,0	–	33,0	2,7	340	40	92,0	1,09	М40
55	КВ 1-1	31,0	–	31,0	2,6	320	40	92,0	1,10	IFO 380
56	КВ-2	25,0	–	25,0	1,8	240	50	84,0	1,17	IFO 700
57	КВ-2	26,0	–	26,0	1,85	230	40	83,0	1,18	IFO 500
58	КВ-2	27,0	–	27,0	1,85	230	50	84,0	1,17	IFO 380
59	КВ-2	28,0	–	28,0	1,7	240	40	83,0	1,19	М100
60	КВ-2	24,0	–	24,0	1,75	230	50	83,5	1,17	IFO 380
61	КВ 35/25-1	36,0	–	36,0	2,6	320	60	91,0	1,21	IFO 380
61	КВ 35/25-1	34,0	–	34,0	2,5	330	60	91,0	1,22	IFO 500
62	КВ 35/25-1	38,0	–	38,0	2,7	340	60	91,0	1,20	IFO 700
64	КВ 35/25-1	35,0	–	35,0	2,4	310	60	91,0	1,19	М40
65	КВ 35/25-1	37,0	–	37,0	2,5	330	50	90,5	1,21	М100
61	КВ 22	20,0	–	20,0	3,2	320	80	91,5	1,24	IFO 80

№	Прототип котла	Паропроизводи- тельность			Давление пара в паро- водяном коллекторе	Температура перегретого пара	Температура питательной воды	КПД котла	Коэффициент избытка воздуха	Марка топлива
		суммарная	в том чис- ле							
			насыщенный пар	перегретый пар						
D	D _{НП}	D _{ПП}	p _к	t _{пп}	t _{пв}	η	α			
61	KB 22	21,0	–	21,0	3,25	330	80	91,5	1,25	IFO 80
62	KB 22	22,0	–	22,0	3,3	340	80	91,0	1,26	IFO 80
64	KB 22	23,0	–	23,0	3,35	320	80	91,5	1,24	IFO 80
65	KB 22	25,0	–	25,0	3,4	330	80	91,0	1,25	IFO 80
66	CPDB-10	0,90	0,90	–	0,6	–	55	79,5	1,25	IFO 30
67	CPDB-10	0,95	0,95	–	0,65	–	60	80,0	1,26	IFO 80
68	CPDB-10	1,0	1,0	–	0,7	–	65	80,5	1,27	IFO 180
69	CPDB-10	1,05	1,05	–	0,6	–	55	81,0	1,5	Φ5
70	CPDB-10	1,10	1,10	–	0,65	–	60	81,5	1,26	IFO 30
71	MC-19	3,2	3,2	–	0,65	–	60	80,0	1,21	IFO 180
72	MC-19	3,4	3,4	–	0,70	–	65	80,5	1,22	M40
73	MC-19	3,6	3,6	–	0,75	–	70	81,0	1,23	IFO 180
74	MC-19	3,8	3,8	–	0,80	–	75	81,5	1,20	M40
75	MC-19	3,5	3,5	–	0,60	–	60	80,0	1,21	IFO 500
76	GK-27	1,4	1,4	–	0,75	–	70	81,5	1,19	IFO 80
77	GK-27	1,45	1,45	–	0,80	–	75	82	1,20	IFO 180
78	GK-27	1,5	1,5	–	0,60	–	80	82,5	1,21	IFO 380
79	GK-27	1,55	1,55	–	0,80	–	85	81,0	1,22	IFO 500
80	GK-27	1,5	1,5	–	0,60	–	70	81,5	1,20	M100
81	VWS-2500	2,1	2,1	–	0,60	–	55	78,8	1,22	IFO 80
82	VWS-2500	2,15	2,15	–	0,65	–	60	79,0	1,23	IFO 180

№	Прототип котла	Паропроизводи- тельность			Давление пара в паро- водяном коллекторе	Температура перегретого пара	Температура питательной воды	КПД котла	Коэффициент избытка воздуха	Марка топлива
		суммарная	в том чис- ле							
			насыщенный пар	перегретый пар						
D	D _{НП}	D _{ПП}	p _к	t _{пп}	t _{пв}	η	α			
83	VWS-2500	2,20	2,20	–	0,70	–	65	79,2	1,24	IFO 380
84	VWS-2500	2,25	2,25	–	0,75	–	50	79,4	1,25	IFO 500
85	VWS-2500	2,1	2,1	–	0,6	–	55	79,6	1,26	M100
86	GCS-21	1,0	1,0	–	0,60	–	55	78,8	1,22	IFO 80
87	GCS-21	1,05	1,05	–	0,65	–	60	79,0	1,23	IFO 180
88	GCS-21	1,1	1,1	–	0,70	–	65	79,2	1,24	IFO 380
89	GCS-21	1,15	1,15	–	0,75	–	50	79,4	1,25	IFO 500
90	GCS-21	1,2	1,2	–	0,6	–	55	79,6	1,26	M100
91	Mission D 45000	44,5	44,5	–	1,9	–	60	83,2	1,19	IFO 380
92	Mission D 45000	45,0	45,0	–	1,95	–	65	83,4	1,20	IFO 500
93	Mission D 45000	45,5	45,5	–	2,0	–	70	83,6	1,21	M100
94	Mission D 45000	46,0	46,0	–	2,05	–	75	83,8	1,21	IFO 380
95	Mission D 45000	44,5	44,5	–	2,10	–	80	84,0	1,22	IFO 500
96	Aalborg i-OS	1,7	1,7	–	0,6	–	60	80,1	1,18	IFO 180
97	Aalborg i-OS	1,75	1,75	–	0,65	–	65	80,2	1,19	IFO 380
98	Aalborg i-OS	1,8	1,8	–	0,7	–	70	80,3	1,18	IFO 180
99	Aalborg i-OS	1,85	1,85	–	0,75	–	60	80,4	1,19	IFO 380
100	Aalborg i-OS	1,9	1,9	–	0,65	–	65	80,5	1,18	IFO 380

№	Прототип котла	Паропроизводи- тельность			Давление пара в паро- водяном коллекторе	Температура перегретого пара	Температура питательной воды	КПД котла	Коэффициент избытка воздуха	Марка топлива
		суммарная	в том чис- ле							
			насыщенный пар	перегретый пар						
		D	D _{НП}	D _{ПП}	p _к	t _{пп}	t _{пв}	η	α	
101	Kawasaki UME-65	51,0	—	51,0	5,85	520	135	88,2	1,09	IFO 380
102	Kawasaki UME-65	52,0	—	52,0	5,9	525	140	88,4	1,1	IFO 380
103	Kawasaki UME-65	53,0	—	53,0	5,95	520	145	88,6	1,11	IFO 380
104	Kawasaki UME-65	51,0	—	51,0	6,0	525	135	88,2	1,12	IFO 380
105	Kawasaki UME-65	52,0	—	52,0	6,05	520	135	88,4	1,13	IFO 380
106	Mitsubishi MC-140A	13,0	13,0	—	0,65	—	60	80,1	1,25	IFO 80
107	Mitsubishi MC-140A	13,5	13,5	—	0,7	—	65	80,2	1,24	IFO 30
108	Mitsubishi MC-140A	14,0	14,0	—	0,75	—	70	80,3	1,23	Φ-5
109	Mitsubishi MC-140A	12,5	12,5		0,7	—	75	80,4	1,22	IFO 80
110	Mitsubishi MC-140A	14,5	14,5		0,65	—	80	80,5	1,21	IFO 30

Форма бланка задания на курсовое проектирование
Лицевая сторона

Кафедра	Энергостановки морских судов и сооружений		
Дисциплина	Судовые котельные и паропроизводящие установки		
Специальность	Эксплуатация судовых энергетических установок		
Курс		Группа	Семестр

на курсовой проект (работу) студента

1. Тема проекта Конструктивный расчет судового парового котла
2. Срок сдачи студентом выполненного проекта _____
3. Исходные данные к проекту:

4. Содержание расчетно-пояснительной записки (перечень вопросов, которые подлежат разработке)

Введение. 1. Описание котла- прототипа; 2. Тепловой расчет котла; 3. Аэродинамический расчет котла; 4. Прочностной расчет котла; 5. Описание водоподготовки. Расчет реагентов

1. Поперечный разрез котла (формат А1).

6. Дата выдачи задания _____

[illegible]

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Техническая характеристика и описание котла КАВ 1,6/7

Котел КАВ 1,6/7 имеет паропроизводительность 1,6 т/ч; давление пара в котле при 100% нагрузке 0,7 МПа; давление пара в котле в режиме позиционного регулирования (по пару) от 0 до 20% – 0,55...0,75 МПа; расход топлива – 124 кг/ч; КПД котла 81,0 %; электрическая мощность, потребляемая механизмами – 8,1 кВт; температура газов на выходе из котла 363 °С; температура питательной воды 50°С; масса котлоагрегата без воды 6500 кг; масса котлоагрегата с водой до среднего уровня 7500 кг (рисунок В.1).

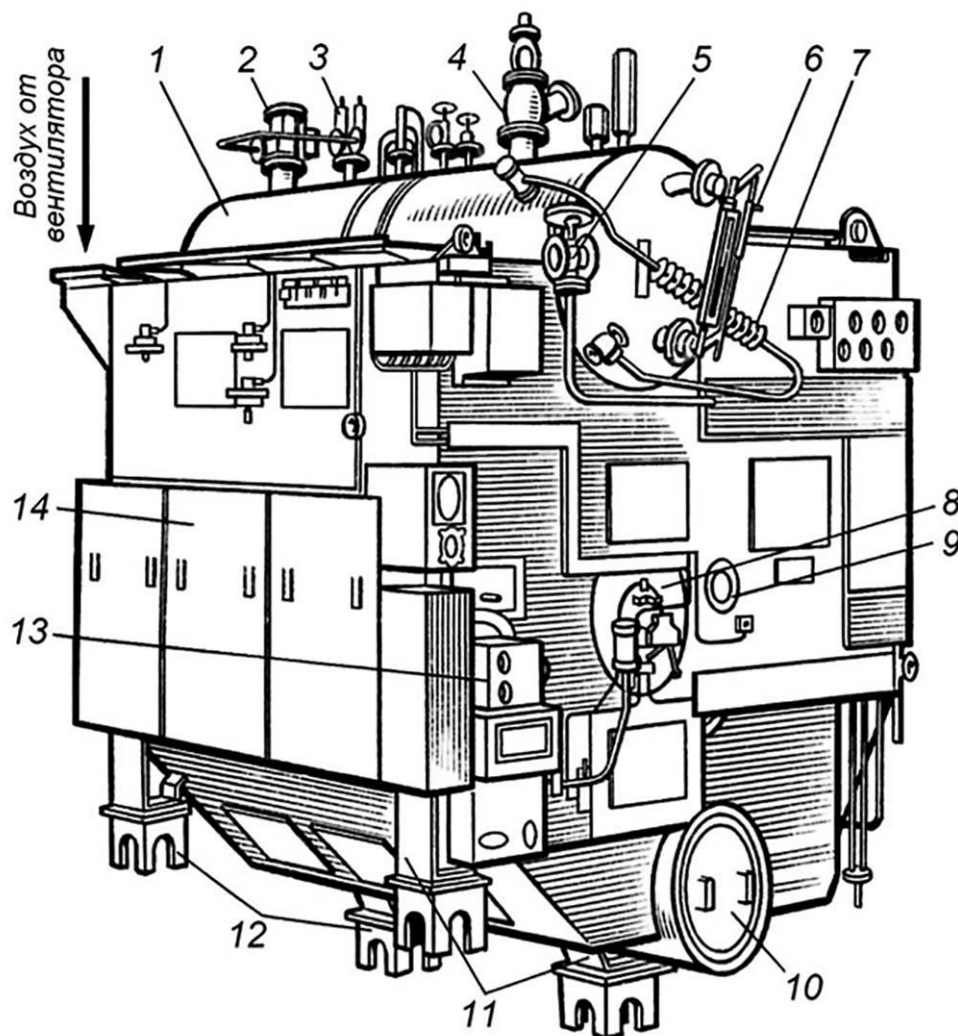
Габариты котла: длина – 2590 мм; ширина – 2222 мм; высота – 3512 мм; расстояние между осями коллекторов во вертикали – 1900 мм.

Тепловое напряжение топочного пространства – 1,67 МВт/м². Полное аэродинамическое сопротивление – 2280 Па. Парообразующая поверхность нагрева – 47,7 м². Относительное водосодержание – 0,625 кг/(кг/ч). Высота парового пространства – 0,31 м.

Котлоагрегат КАВ 1,6/7 полностью автоматизирован и рассчитан на эксплуатацию без постоянной вахты. При нагрузках до 20 % номинальной подача топлива в топку регулируется позиционно (включено-выключено). При нагрузках более 20 % осуществляется плавное (пропорциональное) регулирование расхода топлива и подачи воздуха при постоянном давлении пара.

В состав котлоагрегата входят: собственно, котел; топливная, воздушная и питательная системы; системы автоматического управления, защиты и сигнализации; система зажигания топлива; контрольно-измерительные приборы.

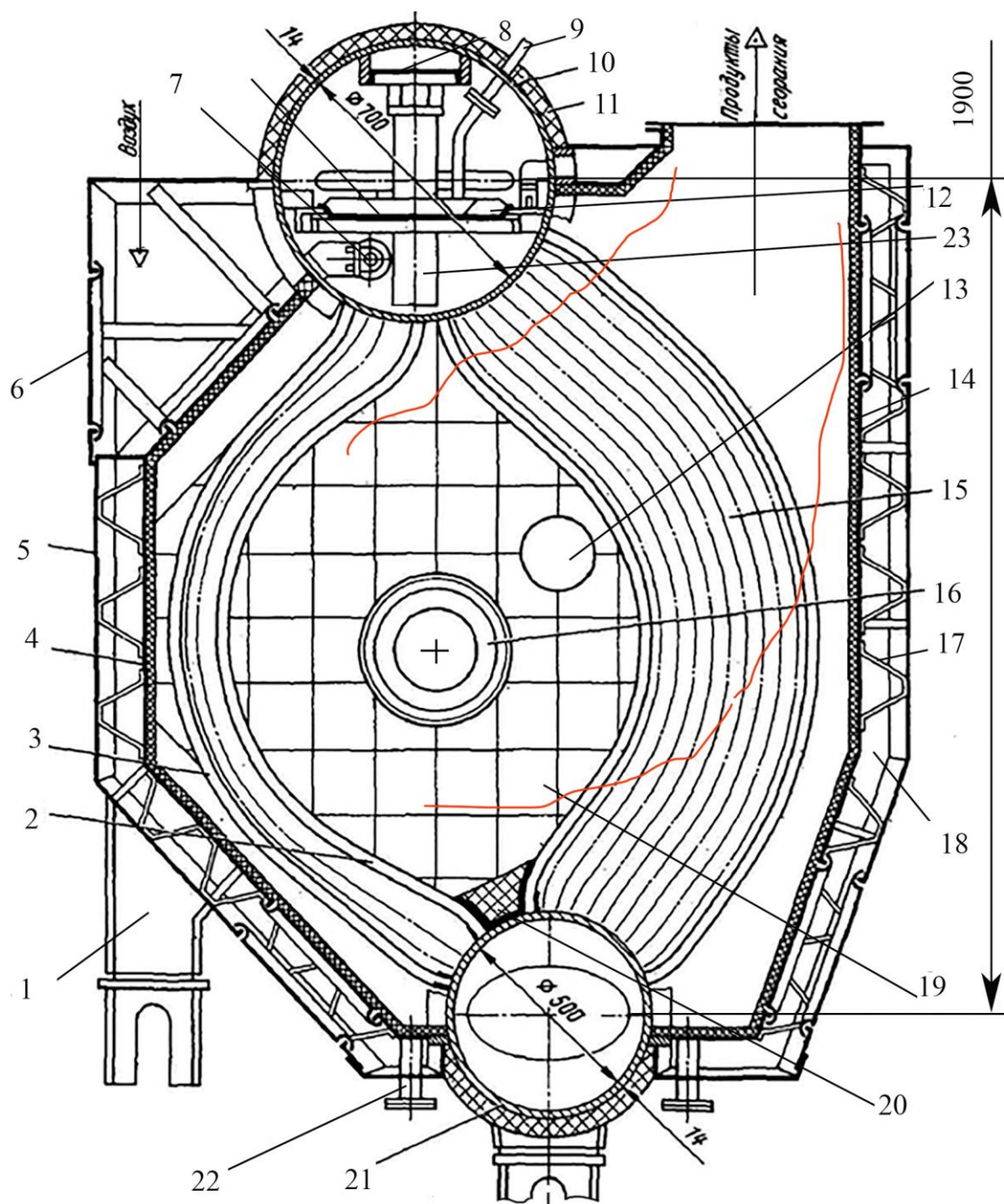
Котел двухколлекторный с естественной циркуляцией. Воздух подаётся к топочному устройству 8 с паромеханической форсункой через кожух котла, где подогревается (рисунок В.2).



- 1 – пароводяной коллектор; 2 – главный предохранительный клапан, 3 – импульсный предохранительный клапан; 4 – стопорный клапан; 5 – питательный клапан; 6 – водоуказательная колонка; 7 – регулятор питания; 8 – топочное устройство; 9 – смотровое окно; 10 – водяной коллектор; 11 – опоры; 12 – стулья; 13 – регулирующий блок; 14 – топливный блок

Рисунок В.1 – Общий вид котла типа КАВ

На пароводяном коллекторе 1 установлены: предохранительные клапаны (главный 2 и импульсный 3), стопорный клапан 4, питательный 5, верхней продувки, водоуказательные приборы 6, импульсный генератор 7, регулятор питания и другая арматура.



- 1 – опора; 2 – экран; 3 – опускной ряд труб; 4 – внутренняя листовая изоляция;
 5 – наружный кожух; 6 – лаз; 7 – питательная труба; 8 – верхний дырчатый щит;
 9 – система верхнего продувания; 10 – пароводяной коллектор; 11 – изоляция;
 12 – нижний дырчатый щит; 13 – гляделка; 14 – внутренний кожух;
 15 – испарительный конвективный пучок; 16 – топочное устройство; 17 – ребра жесткости;
 18 – межобшивочное пространство; 19 – кирпичная футеровка;
 20 – защита водяного коллектора; 21 – водяной коллектор; 22 – дренажный патрубок;
 23 – поплавковый датчик уровня

Рисунок В.2 – Поперечный разрез котла КАВ

На наружной обшивке расположены топливный 14 и регулирующий 13 блоки, другие элементы системы автоматики и приборы контроля. К фундаменту котёл крепят посредством четырёх опор 11 и ступьёв 12. Контроль процесса горения осуществляется через смотровое отверстие с крышкой 9.

Пароводяной и водяной коллекторы – сварные с овальными лазами для осмотра и ремонта. Циркуляционный контур представляет собой трубы конвективного пучка и экрана (размером 29,5×2,5 мм), а также трех рядов опускных труб (размером 29,5×2,5 мм), у котла типа КАВ 6,3/7 размер опускных труб 44,5×3,0 мм, которые развальцованы в коллекторах.

Для уменьшения потерь теплоты в окружающую среду наружными и внутренними стенками котла образован кожух, через который движется воздух (нагреваясь при этом) перед поступлением в топку. Посредством распорных скоб, связей и перегородок достигается необходимая жёсткость в стенках кожуха. Для доступа к трубам в стенках корпуса предусмотрены окна, закрываемые крышками с помощью задраек.

На рисунках В.3, В.4, В.5 Приложения В указаны следующие присоединительные размеры внешних трубопроводов: а – отвод пара от предохранительного клапана; б – отбор пара от котла; в – слив в трюм; г – продувание за борт; д – подвод питательной воды; е – слив обмывочной воды; ж – подвод при кислотной промывке; з – отвод при кислотной промывке; и – выход топлива из регулятора перепада давления; к – подвод топлива; л – отвод топлива от циркуляционного клапана; м – отвод конденсата от подогревателей топлива; н – выход конденсата; п – отбор проб котловой воды; р – подвод к клапану мокрого хранения; о – слив топлива от фильтра; т – выпуск воздуха; у – продувание приборов, арматуры, трубопроводов; ф – подвод сжатого воздуха; ц – подвод топлива для розжига котла; ч – продувание топливных манометров.

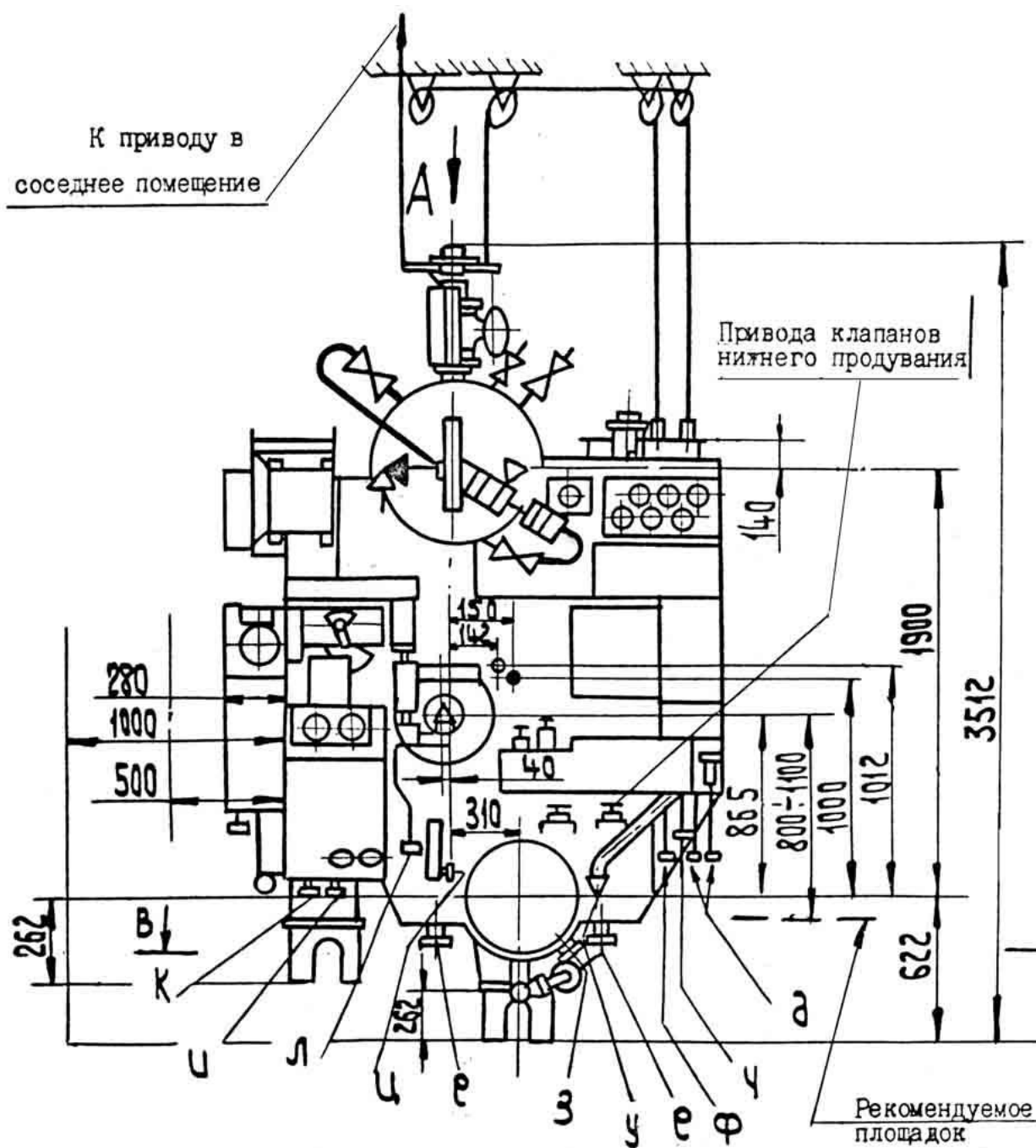


Рисунок В.3 – Главный вид котла КАВ 1,6/7

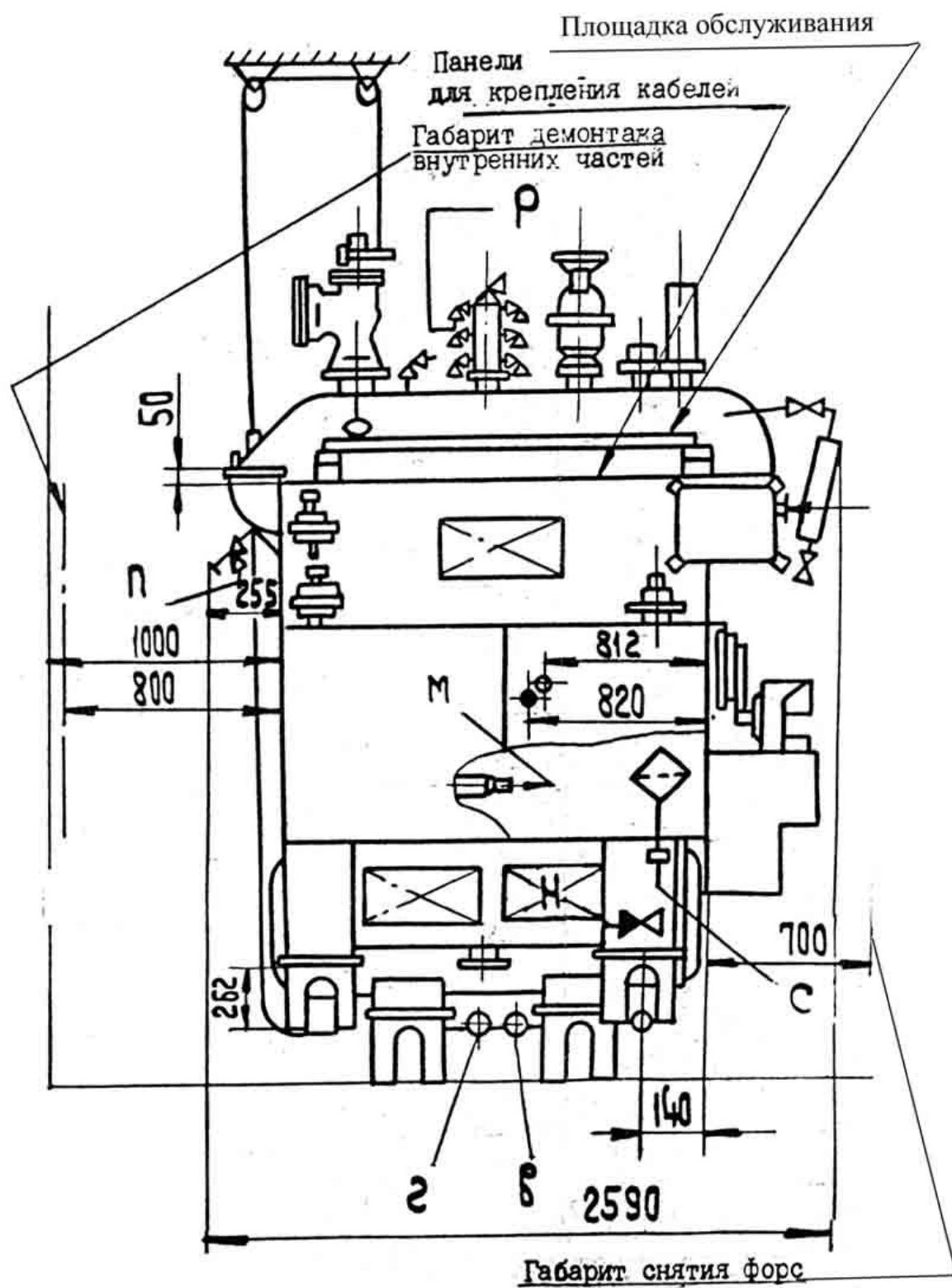
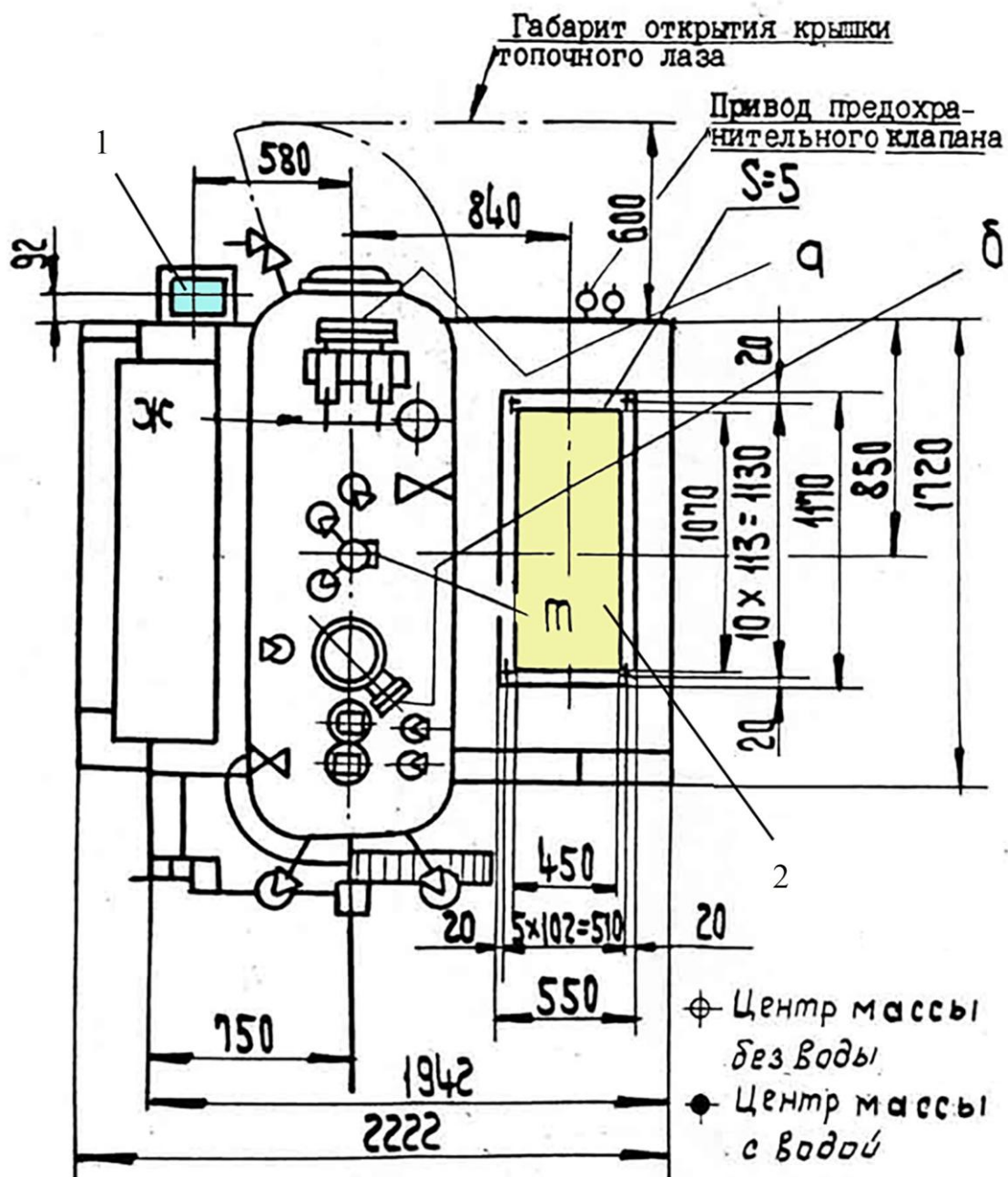


Рисунок В.4 – Вид котла КАВ 1,6/7 сбоку



1 – вход воздуха для горения от вентилятора; 2 – выход продуктов горения

Рисунок В.5 – Вид котла КАВ 1,6/7 сверху

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Техническая характеристика и описание котла КАВ 2,5/7

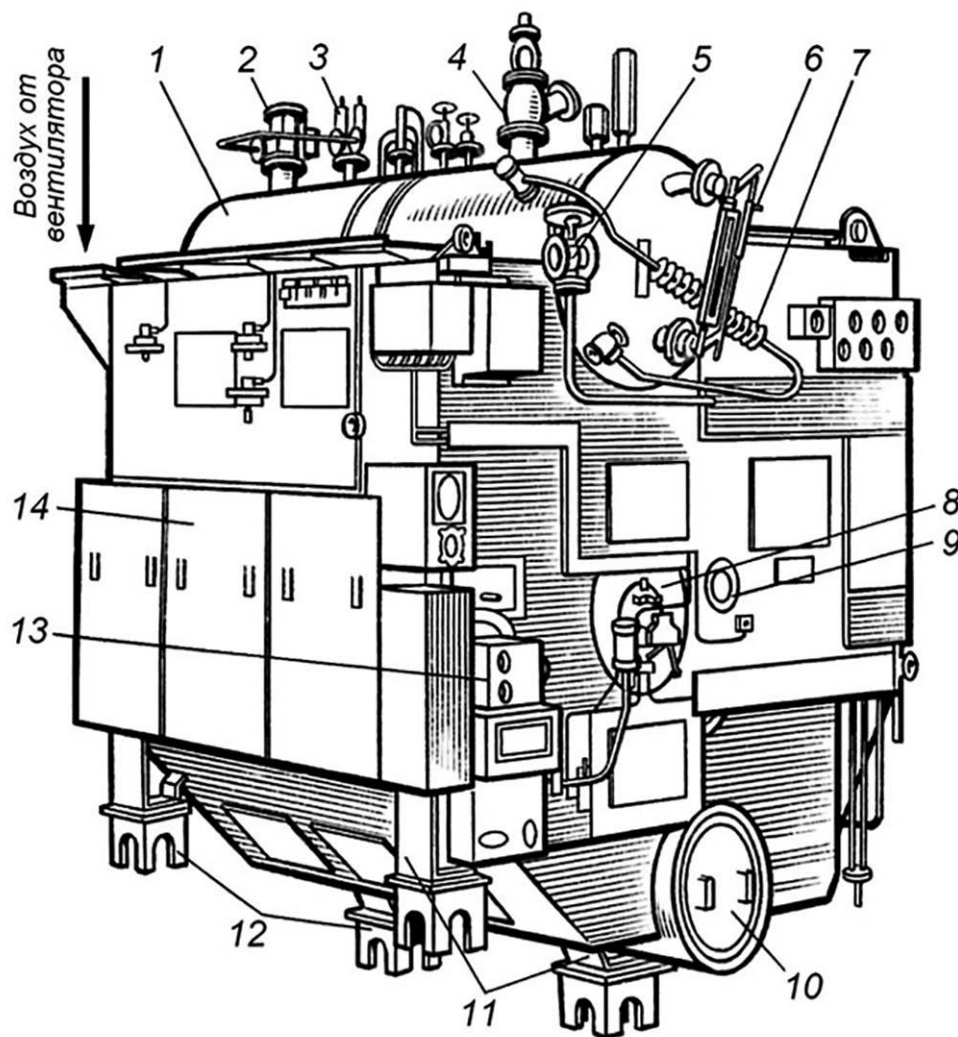
Котел КАВ 2,5/7 имеет паропроизводительность 2,5 т/ч; давление пара в котле при 100% нагрузке 0,7 МПа; давление пара в котле в режиме позиционного регулирования (по пару) от 0 до 20% – 0,55...0,75 МПа; расход топлива при – 195 кг/ч; КПД котла 80,0 %; электрическая мощность, потребляемая механизмами – 12,3 кВт; температура газов на выходе из котла 381 °С; температура питательной воды 50°С; масса котлоагрегата без воды 7700 кг; масса котлоагрегата с водой до среднего уровня 9000 кг.

Габариты котла: длина – 2780 мм; ширина – 2404 мм; высота – 3712 мм; расстояние между осями коллекторов во вертикали – 2100 мм.

Тепловое напряжение топочного пространства – 1,54 МВт/м². Полное аэродинамическое сопротивление – 2280 Па. Парообразующая поверхность нагрева – 69,9 м². Относительное водосодержание – 0,5 кг/(кг/ч). Высота парового пространства – 0,31 м.

В состав котлоагрегата входят: собственно, котел; топливная, воздушная и питательная системы; системы автоматического управления, защиты и сигнализации; система зажигания топлива; контрольно-измерительные приборы.

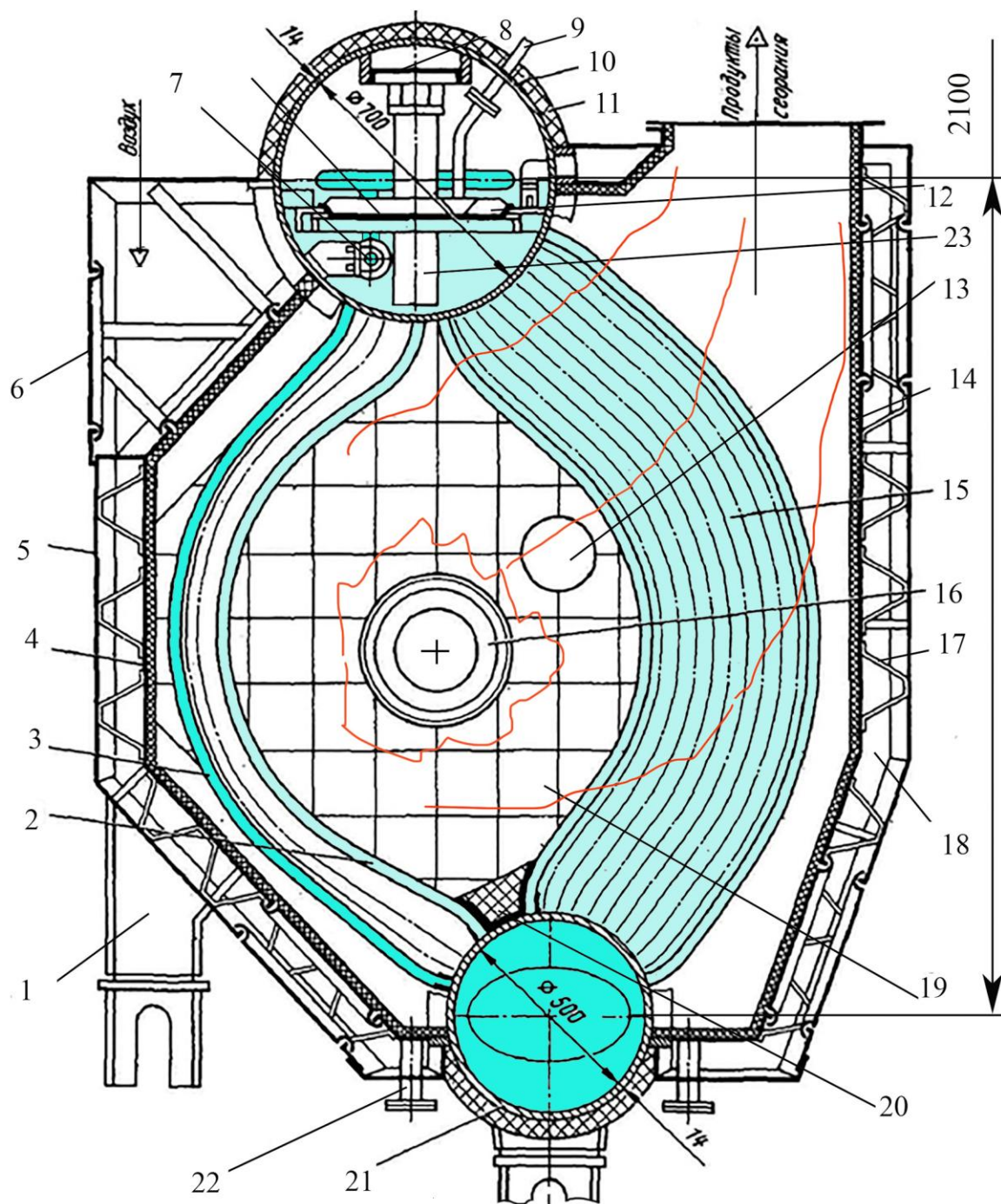
Котел двухколлекторный с естественной циркуляцией. Воздух подаётся к топочному устройству 8 с паромеханической форсункой через кожух котла, где подогревается (рисунок Г.1).



1 – пароводяной коллектор; 2 – главный предохранительный клапан, 3 – импульсный предохранительный клапан; 4 – стопорный клапан; 5 – питательный клапан; 6 – водоуказательная колонка; 7 – регулятор питания; 8 – топочное устройство; 9 – смотровое окно; 10 – водяной коллектор; 11 – опоры; 12 – стулья; 13 – регулирующий блок; 14 – топливный блок

Рисунок Г.1 – Общий вид котла типа КАВ 2,5/7

На пароводяном коллекторе 1 установлены: предохранительные клапаны (главный 2 и импульсный 3), стопорный клапан 4, питательный 5, верхней продувки, водоуказательные приборы 6, импульсный генератор 7, регулятор питания и другая арматура.



- 1 – опора; 2 – экран; 3 – опускной ряд труб; 4 – внутренняя листовая изоляция;
 5 – наружный кожух; 6 – лаз; 7 – питательная труба; 8 – верхний дырчатый щит;
 9 – система верхнего продувания; 10 – пароводяной коллектор; 11 – изоляция;
 12 – нижний дырчатый щит; 13 – гляделка; 14 – внутренний кожух;
 15 – испарительный конвективный пучок; 16 – топочное устройство; 17 – ребра жесткости; 18 – межобшивочное пространство; 19 – кирпичная футеровка; 20 – защита водяного коллектора; 21 – водяной коллектор; 22 – дренажный патрубок;
 23 – поплавковый датчик уровня

Рисунок Г.2 – Поперечный разрез котла КАВ 2,5/7

На наружной обшивке расположены топливный 14 и регулирующий 13 блоки, другие элементы системы автоматики и приборы контроля. К фундаменту котёл крепят посредством четырёх опор 11 и стульев 12. Контроль процесса горения осуществляется через смотровое отверстие с крышкой 9.

Пароводяной и водяной коллекторы – сварные с овальными лазами для осмотра и ремонта. Циркуляционный контур представляет собой трубы конвективного пучка и экрана (размером 29,5×2,5 мм), а также трех рядов опускных труб (размером 29,5×2,5 мм), у котла типа КАВ 6,3/7 размер опускных труб 44,5×3,0 мм, которые развальцованы в коллекторах.

Для уменьшения потерь теплоты в окружающую среду наружными и внутренними стенками котла образован кожух, через который движется воздух (нагреваясь при этом) перед поступлением в топку. Посредством распорных скоб, связей и перегородок достигается необходимая жёсткость в стенках кожуха. Для доступа к трубам в стенках корпуса предусмотрены окна, закрываемые крышками с помощью задраек.

На рисунках Г.3, Г.4, Г.5 Приложения В указаны следующие присоединительные размеры внешних трубопроводов: а – отвод пара от предохранительного клапана; б – отбор пара от котла; в – слив в трюм; г – продувание за борт; д – подвод питательной воды; е – слив обмывочной воды; ж – подвод при кислотной промывке; з – отвод при кислотной промывке; и – выход топлива из регулятора перепада давления; к – подвод топлива; л – отвод топлива от циркуляционного клапана; м – отвод конденсата от подогревателей топлива; н – выход конденсата; п – отбор проб котловой воды; р – подвод к клапану мокрого хранения; о – слив топлива от фильтра; т – выпуск воздуха; у – продувание приборов, арматуры, трубопроводов; ф – подвод сжатого воздуха; ц – подвод топлива для розжига котла; ч – продувание топливных манометров.

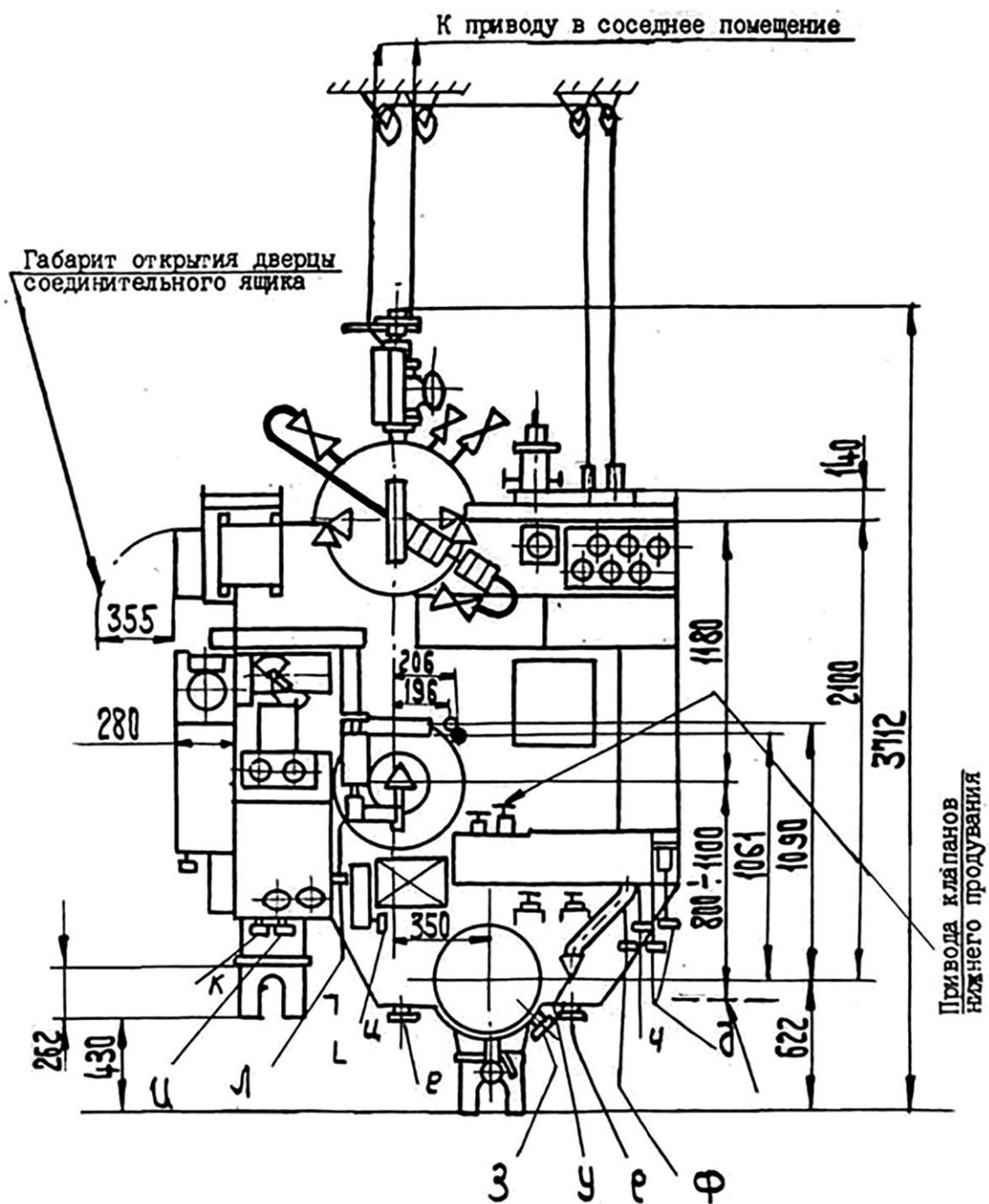


Рисунок Г.3 – Главный вид котла КАВ 2,5/7

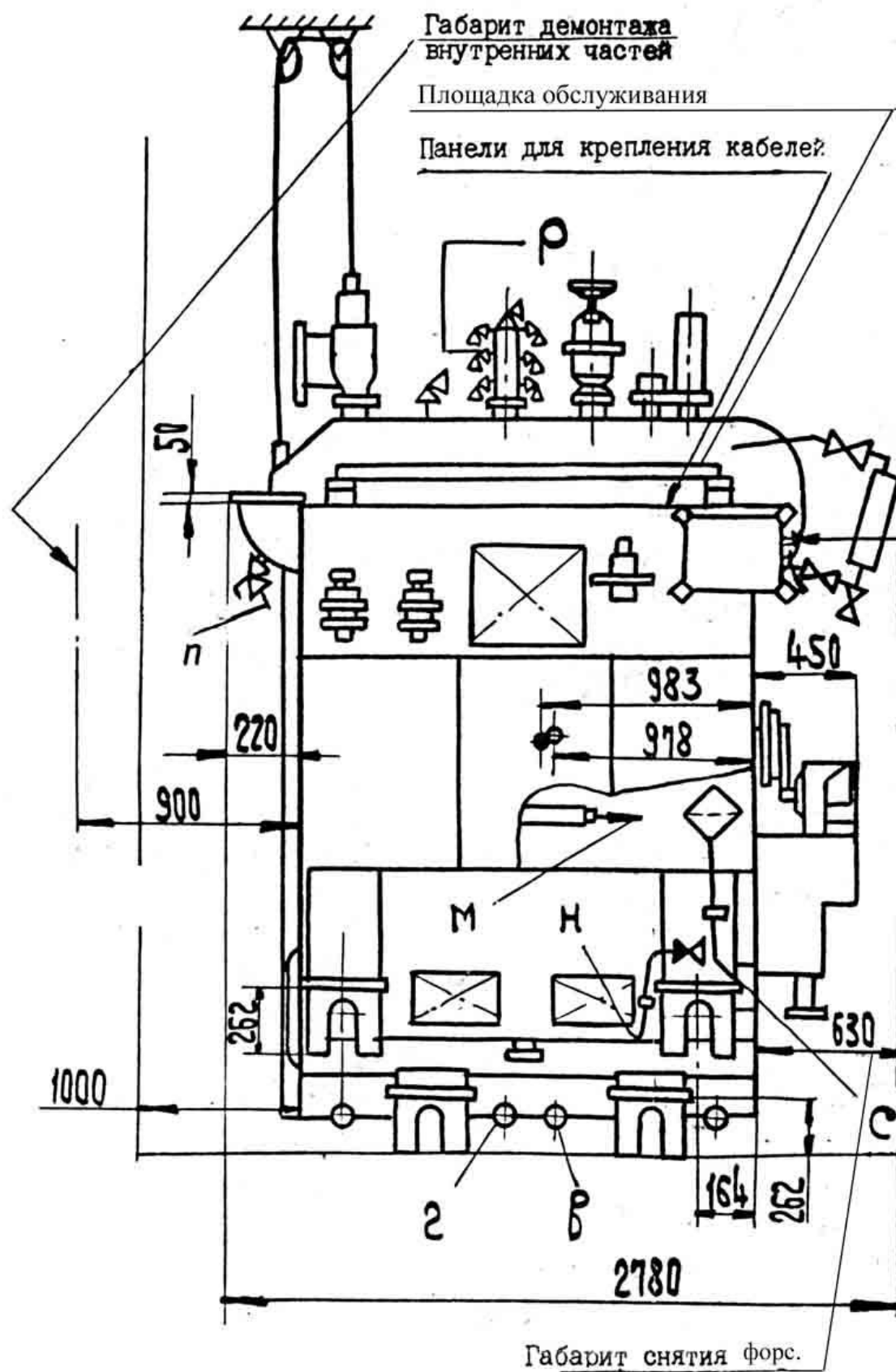
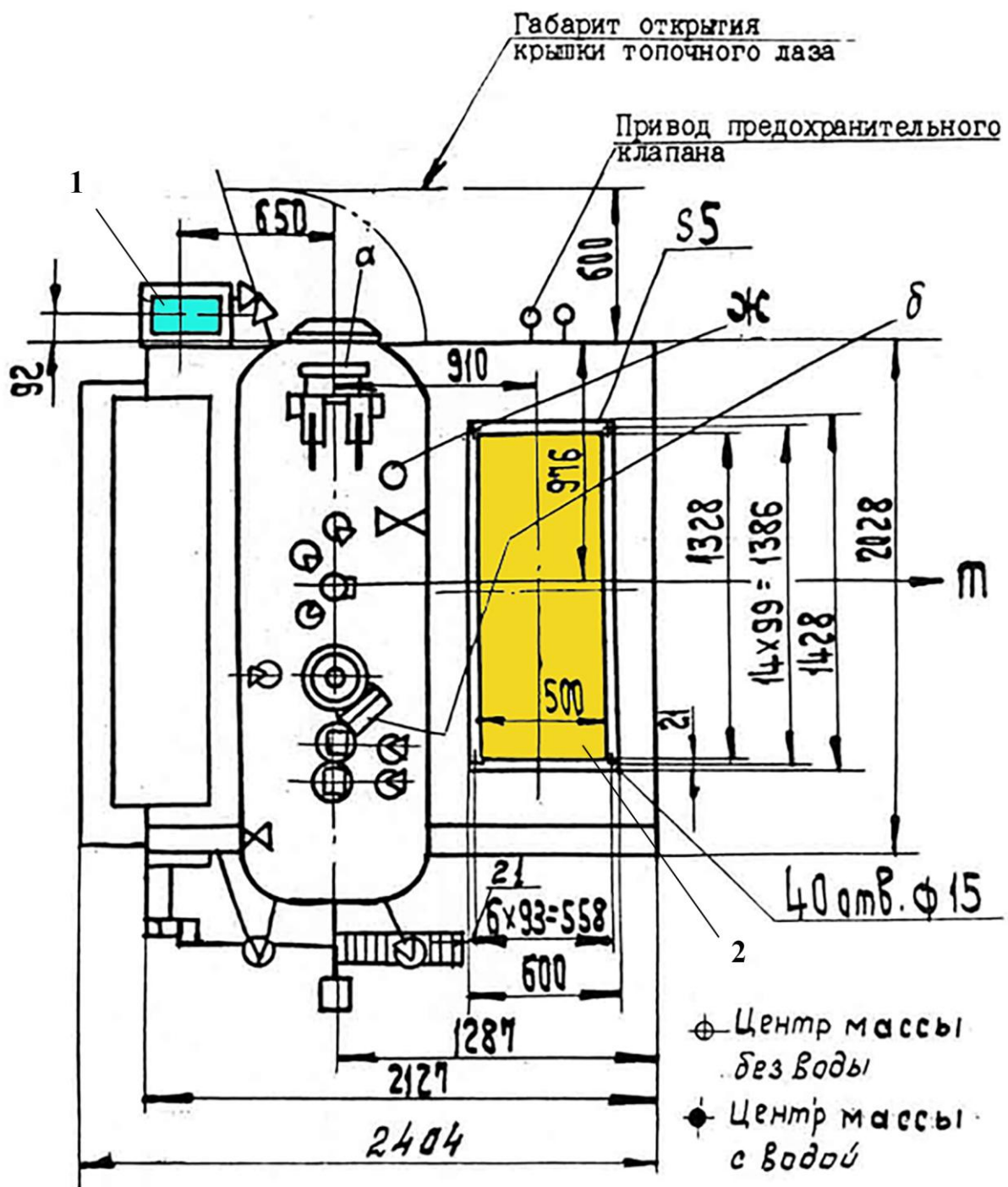


Рисунок Г.4 – Вид котла КАВ 2,5/7 сбоку



1 – вход воздуха для горения от вентилятора; 2 – выход продуктов горения

Рисунок Г.5 – Вид котла КАВ 2,5/7 сверху

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Техническая характеристика и описание котла КАВ 4/7

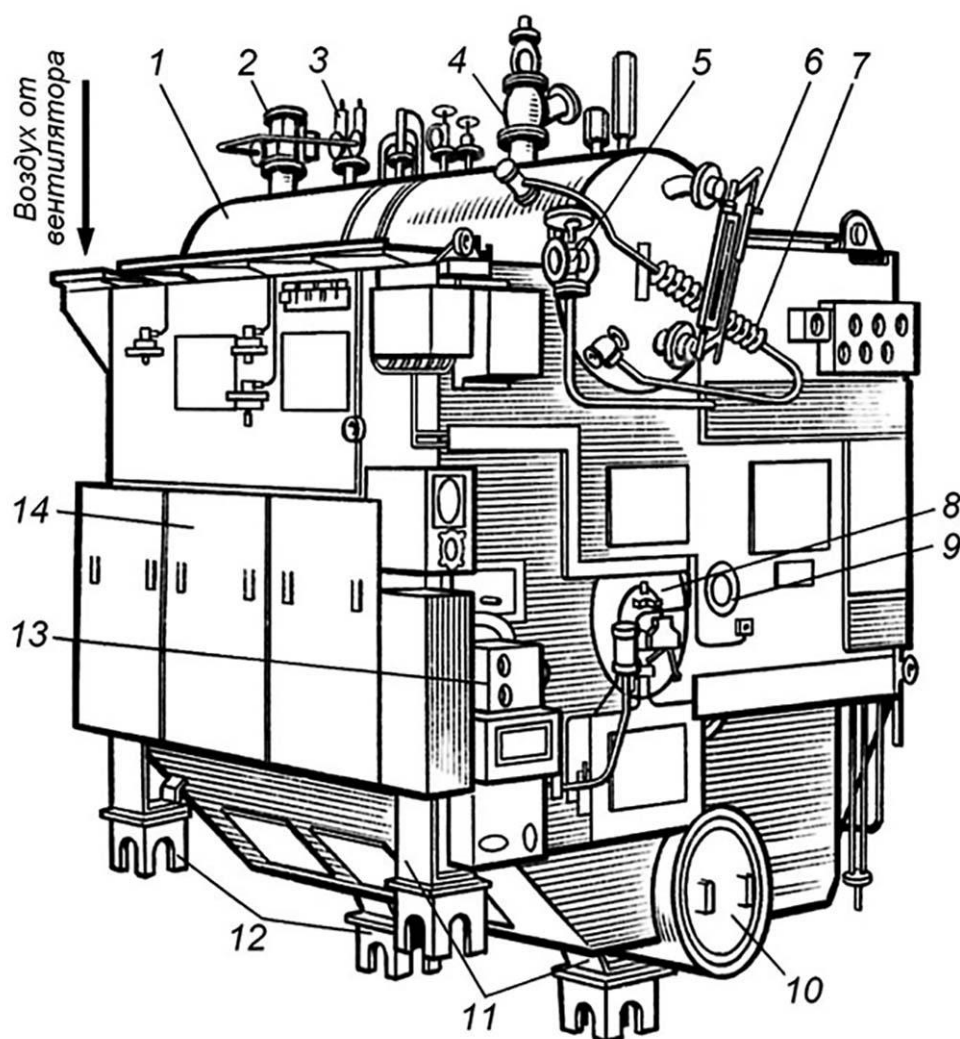
Котел КАВ 4/7 имеет паропроизводительность 4,0 т/ч; давление пара в котле при 100% нагрузке 0,7 МПа; давление пара в котле в режиме позиционного регулирования (по пару) от 0 до 20% – 0,55...0,75 МПа; расход топлива при – 311 кг/ч; КПД котла 80,7 %; электрическая мощность, потребляемая механизмами – 19,0 кВт; температура газов на выходе из котла 372 °С; температура питательной воды 50°С; масса котлоагрегата без воды 8800 кг; масса котлоагрегата с водой до среднего уровня 10200 кг.

Габариты котла: длина – 3160 мм; ширина – 2810 мм; высота – 3820 мм; расстояние между осями коллекторов во вертикали – 2200 мм.

Тепловое напряжение топочного пространства – 1,84 МВт/м². Полное аэродинамическое сопротивление – 3200 Па. Парообразующая поверхность нагрева – 98,1 м². Относительное водосодержание – 0,34 кг/(кг/ч). Высота парового пространства – 0,41 м.

В состав котлоагрегата входят: собственно, котел; топливная, воздушная и питательная системы; системы автоматического управления, защиты и сигнализации; система зажигания топлива; контрольно-измерительные приборы.

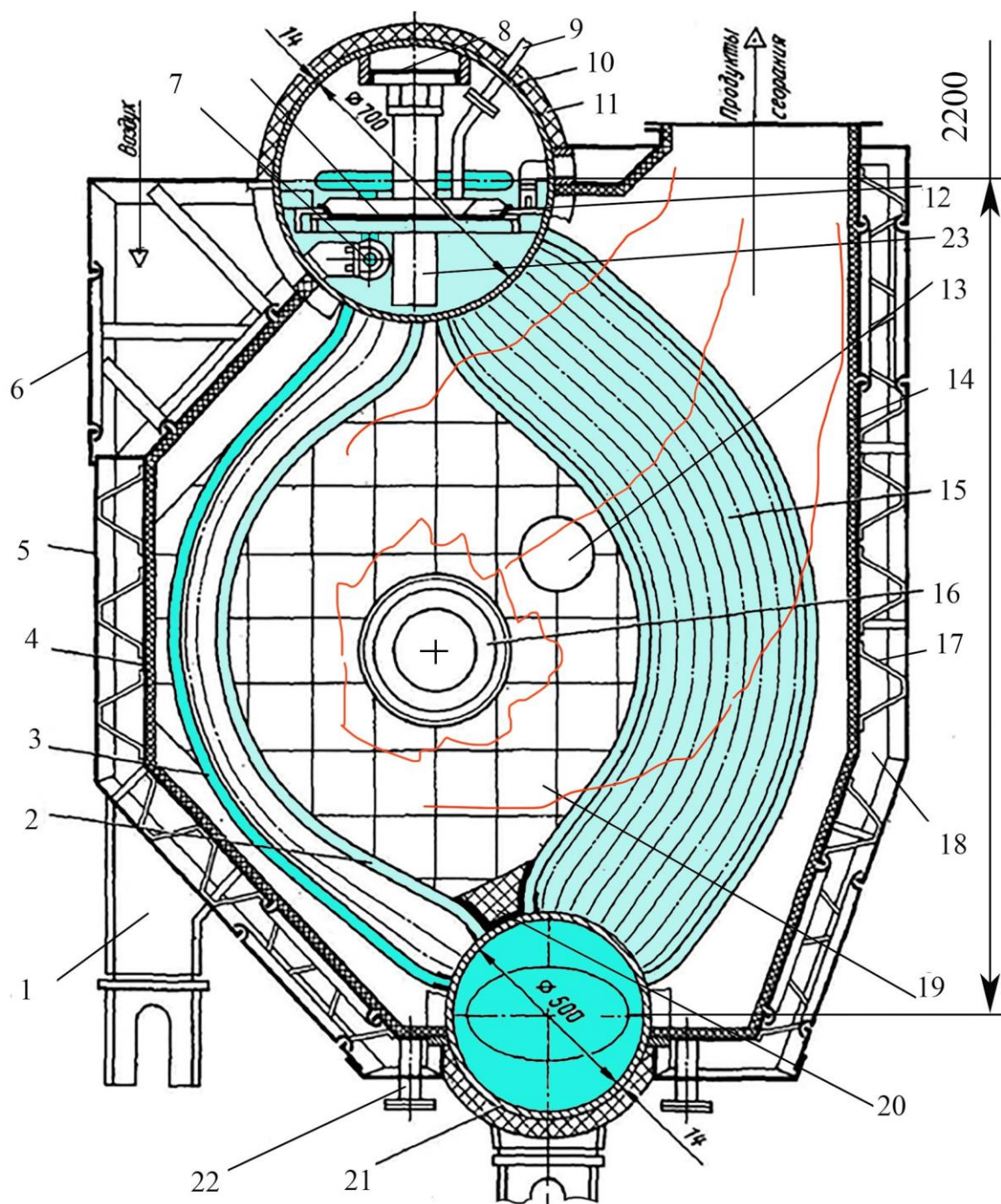
Котел двухколлекторный с естественной циркуляцией. Воздух подаётся к топочному устройству 8 с паромеханической форсункой через кожух котла, где подогревается (рисунок Д.1).



- 1 – пароводяной коллектор; 2 – главный предохранительный клапан, 3 – импульсный предохранительный клапан; 4 – стопорный клапан; 5 – питательный клапан;
 6 – водоуказательная колонка; 7 – регулятор питания; 8 – топочное устройство;
 9 – смотровое окно; 10 – водяной коллектор; 11 – опоры; 12 – стулья;
 13 – регулирующий блок; 14 – топливный блок

Рисунок Д.1 – Общий вид котла типа КАВ 4/7

На пароводяном коллекторе 1 установлены: предохранительные клапаны (главный 2 и импульсный 3), стопорный клапан 4, питательный 5, верхней продувки, водоуказательные приборы 6, импульсный генератор 7, регулятор питания и другая арматура.



- 1 – опора; 2 – экран; 3 – опускной ряд труб; 4 – внутренняя листовая изоляция;
 5 – наружный кожух; 6 – лаз; 7 – питательная труба; 8 – верхний дырчатый щит;
 9 – система верхнего продувания; 10 – пароводяной коллектор; 11 – изоляция;
 12 – нижний дырчатый щит; 13 – гляделка; 14 – внутренний кожух;
 15 – испарительный конвективный пучок; 16 – топочное устройство; 17 – ребра жесткости;
 18 – межобшивочное пространство; 19 – кирпичная футеровка; 20 – защита водяного коллектора;
 21 – водяной коллектор; 22 – дренажный патрубок;
 23 – поплавковый датчик уровня

Рисунок Д.2 – Поперечный разрез котла КАВ 4/7

На наружной обшивке расположены топливный 14 и регулирующий 13 блоки, другие элементы системы автоматики и приборы контроля. К фундаменту котёл крепят посредством четырёх опор 11 и ступьёв 12. Контроль процесса горения осуществляется через смотровое отверстие с крышкой 9.

Пароводяной и водяной коллекторы – сварные с овальными лазами для осмотра и ремонта. Циркуляционный контур представляет собой трубы конвективного пучка и экрана (размером 29,5×2,5 мм), а также трех рядов опускных труб (размером 29,5×2,5 мм), у котла типа КАВ 6,3/7 размер опускных труб 44,5×3,0 мм, которые развальцованы в коллекторах.

Для уменьшения потерь теплоты в окружающую среду наружными и внутренними стенками котла образован кожух, через который движется воздух (нагреваясь при этом) перед поступлением в топку. Посредством распорных скоб, связей и перегородок достигается необходимая жёсткость в стенках кожуха. Для доступа к трубам в стенках корпуса предусмотрены окна, закрываемые крышками с помощью задраек.

На рисунках Д.3, Д.4, Д.5 Приложения В указаны следующие присоединительные размеры внешних трубопроводов: а – отвод пара от предохранительного клапана; б – отбор пара от котла; в – слив в трюм; г – продувание за борт; д – подвод питательной воды; е – слив обмывочной воды; ж – подвод при кислотной промывке; з – отвод при кислотной промывке; и – выход топлива из регулятора перепада давления; к – подвод топлива; л – отвод топлива от циркуляционного клапана; м – отвод конденсата от подогревателей топлива; н – выход конденсата; п – отбор проб котловой воды; р – подвод к клапану мокрого хранения; о – слив топлива от фильтра; т – выпуск воздуха; у – продувание приборов, арматуры, трубопроводов; ф – подвод сжатого воздуха; ц – подвод топлива для розжига котла; ч – продувание топливных манометров.).

Габарит обслуживания в районе съемных щитов кожуха и демонтажа блока топливного

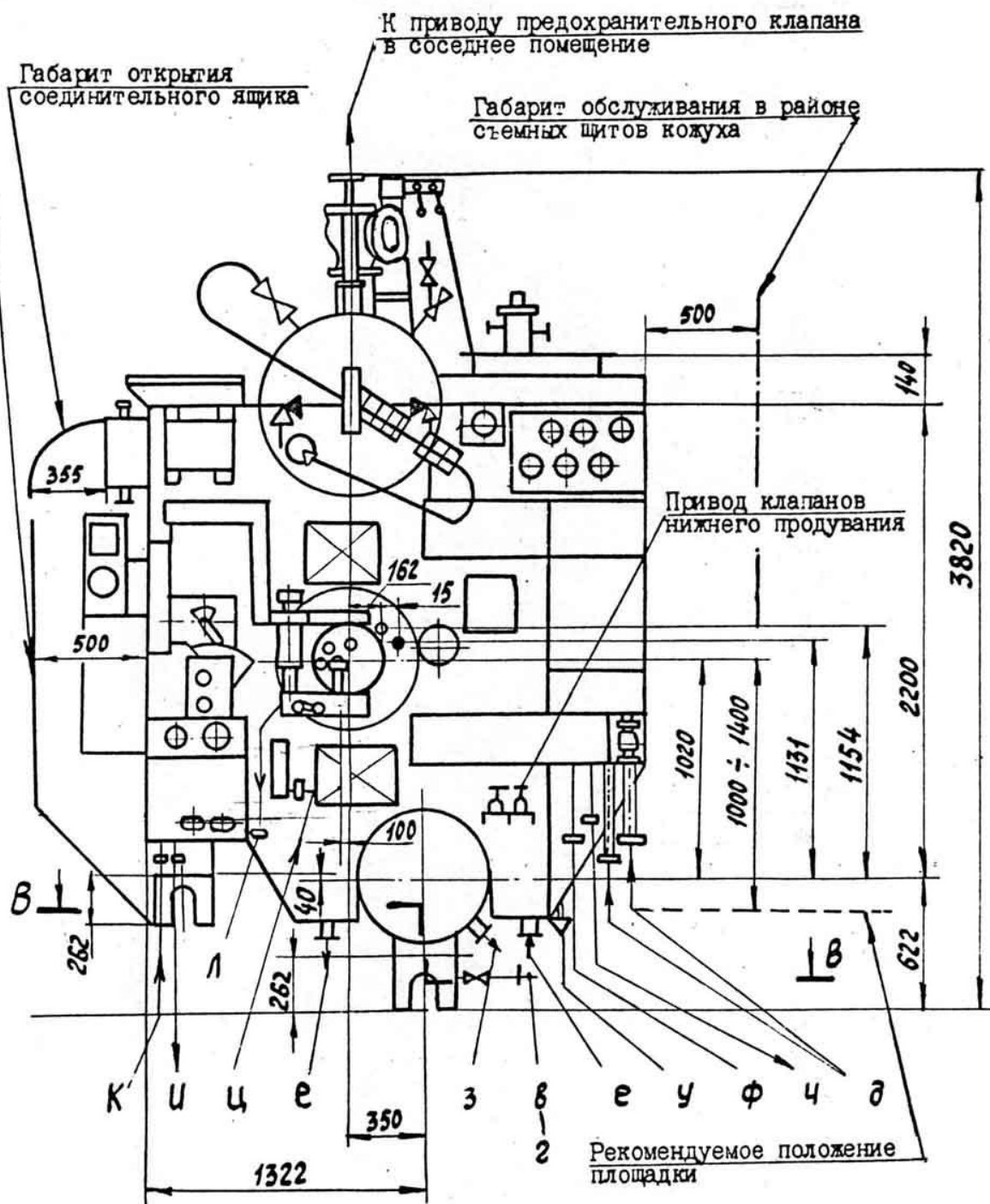


Рисунок Д.3 – Главный вид котла КАВ 4/7

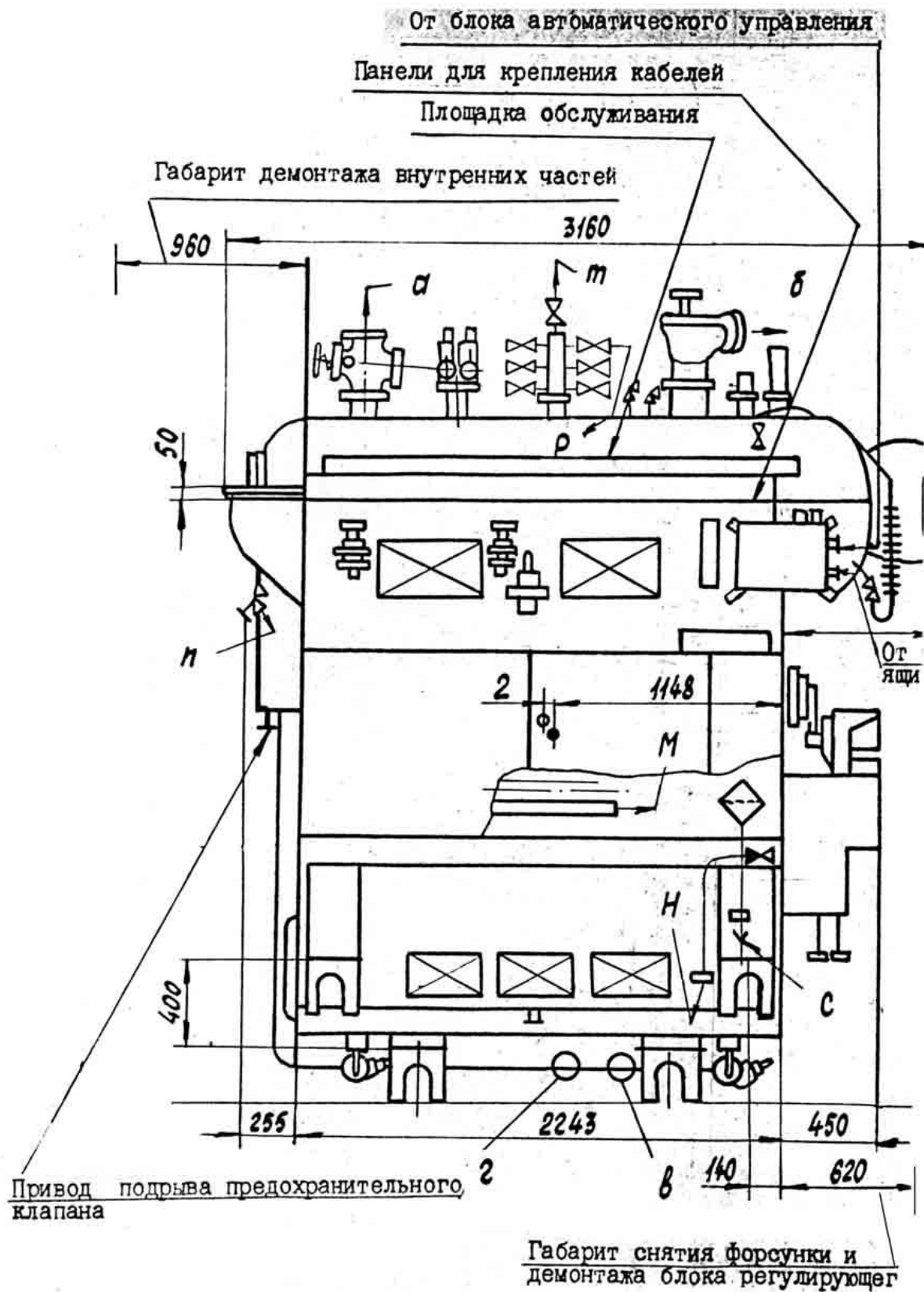
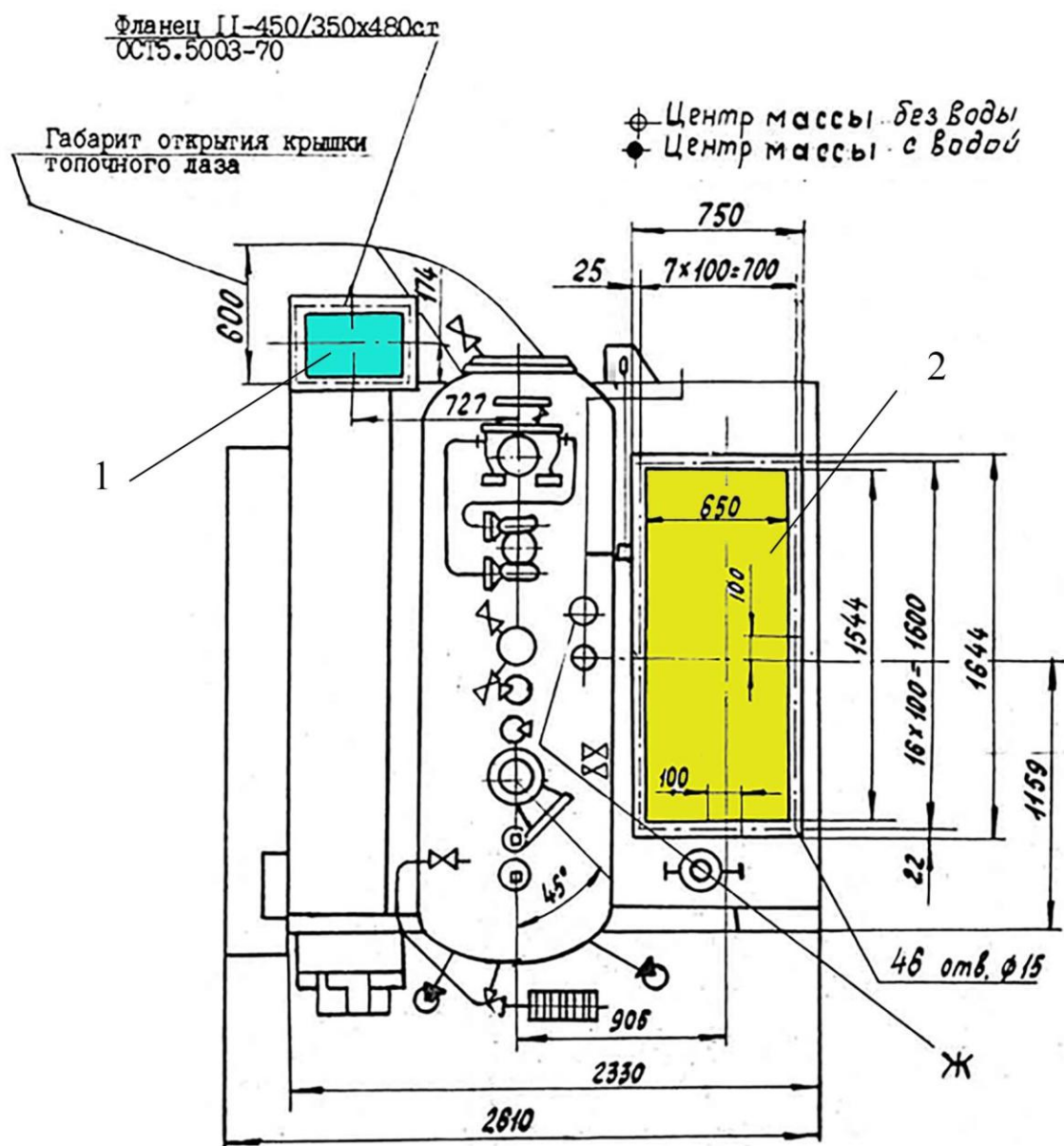


Рисунок Д.4 – Вид котла КАВ 4/7 сбоку



1 – вход воздуха для горения от вентилятора; 2 – выход продуктов горения

Рисунок Д.5 – Вид котла КАВ 4/7 сверху

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Техническая характеристика и описание котла КАВ 6,3/7

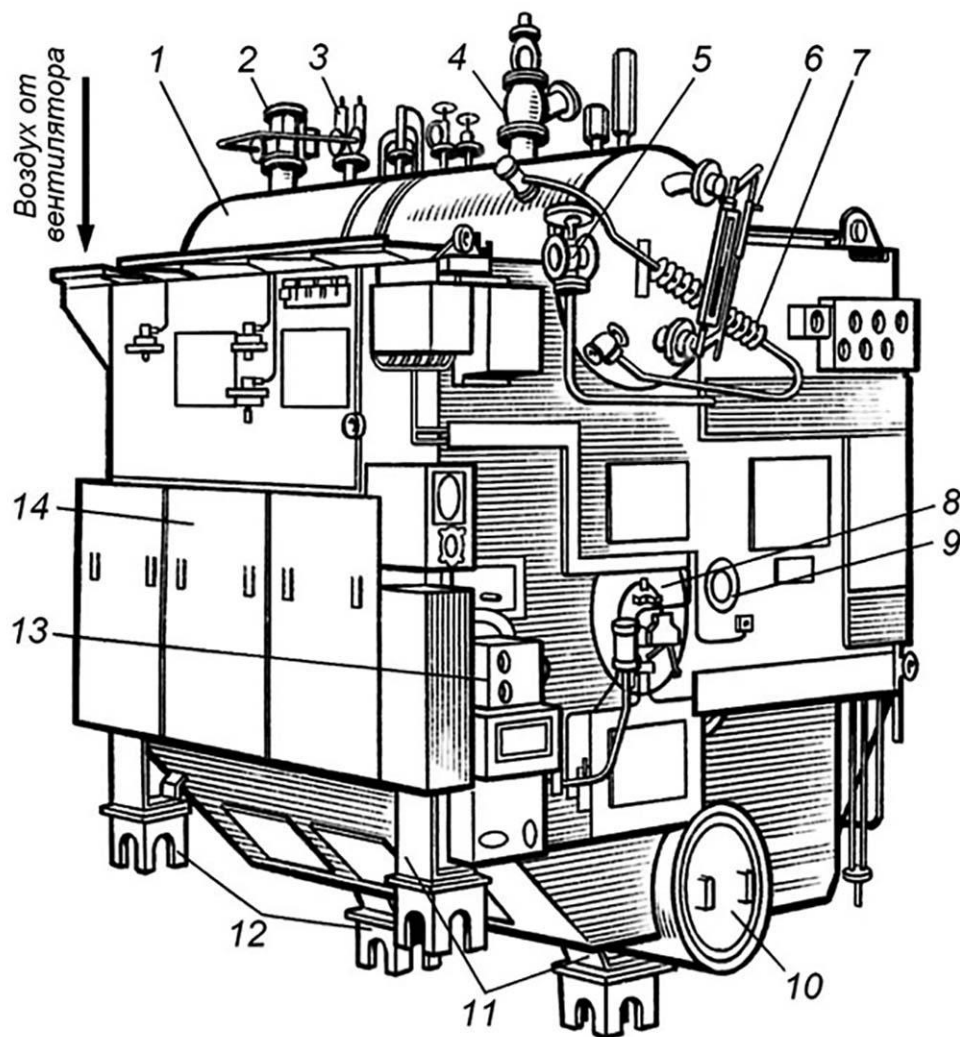
Котел КАВ 6,3/7 имеет паропроизводительность 6,3 т/ч; давление пара в котле при 100% нагрузке 0,7 МПа; давление пара в котле в режиме позиционного регулирования (по пару) от 0 до 20% – 0,55...0,75 МПа; расход топлива при – 493 кг/ч; КПД котла 80,0 %; электрическая мощность, потребляемая механизмами – 23,7 кВт; температура газов на выходе из котла 383 °С; температура питательной воды 50°С; масса котлоагрегата без воды 12700 кг; масса котлоагрегата с водой до среднего уровня 14400 кг.

Габариты котла: длина – 3630 мм; ширина – 2780 мм; высота – 4355 мм; расстояние между осями коллекторов во вертикали – 2400 мм. Диаметр пароводяного коллектора 800 мм.

Тепловое напряжение топочного пространства – 2,25 МВт/м². Полное аэродинамическое сопротивление – 3250 Па. Парообразующая поверхность нагрева – 129,7 м². Относительное водосодержание – 0,272 кг/(кг/ч). Высота парового пространства – 0,44 м.

В состав котлоагрегата входят: собственно, котел; топливная, воздушная и питательная системы; системы автоматического управления, защиты и сигнализации; система зажигания топлива; контрольно-измерительные приборы.

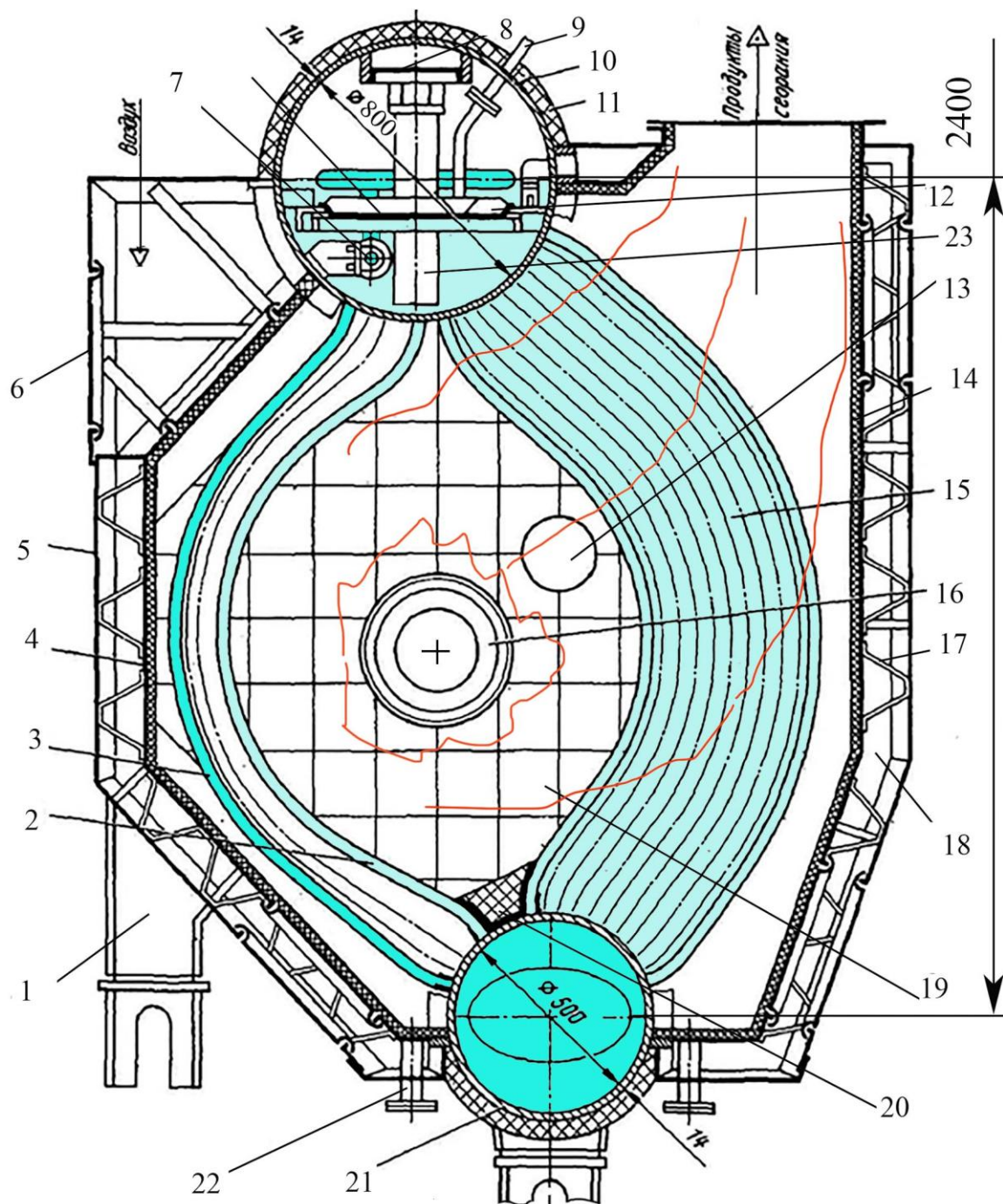
Котел двухколлекторный с естественной циркуляцией. Воздух подаётся к топочному устройству 8 с паромеханической форсункой через кожух котла, где подогревается (рисунок Е.1).



1 – пароводяной коллектор; 2 – главный предохранительный клапан, 3 – импульсный предохранительный клапан; 4 – стопорный клапан; 5 – питательный клапан; 6 – водоуказательная колонка; 7 – регулятор питания; 8 – топочное устройство; 9 – смотровое окно; 10 – водяной коллектор; 11 – опоры; 12 – стулья; 13 – регулирующий блок; 14 – топливный блок

Рисунок Е.1 – Общий вид котла типа КАВ 6,3/7

На пароводяном коллекторе 1 установлены: предохранительные клапаны (главный 2 и импульсный 3), стопорный клапан 4, питательный 5, верхней продувки, водоуказательные приборы 6, импульсный генератор 7, регулятор питания и другая арматура.



- 1 – опора; 2 – экран; 3 – опускной ряд труб; 4 – внутренняя листовая изоляция;
 5 – наружный кожух; 6 – лаз; 7 – питательная труба; 8 – верхний дырчатый щит;
 9 – система верхнего продувания; 10 – пароводяной коллектор; 11 – изоляция;
 12 – нижний дырчатый щит; 13 – гляделка; 14 – внутренний кожух; 15 – испарительный
 конвективный пучок; 16 – топочное устройство; 17 – ребра жесткости;
 18 – межобшивочное пространство; 19 – кирпичная футеровка; 20 – защита
 водяного коллектора; 21 – водяной коллектор; 22 – дренажный патрубок;
 23 – поплавковый датчик уровня

Рисунок Е.2 – Поперечный разрез котла КАВ 6,3/7

На наружной обшивке расположены топливный 14 и регулирующий 13 блоки, другие элементы системы автоматики и приборы контроля. К фундаменту котёл крепят посредством четырёх опор 11 и стульев 12. Контроль процесса горения осуществляется через смотровое отверстие с крышкой 9.

Пароводяной и водяной коллекторы – сварные с овальными лазами для осмотра и ремонта. Циркуляционный контур представляет собой трубы конвективного пучка и экрана (размером 29,5×2,5 мм), а также трех рядов опускных труб (размером 44,5×3,0 мм), которые развальцованы в коллекторах.

Для уменьшения потерь теплоты в окружающую среду наружными и внутренними стенками котла образован кожух, через который движется воздух (нагреваясь при этом) перед поступлением в топку. Посредством распорных скоб, связей и перегородок достигается необходимая жёсткость в стенках кожуха. Для доступа к трубам в стенках корпуса предусмотрены окна, закрываемые крышками с помощью задраек.

На рисунках Е.3, Е.4, Е.5 Приложения В указаны следующие присоединительные размеры внешних трубопроводов: а – отвод пара от предохранительного клапана; б – отбор пара от котла; в – слив в трюм; г – продувание за борт; д – подвод питательной воды; е – слив обмывочной воды; ж – подвод при кислотной промывке; з – отвод при кислотной промывке; и – выход топлива из регулятора перепада давления; к – подвод топлива; л – отвод топлива от циркуляционного клапана; м – отвод конденсата от подогревателей топлива; н – выход конденсата; п – отбор проб котловой воды; р – подвод к клапану мокрого хранения; о – слив топлива от фильтра; т – выпуск воздуха; у – продувание приборов, арматуры, трубопроводов; ф – подвод сжатого воздуха; ц – подвод топлива для розжига котла; ч – продувание топливных манометров).

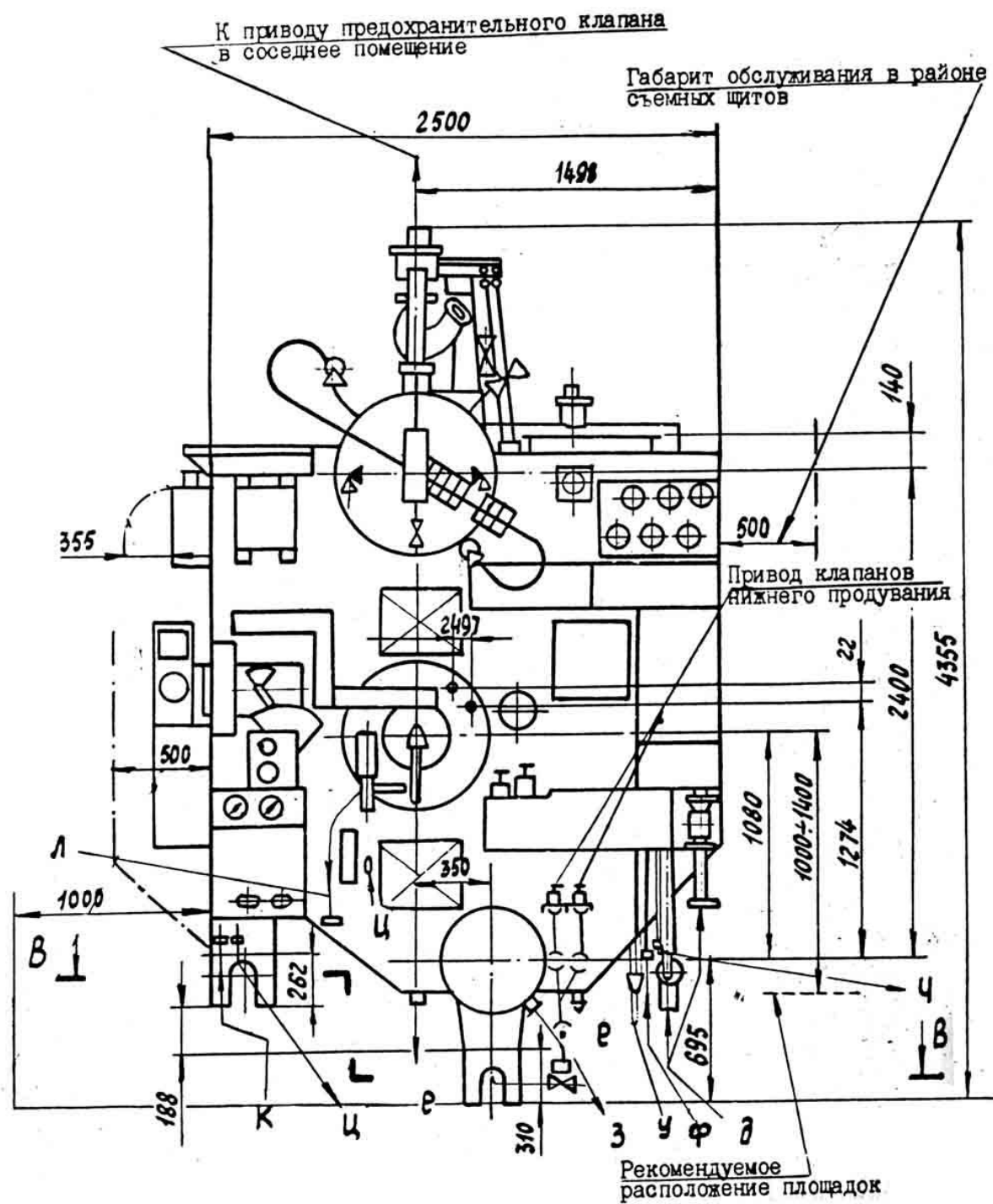


Рисунок Е.3 – Главный вид котла КАВ 6,3/7

Габарит демонтажа внутренних частей

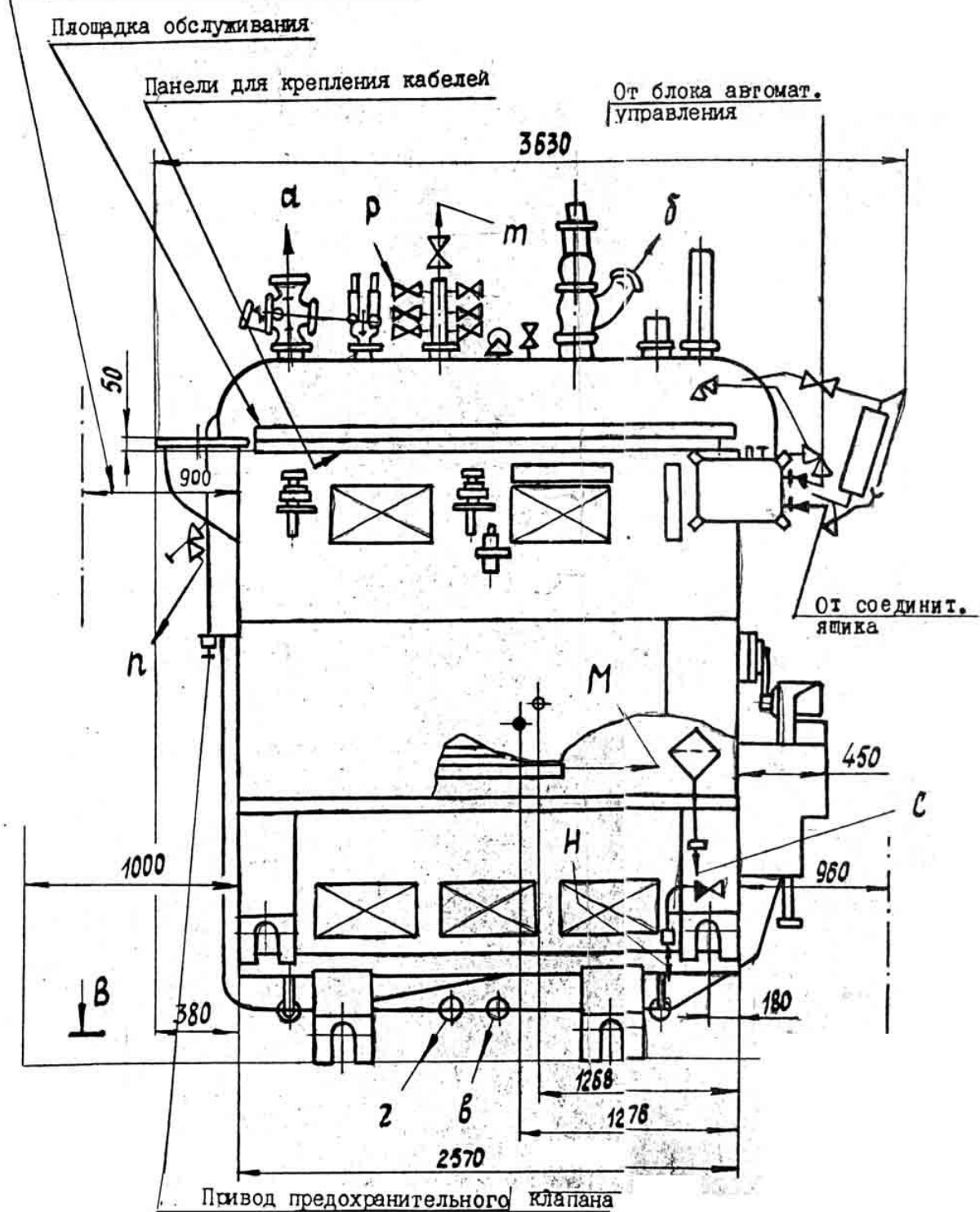


Рисунок Е.4 – Вид котла КАВ 6,3/7 сбоку

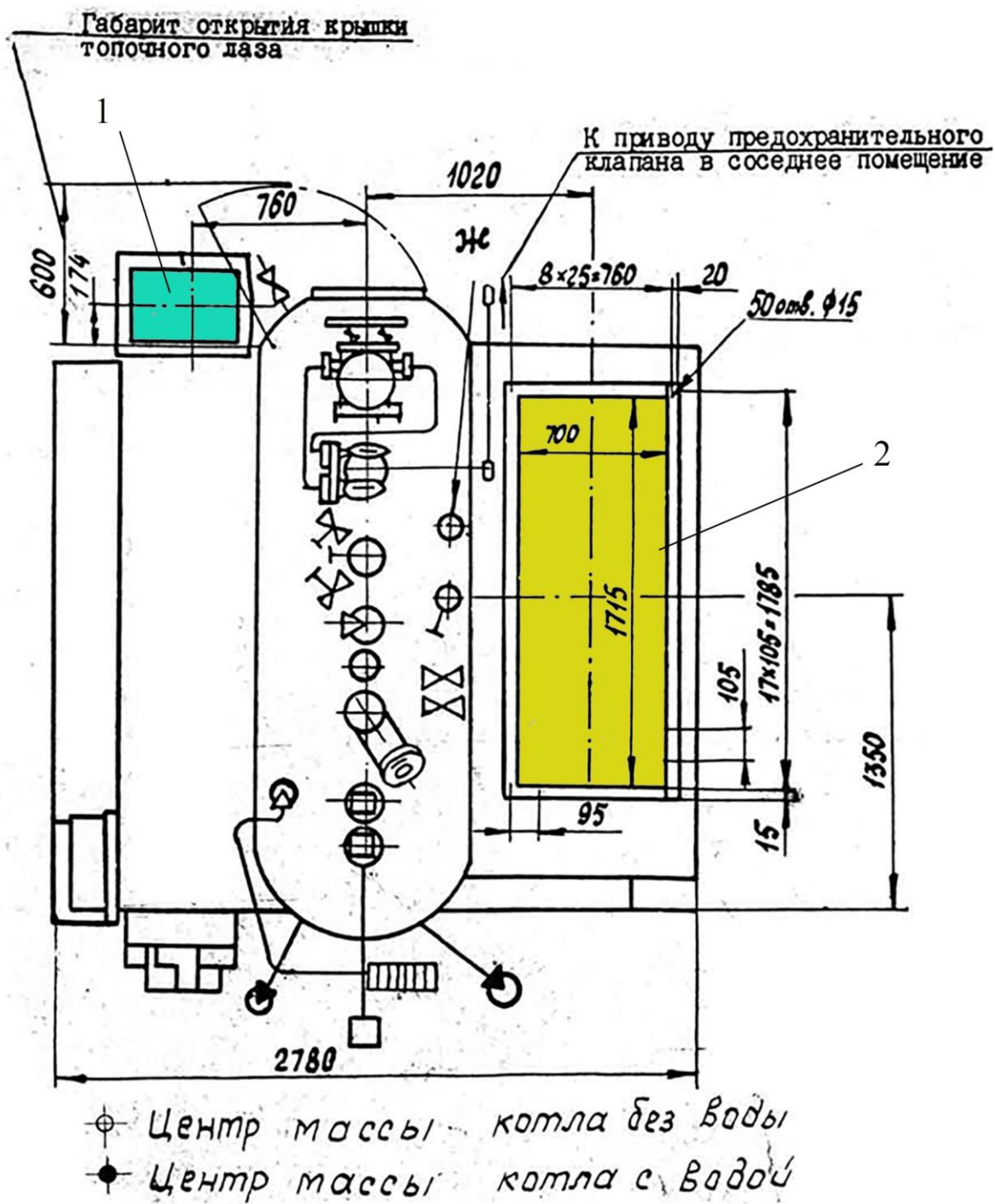


Рисунок Е.5 – Вид котла КАВ 6,3/7 сверху

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Техническая характеристика и описание котла КАВ 16/7

Котел КАВ 16/7 – вспомогательный автоматизированный котлоагрегат предназначен для обеспечения паром технических и хозяйственно-бытовых нужд. Он производит насыщенный паром 0,7 МПа и выдает его потребителям в диапазоне нагрузок от 0 до 100 % при полностью автоматизированном регулировании процессов горения и питания.

Номинальная паропроизводительность котла 16000 кг/ч; влажность пара 1,0 %; расход условного топлива 1275 кг/ч; расход воздуха 6,3 кг/с; давление питательной воды 1,0 МПа; газовоздушное сопротивление 4230 Па; температура газов на выходе из котла 430 °С; КПД – 78,3 %; электрическая мощность, потребляемая вспомогательными механизмами – 76 кВт; температура газов на выходе из котла 363 °С; температура питательной воды 50°С; масса котлоагрегата без воды 6500 кг; масса котлоагрегата с водой до среднего уровня 7500 кг.

Габариты котла: длина – 4370 мм; ширина – 3046 мм; высота – 4750 мм; расстояние между осями коллекторов во вертикали – 2800 мм. Длина топки 2300 мм. Масса котла без воды 18,3 т.

Автоматическая система управления (АСУ) котла обеспечивает устойчивое поддержание параметров на установившемся режиме работы с отклонениями не более:

- давление пара в котле $\pm 0,02$ МПа;
- давления на форсунке $\pm 0,02$ МПа;
- давление распыливающего пара $\pm 0,01$ МПа;
- уровень воды в котле ± 40 мм.

АСУ котла обеспечивает аварийную остановку котла при:

- аварийном нижнем уровне;
- аварийном верхнем уровне;
- отсутствии воздуха, необходимого для горения;
- срыве или погасании факела;
- отсутствии давления питательной воды;
- обесточивании блока автоматического управления.

АСУ обеспечивает информационную и аварийно-предупредительную световую и звуковую сигнализацию (АПС), изложенную в таблице Ж.1

Таблица Ж.1 Параметры настройки АПС

№	Параметр	Значение
1	Аварийный нижний уровень, мм	-120 ± 15
2	Предупредительный нижний уровень, мм	-90 ± 15
3	Предупредительный верхний уровень, мм	$+120 \pm 15$
4	Аварийный верхний уровень, мм	$+160 \pm 15$
5	Предельное давление пара в котле, МПа	0,78
6	Минимальное давление распыливающей среды, МПа	0,1
7	Снижение давления воздуха за вентилятором, Па	3000 Па

Котел имеет назначенный полный средний срок службы – 25 лет; полный средний ресурс – 125000 ч; средний срок службы до среднего ремонта – 10 лет; средний ресурс до среднего ремонта – 50000 ч. Средний ресурс футеровки до полной замены – 10000 ч; время непрерывной работы котла между плановыми работами по ТО с необходимостью вывода его из работы – 3500 ч. Вероятность безотказной работы котла (при коэффициенте доверия 0,9) – 0,7.

Котел представляет собой комплекс, в который входят:

- паровой котел с установленным на нем приборами теплоконтроля, аппаратурой АСУ, датчиками аппаратуры АПС, блок зажигания;
- блок автоматического управления (БАУ);
- вспомогательные механизмы и аппараты;

– трубопроводы топлива, воды и пара и воздуха с запорной и присоединительной арматурой.

Время изменения нагрузки от 0 до 100 % – не менее 15 минут.

Котел – вертикально-водотрубный с естественной циркуляцией воды. Поверхность нагрева котла – 234 м^2 ; объем парового пространства – $0,70 \text{ м}^3$; объем топki – $5,12 \text{ м}^3$; масса воды в котле – 2,8 т.

Котел состоит из корпуса; кожуха; кирпичной кладки и изоляции; топчного устройства, арматуры.

Корпус котла состоит из испарительных труб конвективного пучка, экрана и опускных труб, замкнутых на паровой и водяной коллектор.

Конвективный пучек выполнен из пятнадцати рядов труб шахматного строения. Экран выполнен сплошным, газоплотным или мембранным. Три ряда опускных труб расположены за экраном.

Пароводяной коллектор диаметром 0,8 м, водяной 0,5 м.

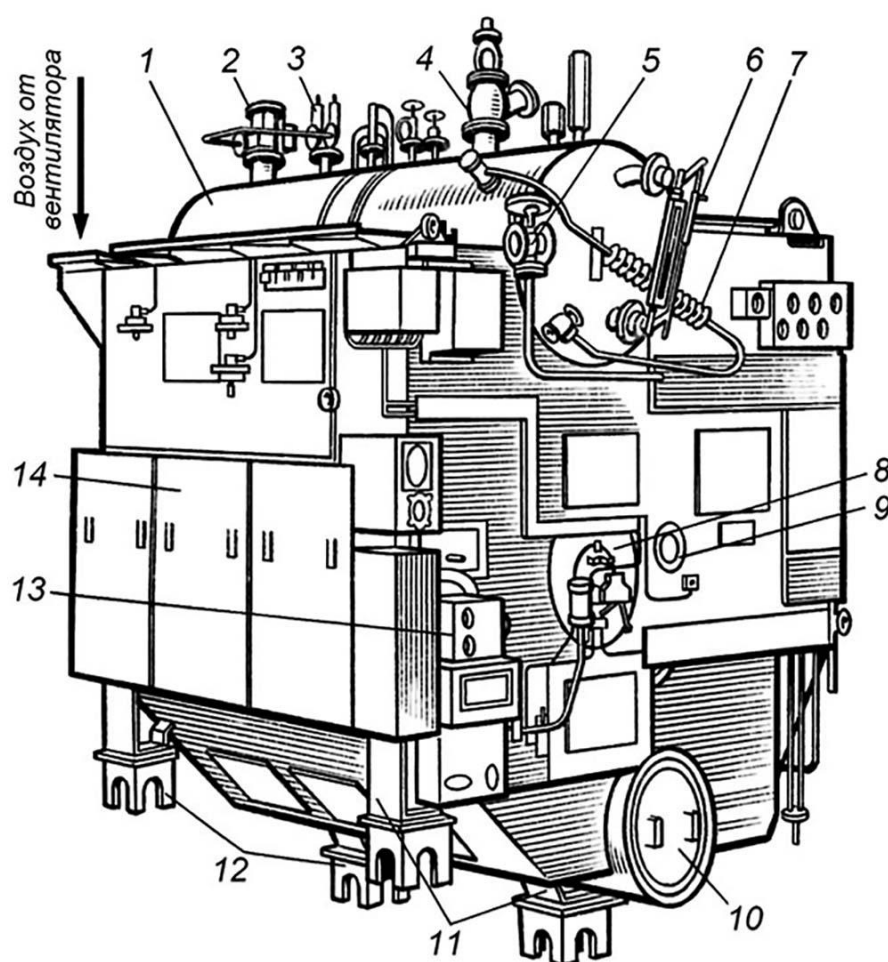
На коллекторах имеются штуцеры для установки арматуры и приварные элементы для крепления стенки кожуха.

Форсунка – паро-механическая. Обеспечивает качественное распыливание топлива на всем диапазоне давлений: 0,05 ... 1,8 МПа. Кирпичная кладка фронтов выполнена из прямоугольных и трехгранных шамотных кирпичей и асбестового картона. Кирпичи в районе топki крепятся болтами. Кирпичи устанавливаются на слой асбестового картона толщиной 10 ... 25 мм. На фронтах расположены по одному смотровому окошку.

Имеются инструменты и приспособления: для наружной чистки труб, для внутренней чистки труб; для подвальцовки и глушения, разного назначения, для аппаратуры системы автоматики.

Котел двухколлекторный с естественной циркуляцией. Воздух подаётся к топчному устройству с паромеханической форсункой через кожух

котла, где подогревается. На пароводяном коллекторе 1 установлены: предохранительные клапаны (главный 2 и импульсный 3), стопорный клапан 4, питательный 5, верхней продувки, водоуказательные приборы 6, импульсный генератор 7, регулятор питания и другая арматура.



1 – пароводяной коллектор; 2 – главный предохранительный клапан,
3 – импульсный предохранительный клапан; 4 – стопорный клапан; 5 – питательный
клапан; 6 – водоуказательная колонка; 7 – регулятор питания; 8 – топочное устройство;
9 – смотровое окно; 10 – водяной коллектор; 11 – опоры; 12 – стулья;
13 – регулирующий блок; 14 – топливный блок

Рисунок Ж.1 – Общий вид котла типа КАВ

На наружной обшивке расположены топливный 14 и регулирующий 13 блоки, другие элементы системы автоматики и приборы контроля. К

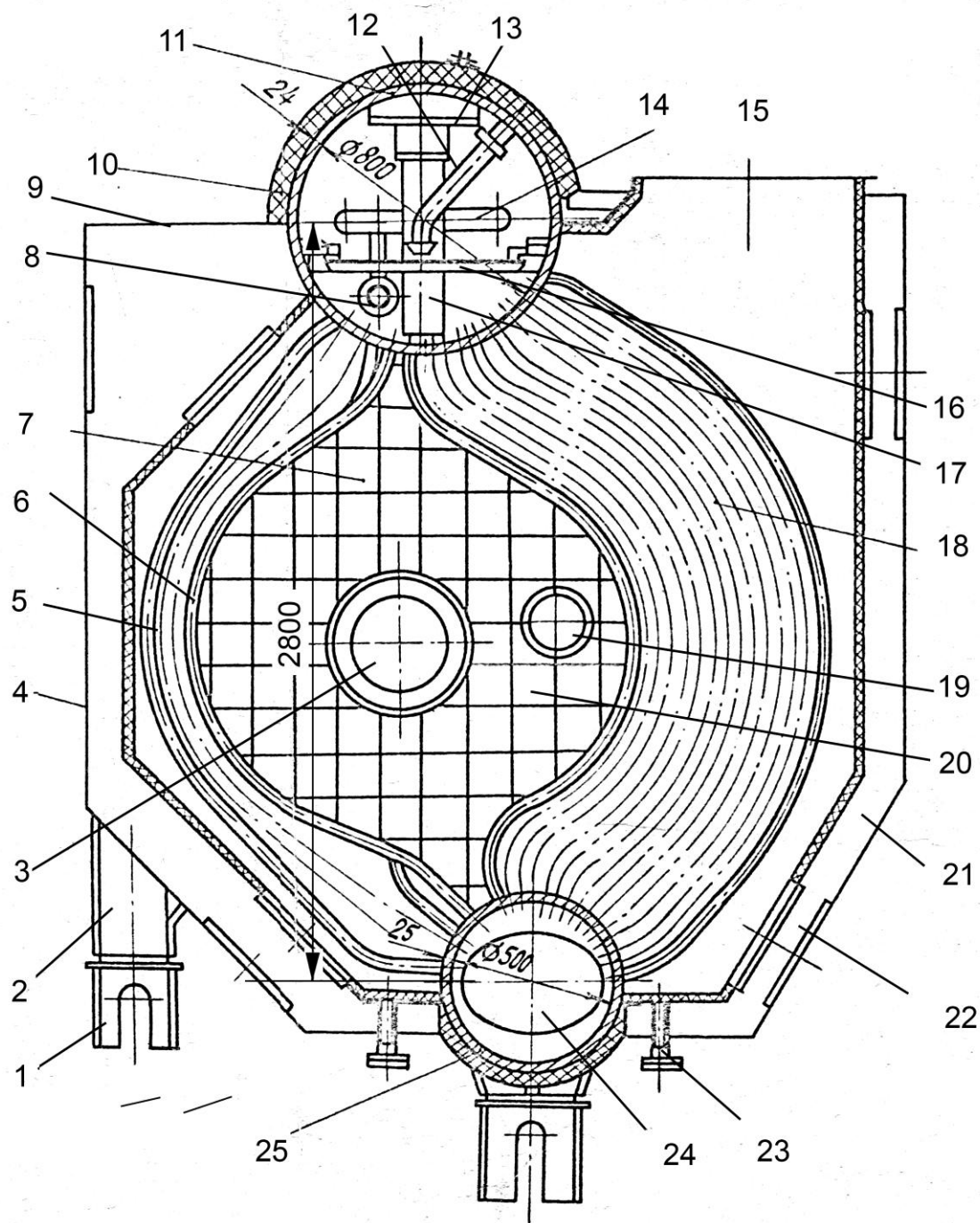
фундаменту котёл крепят посредством четырёх опор 11 и стульев 12. Контроль процесса горения осуществляется через смотровое отверстие с крышкой 9.

Пароводяной и водяной коллекторы – сварные с овальными лазами для осмотра и ремонта. Циркуляционный контур представляет собой трубы конвективного пучка и экрана (размером 29,5×2,5 мм), а также трех рядов опускных труб (размером 44,5×3,0 мм), которые развальцованы в коллекторах.

Для уменьшения потерь теплоты в окружающую среду наружными и внутренними стенками котла образован кожух, через который движется воздух (нагреваясь при этом) перед поступлением в топку. Посредством распорных скоб, связей и перегородок достигается необходимая жёсткость в стенках кожуха. Для доступа к трубам в стенках корпуса предусмотрены окна, закрываемые крышками с помощью задраек.

На рисунке Ж.3 представлен поперечный разрез котла КАВ 16/7.

На рисунках Ж.3, Ж.4, Ж.5 Приложения В указаны следующие элементы котлоагрегата: 1 – ручной привод клапанов нижнего продувания; 2 – клапан питательный автоматический; 3 – клапан подвода пара на распыл топлива; 4, 5 – клапан отбора давления питания автоматический и ручной; 6 – дроссельное устройство; 7, 45 – клапан манометрический; 8 – клапан подвода воздуха на распыл топлива; 9, 25 – щит манометрический; 10 – топливный рециркуляционный клапан; 11 – дифманометр-напоромер; 12 – пост управления; 13 – клапан продувания ТГРУ; 14 – доска-инструкция; 15 – блок электродов; 16 – регулятор давления распыливающего пара; 17 – импульсный генератор; 18, 20 – сообщительный клапан; 19 – водоуказатель; 21 – трансформатор зажигания; 22 – датчик горения; 23 – воздушный шибер; 24 – топочное устройство; 26, 27 – клапана регулятора давления топлива;



1 – стулья; 2 – опора; 3 – топочное устройство; 4 – кожух; 5 – опускные трубы;
 6 – экран; 7 – кирпичная кладка; 8, 14 – питательная труба; 9 – вход воздуха
 для горения; 10 – изоляция; 11 – пароводяной коллектор; 12 – система верхнего
 продувания; 13, 16 – верхний и нижний дырчатые щиты; 15 – выход дымовых газов;
 17 – стакан с поплавковым указателем уровня; 18 – конвективный пучок; 19 – гляделка;
 20 – топка; 21 – межобшивочное пространство; 22, 24 – лаз; 23 – дренажный патрубок

Рисунок Ж.2 – Поперечный разрез котла КАВ 16/7

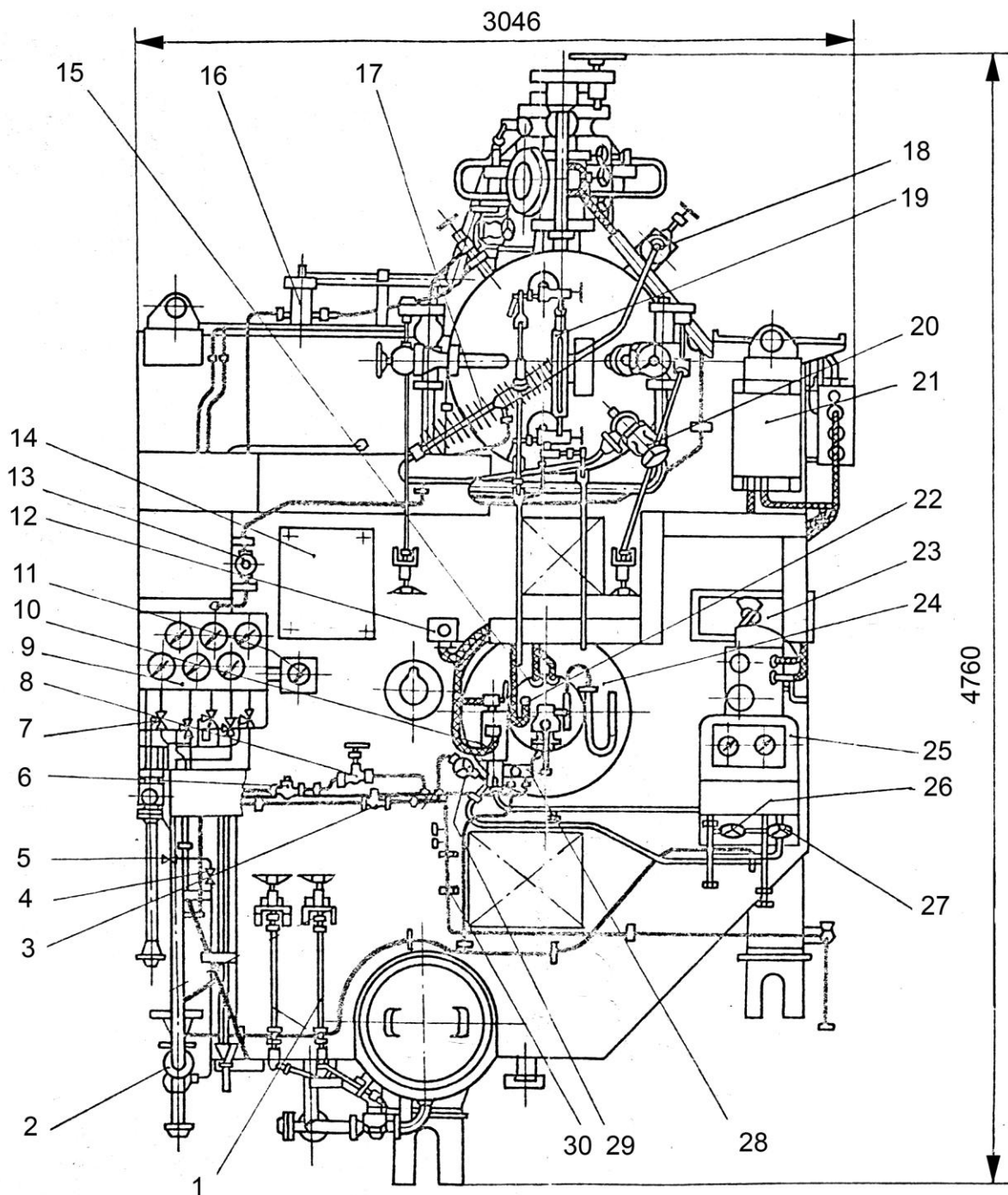


Рисунок Ж.3 – Главный вид котла КАВ 16/7

28 – быстрозапорное устройство; 29 – клапан распыла на форсунке; 30 – шайба специальная; 31 – шайба дроссельная; 32 – клапан нижнего продувания Ду32; 33 – клапан отвода конденсата; 34 – регулятор перепада давления топлива;

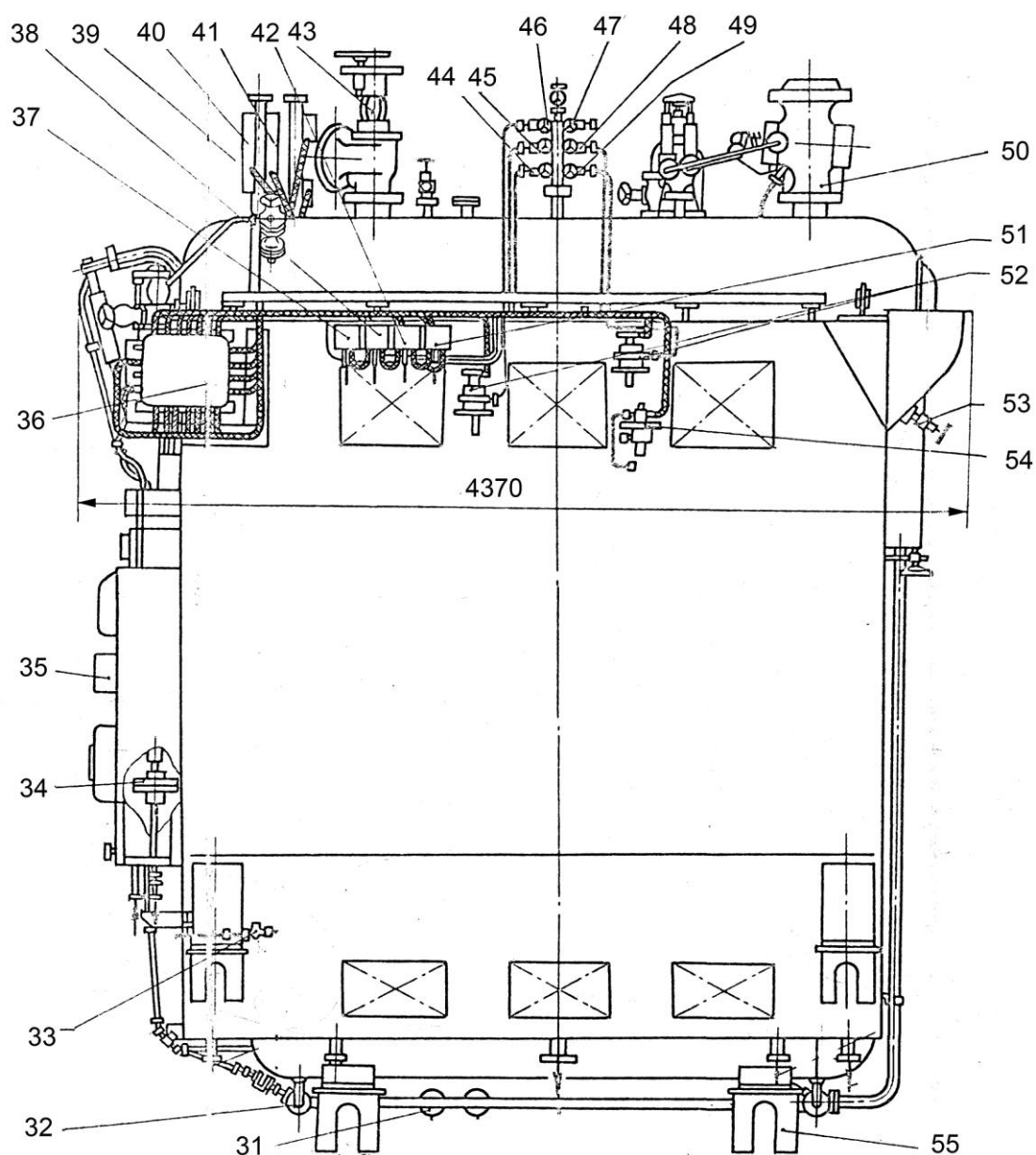


Рисунок Ж.4 – Вид котла КАВ 16/7 сбоку

35 – топливный регулирующий клапан; 36 – соединительный ящик; 37 – реле давления распыливающего пара; 38, 42, 47, 48, 51 – реле регулятора давления; 39, 40, 41 – водоуказатель; 43 – стопорный клапан Ду 150; 46 – клапан мокрого хранения; 48, 49 – клапан реле регулирования давления пара; 50 – главный предохранительный клапан Ду 2х100; 52, 59 – манометр; 53 – клапан отбора проб Ду 10; 54 – мембранный указатель

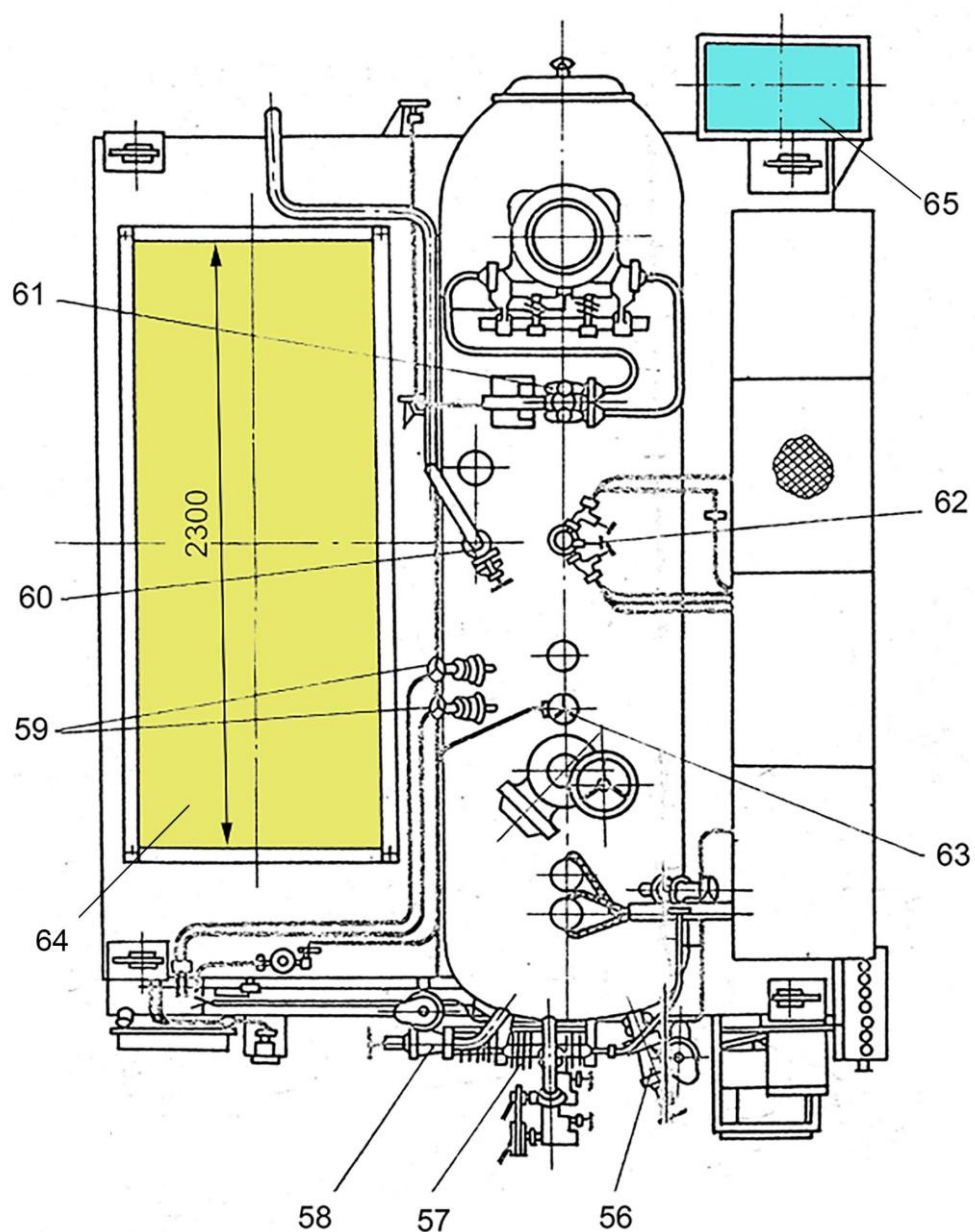


Рисунок Ж.5 – Вид котла КАВ 16/7 сверху

давления воздуха в коробе котла; 55 – опоры котла; 56, 58 – питательный клапан Ду 40; 57 – термогидравлический указатель уровня; 60 – клапан верхнего продувания; 61 – импульсный предохранительный клапан; 62 – клапан выпуска воздуха Ду 10; 63 – клапан регулятора распыливающего пара; 64 – выход продуктов сгорания; 65 – подвод воздуха для горения.

В пароводяном коллекторе (ПВК) установлены внутренние части, которые обеспечивают устойчивую циркуляцию воды в котле; выдачу насыщенного пара с минимальной влажностью; продувание котла для снижения общего солесодержания котловой воды.

На рисунке Ж.6 представлено устройство пароводяного коллектора котла КАВ 16/7.

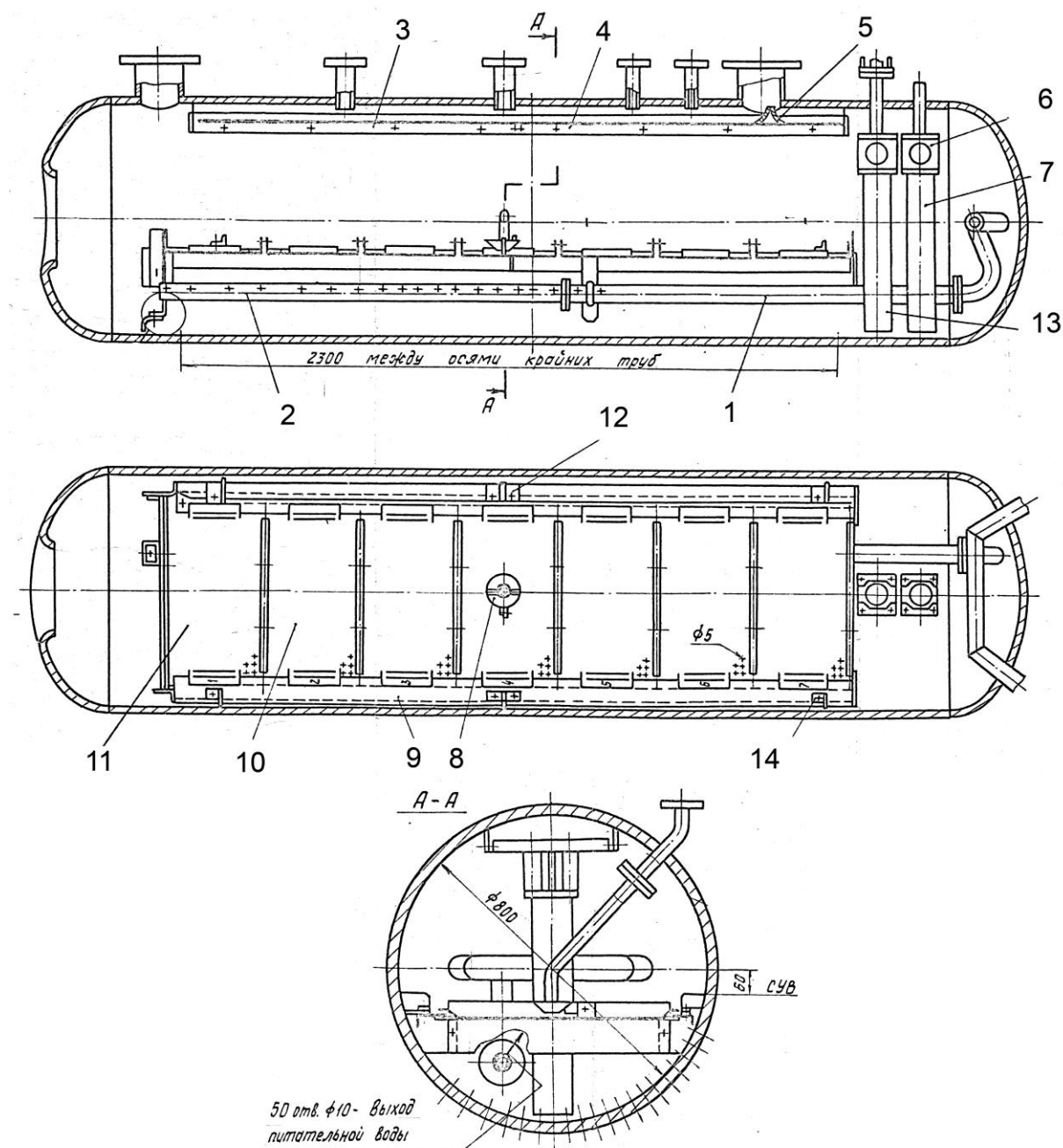


Рисунок Ж.6 – Устройство пароводяного коллектора

Пароводяной коллектор содержит следующие узлы и элементы: 1, 2 – питательная труба; 3, 4 – верхний дырчатый щит (потолочный); 5 – направляющая перегородка; 6 – фланец; 7 – поплавковая система указателя уровня (индикация и АПС); 8 – воронка системы верхнего продувания; 9 – уголок; 10, 11 – секции нижнего дырчатого щита; 12, 22 – кронштейн; 13 – поплавковая система уровня воды в котле (защита аварийного нижнего уровня).

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Техническая характеристика и описание котла Вагнер

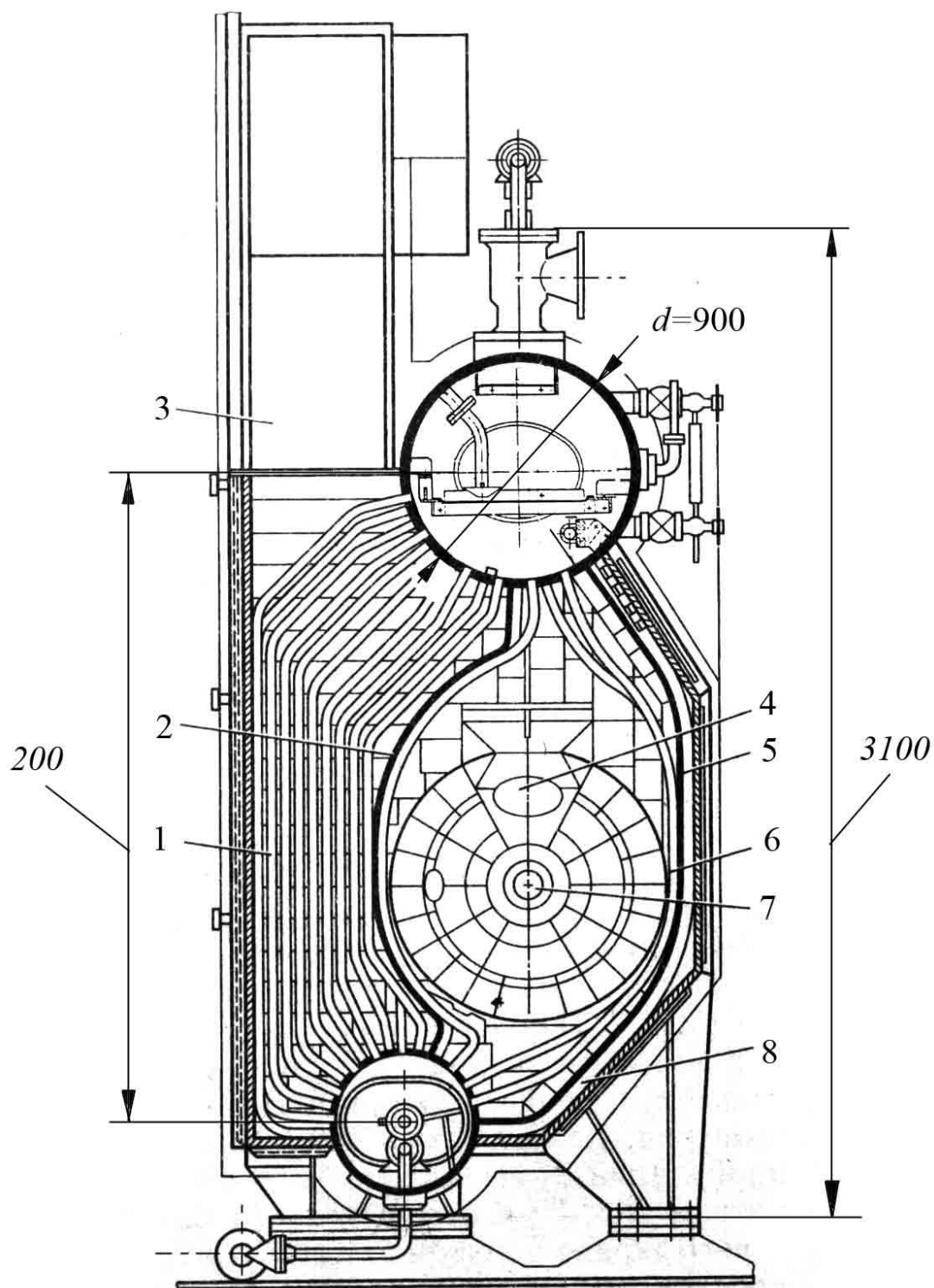
Котел Вагнер имеет паропроизводительность 2,5 т/ч; давление пара в котле при 100% нагрузке 0,6 МПа; расход топлива на номинальном режиме ~ 183 кг/ч; КПД котла 85,0 %; температура газов на выходе из котла ~ 250 °С; температура питательной воды 60°С; масса котла без воды 12000 кг.

Габариты котла: длина – 3500 мм; ширина – 1600 мм; высота – 3512 мм; расстояние между осями коллекторов во вертикали – 2000 мм.

Тепловое напряжение топочного пространства – 1,58 МВт/м². Полное аэродинамическое сопротивление ~ 1550 Па. Парообразующая поверхность нагрева ~ 50 м².

У котла Вагнер все обогреваемые трубы – подъемные. Для повышения надежности естественной циркуляции опускные трубы диаметром 108×5 мм отгорожены от бокового экрана металлическим щитом. Задний фронт котла также экранирован трубами 38×3 мм. Конвективный пучек труб имеет размеры 29,5×2,5 мм. В топке создан более сложный путь продуктов сгорания, чем у котлов типа КАВ. Предусмотрен продольный щит, расположенный за первым рядом конвективного пучка и идущий от переднего фронта, но не на всю длину котла. Топочные газы движутся к заднему фронту, затем поворачиваются на 180° в горизонтальной плоскости, входят в конвективный пучек, осуществляя его поперечное омывание, после чего поворачиваются вверх на 90° в сторону воздухоподогревателя., также расположенного только на части длины котла. Воздухоподогреватель – пластинчатый, выполнен одноходовым по газу и двухпроточным по воздуху. Котел оборудован двумя форсунками основной – ротационной и растопочной – механической.

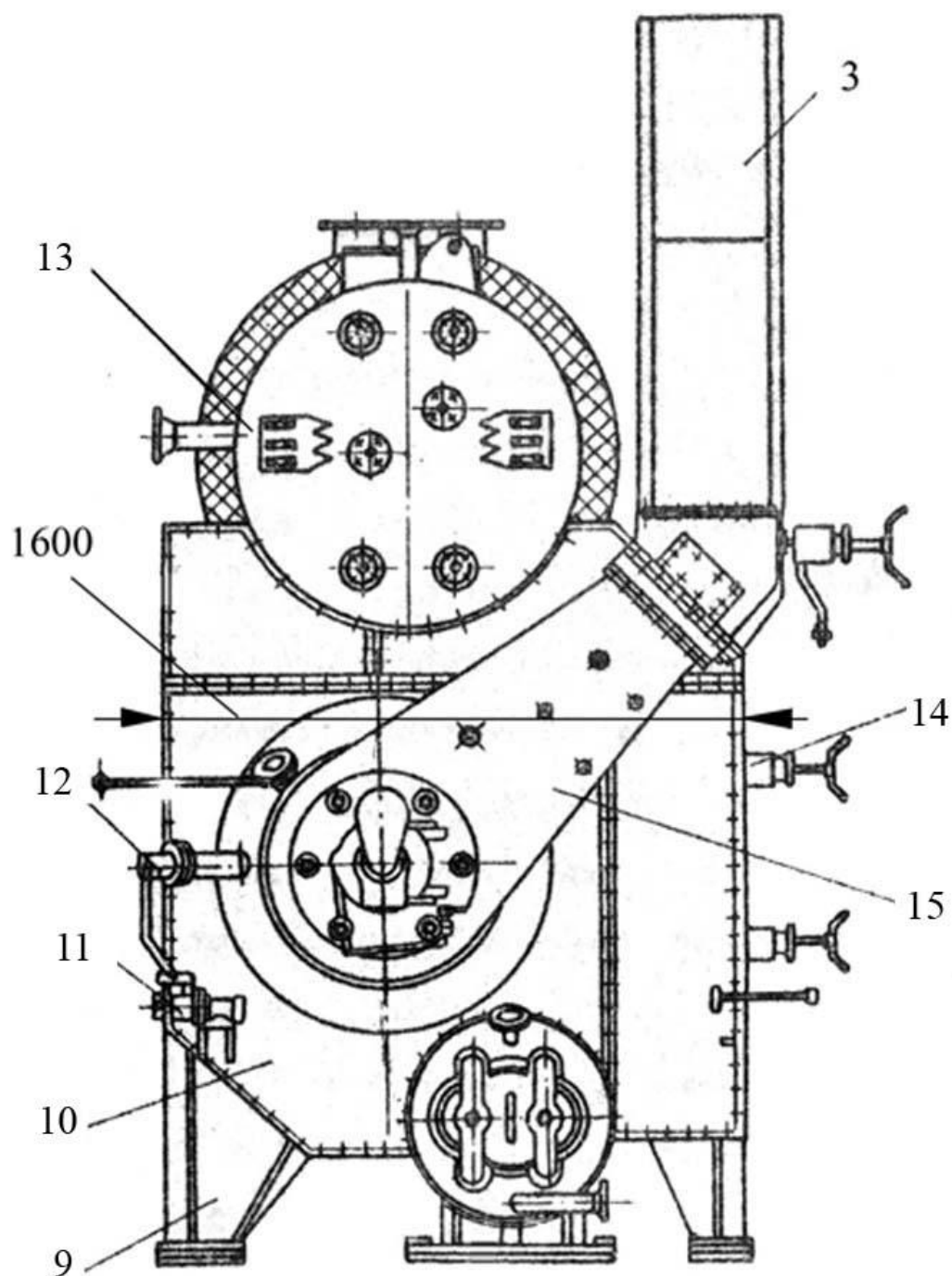
На рисунке 3.1 представлен поперечный разрез котла.



- 1 – конвективный испарительный пучок; 2, 5 – продольный щит;
 3 – воздухоподогреватель; 4 – пусковая форсунка; 6 – экран; 7 – основная форсунка;
 8 – опускные трубы

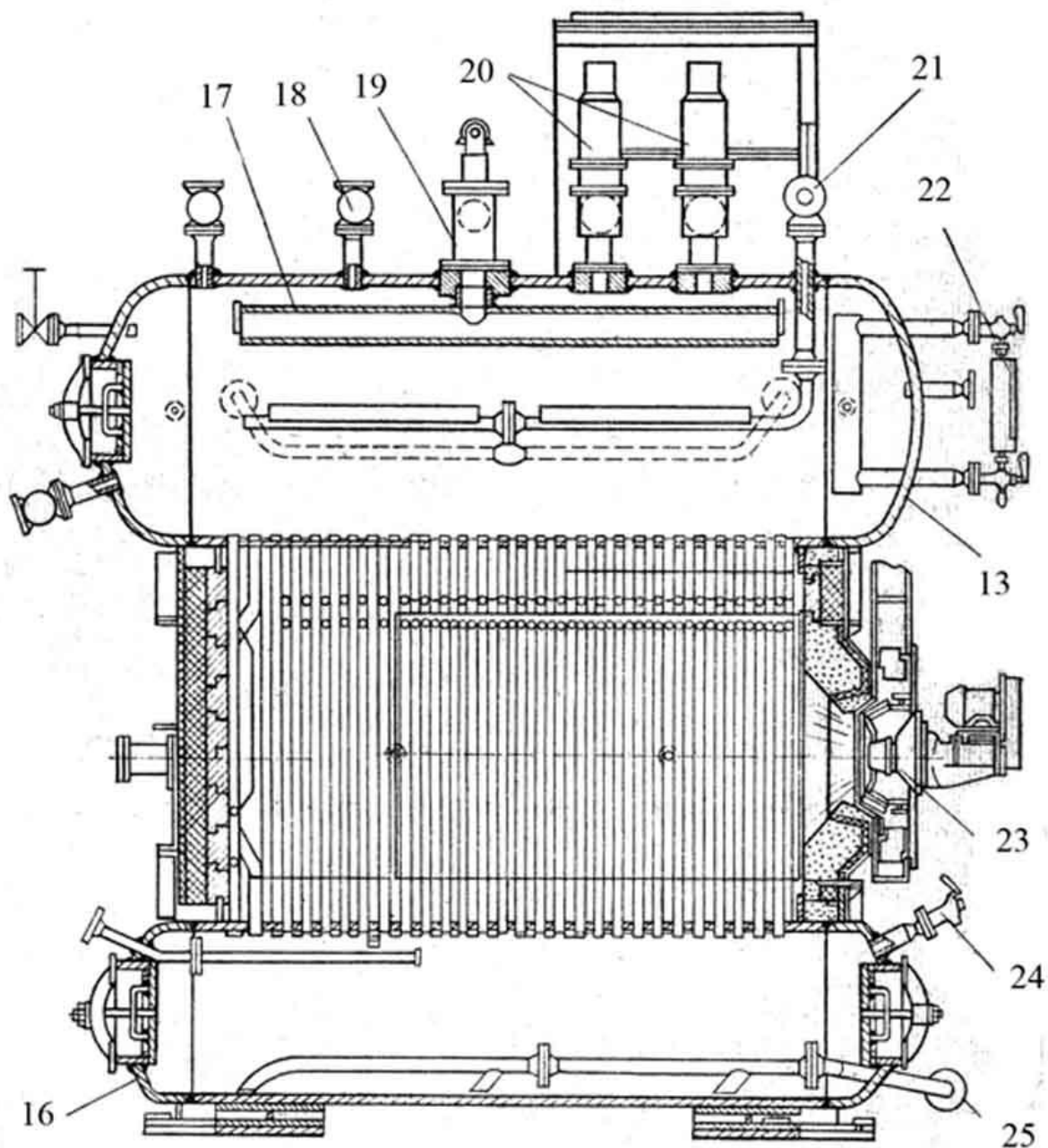
Рисунок 3.1 – Поперечный разрез котла

На рисунке 3.2 представлен главный вид котла. На рисунке 3.3 представлен продольный разрез котла.



3 – воздухоподогреватель; 9 – опора; 10 – корпус; 11 – насос топливный пусковой форсунки; 12 – пусковая форсунка; 13 – пароводяной коллектор; 14 – привод сажеобдувочного устройства; 15 – воздуховод

Рисунок 3.2 – Главный вид котла



13 – пароводяной коллектор; 16 – водяной коллектор; 17 – пароотборная труба;
 18 – воздушный клапан; 19 – стопорный клапан; 20 – предохранительный клапан;
 21 – клапан верхнего продувания; 22 – водоуказательная колонка; 23 – ротационная
 форсунка; 24 – клапан для забора проб; 25 – трубопровод нижнего продувания

Рисунок 3.3 – Продольный разрез котла

ПРИЛОЖЕНИЕ И

Техническая характеристика и описание котла Кангрим MB-02

Котел Кангрим (Kangrim MB-02) имеет паропроизводительность 9,0 т/ч; давление пара в котле при 100% нагрузке 0,7 МПа; расход топлива на номинальном режиме ~ 670 кг/ч; КПД котла 83,0 %; температура газов на выходе из котла ~ 330...345 °С; температура питательной воды 60°С; масса котла без воды 20т кг. Объем парового пространства котла при нормальной уровне – 5,2 м³. Объем воды в котле при нормальном уровне – 6,0 м³.

Габариты котла: диаметр котла без изоляции 2300 мм, полная высота – 6735 мм.

Котел Kangrim MB02S водотрубный вертикальный цилиндрический с естественной циркуляцией. Содержит три коллектора: пароводяной, промежуточный и экранный. Топка цилиндрическая по обертке полностью экранированная. Потолок топки – экранирован, кроме газовыходного отверстия. Под топки – кирпичная изоляция. Топочной устройство расположено на стене топки. Форсунка – ротационная. Продукты сгорания из топки поступают в газоотводное отверстие в потолке топки и поступают в зону испарительного пучка, содержащего газоплотный первый ряд. Газоплотный ряд содержит разреженный участок, через который, повернув на 90°, проходят продукты сгорания. Далее продукты сгорания омывают испарительный конвективный пучок в горизонтальной плоскости и выходят вдоль направляющей перегородки в выходной патрубок и далее в дымовую трубу.

Топочное устройство ротационного типа – SKV-80. Обеспечивает подачу топлива в диапазоне 100 ... 670 кг/ч. Гарантирует удовлетворительное качество распыла при максимальной вязкости 45 сСт и максимальной тем-

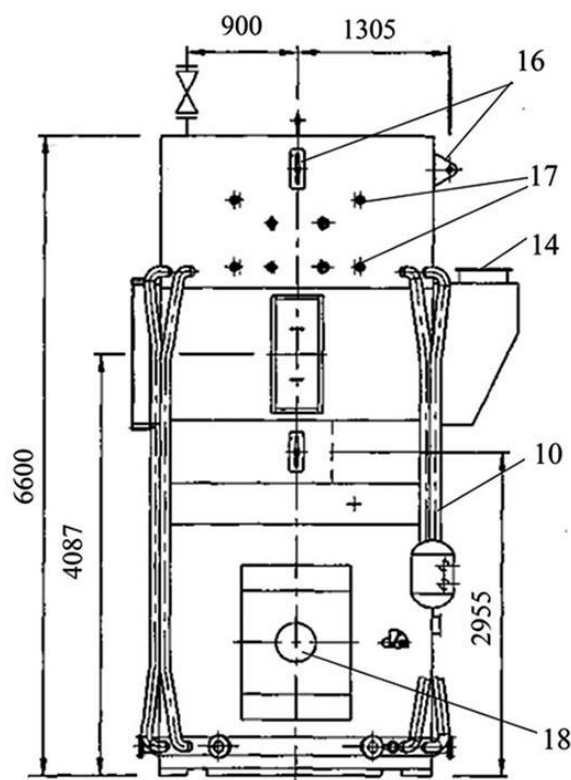
пературе тяжелого топлива 120 °С. Автоматика обеспечивает поддержание коэффициента избытка воздуха на номинальной режиме – 1,1.

Вентилятор обеспечивает подачу воздуха для горения до 9590 м³/ч при статической давлении 620 мм водяного столба. Мощность привода 35 кВт, частота вращения колеса 3555 мин⁻¹.

Топливный насос обеспечивает максимальную подачу до 2700 кг/ч, рабочее давление 0,4 МПа. Мощность привода 1,32 кВт.

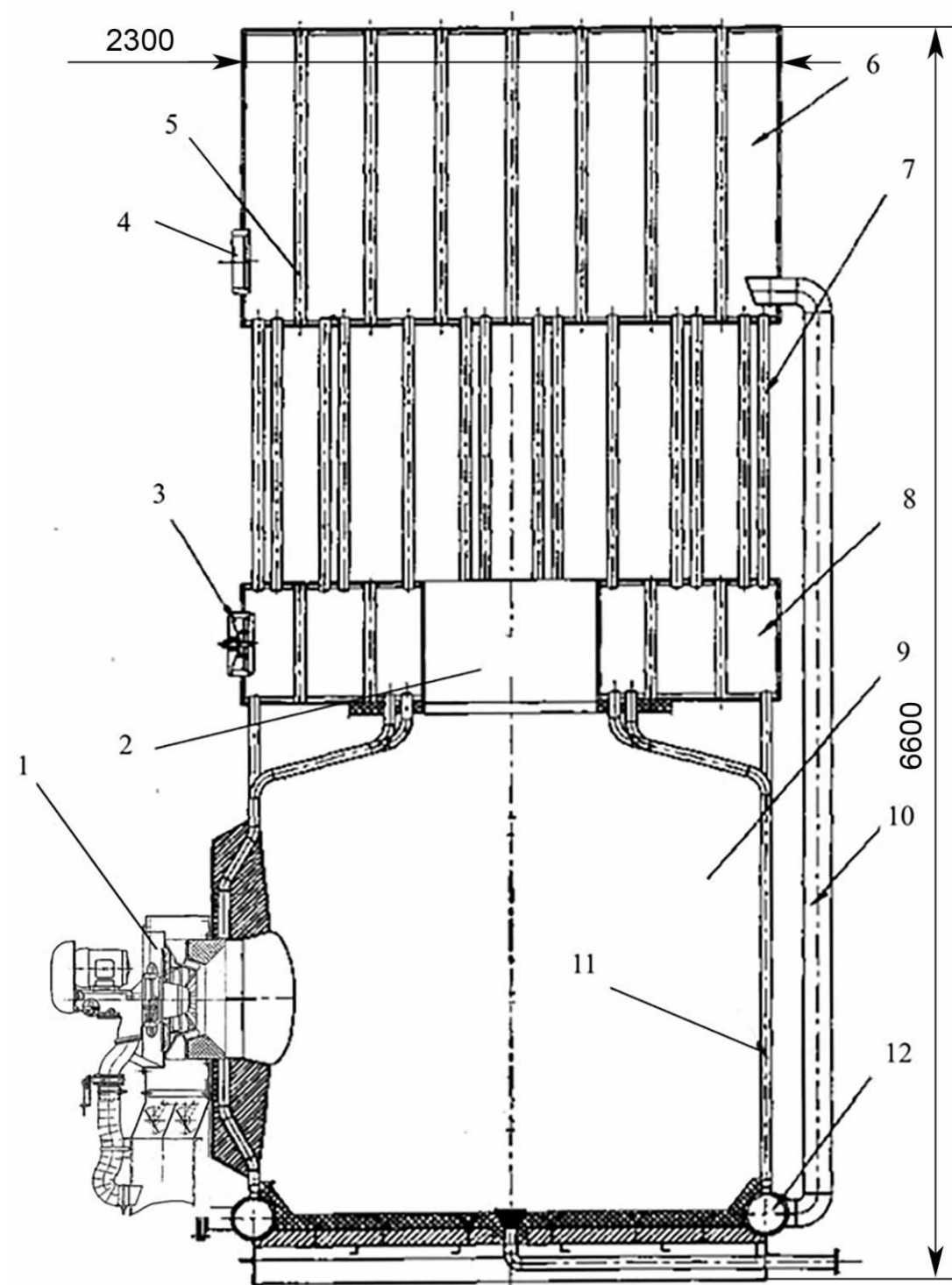
Пусковая форсунка механическая обеспечивается насосом с подачей до 45 л/ч и рабочим давлением 0,7 ... 1,4 МПа.

На рисунке И.1 представлен общий вид котла, на рисунке И.2 представлен продольный разрез котла без изоляции. На рисунке И.3 представлен поперечный разрез котла.



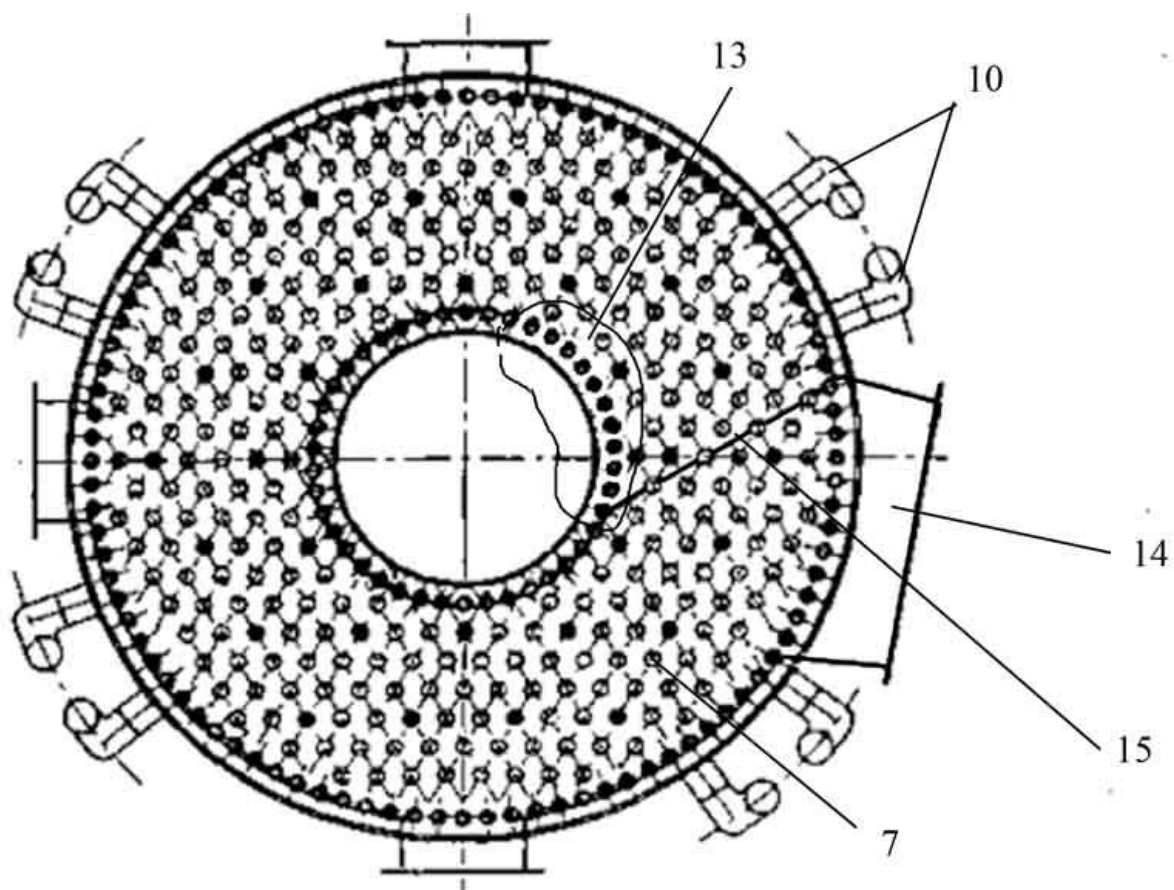
- 10 – опускающие трубы; 14 – выход продуктов сгорания; 16 – обухи крепления котла к судовой конструкции; 17 – места установки водоуказательных приборов; 18 – фурменное отверстие

Рисунок И.1 – Общий вид котла Кангрим MB02



1 – топочное устройство; 2 – газоход; 3, 4 – лаз; 5 – силовая связь; 6 – пароводяной коллектор; 7 – испарительный пучок; 8 – промежуточный коллектор; 9 – топка; 10 – опускающие трубы; 11 – экран; 12 – экранный коллектор

Рисунок И.2 – Продольный разрез котла Кангрим MB02



7 – испарительный пучок; 10 – опускные трубы; 13 – разреженный участок труб; 14 – выход продуктов сгорания; 15 – направляющая перегородка

Рисунок И.3 – Поперечный разрез котла Кангрим MB02

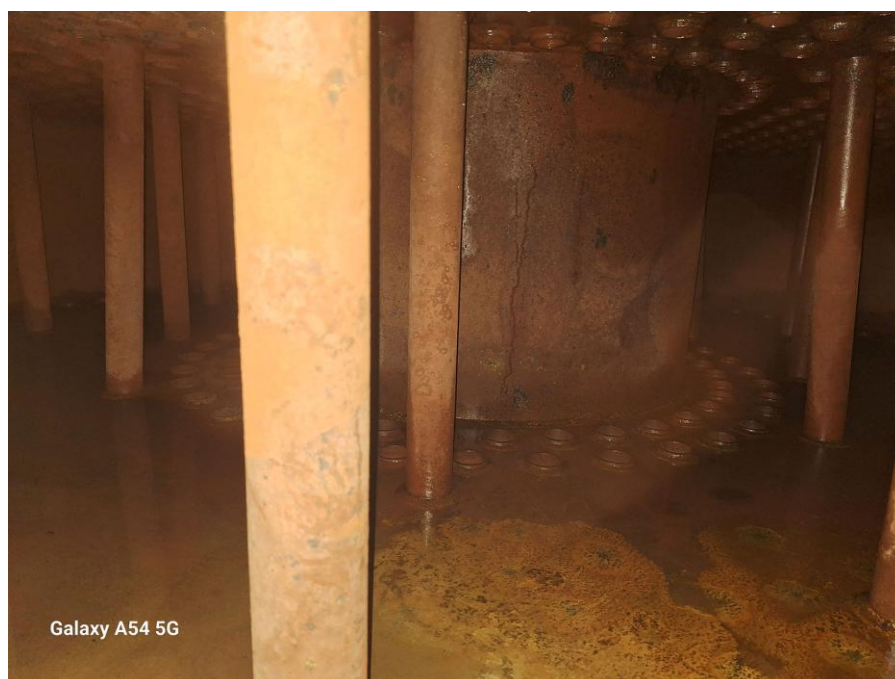


Рисунок И.4 – Промежуточный коллектор котла Кангрим MB02

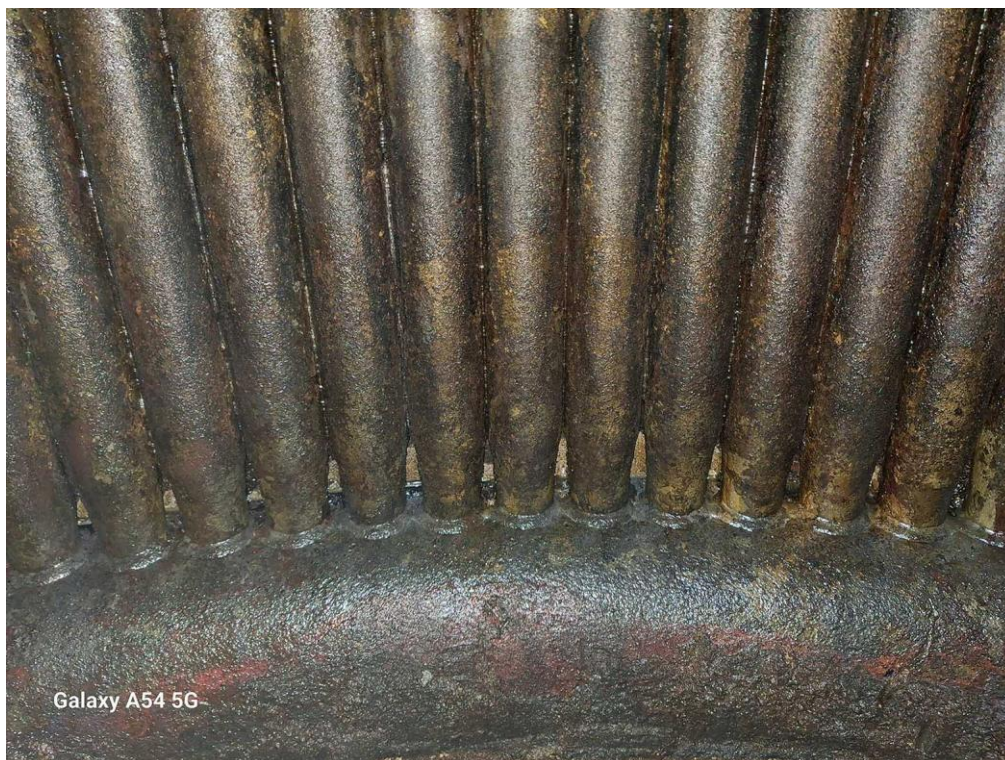


Рисунок И.5 – Элементы экрана и его коллектора котла Кангрим MB02

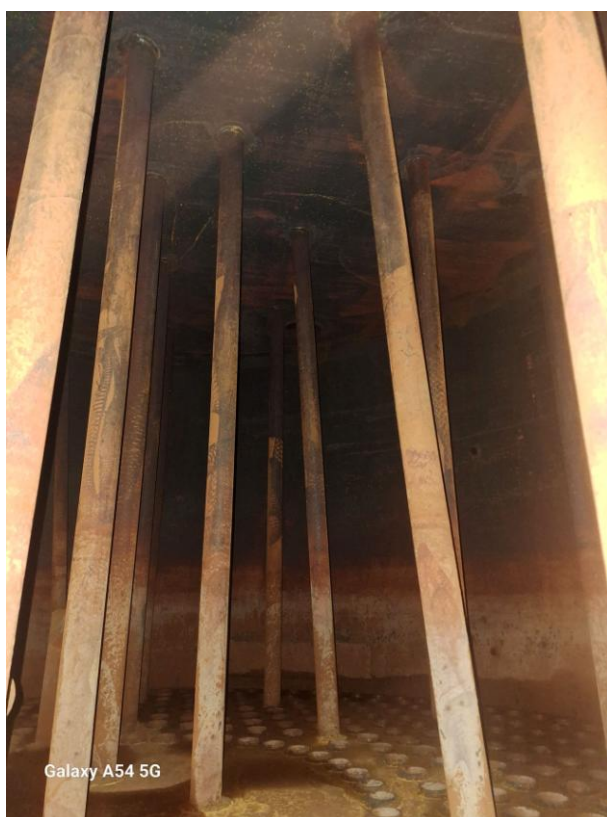


Рисунок И.6 – ПВК



Рисунок И.7 – Лазы котла



Рисунок И.8 – Общий вид котла Кангрим MB02

ПРИЛОЖЕНИЕ К

Техническая характеристика и описание котла МАК-30В

Котел водотрубный вертикальный, однопроходный, двухколлекторный. Паропроизводительность 26 т/ч насыщенного пара при давлении 1,6 МПа. Поверхность нагрева котла 328 м²; объем топki 20 м³. Масса воды в котле 8,2 т. Температура питательной воды 80,0–85,0 °С. КПД котла 80,5 %. Расход топлива на номинальном режиме 1935 кг/ч. Время разводки паров – 2,5 ч. Масса действующего котла 40 т. Масса котла без воды 31,4 т.

Содержание кислорода в уходящих газах 2,9 %. Масса продуктов сгорания 33090 кг/ч

Одна пароструйная форсунка. Расположение форсунки - потолочное. Размеры топчного пространства высота - 4,8 м; длина – 2,340 м; ширина 2,200 м. Топчное пространство полностью экранировано, за исключение пода. Боковые экраны установлены на коллекторах, приваренных к водяному и пароводяному коллекторам.

Испарительный пучек имеет направляющую перегородку, обеспечивающую поперечное обтекание трубного пучка дымовыми газами.

Испарительный пучек содержит 372 трубы диаметром 45 мм при толщине 2,9 мм. Трубы экранов количеством 15, 23 и 24 диаметром 76,2 мм при толщине 4,4 мм.

Рабочий уровень в котле ± 200 мм.

Расход воздуха для горения 31160 кг/ч; выход продуктов сгорания 33090 кг/ч.

На рисунке К.1 представлен поперечный разрез котла; на рисунке К.2 – главный вид; на рисунке К.3 – вид сбоку; на рисунке К.4 – вид сверху.

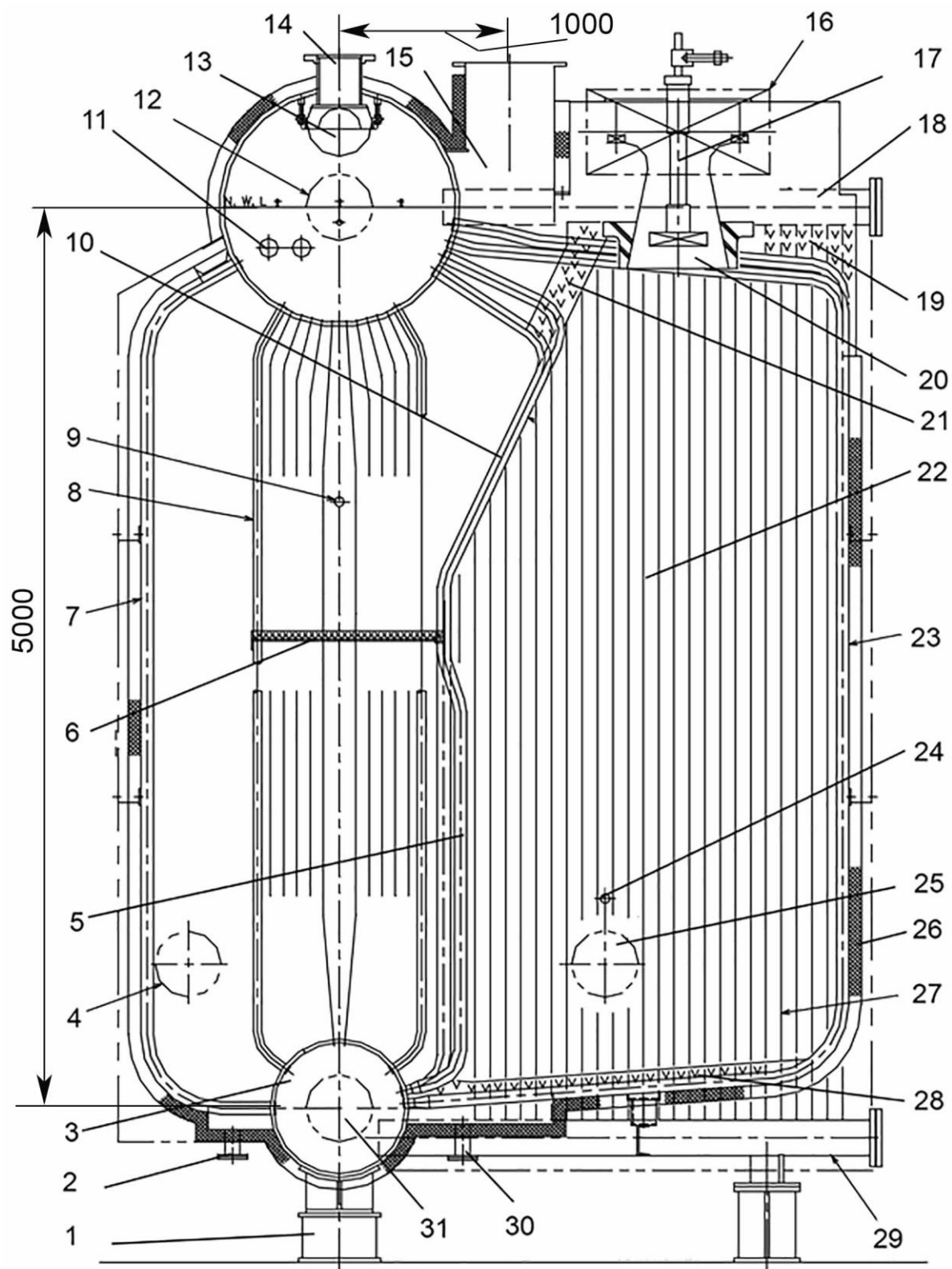


Рисунок К.1 – Поперечный разрез котла МАК-30В

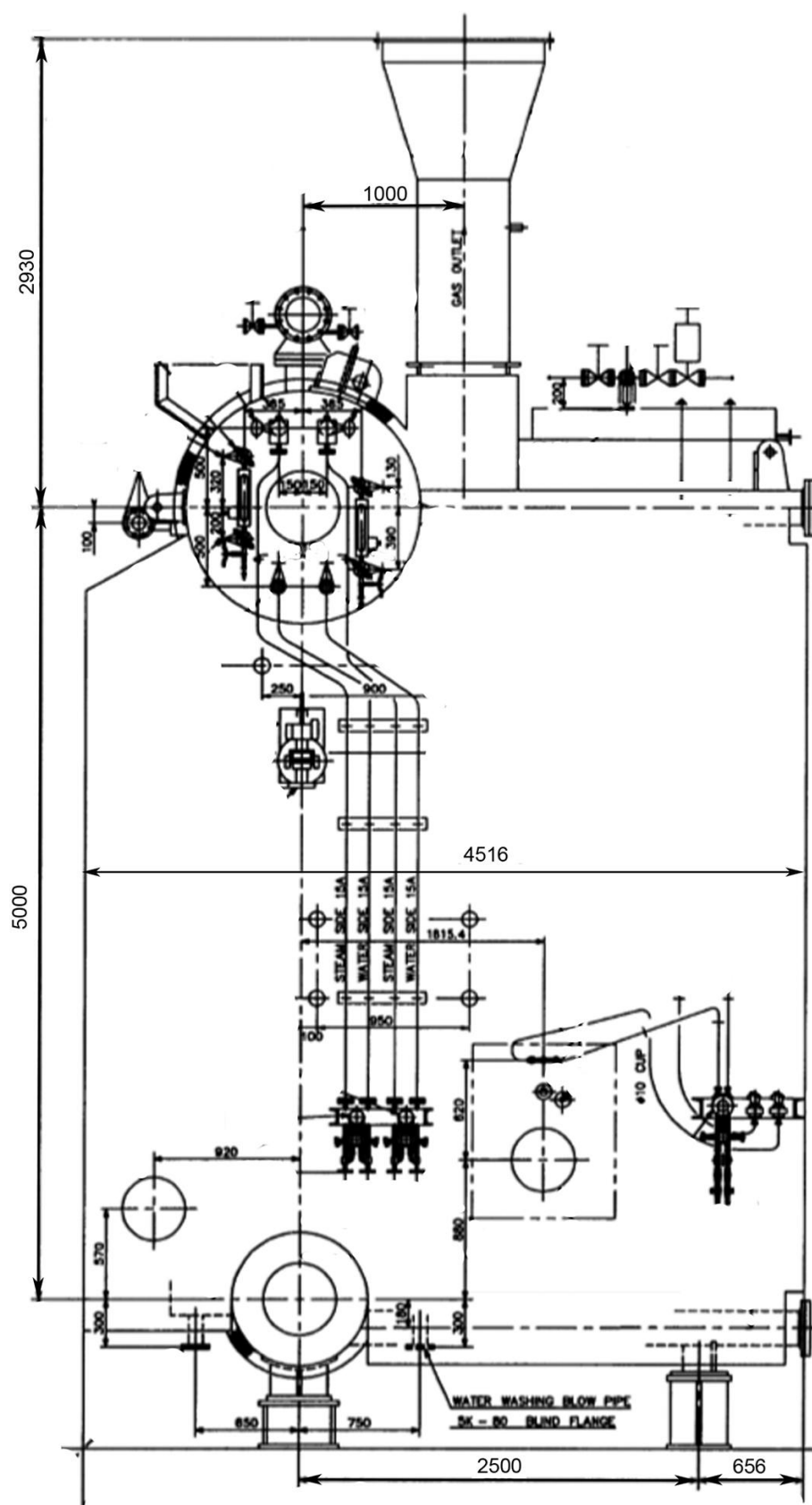


Рисунок К.2 – Котел МАК-30В. Главный вид

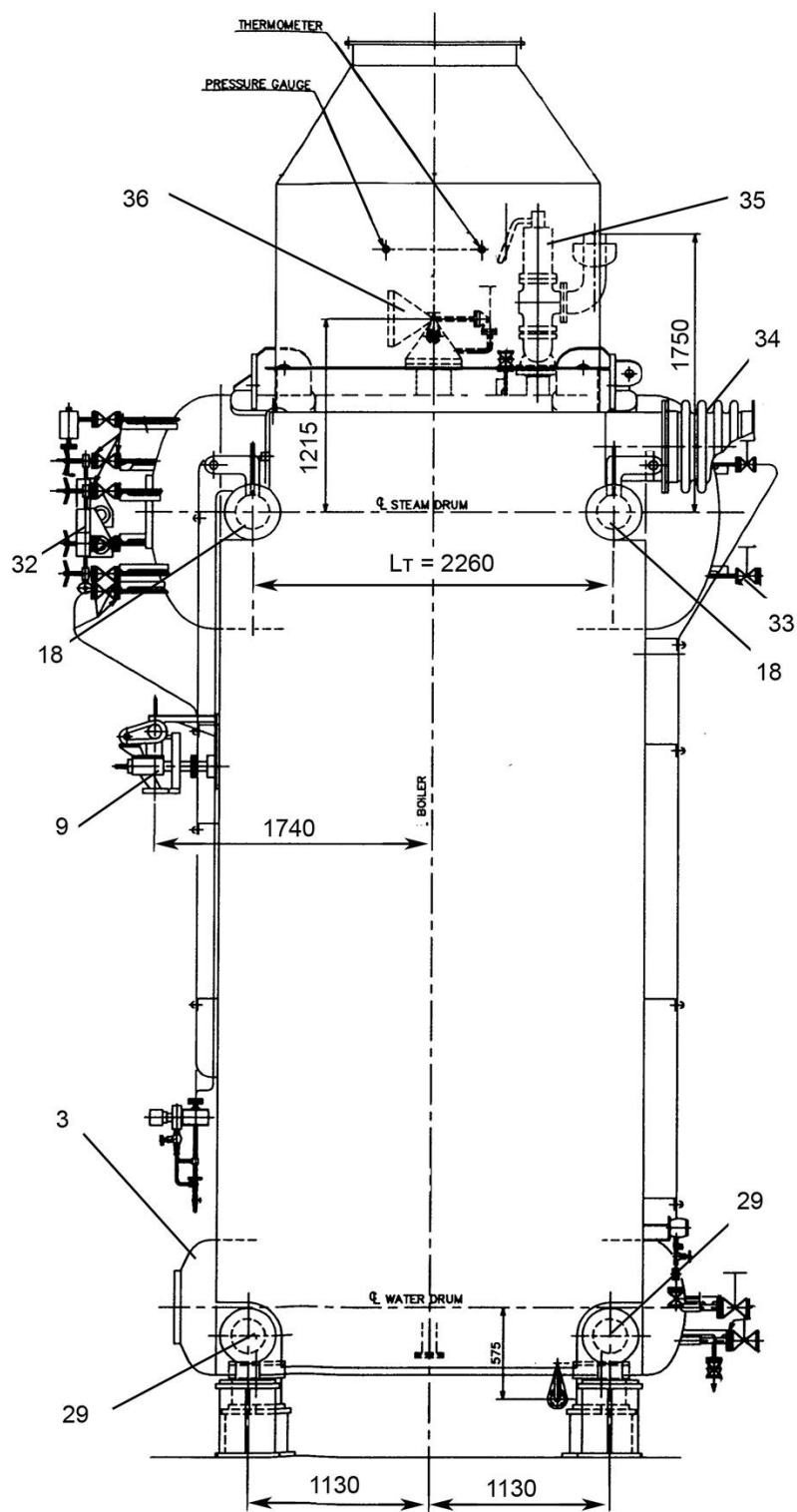


Рисунок К.3 – Котел МАК-30В. Вид сбоку

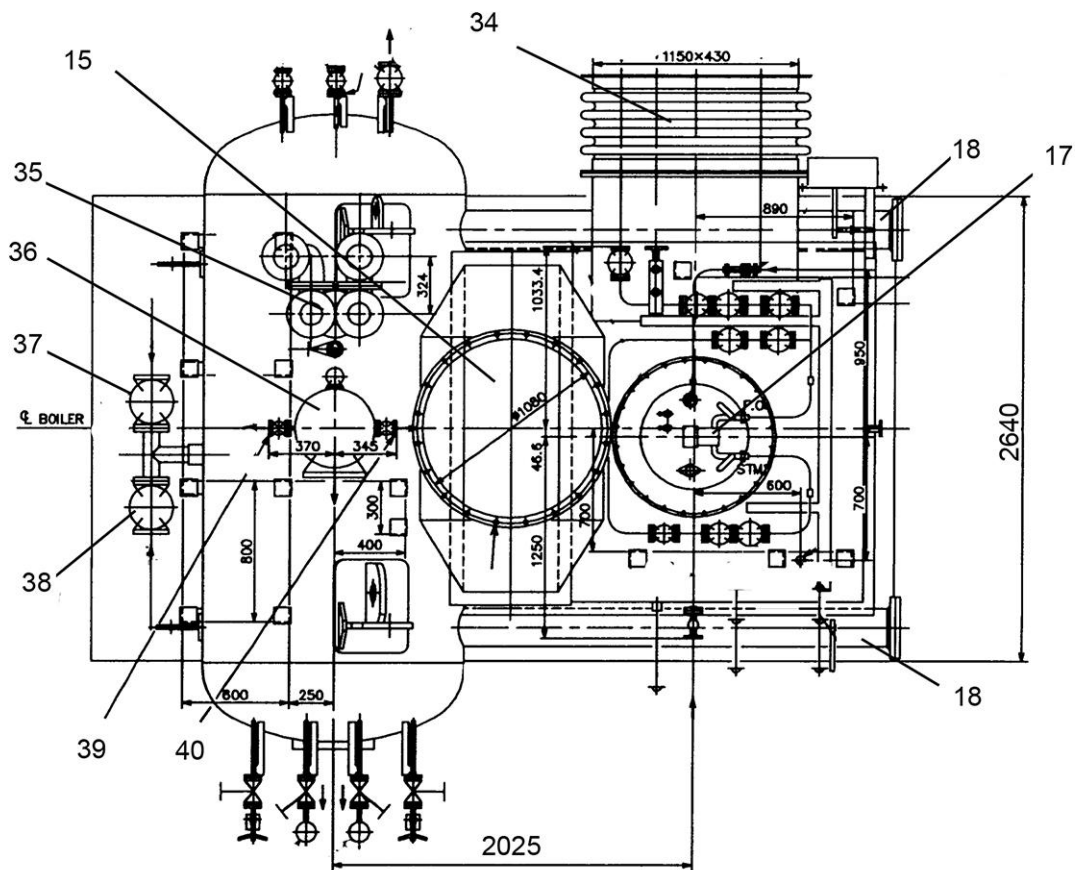


Рисунок К.4 – Котел МАК-30В. Вид сверху

1 – опорный стул; 2, 30 – дренажный патрубок; 3 – водяной коллектор; 4, 12, 25, 31 – лаз; 5 – рецесс для прохода газов в в конвективный пучек; 6 – направляющая перегородка; 7 – направляющий мембранный ряд испарительного пучка; 8 – конвективная часть испарительного пучка; 9 – сажеобдувочный аппарат; 10 – экранная часть 1 ряда испарительного пучка; 11 – питательная труба; 13 – паросборная труба; 14 – фланец отбора пара; 15 – газоотводный патрубок; 16 – топочное устройство; 17 – пароструйная форсунка; 18, 29 – коллектора боковых экранов; 19, 21, 28 – обмуровка; 20 – воздухонаправляющее устройство; 22 – топка; 23 – главный экран; 24 – гляделка; 26 – изоляция; 27 – боковой экран; 32 – водоуказательные приборы визуального контроля; 33 – клапан отбора проб на водоконтроль; 34 – сильфонный короб подвода воздуха для горения; 35 – предохранительный клапан; 36 – стопорный клапан Ду-200; 37 – запасной питательный клапан Ду-80; 38 – главный питательный клапан Ду-80; 39 – дренажный клапан паропровода отбора пара; 40 – деаэрационный клапан Ду-10

ПРИЛОЖЕНИЕ Л

Техническая характеристика и описание котла МАК-35В

Котел водотрубный вертикальный, однопроходный, двухколлекторный. Паропроизводительность 35 т/ч насыщенного пара при давлении 1,6 МПа. Поверхность нагрева котла 328 м²; объем топки 25 м³. Масса воды в котле 8,2 т. Температура питательной воды 80,0–85,0 °С. КПД котла 80,5 %. Время разводки паров – 2,5 ч.

Содержание кислорода в уходящих газах 2,9 %.

Масса котла без воды 31,4 т.

Расход топлива 2717 кг/ч. Одна пароструйная форсунка. Расположение форсунки - потолочное. Размеры топочного пространства высота - 4,8 м; длина – 2,340 м; ширина 2,400 м. Топочное пространство полностью экранировано, за исключение пода. Боковые экраны установлены на коллекторах, приваренных к водяному и пароводяному коллекторам. Форсунка – пароструйная.

Испарительный пучек имеет направляющую перегородку, обеспечивающую поперечное обтекание трубного пучка дымовыми газами.

Испарительный пучек содержит 372 трубы диаметром 45 мм при толщине 2,9 мм. Трубы экранов количеством 15, 23 и 24 диаметром 76,2 мм при толщине 4,4 мм.

Рабочий уровень в котле ± 200 мм.

Расход воздуха для горения 31160 кг/ч; выход продуктов сгорания 33090 кг/ч.

На рисунке Л.1 представлен поперечный разрез котла; на рисунке Л.2 – продольный разрез; на рисунке Л.3 – вид сверху. На рисунках Л.3 – габаритный размеры котла.

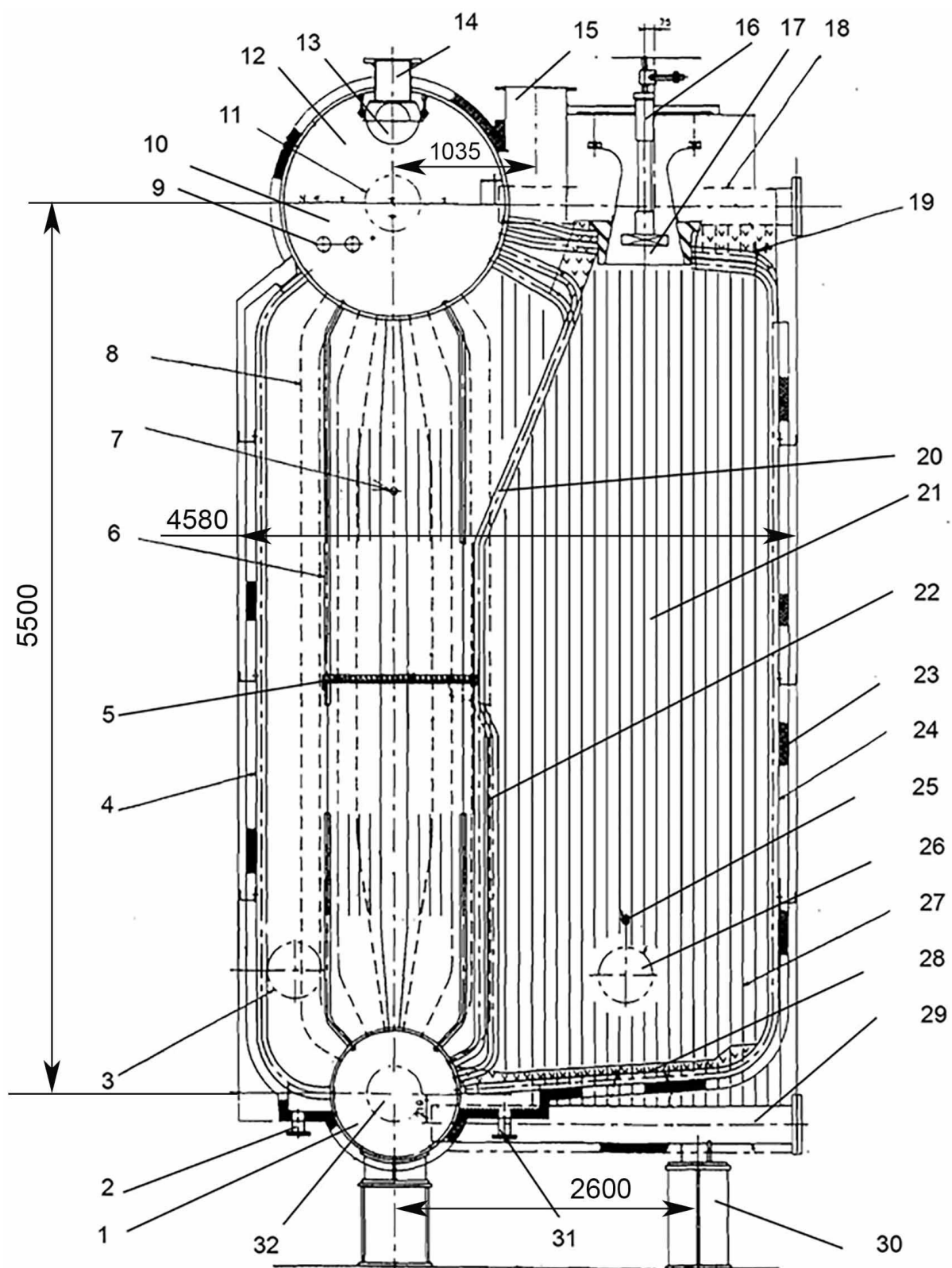


Рисунок Л.1 – Поперечный разрез котла МАК-35В

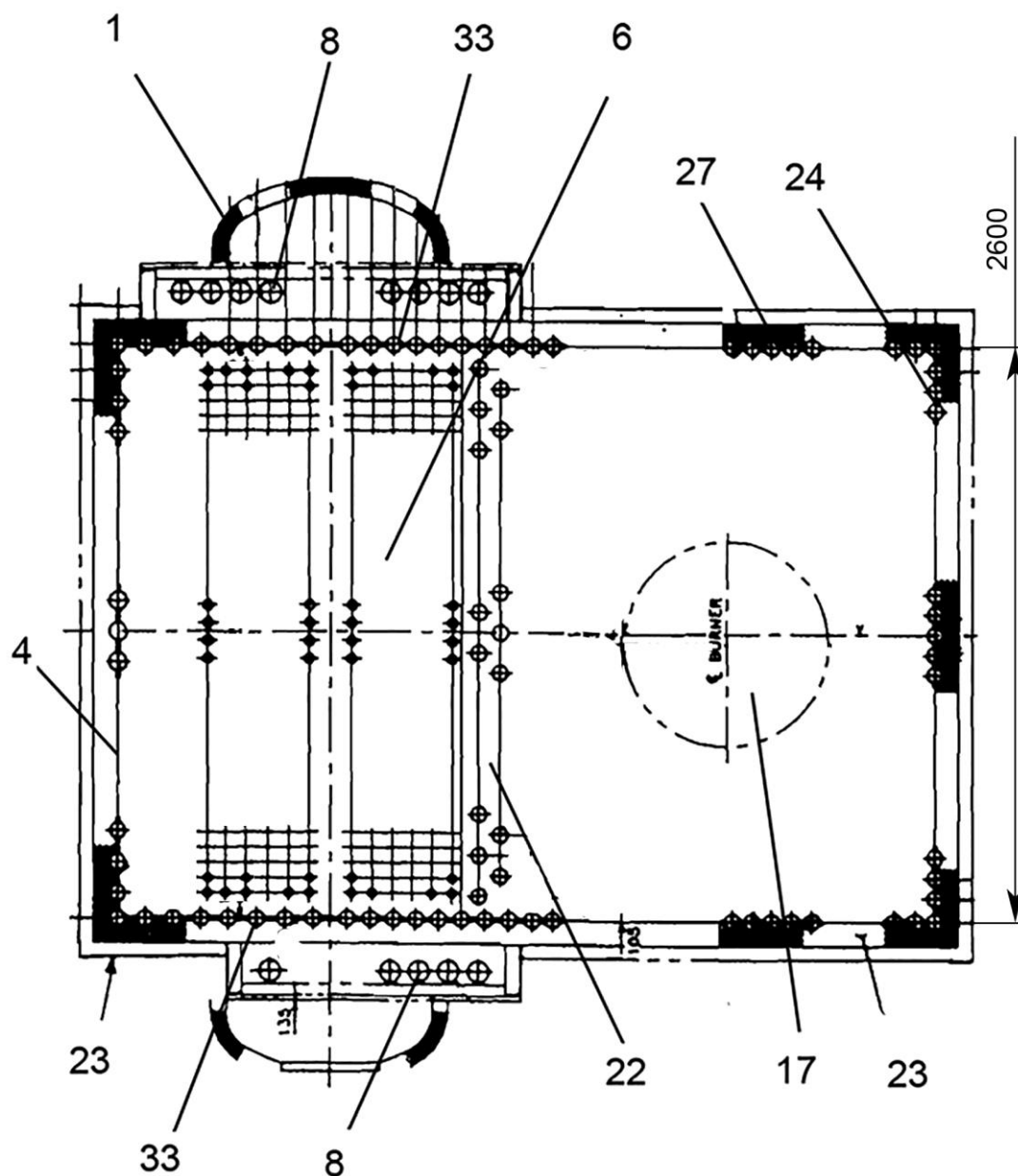


Рисунок Л.2 – Продольный разрез котла МАК-35В

На рисунках Л.1 и Л.2 цифрами обозначены элементы котла: 1 – водяной коллектор; 2, 31 – дренажные патрубки; 3, 11, 26, 32 – лазы в прочный корпус, в топку и в газоходы; 4 – направляющий мембранный ряд испарительного пучка; 5 – направляющая перегородка; 6 – конвективная часть испарительной поверхности (пучек состоит из труб диаметром 45 мм, поперечным шагом 68,5 мм, количество труб в ряду 35 шт.); 7 – сажеобдувочный аппарат; 8 – опускные трубы; 9 – питательная труба; 10 – пароводяной коллектор; 12 – паровое пространство; 13 – паросборная труба;

14 – фланец отбора пара; 15 – газоотводный патрубок; 16 – пароструйная форсунка; 17 – газоотводный патрубок; 18, 29 – коллектора боковых экранов (4 шт.); 19, 28 – обмуровка; 20 – экранная часть 1 ряда испарительного пучка; 21 – топка; 22 – рецесс для прохода газов в в конвективный пучек, состоит из 13 труб диаметром 76,2 мм; 23 – изоляция; 24 – главный экран; 25 – гляделка; 27 – боковой экран; 33 – направляющие мембранные конвективные поверхности.

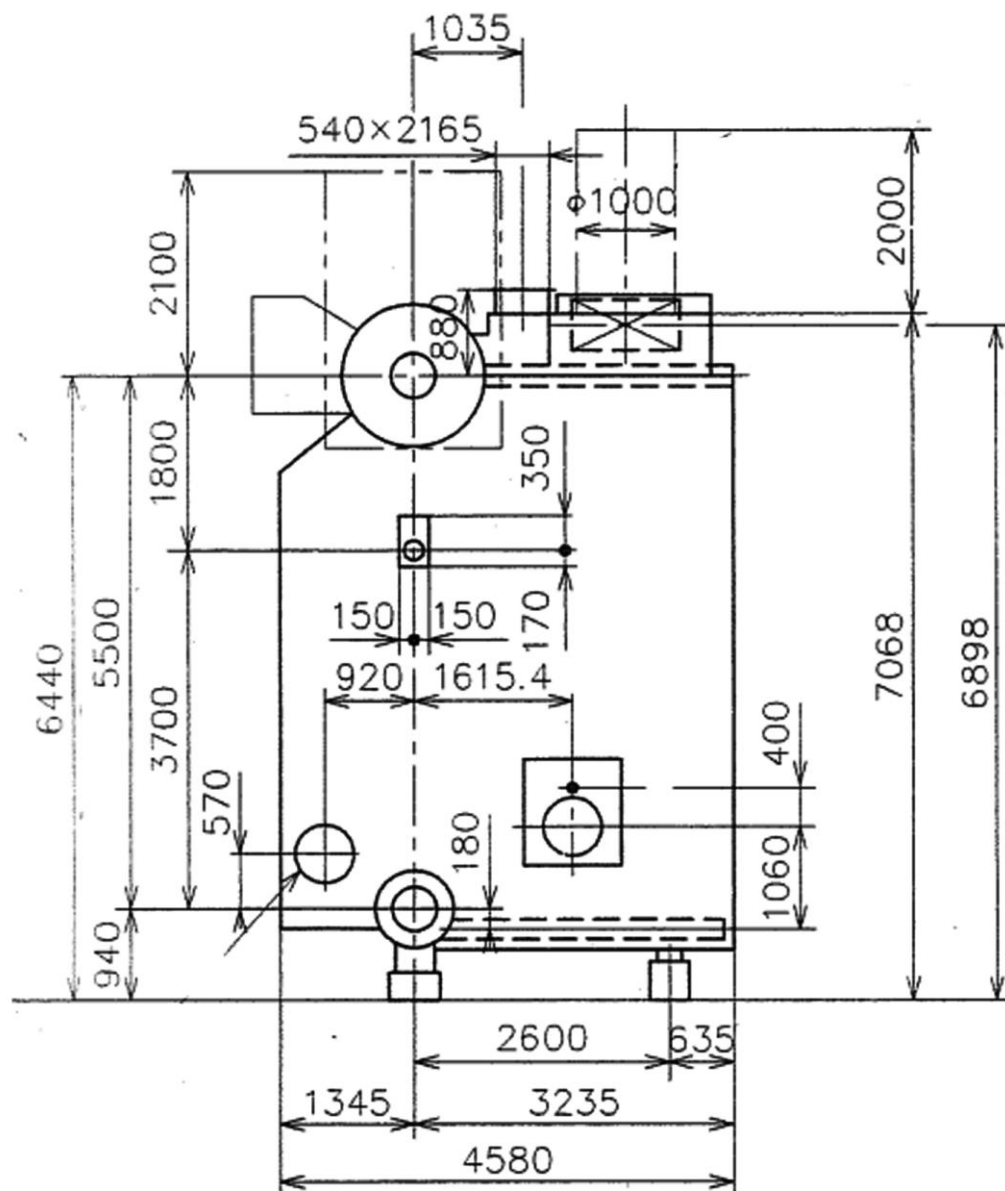


Рисунок Л.3 – Габаритные характеристики котла МАК-35В

ПРИЛОЖЕНИЕ М

Техническая характеристика и описание котла КВ-1

Котел КВ-1 водотрубный вертикальный, однопроточный, двухколлекторный. Паропроизводительность 35 т/ч насыщенного пара при давлении 2,55 МПа, КПД до 95 %, температура уходящих газов 145 °С. Котел используется для подогрева груза, обеспечения паром приводных турбин грузовых насосов, а также для направления продуктов сгорания в систему инертных газов. Температура газов, поступающих для заполнения танков, должна быть не более 150 °С, а содержание кислорода в них не более 5%, поэтому у котла КВ-1 предусмотрены развитые хвостовые поверхности. Хвостовыми поверхностями являются экономайзер и газовый воздухоподогреватель. Контур циркуляции образован из подъемных труб экрана, конвективного пучка труб и опускных труб, расположенных за первым рядом экрана. Котле снабжен сажеобдувочными устройствами и водоподогревателем, который установлен в водяном коллекторе и служит для подогрева питательной воды, направляемой в экономайзер. Это предусмотрено для повышения температуры стенок труб экономайзера и устранения низкотемпературной коррозии. Экономайзер состоит из двух секций. воздухоподогреватель двухсекционный обеспечивает температуру горячего воздуха 120 °С. Топочное устройство оборудовано двумя паро-механическими форсунками.

На рисунке М.1 представлен поперечный разрез котла, на рисунке М.2 – продольный разрез.

Масса котла с водой 96000 кг без воды 85000 кг. Поверхности нагрева: испарительная 630 м²; экономайзера 345 м²; воздухоподогревателя 869 м². Полное аэродинамическое сопротивление 4560 Па. Тепловое напряжение топочного объема 821 кВт/ м³. Высота парового пространства 0,5 м.

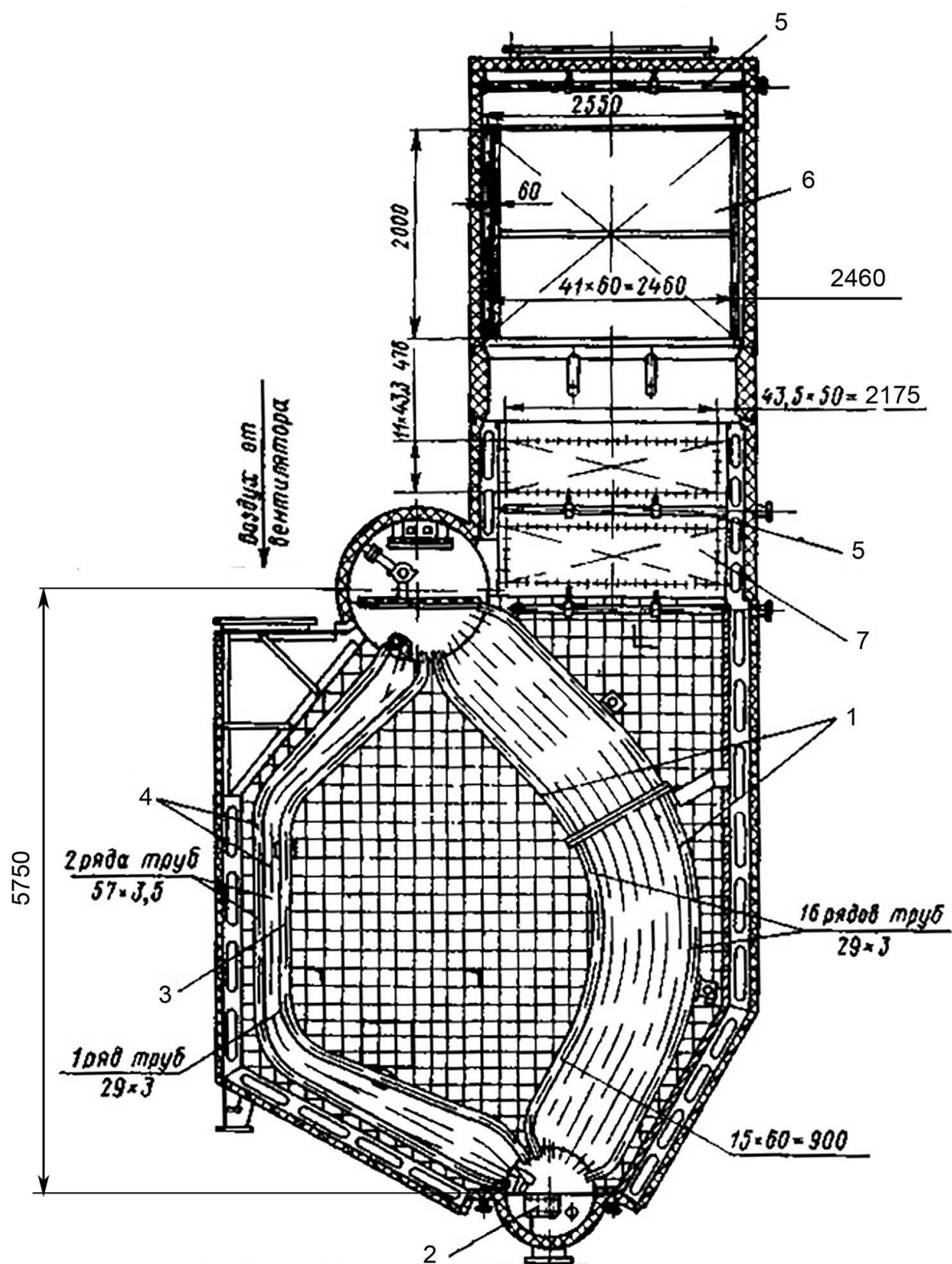


Рисунок М.1 – Поперечный разрез котла КВ-1

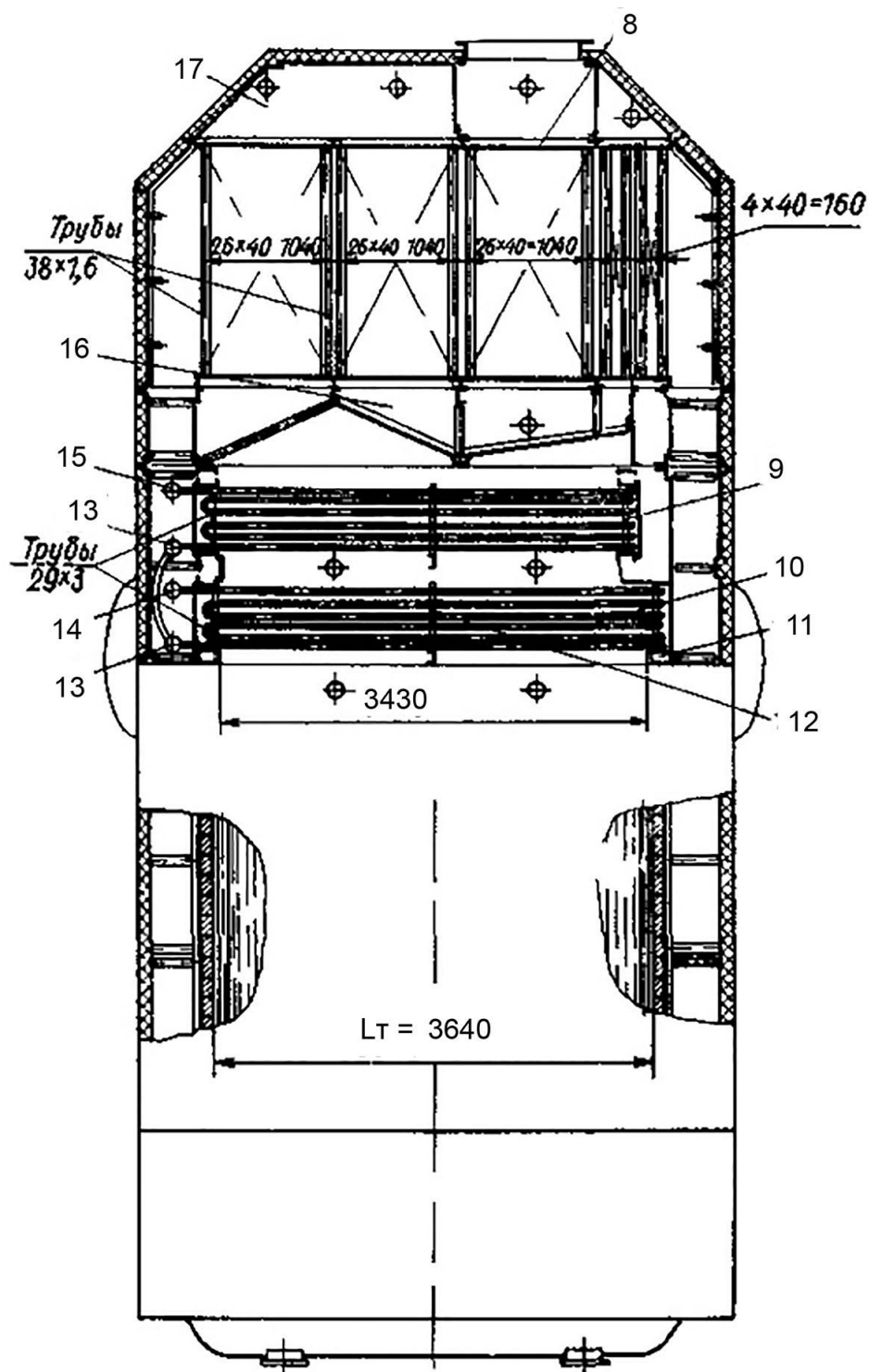


Рисунок Л.1 – Устройство котла КВ 1

На рисунках М.1 и М.2 отмечены следующие основные элементы котла КВ-1: 1 – кирпичная кладка топки; 2 – опора; 3 – экран; 4 – опускные трубы; 5 – сажеобдувочное устройство; 6 – двухсекционный воздухоподогреватель.

догреватель (каждая секция трехпроточная по ходу газов); 7 – двухсекционный экономайзер; 8 – испарительный пучек; 9 – гребенка для снижения вибрации труб испарительного пучка; 10 – межобшивочное пространство; 11 – направляющая перегородка для улучшения циркуляции; 12 – водоподогреватель; 13, 14, 15 – коллектора; 16, 17 – газовые камеры; 18 – подача воздуха от вентилятора; 19 – питательная труба; 20 – система верхнего продувания; 21 – пароводяной коллектор; 22 – выход продуктов сгорания из котла.

Движение пароводяного тракта организовано следующим образом: питательная вода подается насосом во входной коллектор первой секции экономайзера, затем принудительно поступает во вторую секцию и затем, недогретой до кипения на 30 ... 50 °С поступает в пароводяной коллектор. В испарительном контуре реализована надежная естественная циркуляция. Вода из пароводяного коллектора по опускным трубам поступает в водяной коллектор, откуда вода поступает во все парообразующие трубы. Пароводяная смесь из парообразующих труб поступает в пароводяной коллектор, откуда небольшая доля в виде пара идет к потребителю, а основная масс воды снова участвует в циркуляции.

Движение воздуха и продуктов сгорания организовано следующим образом: воздух для горения подается вентилятором в межобшивочное пространство, где проходит более 75 % объема межобшивочного пространства, далее поступает в воздухоподогреватель. Подогретый до 120 °С воздух от воздухоподогревателя спускается по межобшивочному пространству переднего фронта котла, откуда поступает на 4 воздухонаправляющих устройства форсунок. Дымовые газы, образовавшиеся в ходе сгорания топлива последовательно омывают все конвективные поверхности, передавая им свою теплоту и через воздухоподогреватель уходят в дымовую трубу.

ПРИЛОЖЕНИЕ Н

Техническая характеристика и описание котла КВ 1-1

Котел КВ 1-1 имеет паропроизводительность 30,0 т/ч; давление пара в котле (в пароводяном коллекторе) при 100% нагрузке 2,65 МПа; давление пара за стопорным клапаном 2,5 МПа; расход топлива – 2290 кг/ч; КПД котла 93,0 %; температура газов на выходе из котла 160 °С; температура перегретого пара – 320 °С; температура питательной воды 40°С; содержание кислорода в уходящих газах на нагрузках (50...100 %) – до 5%; давление топлива перед форсунками – 1,7 МПа; расход воздуха – 30000 нм³/ч; масса котла без воды 93000 кг; масса котла с водой 98000 кг. Длина топки 3640 мм.

Габариты котла: длина более 5000 мм; ширина – 5500 мм; высота ~11000 мм; расстояние между осями коллекторов во вертикали – 5750 мм.

Тепловое напряжение топочного пространства – 0,744 МВт/м². Полное аэродинамическое сопротивление – 3820 Па. Парообразующая поверхность нагрева – 462 м². Пароперегревательная поверхность нагрева – 422 м². Воздухоподогревательная поверхность нагрева – 1119 м². Относительное водосодержание – 0,35 кг/(кг/ч). Высота парового пространства – 0,5 м.

Котел КВ 1-1 устанавливается на танкерах для подогрева груза, обеспечения турбоприводов грузовых и зачистных насосов и общесудовых потребителей. Продукты сгорания котла используются в системе инертных газов на режимах работы котла от 50 до 100 % нагрузки. Высокое значение КПД достигается за счет развития хвостовых поверхностей нагрева: пароперегревательной и воздухоподогревательной.

На рисунке Н.1 представлен поперечный разрез котла. На рисунке введены следующие обозначения: кирпичная кладка топки; 2 – экран;

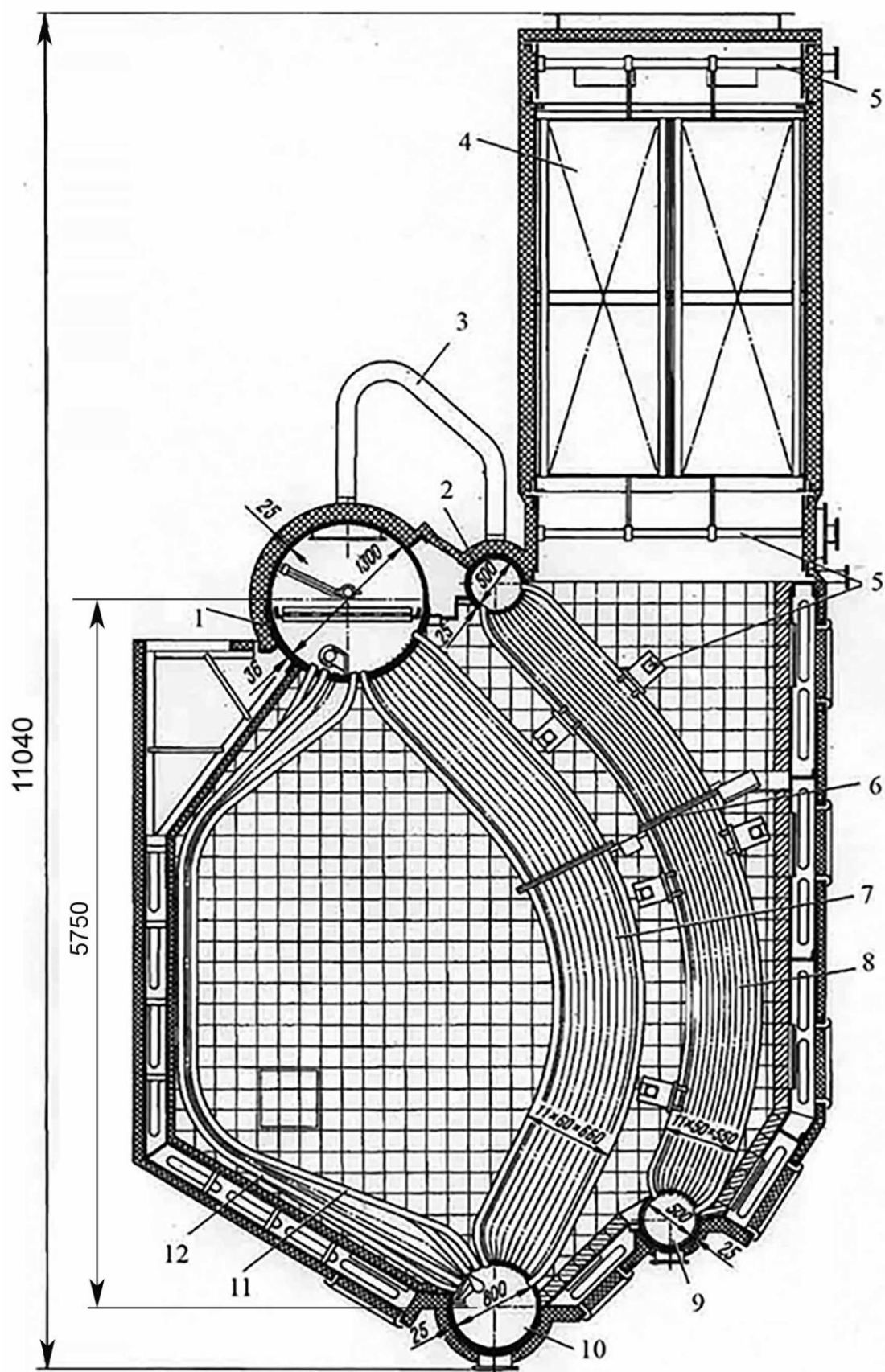


Рисунок Н.1 – Поперечный разрез котла KB 1-1

3 – опускные трубы; 4 – лаз; 5 – пароводяной коллектор; 6 – питательная труба; 7, 8 – нижний и верхний дырчатые щиты; 9 – паровое пространство; 10, 19 – коллектора пароперегревателя; 11 – перепускная труба; 12 – ВП; 13 – сажеобдувки; 14, 15 – антивибрационные гребенки; 16 – испарительный пучок; 17 – пароперегреватель; 20 – водяной коллектор.

На рисунках Н.2, Н.3, Н.4 представлены основные виды котла.

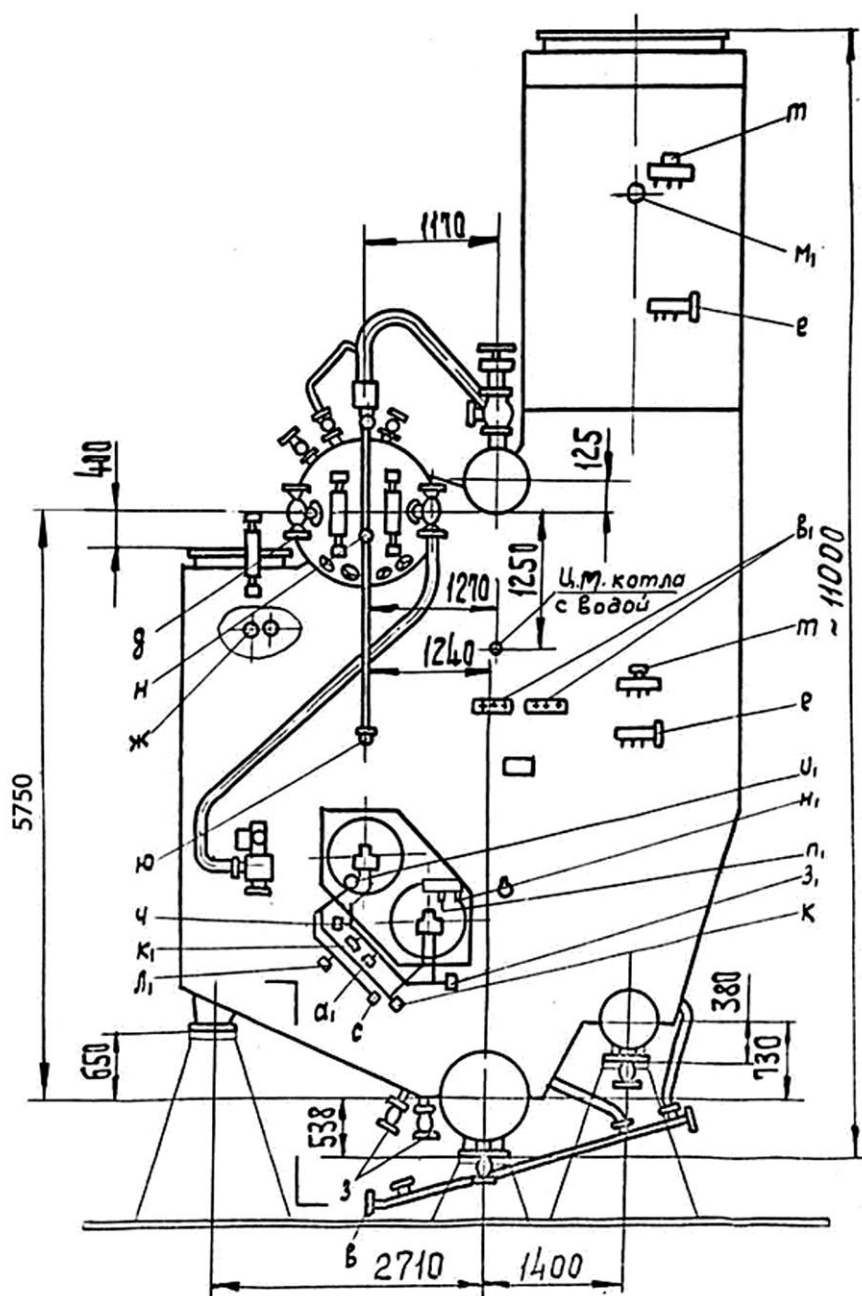


Рисунок Н.2 – Главный вид котла KB 1-1

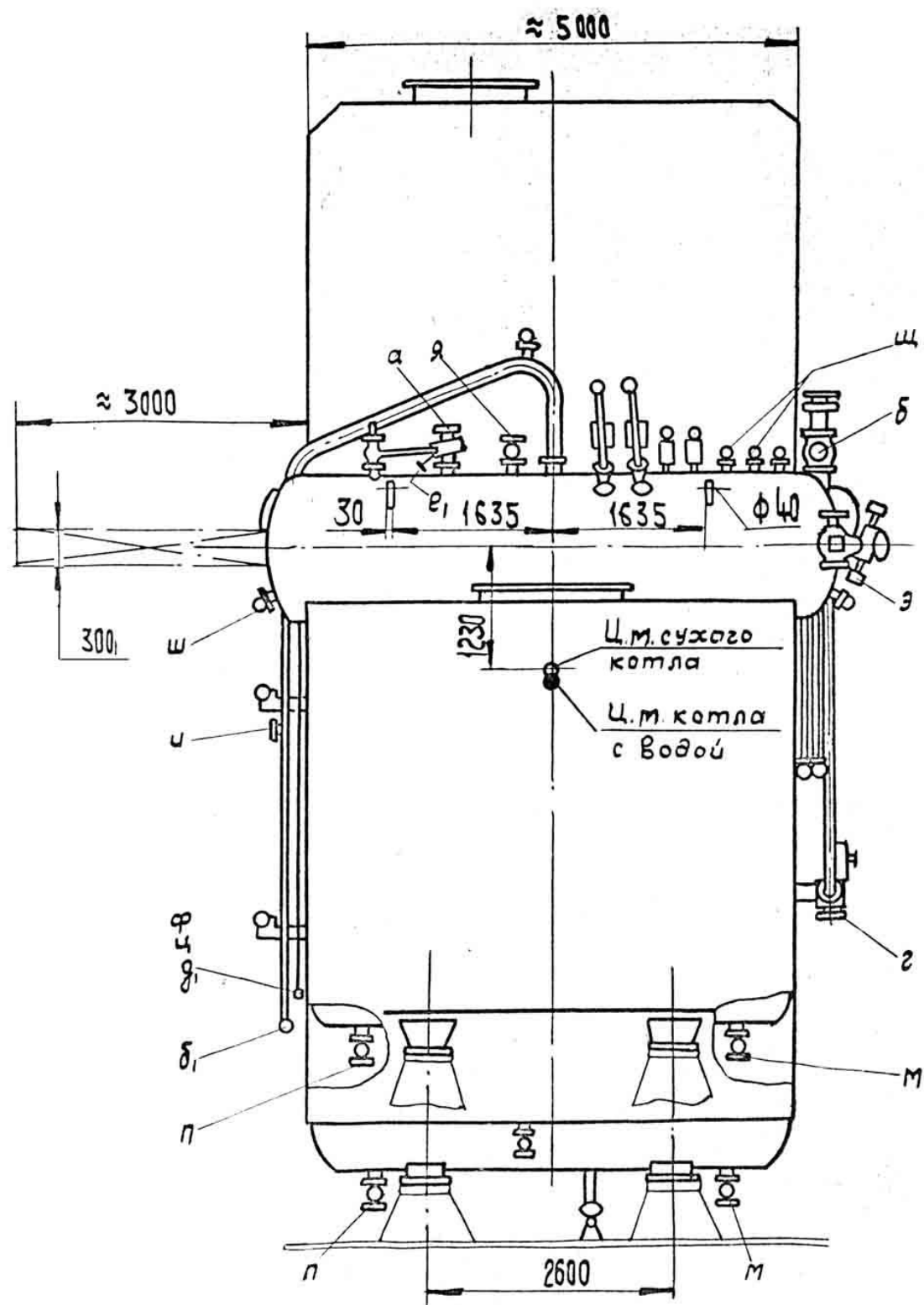


Рисунок Н.3 – Вид котла КВ 1-1 сбоку

ПРИЛОЖЕНИЕ О

Техническая характеристика и описание котла КВ -2

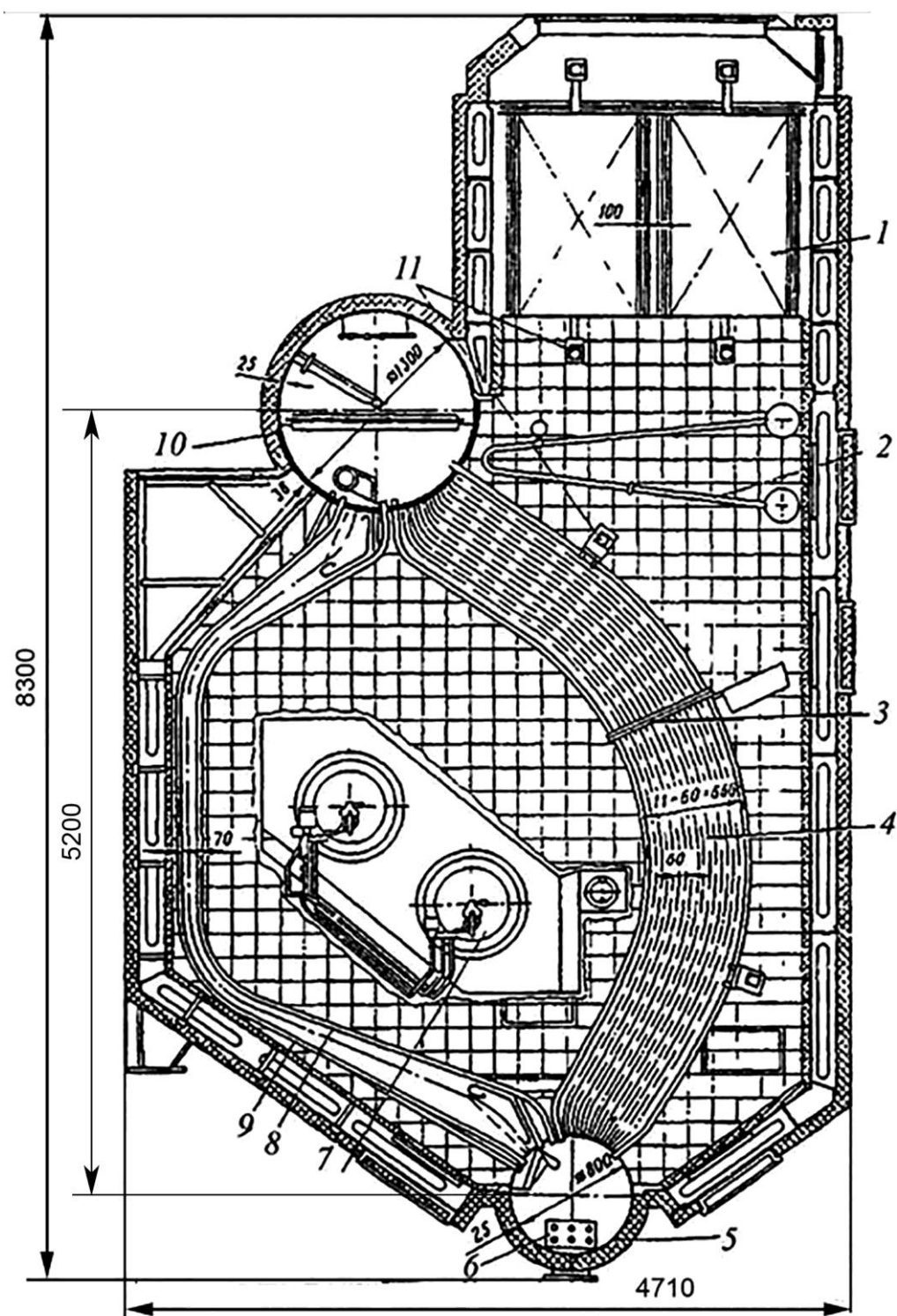
Котел КВ-2 имеет паропроизводительность 25,0 т/ч; давление пара в котле (в пароводяном коллекторе) при 100% нагрузке 1,75 МПа; давление пара за стопорным клапаном 1,6 МПа; расход топлива при – 2000 кг/ч; КПД котла 84,0 %; температура газов на выходе из котла 330 °С; температура перегретого пара – 225 °С; температура питательной воды 40°С; давление топлива перед форсунками – 1,3 МПа; расход воздуха – 25000 нм³/ч; масса котла без воды 55500 кг; масса котла с водой 65000 кг.

Габариты котла: длина ~ 6300 мм; ширина – 4750 мм; высота ~8300 мм; расстояние между осями коллекторов во вертикали – 5200 мм (рисунок О.1). Длина топки 3640 мм.

Тепловое напряжение топочного пространства – 0,79 МВт/м². Полное аэродинамическое сопротивление – 2300 Па. Парообразующая поверхность нагрева – 405 м². Пароперегревательная поверхность нагрева – 28 м². Воздухоподогревательная поверхность нагрева – 214 м². Относительное водосодержание – 0,182 кг/(кг/ч). Высота парового пространства – 0,5 м.

Котел КВ-2. Устанавливается на танкерах для подогрева груза, обеспечения турбоприводов грузовых и зачистных насосов и общесудовых потребителей. Продукты сгорания котла используются в системе инертных газов на режимах работы котла от 50 до 100 % нагрузки.

Котел водотрубный с естественной циркуляцией в парообразующем пучке, оснащен двухколлекторным петлевого типа пароперегревателем, одноходовым по воздуху и газам воздухоподогревателем. На переднем фронте установлено 2 паромеханических форсунки (рисунки О.2, О.3, О.4.).



1 – воздухоподогреватель; 2 – пароперегреватель; 3 – гребенка; 4 – испарительный пучек; 5 – водяной коллектор; 6 – подогреватель; 7 – топочное устройства; 8 – экран; 9 – опускные трубы; 10 – пароводяной коллектор; 11 – сажеобдувочные устройства

Рисунок О.1 – Поперечный разрез котла КВ 1-1

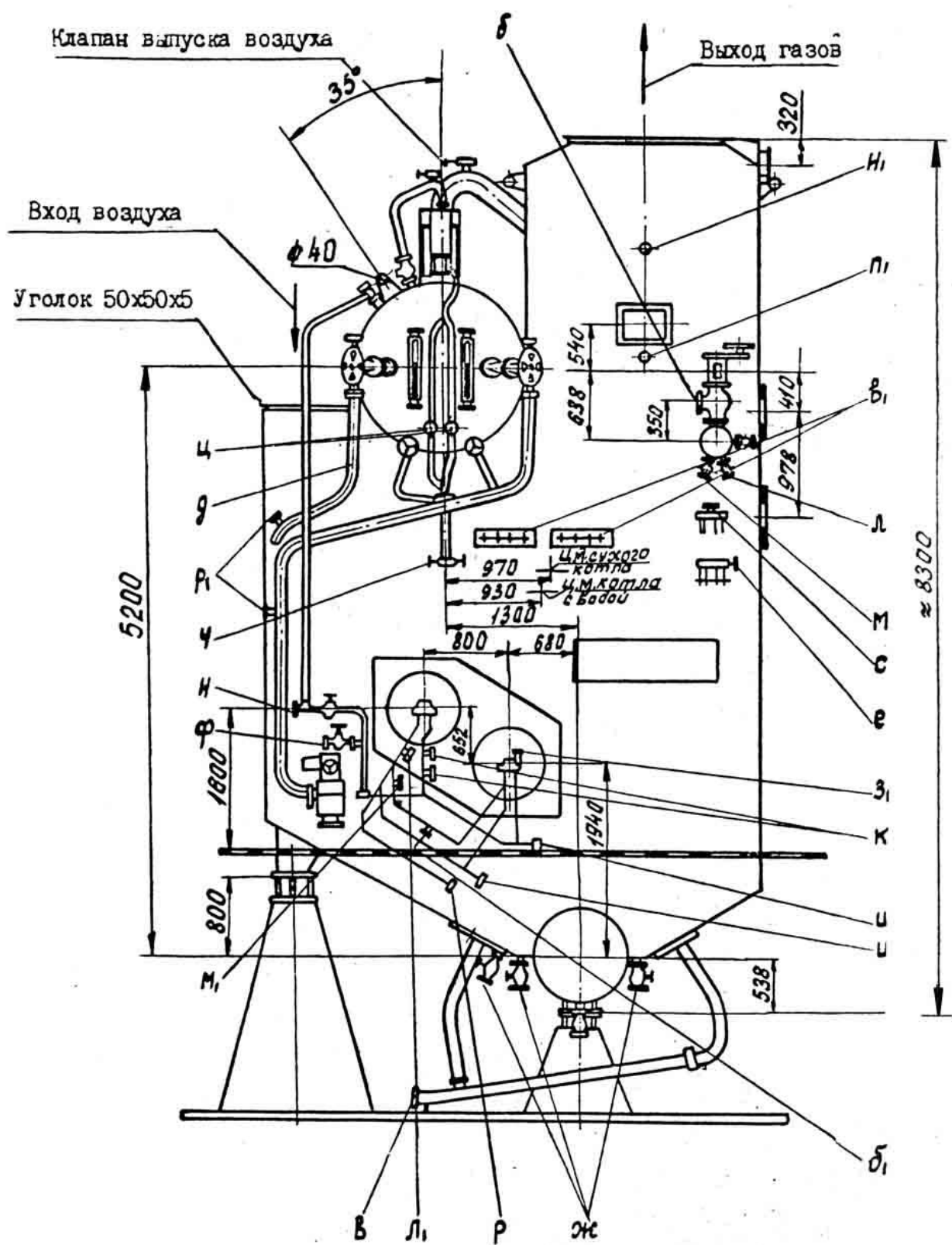


Рисунок О.2 – Главный вид котла KB-2

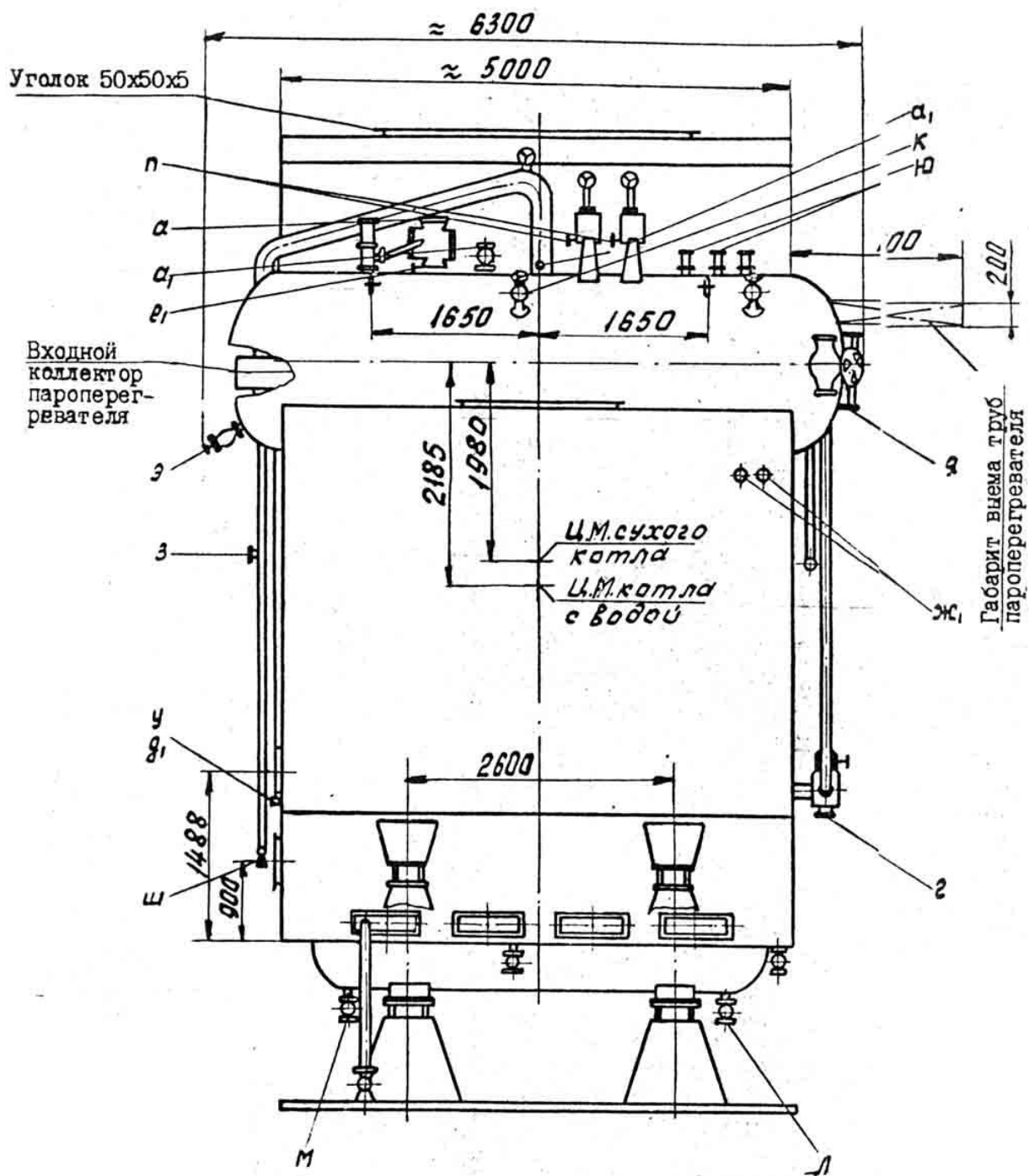


Рисунок О.3 – Вид котла КВ-2 сбоку

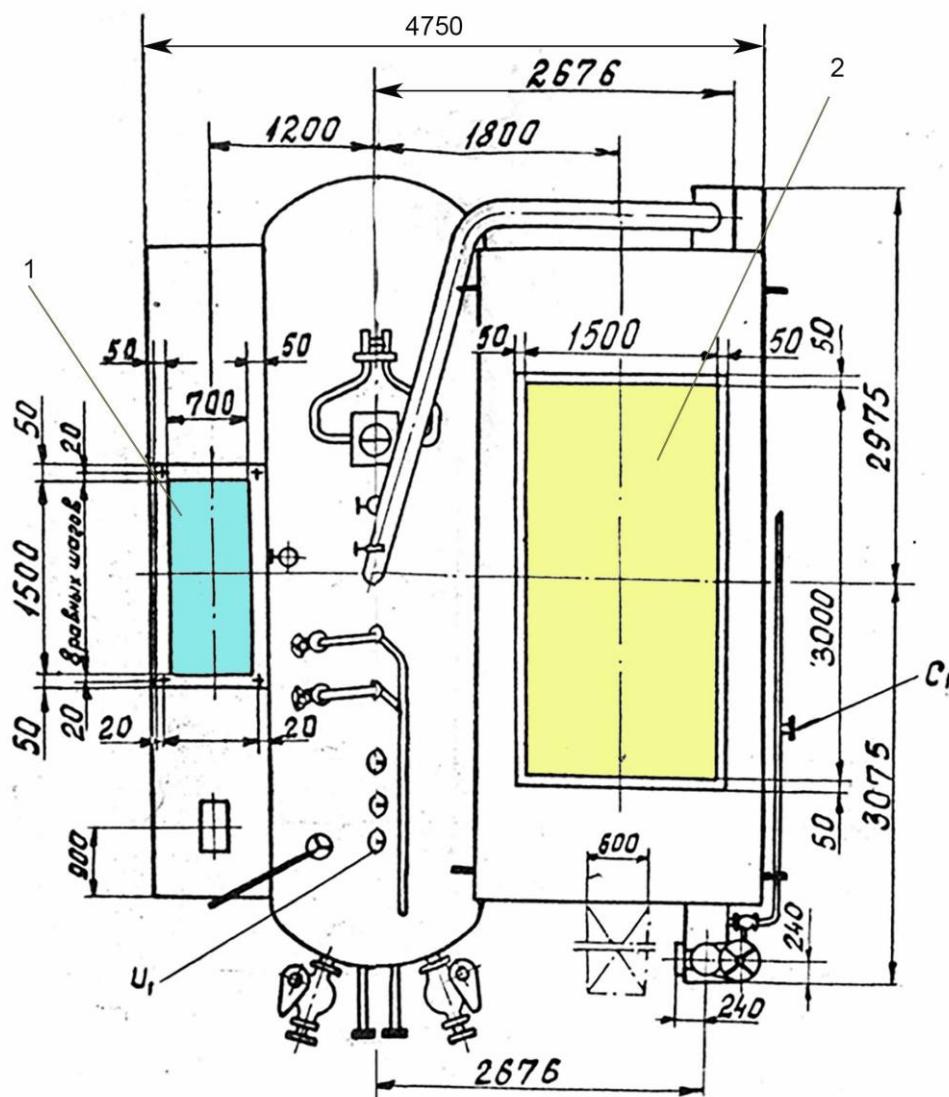


Рисунок О.4 – Вид котла КВ-2 сверху

На рисунках О.2, О.3, О.4 Приложения Н указаны следующие присоединительные размеры внешних трубопроводов: а - отвод пара от предохранительного клапана; б - отбор пара от котла; в - слив в трюм; г - регулятор питания; д - подвод питательной воды; е - пар для парохимической очистки; ж - спуск гудрона; з - подвод воды для обмывки котла; и - подача топлива к форсункам; к - верхнее продувание; л - нижнее продувание; м - спускные клапана; н - греющий пар из водоподогревателя; п - у датчику уровня; с - подвод раствора парохимической очистки; т - управление сервомоторами; у - подвод среды для сажеобдувок; ф - подвод воздуха на распыл топлива; ц - к датчикам уровня; ш - продувание сажеобдувок.

ПРИЛОЖЕНИЕ П

Техническая характеристика и описание котла КВ 35/25-1

Котел КВ 35/25-1 (рисунок П.1) имеет паропроизводительность 35,0 т/ч; давление пара в котле (в пароводяном коллекторе) при 100% нагрузке 2,65 МПа; давление пара за стопорным клапаном 2,4 МПа; расход топлива при – 2720 кг/ч; КПД котла 91,0 %; температура газов на выходе из котла 216 °С; температура перегретого пара – 330 °С; температура питательной воды 40°С; газовоздушное сопротивление котла – 3200 Па; давление топлива перед форсунками – 2,2 МПа; расход воздуха – 34000 нм³/ч; масса котла без воды 86000 кг; масса котла с водой 98000 кг. Длина топки 3640.

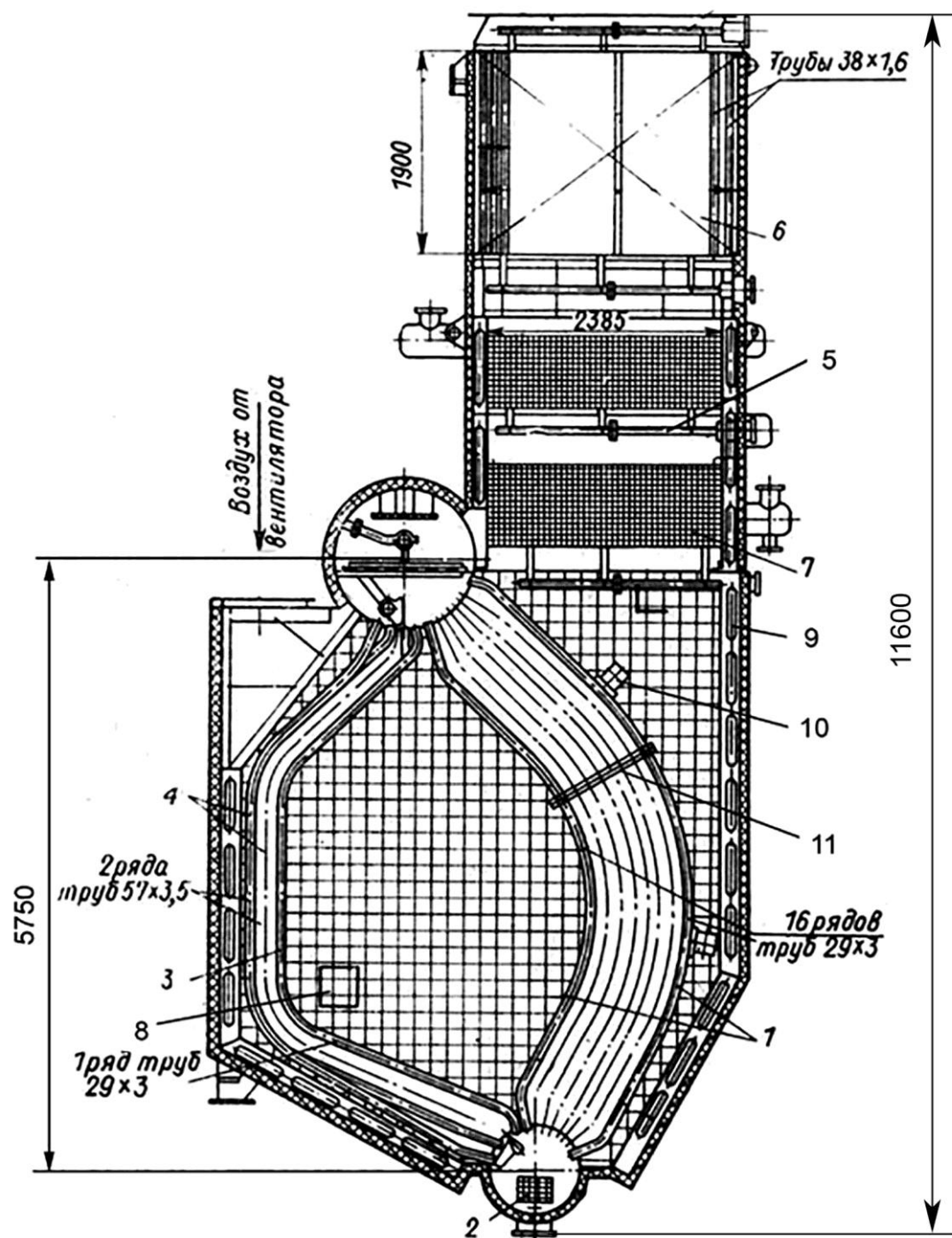
Габариты котла: длина ~ 6620 мм; ширина – 5450 мм; высота ~11600 мм; расстояние между осями коллекторов во вертикали – 5750 мм.

Тепловое напряжение топочного пространства – 0,884 МВт/м². Полное аэродинамическое сопротивление – 3160 Па. Парообразующая поверхность нагрева – 652 м². Пароперегревательная поверхность нагрева – 535 м². Воздухоподогревательная поверхность нагрева – 388 м². Относительное водосодержание – 0,37 кг/(кг/ч). Высота парового пространства – 0,5 м.

Котел КВ 35/25-1 устанавливается на танкерах для подогрева груза, обеспечения турбоприводов грузовых и зачистных насосов и общесудовых потребителей. Продукты сгорания котла используются в системе инертных газов на режимах работы котла от 50 до 100 % нагрузки.

Котел водотрубный с естественной циркуляцией в парообразующем пучке, оснащен змеевиковым двухсекционный пароперегреватель шахматного строения, одноходовым по воздуху и газам воздухоподогревателем. На переднем фронте установлено 4 паромеханических форсунки.

На рисунках П.2, П.3, П.4 представлены сведения о котле.



- 1 – испарительный пучок; 2 – подогреватель котловой воды; 3 – экран;
 4 – опускные трубы; 5 – сажеобдувочное устройство; 6 – воздухоподогреватель;
 7 – пароперегреватель; 8 – лаз; 9 – межобшивочное пространство;
 10 – опорная балка; 11 – гребенка

Рисунок П.1 – Поперечный разрез котла КВ 35/25-1

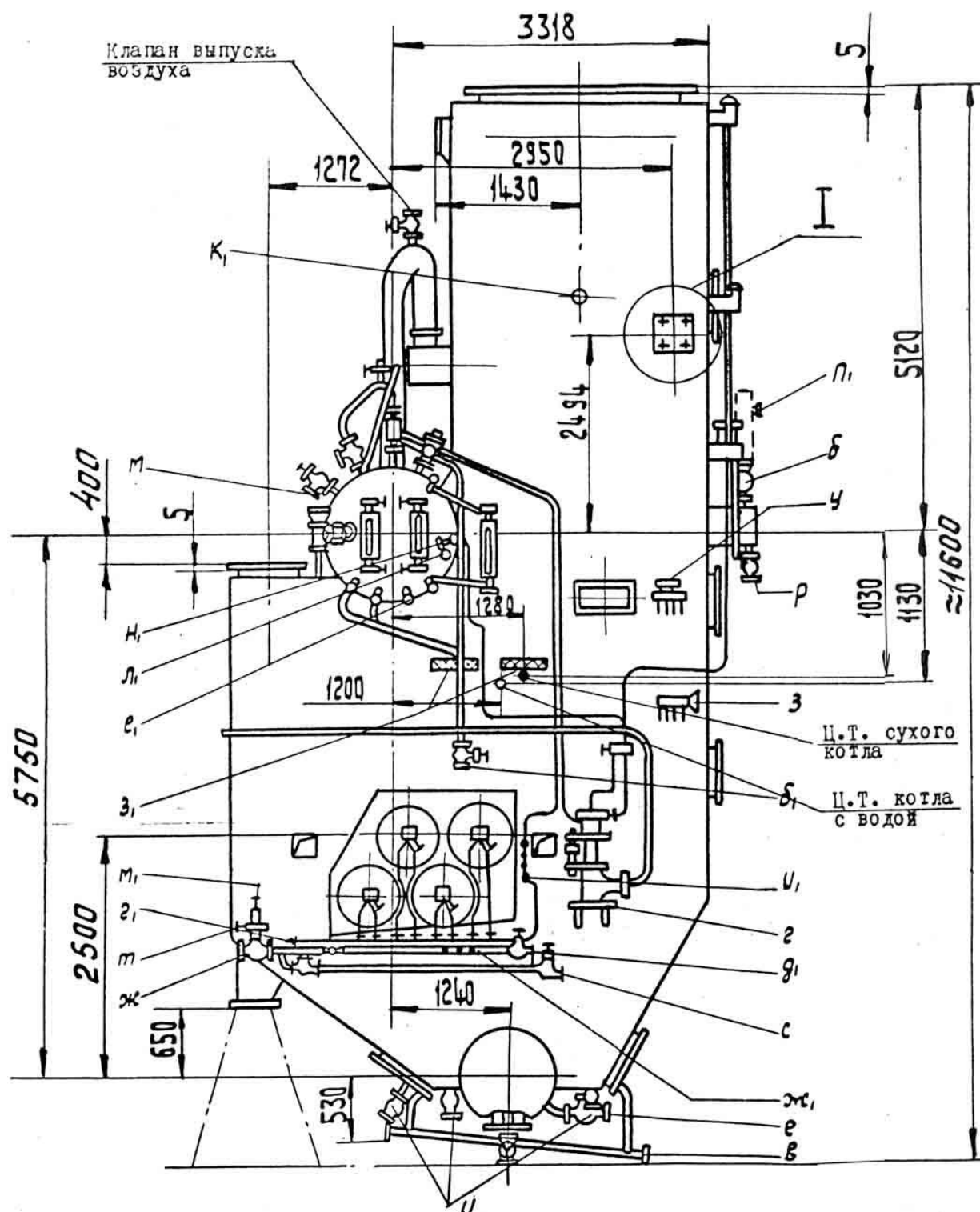


Рисунок П.2 – Главный вид котла КВ 35/25-1

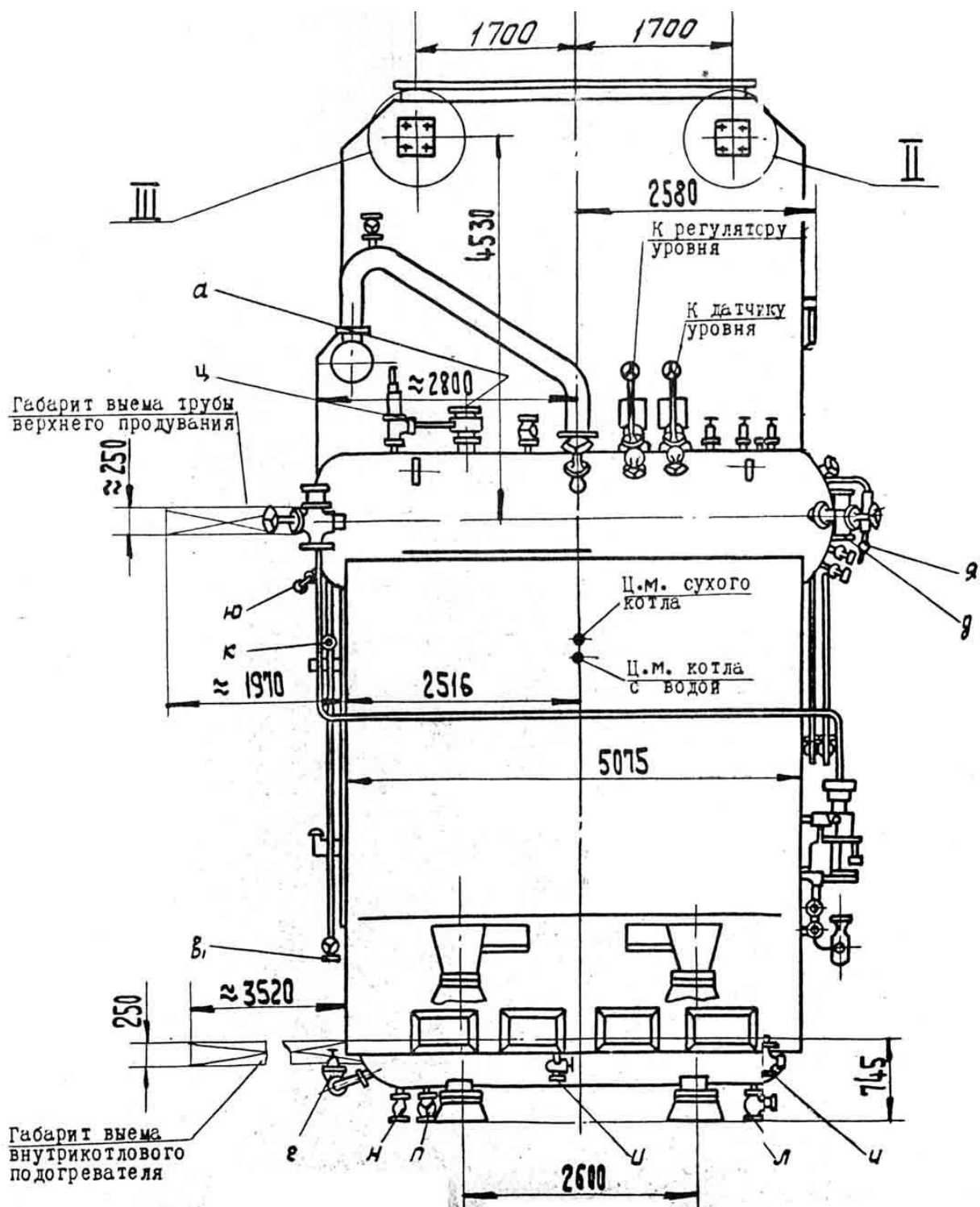


Рисунок П.3 – Вид котла KV 35/25-1 сбоку

ПРИЛОЖЕНИЕ Р

Техническая характеристика и описание котла КВ 22

Котел КВ-22 имеет паропроизводительность на номинальном режиме 22,0 т/ч; максимальную – 27 т/ч; давление пара в котле (в пароводяном коллекторе) при 100% нагрузке 2,8 МПа; расход топлива – 2040 кг/ч; КПД котла 87,0 %; температура перегретого пара – 300 °С.

Габариты котла: длина ~ 4790 мм; расстояние между осями коллекторов испарительного пучка – 4800 мм, расстояние между осями коллекторов пароперегревателя по вертикали – 3760 мм. Длина топки – 3000 мм. Ширина газохода 1500 мм. Внутренний диаметр пароводяного коллектора 1300 мм, толщина обечайки 16 мм, толщина трубной доски – 40 мм. Внутренний диаметр водяного коллектора – 770 мм, толщина стенки – 23 мм. Внутренний диаметр коллекторов пароперегревателя 500 мм, толщина стенки – 25 мм.

Испарительный пучек состоит из тринадцати рядов труб наружным диаметром 38 мм с толщиной стенки 3 мм. Экранный пучек состоит из трех рядов подъемных труб диаметром 38×3 мм. Опускных рядов – два наружным диаметром 57 мм и толщиной стенки 3,5 мм.

Пароперегреватель двухколлекторный составлен из 9 рядов труб с малым погибом наружным диаметром 29 мм и толщиной стенки 2,5 мм.

Экономайзер змеевиковый, гладкотрубный, скомпонован из труб с наружным диаметром 29 мм и толщиной стенки 2,5 мм. Расположение труб пучка – коридорное.

Для отопления котла на переднем фронте располагаются шесть механических форсунок производительностью каждой по 340 кг/ч. В пароводяном коллекторе расположены внутренние части, обеспечивающие питание его водой, сепарацию пара и др. Питание котла, горение топлива и ре-

гулирование перегрева автоматизированы. Пар, вырабатываемый котлом, используется для технологических целей.

На рисунке Р.1 представлен поперечный разрез котла КВ-22. На рисунке введены следующие обозначения: 1, 3 – лаз; 2 – водяной коллектор; 4 – опоры; 5 – коллектор пароперегревателя; 6 – испарительный пучек; 7 – межобшивочное пространство; 8 – пароперегреватель; 9 – сажеобдувочные устройства; 10, 12 – коллектора экономайзера; 11 – экономайзер; 13 – подача пара в пароперегреватель; 14 – воздушный кран; 15, 16 – верхний и нижний щиты; 17 – система верхнего продувания; 18 – питательная труба; 19 – вход воздуха; 20 – обмуровка; 21 – топочные устройства; 22 – опускные трубы; 23 – экран; 24 – перегородка.

Движение пароводяного тракта организовано следующим образом: питательная вода подается насосом в экономайзера, где она нагревается до температуры ниже температуры кипения на 30 ... 50 °С поступает в пароводяной коллектор. В испарительном контуре реализована надежная естественная циркуляция. Вода из пароводяного коллектора по опускным трубам поступает в водяной коллектор, откуда вода поступает во все парообразующие трубы. Пароводяная смесь из парообразующих труб поступает в пароводяной коллектор, откуда небольшая доля в виде пара идет на пароперегреватель и далее к потребителю, а основная масса воды снова участвует в циркуляции.

Движение воздуха и продуктов сгорания организовано следующим образом: воздух для горения подается вентилятором в межобшивочное пространство, где подогревается на 30°С, откуда поступает на 6 воздухо-направляющих устройства форсунок. Дымовые газы, образовавшиеся в ходе сгорания топлива последовательно омывают все конвективные поверхности, передавая им свою теплоту и уходят в дымовую трубу.

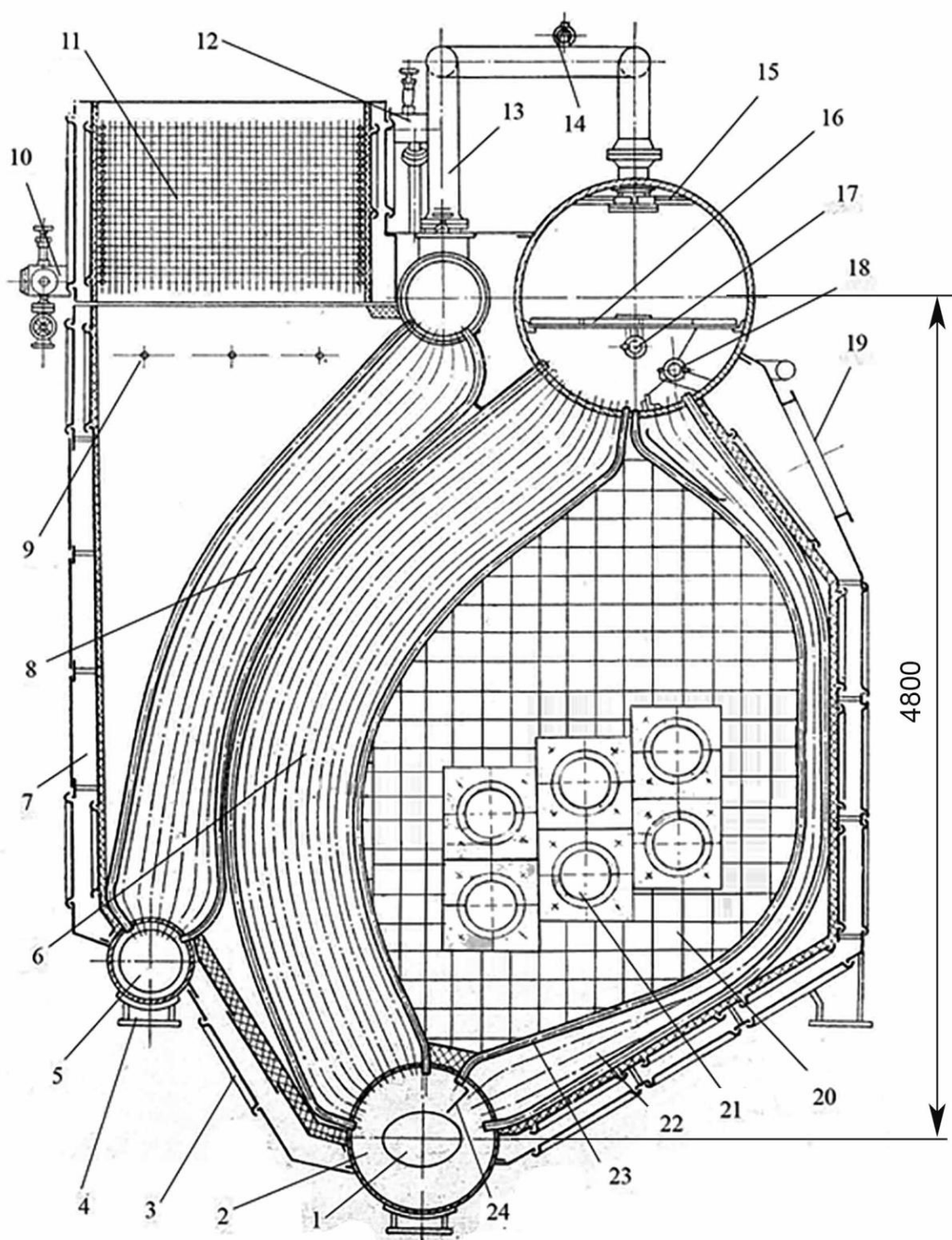


Рисунок Р.1 – Поперечный разрез котла КВ 22

Приложение С

Техническая характеристика и описание котла CPDB-10

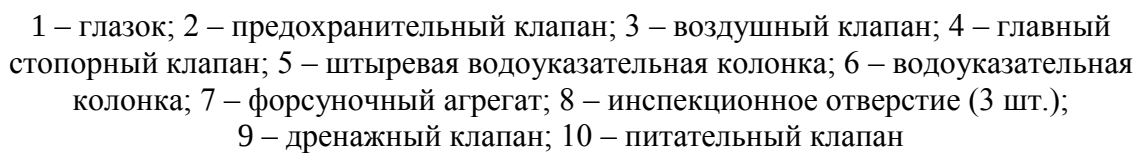
Котел паровой – вспомогательный цилиндрический вертикальный комбинированного омывания, оснащен ошипованными элементами для интенсификации теплообмена. Котел имеет паропроизводительность 1000 кг/ч, пар – насыщенный; рабочее давление 0,6 МПа, максимальное давление 0,7 МПа.

Котел автоматизированный, имеет возможность работать на тяжелом топливе. Температура питательной воды 60 °С. Площадь поверхности нагрева 14,5 м²; объем топки 1,12 м³.

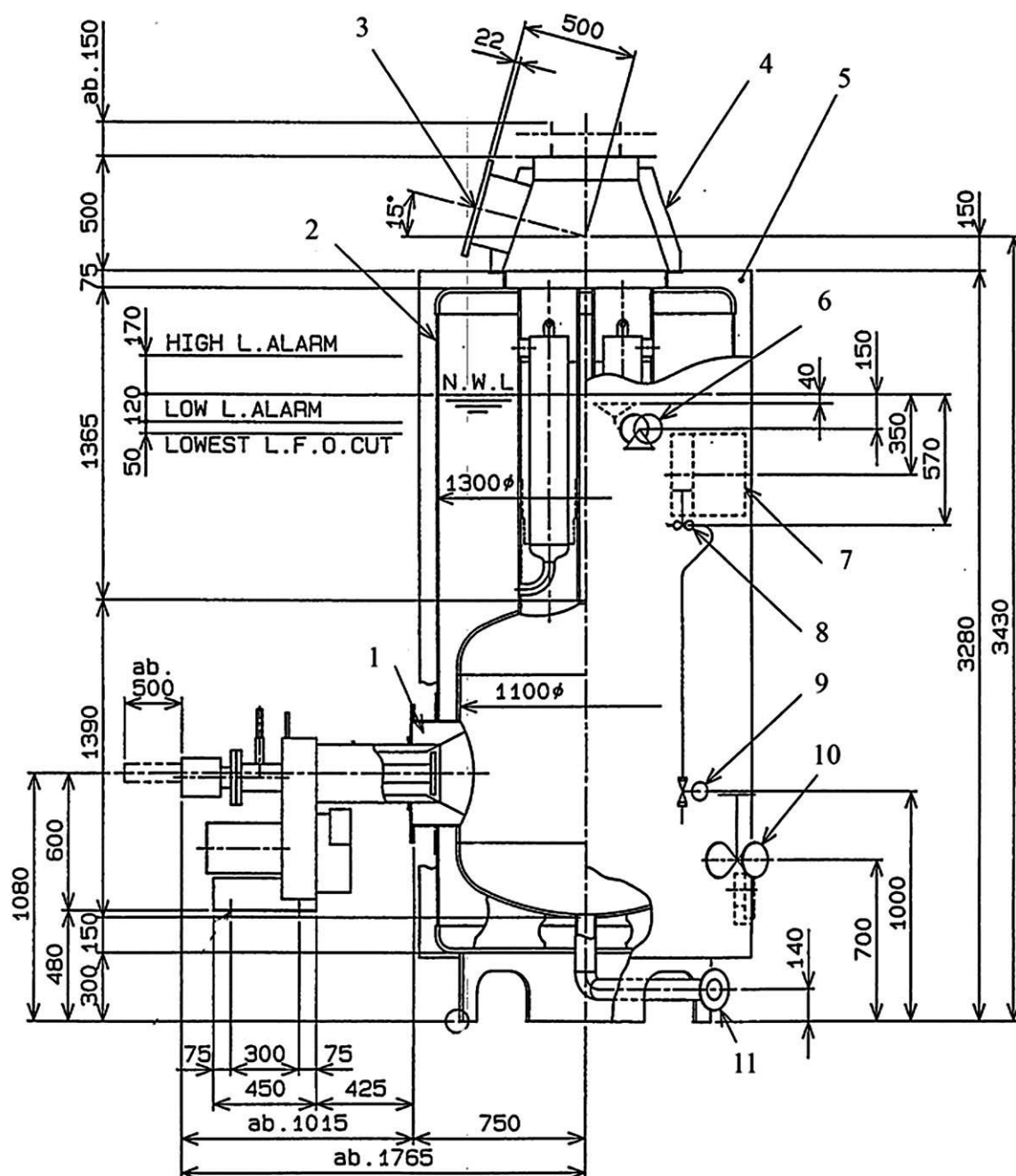
Объем парового пространства 0,53 м³; объем водяного пространства – 1,8 м³. Масса котла (без воды) – 3600 кг. Масса форсуночного агрегата 240 кг.

Аэродинамическое сопротивление 650 Па; расход топлива 77,2 кг/ч. Температура воздуха 45 °С. Форсуночный агрегат VJ30-140, полностью автоматизированный имеет максимальный расход топлива 82 кг/ч, давление топлива 1,85 МПа. Коэффициент избытка воздуха 1,2. Топка – полностью водоохлаждаемая (полное экранирование). Амбразура форсунки охлаждается с помощью специального коллектора.

Котел оснащен тремя ошипованными элементами. Этот элемент представляет собой парообразующую трубу, наружная поверхность которой покрыта стальными шипами, приваренных к трубе с помощью автоматической сварки. Элемент установлен сваркой внутри дымогарной трубы, так что его вход и выход подключены пароводяному тракту котла. Основа работы элемента – надежная естественная циркуляция в нем.

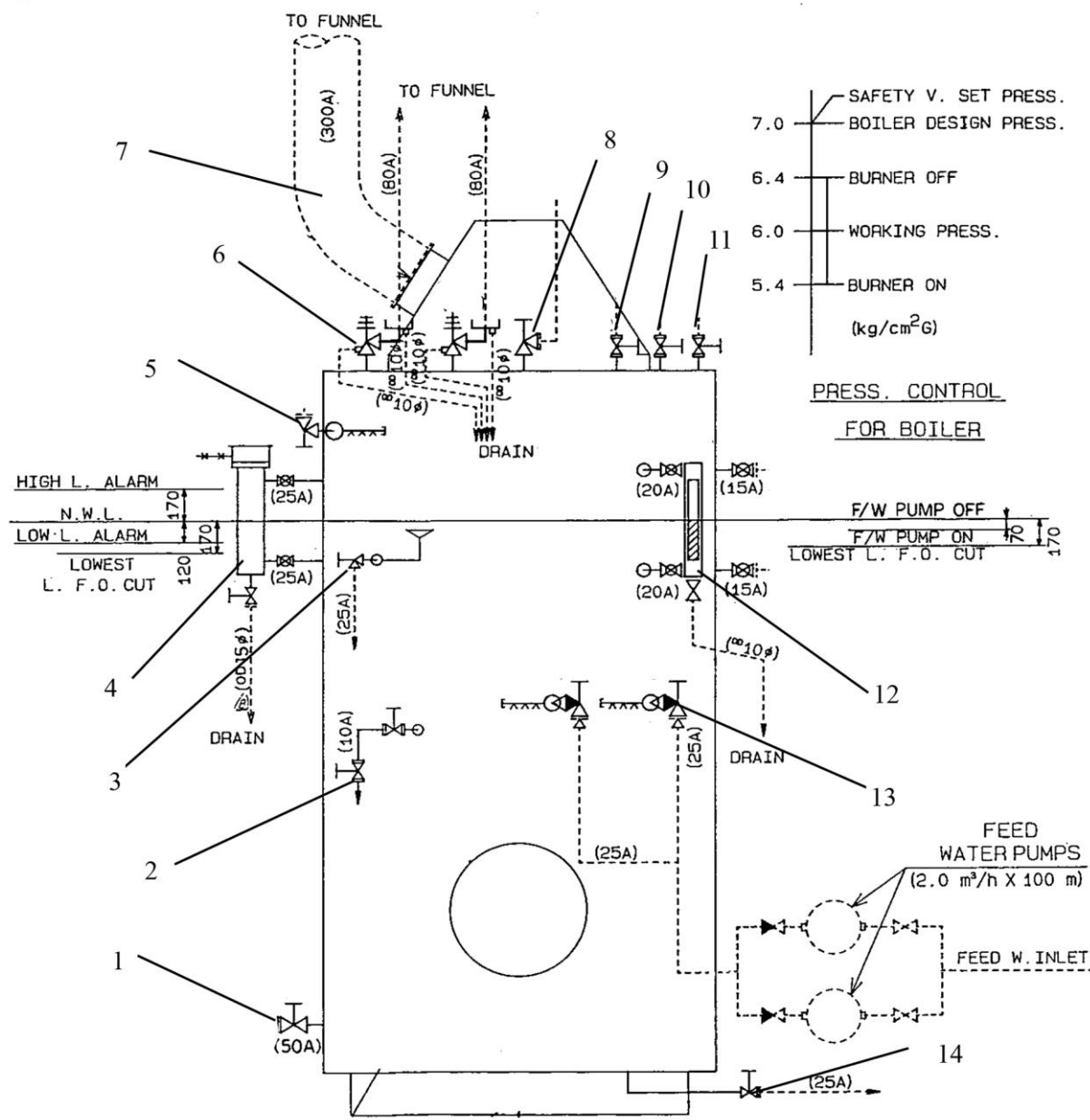


200



- 1 – водоохлаждаемая фурма; 2 – прочный корпус котла; 3 – выход дымовых газов;
 4 – газонаправляющая коробка; 5 – изоляция; 6 – клапан верхнего продувания;
 7 – лаз; 8, 9 – клапан для взятия пробы котловой воды; 10 – клапан нижнего продувания; 11 – дренажный клапан

Рисунок С.2 – Продольный разрез котла CPDB-10



1 – клапан нижнего продувания; 2 – клапан отбора проб котловой воды; 3 – клапан верхнего продувания; 4 – штыревой электрический водоуказатель; 5 – вход пароводяной смеси от утилизационного котла; 6 – предохранительный клапан (2 шт.); 7 – газоотводной патрубок; 8 – стопорный клапан (Ду 80); 9 – воздушный клапан; 10 – клапан к манометру; 11 – клапан к датчику давления; 12 – водоуказательная колонка; 13 – питательный клапан (2 шт.); 14 – дренажный клапан

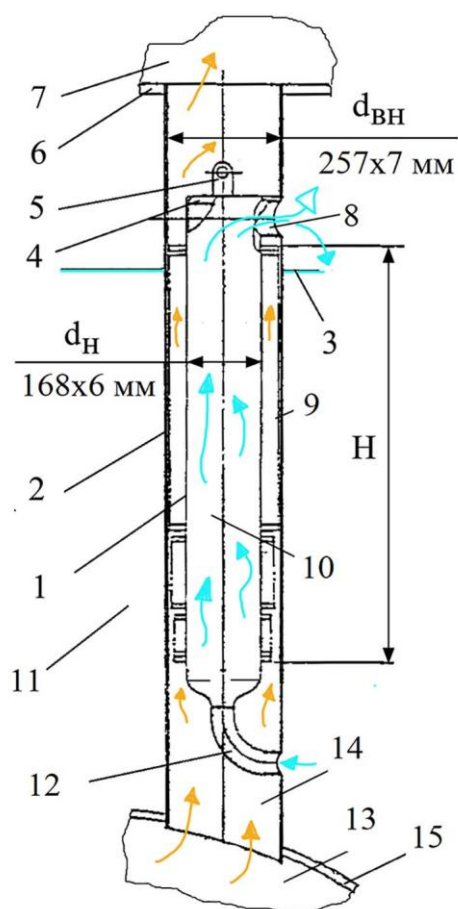
Рисунок С.3 – Расположение основной арматуры на котле CPDB-10

На рисунке С.4 представлен общий вид ошипованного элемента.



а) ошипованный элемент в дымогарной трубе б) вид из топки на крепление элемента в) вид выходной газовой камеры на элемент
Рисунок С.4 – Общий вид ошипованного элемента

На рисунке С.5 указаны конструктивные характеристики типового ошипованного элемента. В рассматриваемом элементе реализован конвективный теплообмен. Из топки котла дымовые газы поступают в дымогарную трубу 2 с наружным диаметром 271 мм при толщине стенки 7 мм. Из дымогарной трубы дымовые газы уходя в выходной газовый короб 7. Внутри дымогарной трубы 2 коаксиально расположена парообразующая труба 1. Для увеличения поверхности нагрева и, следовательно, для улучшения теплообмена на поверхности трубы приварены шипы. Размеры типового шипа: диаметр 6 мм и длина 35...38 мм. Максимальная длина шипа ограничивается возможностью заведения парообразующей трубы в дымогарную и приварки нижнего и верхнего соединительных патрубков 8 и 12. Котловая вода заходит в нижний патрубок 12 через отверстие 14. Внутри элемента она поднимает вверх, нагревается до температуры насыщения, и в виде пароводяной смеси выходит через патрубок 8 в паровое пространство котла. Здесь смесь разделяется: жидкость уходит в водяное пространство котла 11, пар к выходу через стопорному клапану. Ремонт ошипованного элемента выполняется совместно с дымогарной трубой.



- 1 – парообразующая ошипованная труба ($d_{вн} = 168 \times 6$ мм); 2 – дымогарная труба ($d_{вн} = 257 \times 7$); 3 – уровень воды в котле; 4 – днище трубы; 5 – грузовой рым; 6 – верхняя трубная доска; вход газов в элемент; 7 – выходной газовый короб; 8 – приварной патрубок выхода паро-водяной смеси; 9 – область расположения шипов; 10 – пароводяная смесь; 11 – водяное пространство котла; 12 – приварной патрубок для входа котловой воды; 13 – топка; 15 – небо топки (трубная доска) шипы

Рисунок С.5 – Ошипованный элемент

Приложение Т

Техническая характеристика и описание котла Kangrim MC-19

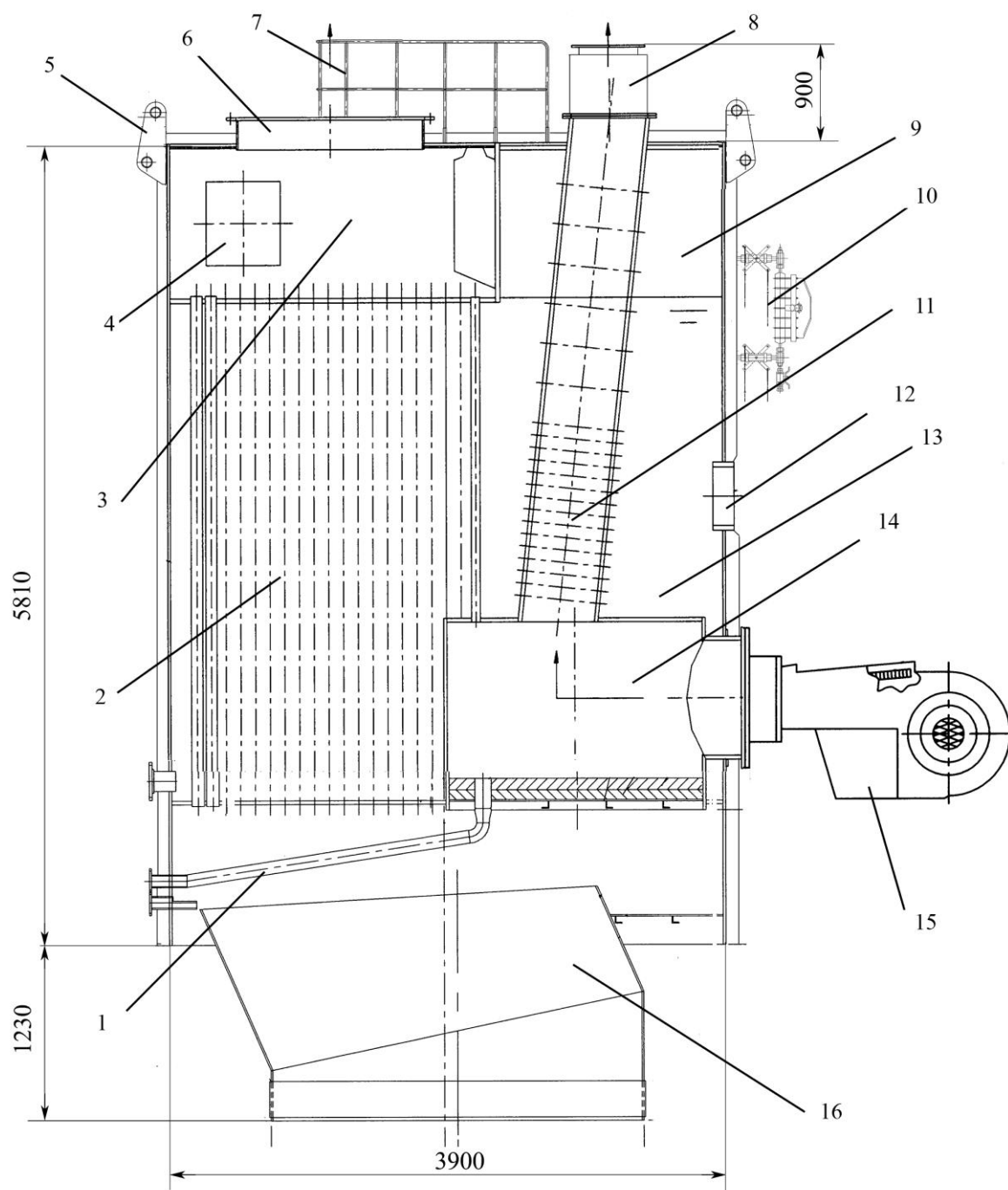
Котел судостроительного завода Kangrim MC-19 – комбинированный (композитный) судовой паровой котел, включающий в одном прочном корпусе утилизационную секцию (УК) и секцию с мазутным отоплением (ВК).

Паропроизводительность ВК 3500 кг/ч; паропроизводительность УК – 3000 кг/ч. Рабочее давление котла 0,6 МПа; давление максимальное 0,8 МПа; давление испытаний 1,2 МПа. Температура питательной воды 60 °С; температура воздуха – 45 °С.

Расход топлива в ВК – 270 кг/ч; потребный расход воздуха для горения при температуре 45 °С – 3850 м³; часовой объем продуктов сгорания 4051 м³; температура уходящих газов ВС – до 410 °С. Аэродинамическое сопротивление ВНУ – 950 Па. Площадь поверхности теплообмена ВС – 50,8 м². Диаметр патрубка для отвода газов ВС – 400 мм.

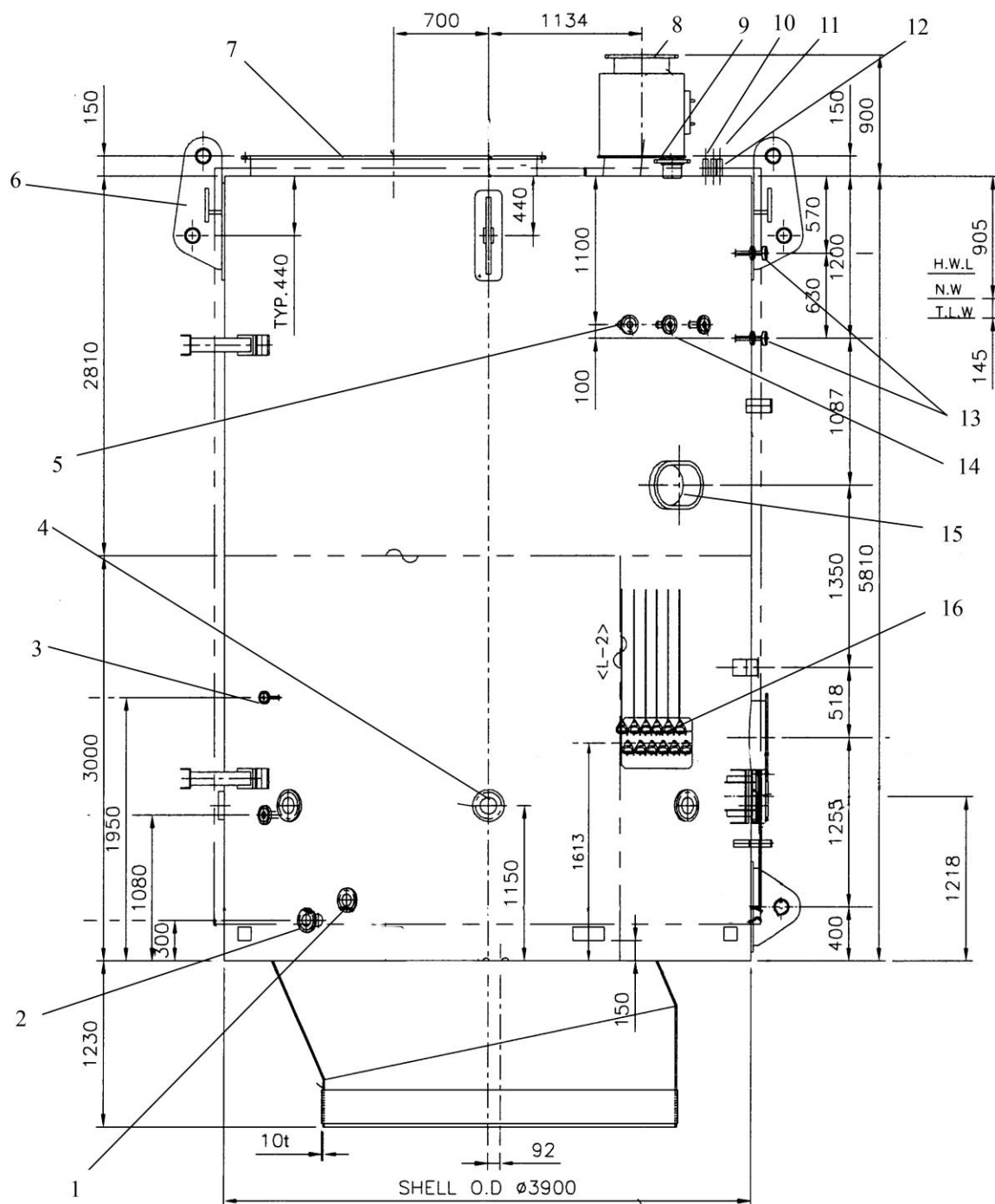
Объем выхлопных газов ДВС, поступающих в УК – 328200 кг/ч; температура газов на входе в УК – 224 °С; температура газов на выходе из УК – 202 °С. Газодинамическое сопротивление УК – 1180 Па. Площадь поверхности нагрева – 578 м². Диаметр патрубка для подвода газов УК – 2600 мм; для отвода – 2100 мм.

Диаметр котла без изоляции – 3900 мм; высота котла – 5810 мм. Объем воды в котле – 21,12 м³; объем пара – 3,043 м³; масса котла с форсуночным агрегатом и арматурой – 40,3 т.



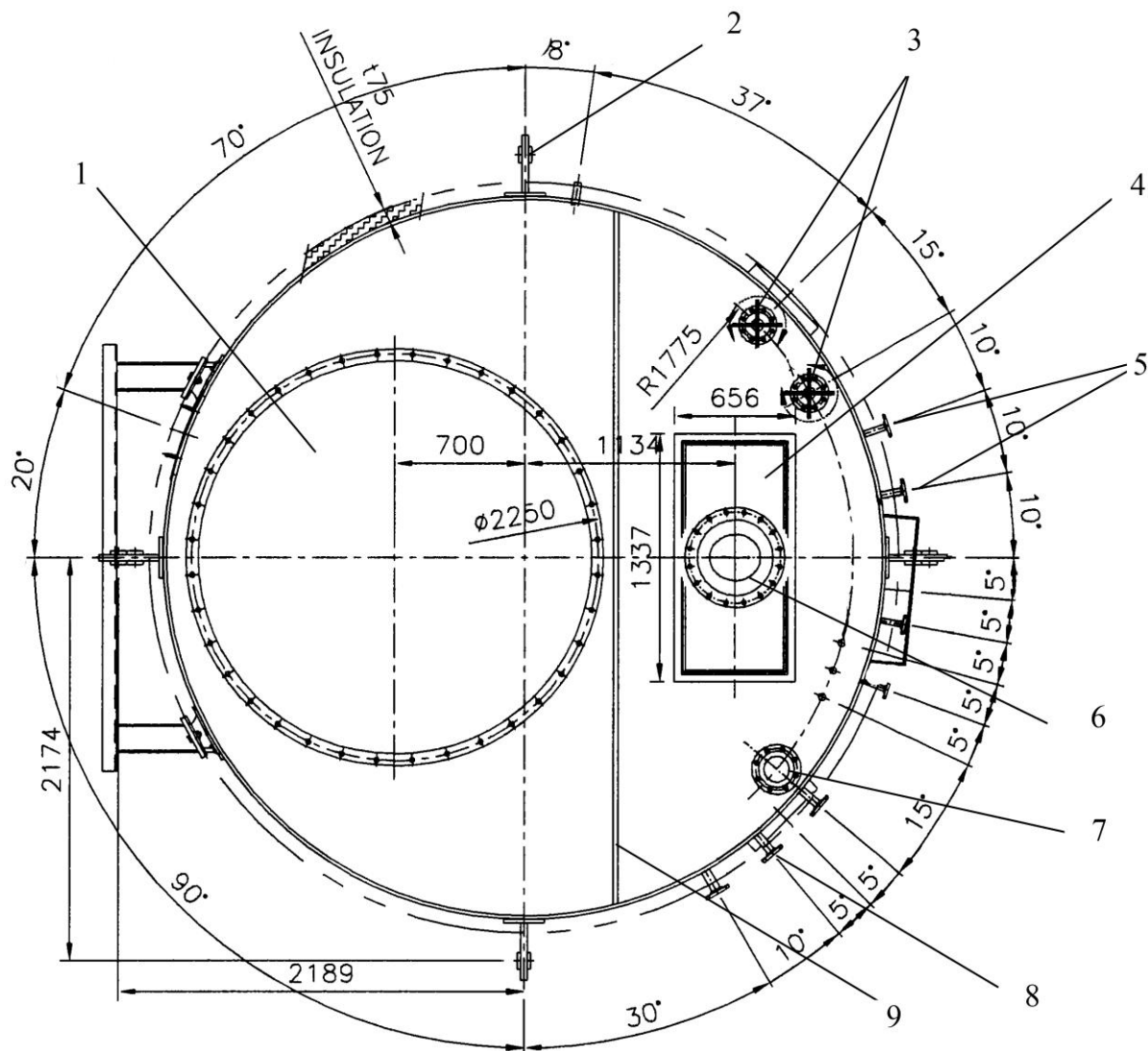
1 – дренажный патрубок; 2 – конвективная часть УК; 3 – газовый короб УК; 4 – лаз в газоход; 5 – грузовой обух; 6 – фланец выхода газов УК; 7 – ограждение; 8 – отвод продуктов сгорания ВКК 9 – паровое пространство; 10 – водоуказательная колонка; 11 – конвективный пучок ВК; 12 – лаз; 13 – водяное пространство УК и ВК; 14 – топка; 15 – форсуночный агрегат; 16 – газоподводящий патрубок

Рисунок Т.1 – Продольный разрез котла Kangrim MC-19



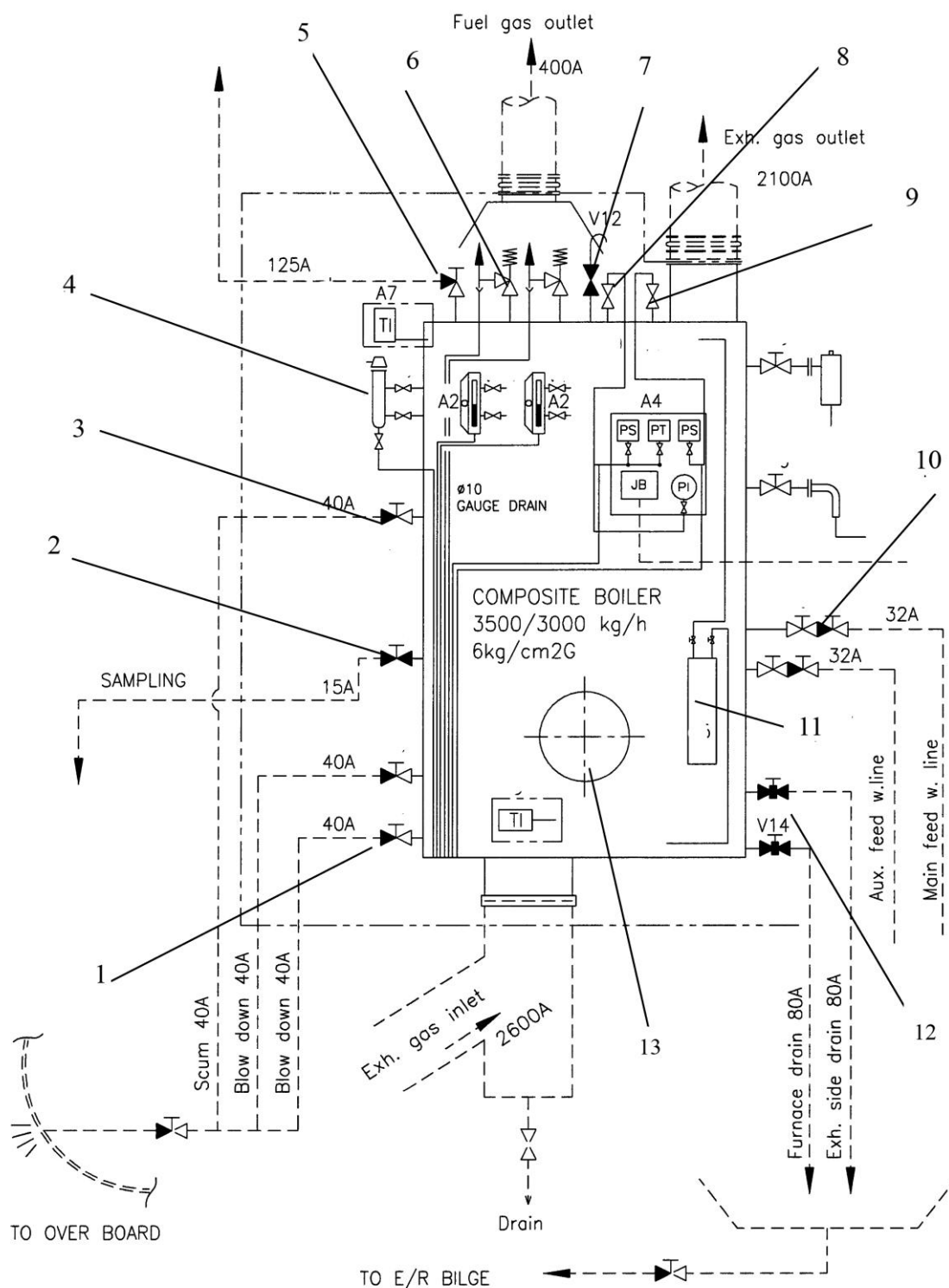
- 1 – патрубок дренажа ВК; 2 – патрубок дренажа УК; 3 – патрубок установки клапан отбора проб; 4 – смотровое отверстие; 5 – патрубок установки питательного клапана; 6 – грузовой обух; 7 – фланец отвода газов от УК; 8 – фланец отбора газов ВС; – фланец стопорного клапана; 10 – патрубок воздушного клапана; 11 – патрубок к датчику давления; 12 – патрубок к манометру; 13 – точки установки водоуказательного прибора; 14 – патрубок клапана верхнего продувания; 15 – лаз; 16 – рукоятки управления арматуры водоуказательный колонок (12 шт.)

Рисунок Т.2 – Общий вид котла Kangrim MC-19



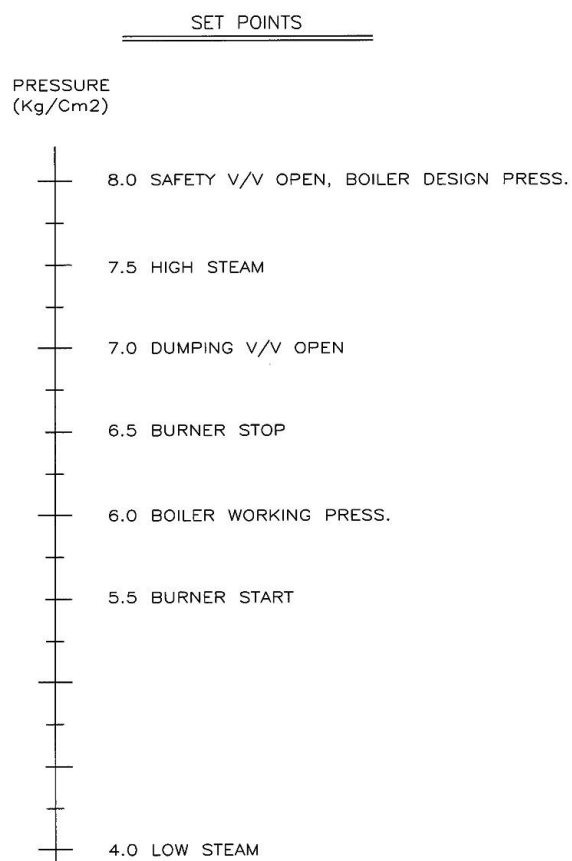
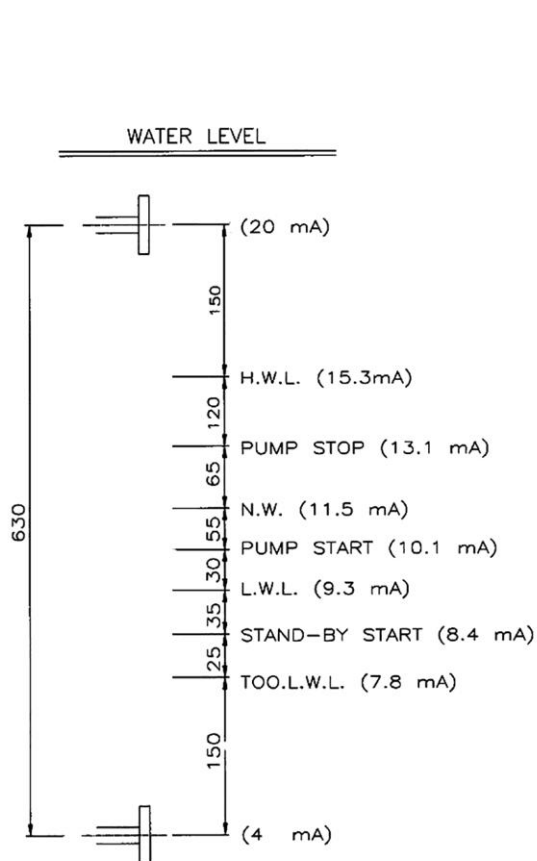
1 – отверстие отводы продуктов сгорания УК; 2 – грузовой обух; 3 – фланцы установки предохранительных клапанов; 4 – инспекционная крышка конвективной части ВК; 5 – точки установки водоуказательных приборов; 6 – отверстие отвода продуктов сгорания ВК; 7 – фланец стопорного клапана; 8 – фланец питательного клапана; 9 – перегородка прочного корпуса

Рисунок Т.3 – Вид сверху котла Kangrim MC-19



- 1 – клапан нижнего продувания; 2 – клапан отбора проб; 3 – клапан верхнего продувания; 4 – штыревая водоуказательная колонка; 5 – стопорный клапан; 6 – предохранительный клапан; 7 – воздушный клапан; 8, 9 – клапана к манометру и датчику давления; 10 – питательный клапан; 11 – напоромер; 12 – дренажный клапан; 13 – форсунка

Рисунок Т.4 – Органы управления котла Kangrim MC-19



На рисунке Т.7 представлены изображения внутренних элементов котла, выполненных в водяном пространстве прочного корпуса. Заметны характерные элементы: дымогарная шахта прямоугольного сечения с установленными в ней рядами коротких труб конвективного испарительного пучка; наружная поверхность топочного объема и ее эксцентричное расположение относительно оси корпуса котла; прочный связи, указывающие на недостатки наличия плоских поверхностей нагрева.

На рисунке Т.8 представлены изображения внутренних элементов котла, выполненных в верхнем и нижнем газовых коробах котла и в топке котла.



Рисунок Т.7 – Элементы пароводяного пространства котла



Рисунок Т.8 – Виды элементов котла из газового пространства

Приложение У

Техническая характеристика и описание судового парового котла Miura GK-27-1500/1000-190

Котел Miura GK-27-1500/650-150 – современный композитный газотрубный вертикальный судовой паровой котел, включающий в одном прочном корпусе две утилизационные секции и секцию с мазутным отоплением (ВК). Отличительной особенностью котла является наличие утилизационной секции, получающих теплоту от продуктов сгорания главного двигателя (УК1) и утилизационной секции, работающей на теплоте продуктов сгорания вспомогательных дизель-генераторов (УК2).

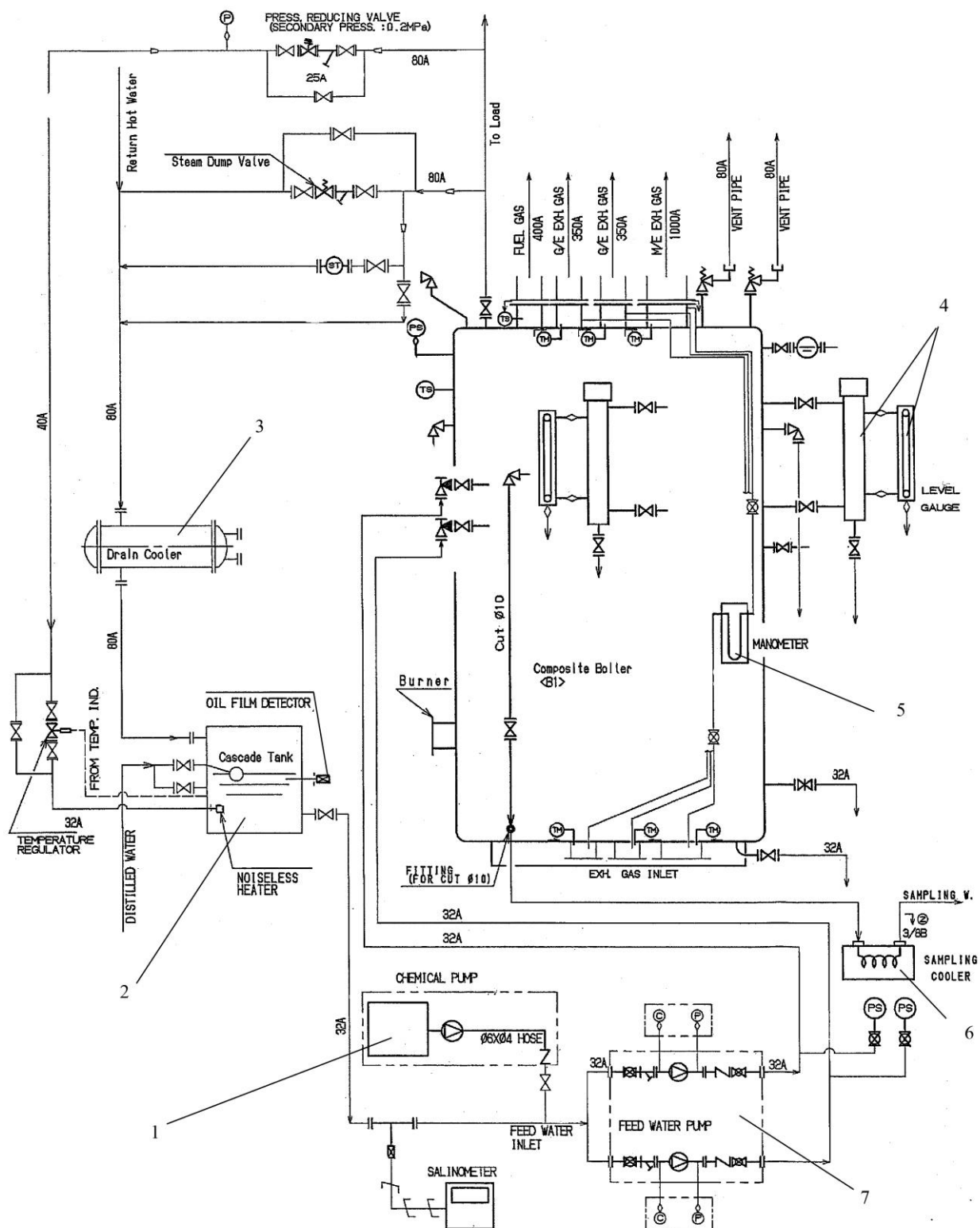
Рабочее давление котла 0,6 МПа, проектное 0,8 МПа. Температура питательной воды 80 °С. Масса воды в котле 16900 кг; масса сухого котла 24800 кг.

Паропроизводительность секции с мазутным отоплением 1500 кг/ч. Газодинамические сопротивления ВК – 147 Па; площадь поверхности нагрева 27,0 м²; расход топлива 111 кг/ч; часовой расход дымовых газов – 1875 нм³/ч. Форсуночный агрегат – Miura CS-12; давление рабочего топлива – 1,8 МПа; давление пускового топлива – 0,8 МПа.

Паропроизводительность УК1 – 1035 кг/ч. Часовой расход выхлопных газов ГД – 67943 кг/ч; температура газов на входе 221 °С; температура газов на выходе 184 °С; газодинамические сопротивления – 970 Па.

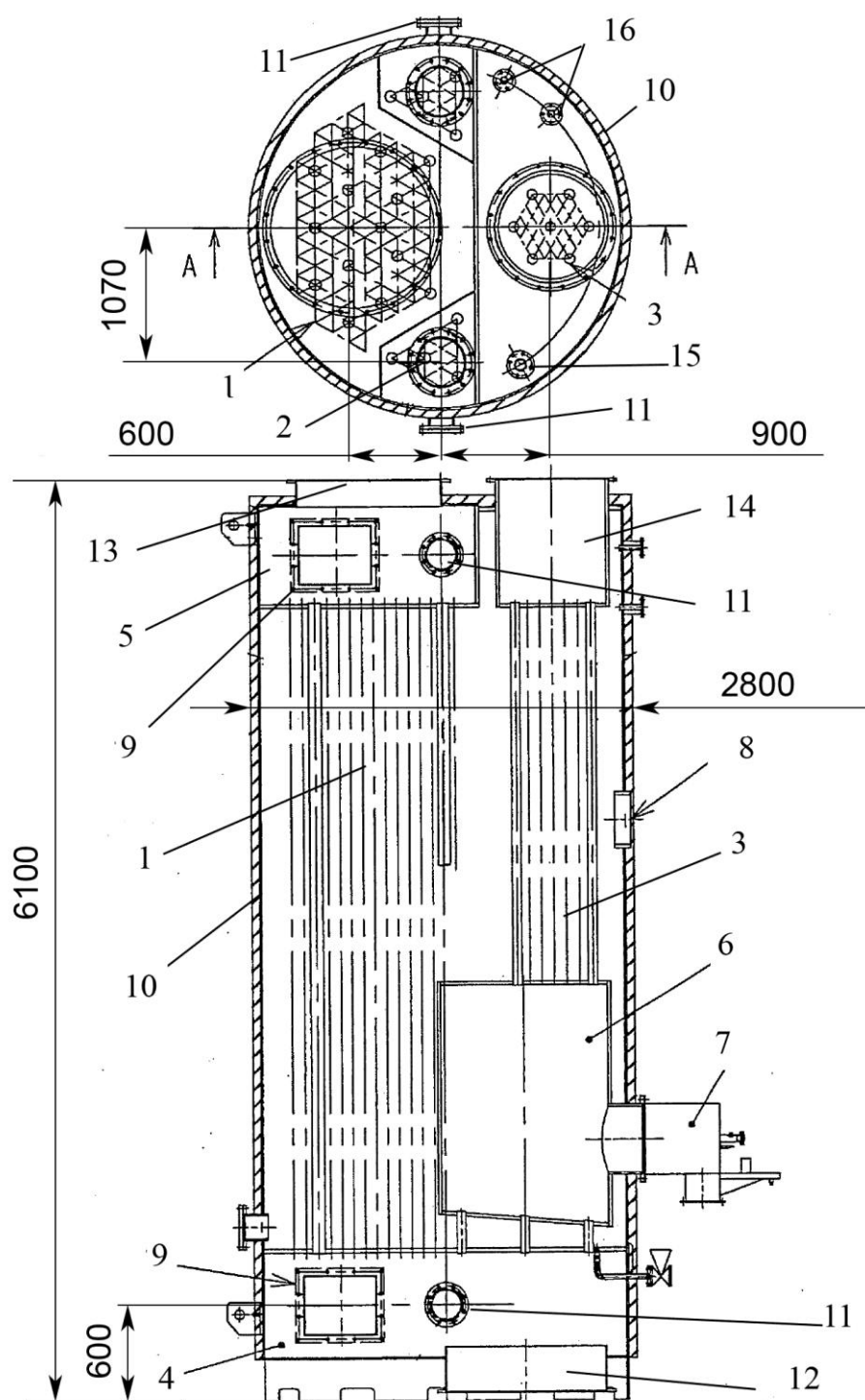
Паропроизводительность УК2 – 190 кг/ч. Часовой расход выхлопных газов ВДГ – 6364 кг/ч; температура газов на входе 280 °С; температура газов на выходе 206 °С; газодинамические сопротивления – 1500 Па.

Площадь поверхности нагрева УК1 и УК2 – 387 м²;



1 – дозерный насос; 2 – теплый ящик; 3 – вспомогательный конденсатор; 4 – ВУК;
 5 – напоромер; 6 – теплообменный аппарат; 7 – насосная установка питательной воды

Рисунок У.1 – Схема котельной установки котла
 Miura GK-27-1500/650-150



1 – конвективный пучек УК1; 2 – конвективный пучек УК2; 3 – конвективный пучек ВК; 4 – входной газовый короб; 5 – выходной газовый короб; 6 – топка; 7 – форсуночный агрегат; 8 – лаз; 9 – лаз; 10 – кожух; 11 – контрольный люк; 12 – вход продуктов сгорания от ГД; 13 – выход продуктов сгорания от ГД; 14 – выход продуктов сгорания от ВК; 15 – стопорный клапан; 16 – предохранительный клапан

Рисунок У.2 – Устройство котла Miura GK-27-1500/650-150

Приложение Ф
Техническая характеристика и описание судового парового котла
Miura VWS-2500

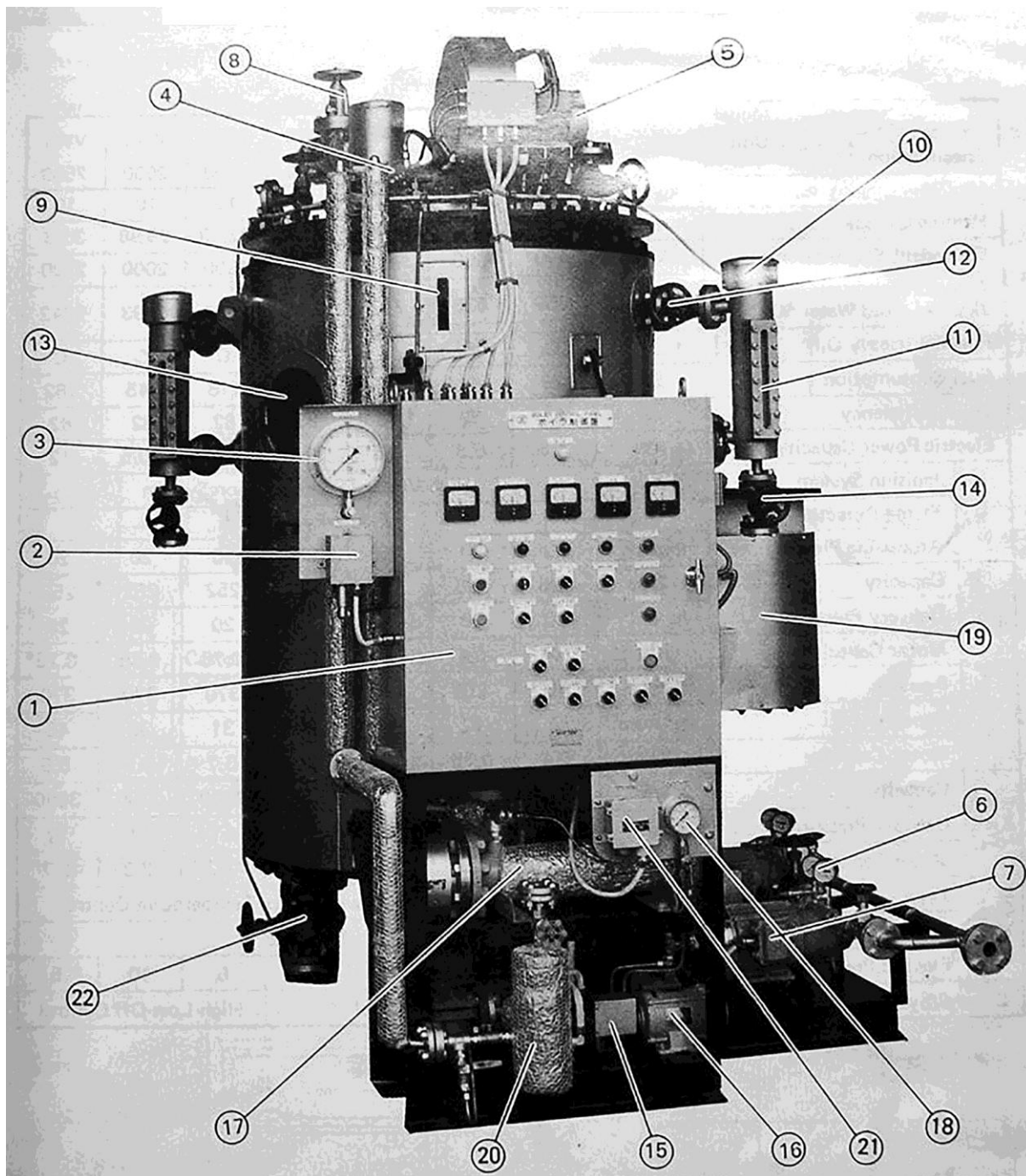
Котел Miura VWS-2500 состоит из двух кольцевых коллекторов прямоугольного сечения, которые соединены пакетами прямых труб, образующих стенки топки. Для доступа к внутреннему пространству коллекторов их крышки крепят посредством болтовых соединений.

Рабочее давление в котле 0,7 МПа; номинальная паропроизводительность 2250 кг/ч. Площадь поверхности нагрева 31 м²; расход топлива на номинальном режиме около 182 кг/ч. КПД котла 82 %; потребляемая мощность вспомогательных механизмов (насосов и топливоподогревателя) – 12 кВт. Котел оснащен регулируемой форсункой с давлением – 2,0 МПа с производительностью топливного насоса – 252 кг/ч и потребляемой мощностью – 0,75 кВт; вентилятором производительностью 45 м³/мин, напором 370 ммАг, потребляемой мощностью – 5,5 кВт; питательным насосом производительностью 3900 кг/ч, давлением 1,1 МПа, потребляемой мощностью 3,7 кВт; электрическим подогревателем топлива в диапазоне 15...120 °С и потребляемой мощностью 5 кВт.

Общий вид котла представлен на рисунке Ф.1.

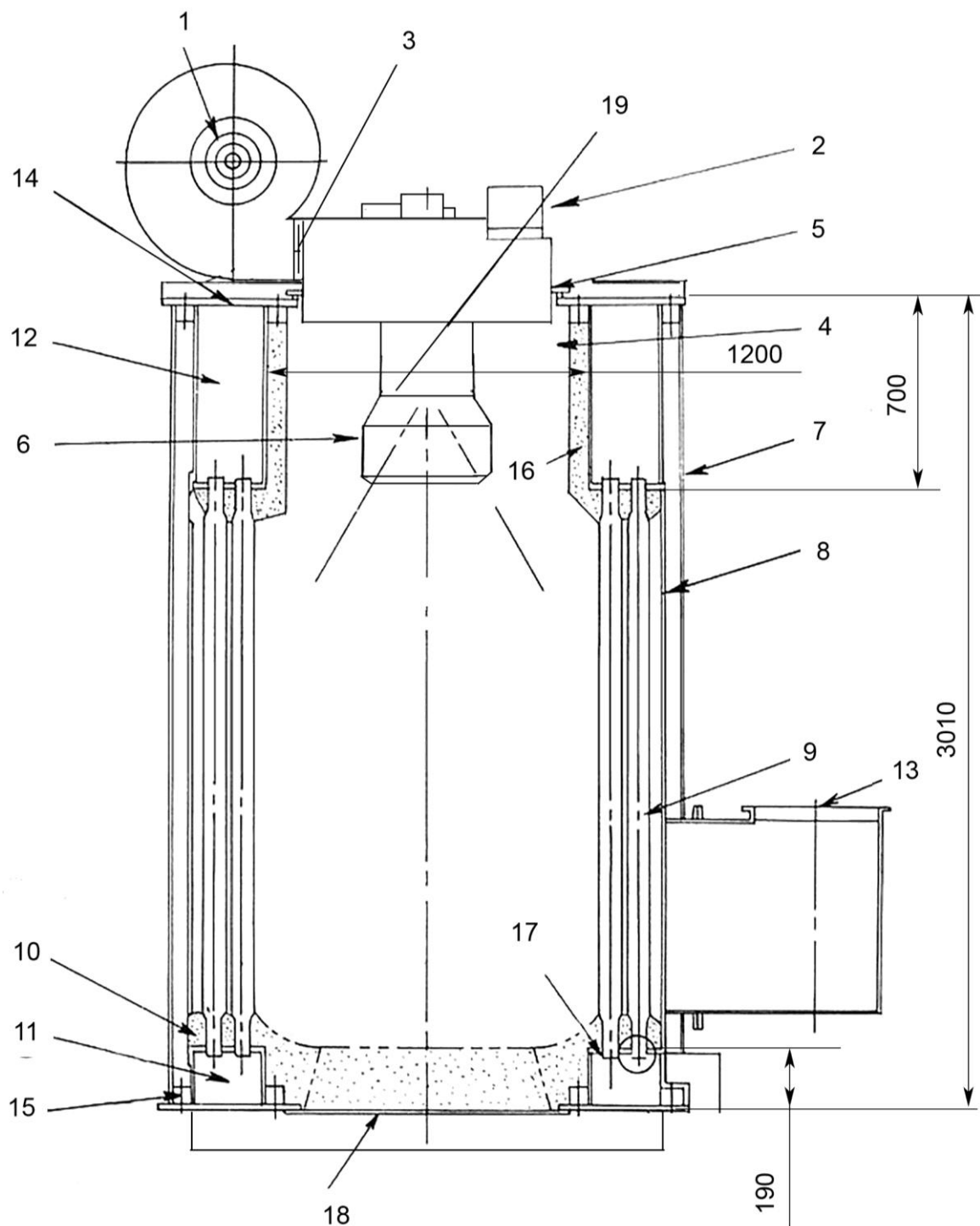
Топочное устройство и вентилятор расположена сверху котла. В данной модели воздух вентилятором забирается из машинного отделения. Топливная система оборудована регулятором вязкости для автоматической работы топливоподогревателя.

На рисунке Ф.2 представлено устройство котла. Дымовые газы через узкий рецесс из топки попадают в межтрубное пространство, разделившись на две части, обходят трубы с обеих сторон и выходят в через нижний рецесс в дымовую трубу.



- 1 – щит управления; 2 – датчик давления; 3 – манометр; 4 – регулятор подачи топлива; 5 – электродвигатель вентилятора; 6 – манометр питательной воды; 7 – питательный насос; 8 – стопорный клапан; 9 – привод предохранительного клапана; 10 – штыревой датчик уровня воды; 11 – водоуказатель; 12 – паровой клапан водоуказателя; 14 – клапан продувки водоуказателя; 15 – топливный насос; 16 – электродвигатель топливного насоса; 17 – топливо-подогреватель; 18 – манометр топлива; 20 – воздухоотделитель топливной системы; 21 – датчик подогрева топлива; 22 – клапан нижнего продувания

Рисунок Ф.1 – Общий вид судового парового котла Miura VWS-2500



1 – вентилятор; 2 – блок подачи напряжения на электроды зажигания; 3 – воздушная поворотная заслонка; 4 – изоляция; 5 – воздухонаправляющее устройство; 6 – огневой кожух; 7 – корпус; 8 – изоляция; 9 – испарительные трубы; 10, 16 – огнеупорные элементы; 11 – водяной коллектор; 12 – пароводяной коллектор; 13 – газоотводный патрубок; 14 – крышка пароводяного коллектора; 15 – фланец крепления крышки водяного коллектора; 17 – трубная доска водяного коллектора; 18 – под топки; 19 – форсунка

Рисунок Ф.2 – Устройство котла Miura VWS-2500



Рисунок Ф.3 – Вид на топку котла со стороны форсунки



Рисунок Ф.4 – Вид на трубную доску из пароводяного коллектора



Рисунок Ф.5 – Вид концевых участков труб



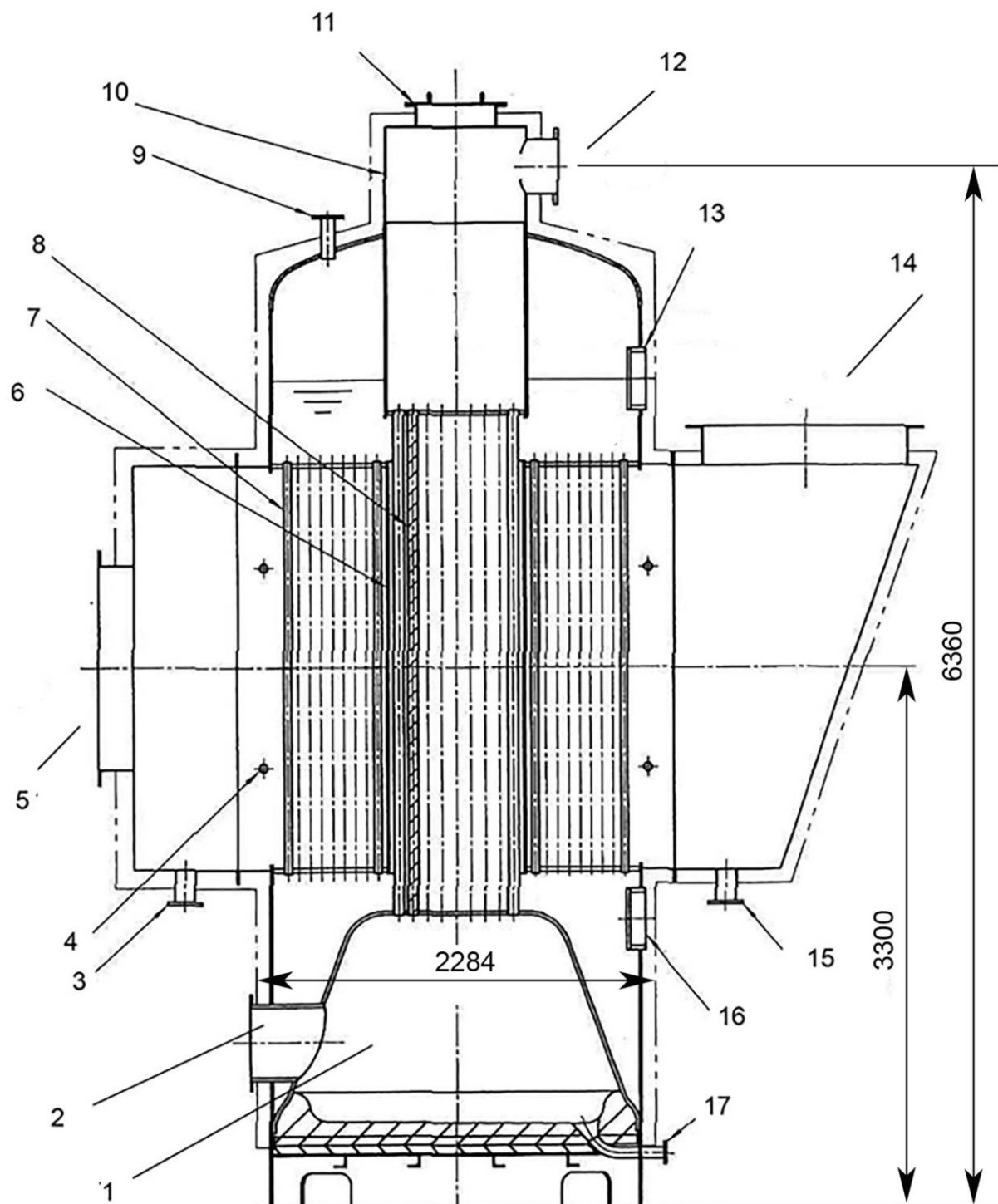
Рисунок Ф.6 – Восстановление участка изоляции котла

Приложение X

Техническая характеристика и описание судового парового котла GCS-21-1200/900

Котел GCS-21-1200/900 – композитный, газоводотрубный вертикальный судовой паровой котел, включающий в одном прочном корпусе две коаксиально расположенные части котла. По оси котла расположен испарительный газотрубный пучек, вокруг него – пучек труб утилизационного котла. В основании котла расположена топка, представляющая собой усеченный конус и изготовленная путем сварки штампованных стальных листов. Под топки покрыт шамотными кирпичами. Дымовые газы из топки через пучек газовых труб поступают в газоход, который обеспечивает подсушку пара и далее выходит в дымовую трубу. Выхлопные газы от главного двигателя поступают во входной газовый короб, затем в горизонтальной плоскости обтекают пучек вертикально расположенных труб испарительной поверхности и поступают в выходной газовый короб и далее в дымовую трубу. Утилизационная часть содержит четыре сажеобдувочных аппарата. Топочное устройство имеет фронтное расположение. Паропроизводительность вспомогательной части котла мазутного отопления 1200 кг/ч; утилизационной части 900 кг/ч. Рабочее давление 0,6 МПа; давление гидравлических испытаний 1,2 МПа. Температура питательной воды 60 °С. Площадь поверхности нагрева вспомогательного котла 22,8 м²; утилизационной части 207,9 м².

На рисунке X.1 представлено устройство котла.



- 1 – топка; 2 – фурменное отверстие; 3, 15 – дренажные патрубки; 4 – сажеобдувочные устройства; 5, 14 – вход и выход продуктов сгорания от ДВС в утилизационную секцию; 6 – внешняя обечайка вспомогательного котла; 7 – испарительные трубки; 8 – газовые трубки; 9 – патрубок стопорного клапана; 10 – газоход; 11 – технологическая крышка газохода; 12 – выход газов от вспомогательной секции; 13, 16 – лаз; 17 – дренажный патрубок

Рисунок X.1 – Устройство котла GCS-21

На рисунке X.2 представлены габаритные характеристики котла.

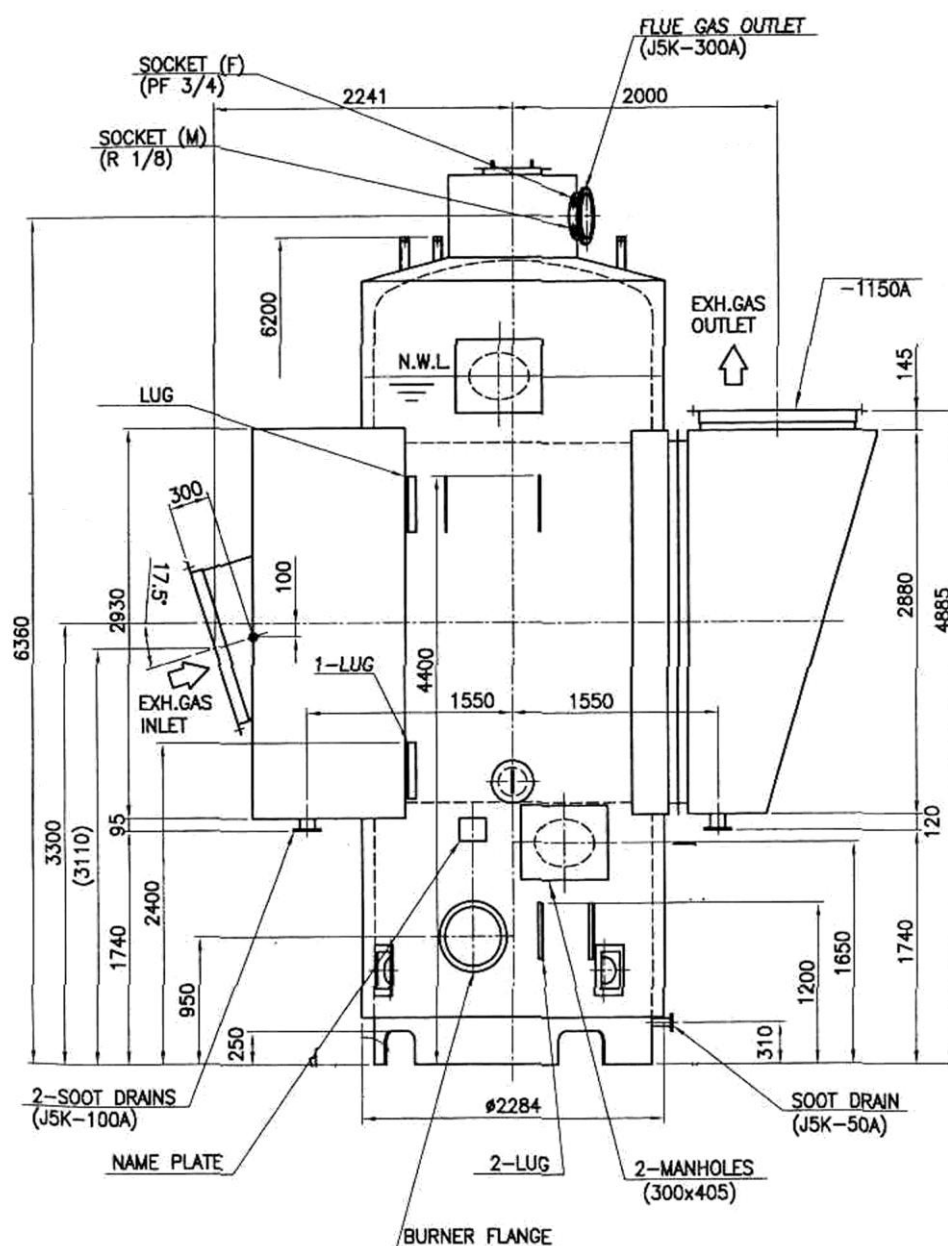


Рисунок X.2 –Габаритные характеристики котла GCS-21ST

На рисунке X.3 представлены параметры расположения сажеобд-
вочных устройств котла.

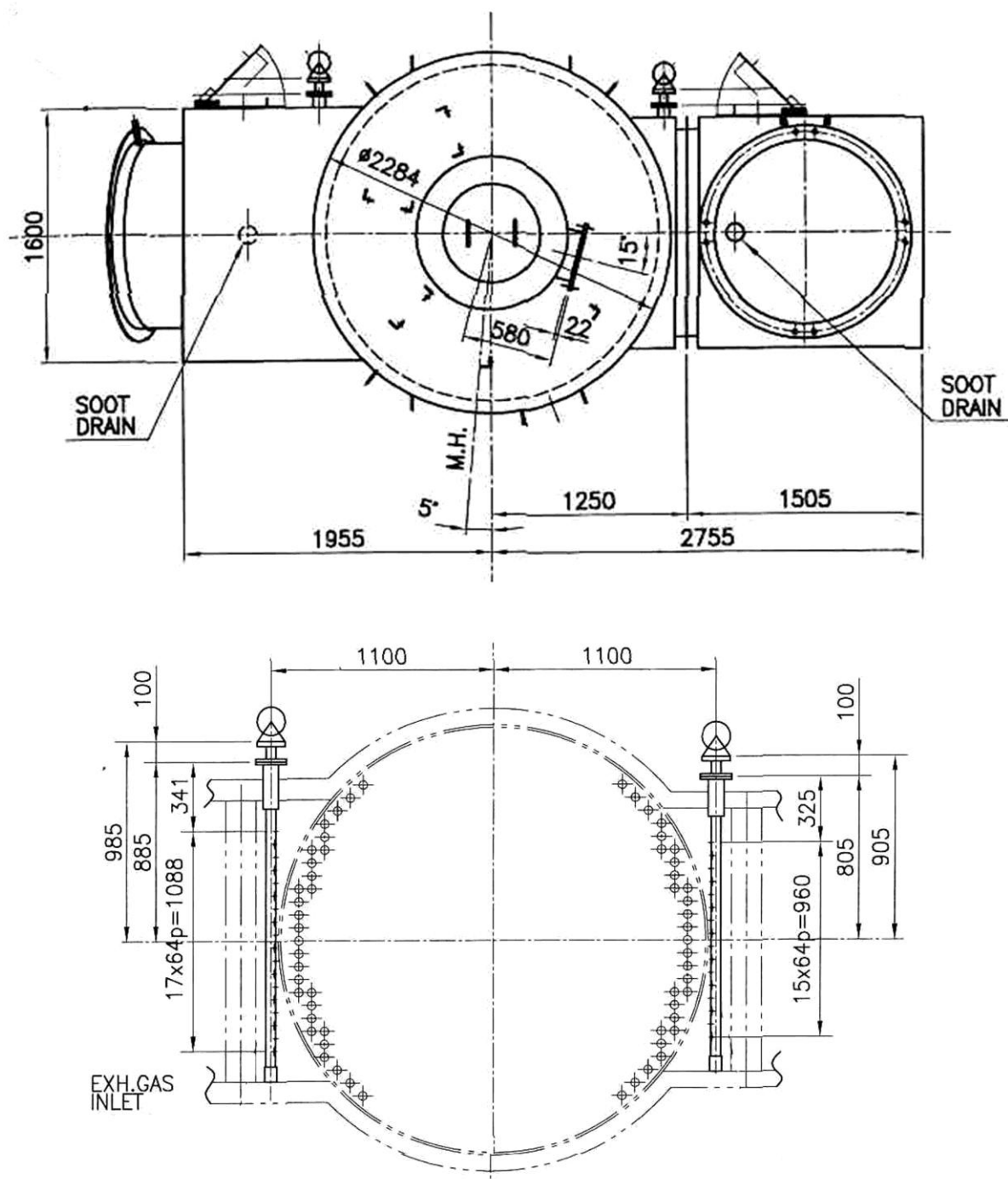


Рисунок X.3 – параметры расположения сажеобдувочных устройств котла

На рисунке X.4 представлена системная обвязка котла трубопроводами и арматурой.

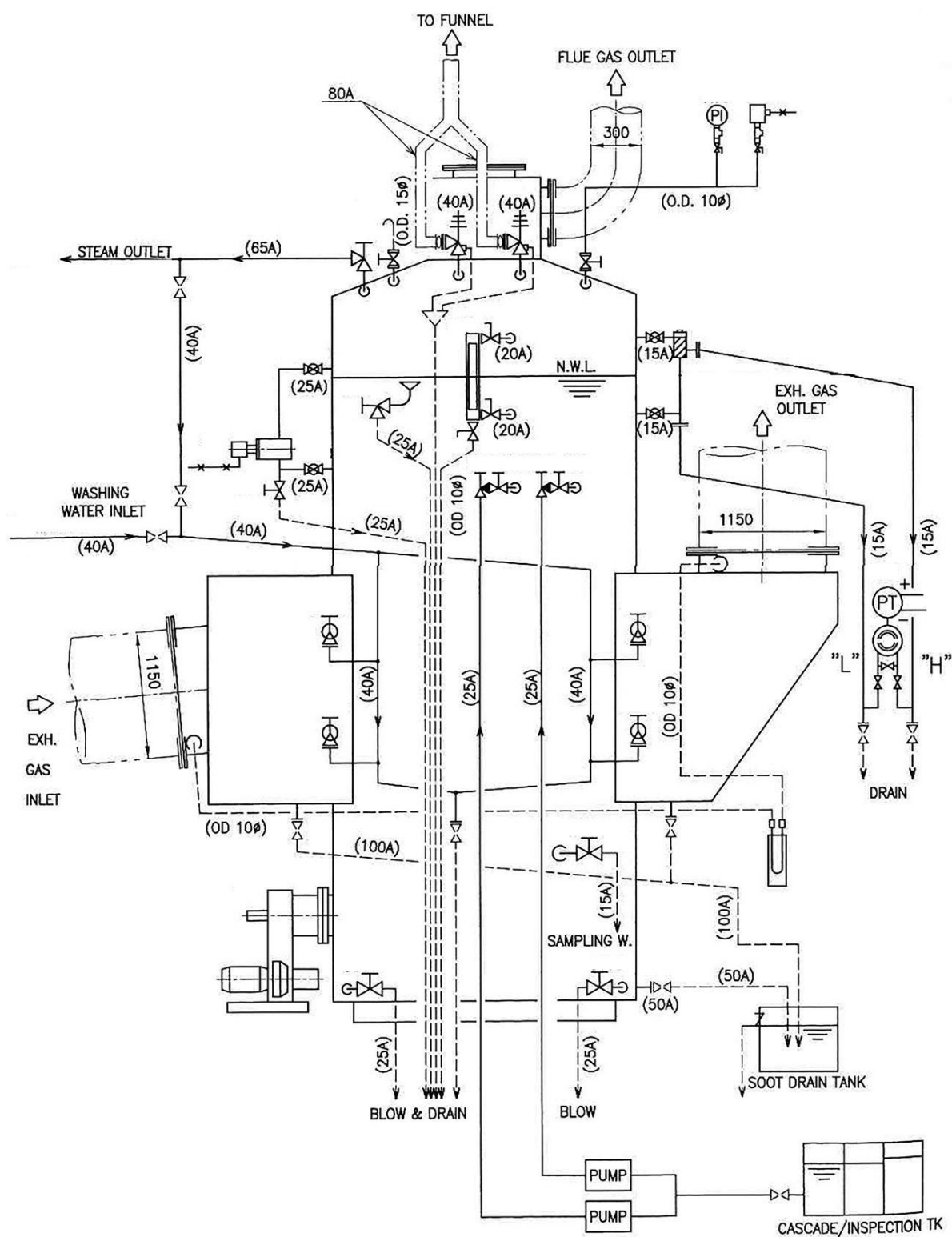


Рисунок X.4 – Системная обвязка котла трубопроводами и арматурой

КПД котла 80,0 %. Объем топки 2,29 м³; объем парового пространства 2,04 м³; объем воды в котле при нормальном уровне 6,33 м³.

Часовой расход выхлопных газов ГД – 65500 кг/ч; температура газов на входе 221 °С; температура газов на выходе 184 °С; газодинамические сопротивления – 1800 Па. Масса сухого котла без топочного устройства 18400 кг.

Приложение Ц

Техническая характеристика и описание судового парового котла

Mission D-type Model 45000

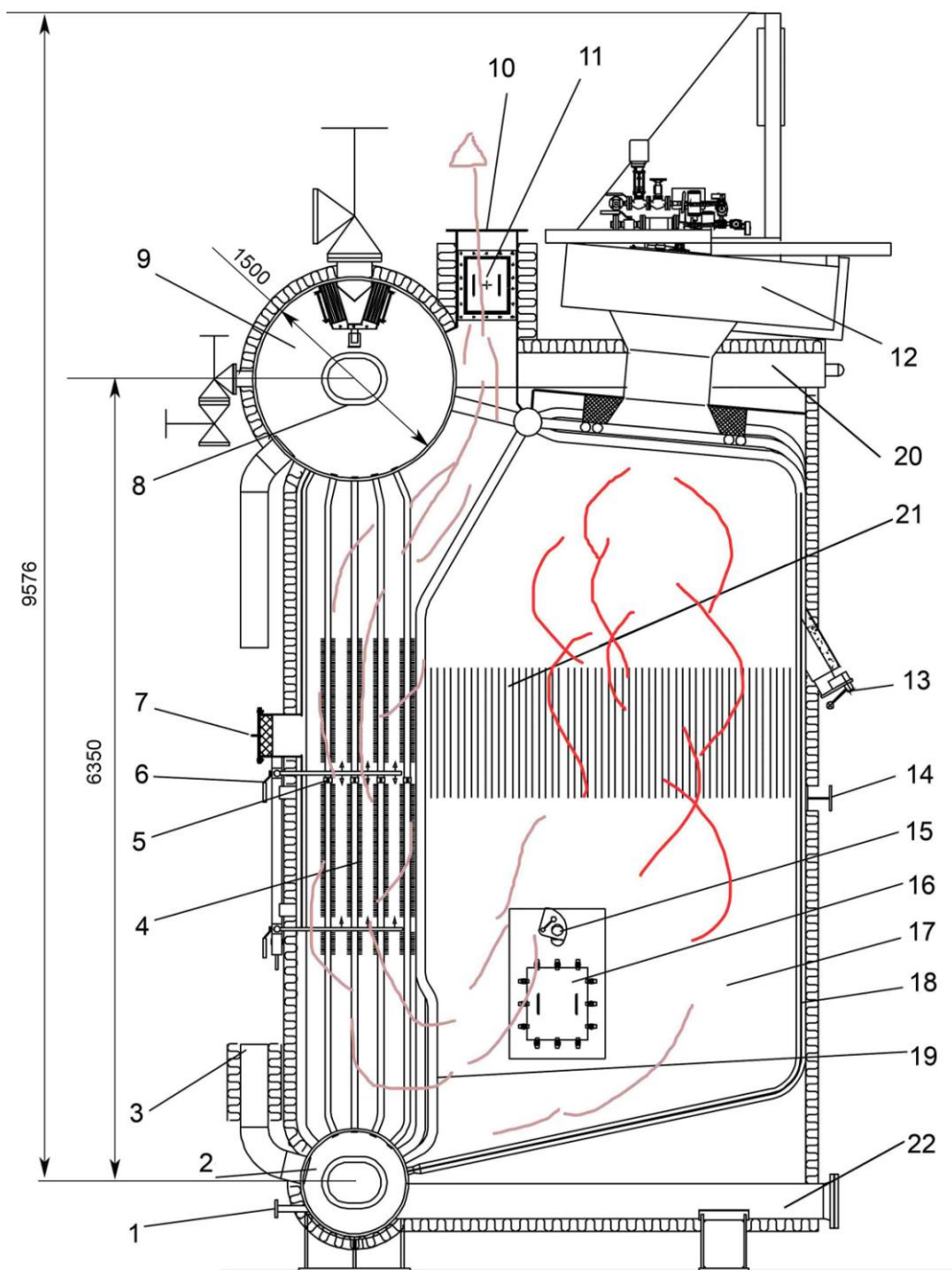
Котел Mission D-type Model 45000 – D-образный водотрубный вертикальный судовой паровой котел. Котел танкерный, используется на танкерах для подогрева груза, обеспечения паром приводных турбин грузовых насосов, а также для направления продуктов сгорания в систему инертных газов. Котельная установка предполагает наличие двух котлов.

Полная высота котла 10500 мм; длина и ширина с изоляцией 5400×5100 мм. Масса котла с водой 61000 кг, без воды 53000 кг. Толщина изоляции ~ 150 мм. Паропроизводительность 45000 кг/ч. При переходе в котле поддерживается давление 0,7 МПа, для привода грузовых насосов при выгрузке – давление 2,0 МПа. Нормальная температура питательной воды 60 °С. Коэффициент избытка воздуха на 100 % нагрузке – 1,15. Температура уходящих газов – 388 °С. Одно потолочное топочное устройство типа KBSD 3350 обеспечивает подачу топлива в диапазоне 335 ... 3350 кг/ч.

Максимальный рабочий уровень по водоуказательному прибору (с подачей звукового сигнала) +150 мм; Минимальный рабочий уровень по водоуказательному прибору (с подачей звукового сигнала) –150 мм; аварийная остановка котла по верхнему уровню по ВУК + 250 мм; аварийная остановка котла по нижнему уровню по ВУК – 145 мм.

Питательный насос – центробежный многоступенчатый типа МТС А50/6А-04.1 10.62 производительностью 56,3 м³/ч; частотой вращения 3575 мин⁻¹; мощность 84 кВт.

На рисунке Ц.1 представлено общее устройство котла.



1 – изоляция; 2 – водяной коллектор; 3 – опускные трубы; 4 – ошипованный конвективный пучок; 5 – сажеобдувочный аппарат; 6 – опоры сажеобдувочного аппарата; 7, 8, 11, 16 – инспекционный лаз; 9 – пароводяной коллектор; 10 – выход продуктов сгорания; 12 – топочное устройство; 13 – гляделка; 14 – опора; 15 – глазок; 17 – топка; 18 – главный мембранный экран; 19 – задний экран с рецессом; 20, 22 – коллектора боковых экранов; 21 – боковой экран

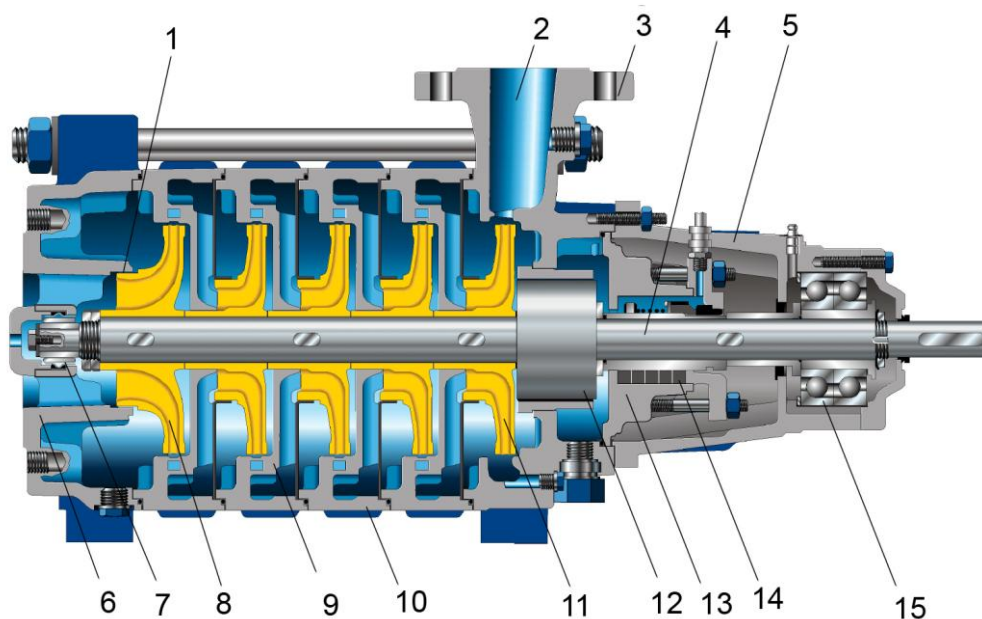
Рисунок Ц.1 – Устройство котла Mission D-type Model 45000

Топливный насос – винтовой типа DM 74. Рабочее давление 2,5 МПа; производительность до 10,7 м³/ч; мощность 13,2 кВт.

Вентилятор – центробежный HN 1120-800, давление 4800 Па, подача воздуха 49740 м³/ч; мощность 91 кВт.

Котел имеет полностью экранированную топку. Выход продуктов сгорания осуществляется через рецесс в нижней половине 1-го ряда испарительного пучка, верхняя часть которого образует экран. Дымовые газы омывают трубный пучок в продольном направлении. Для интенсификации теплообмена часть длины пучка выполнена ошипованной. Главный экран – мембранный. Для циркуляции пароводяной среды в боковых экранах каждый имеет по два коллектора, одним концом вваренным в пароводяной и водяной коллектора.

На рисунке X.1 представлено устройство питательного насоса.



1 – уплотнение; 2, 6 – выход и вход питательной воды; 3 – выходной патрубок;
4 – вал; 5 – корпус подшипника; 7, 15 – подшипники; 8, 11 – входная и выходная
крыльчатки; 12 – антивибратор; 13 – корпус сальника; 14 – сальниковое уплотнение

Рисунок Ц.2 – Питательный насос котла

На рисунках Ц.3 – Ц.5 представлено устройство котла: главный вид, вид справа, вид слева и вид сверху.

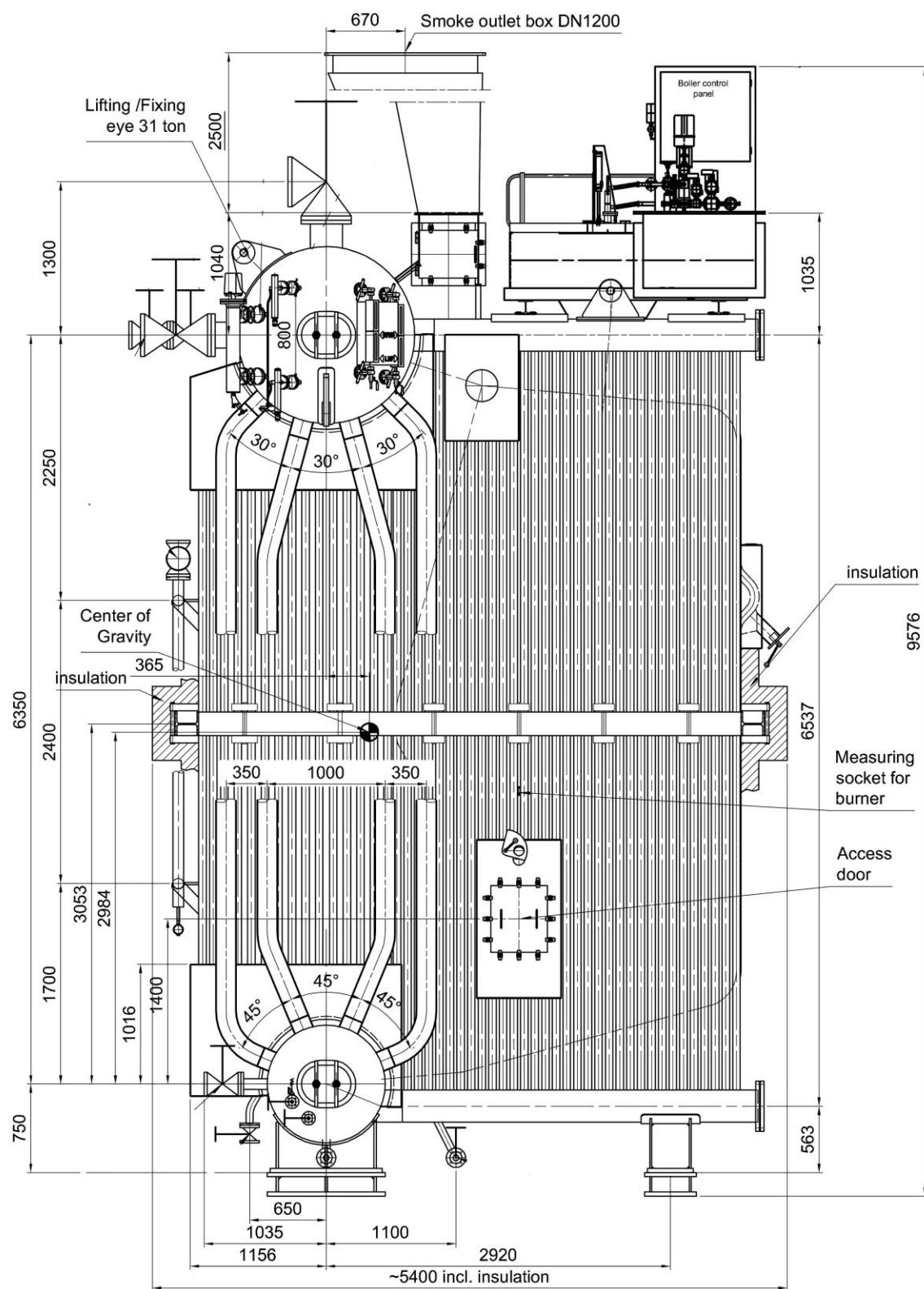


Рисунок Ц.3 – Главный вид котла Mission D-type Model 45000 без изоляции

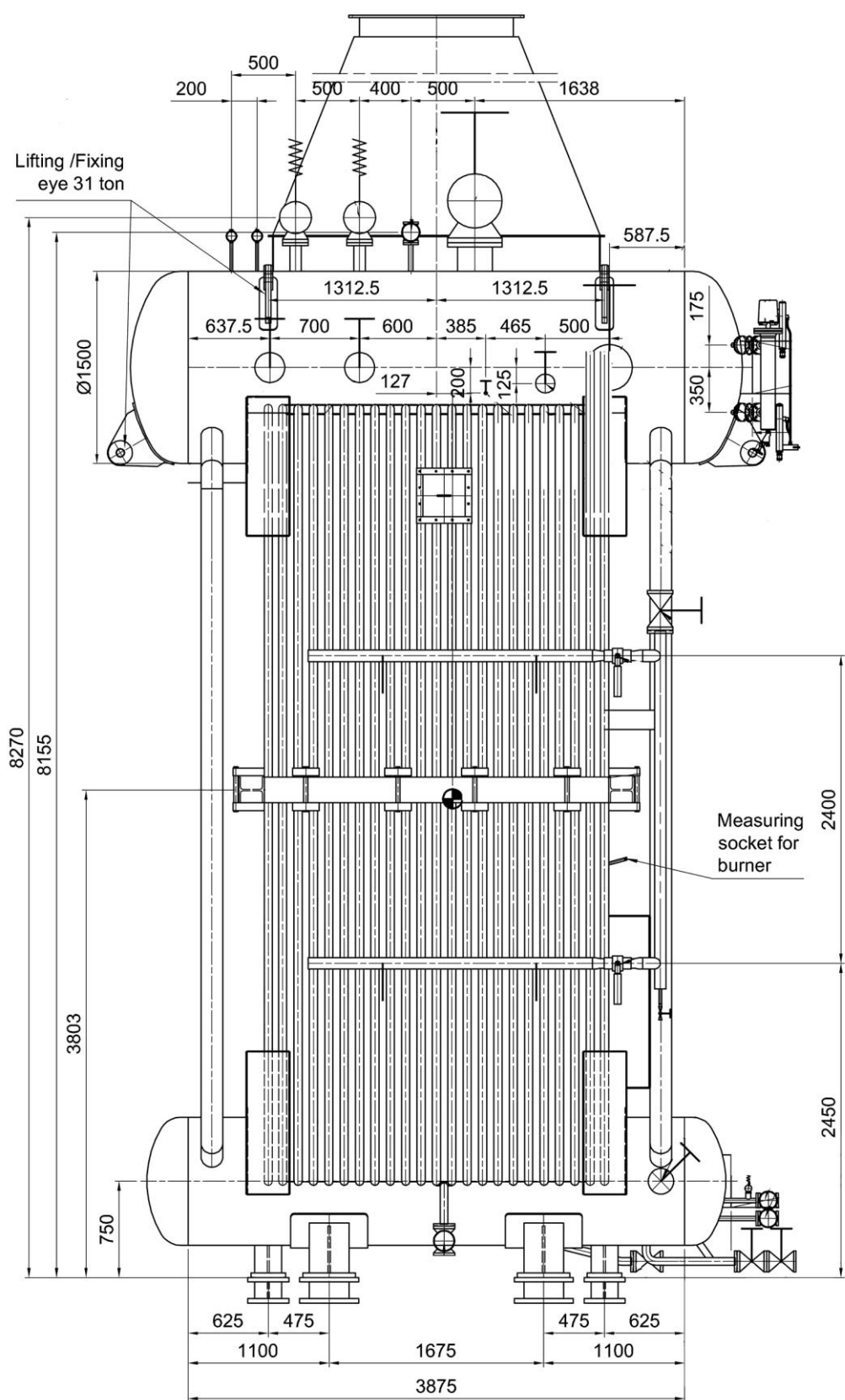


Рисунок Ц.4 – Котел Mission D-type Model 45000. Вид справа

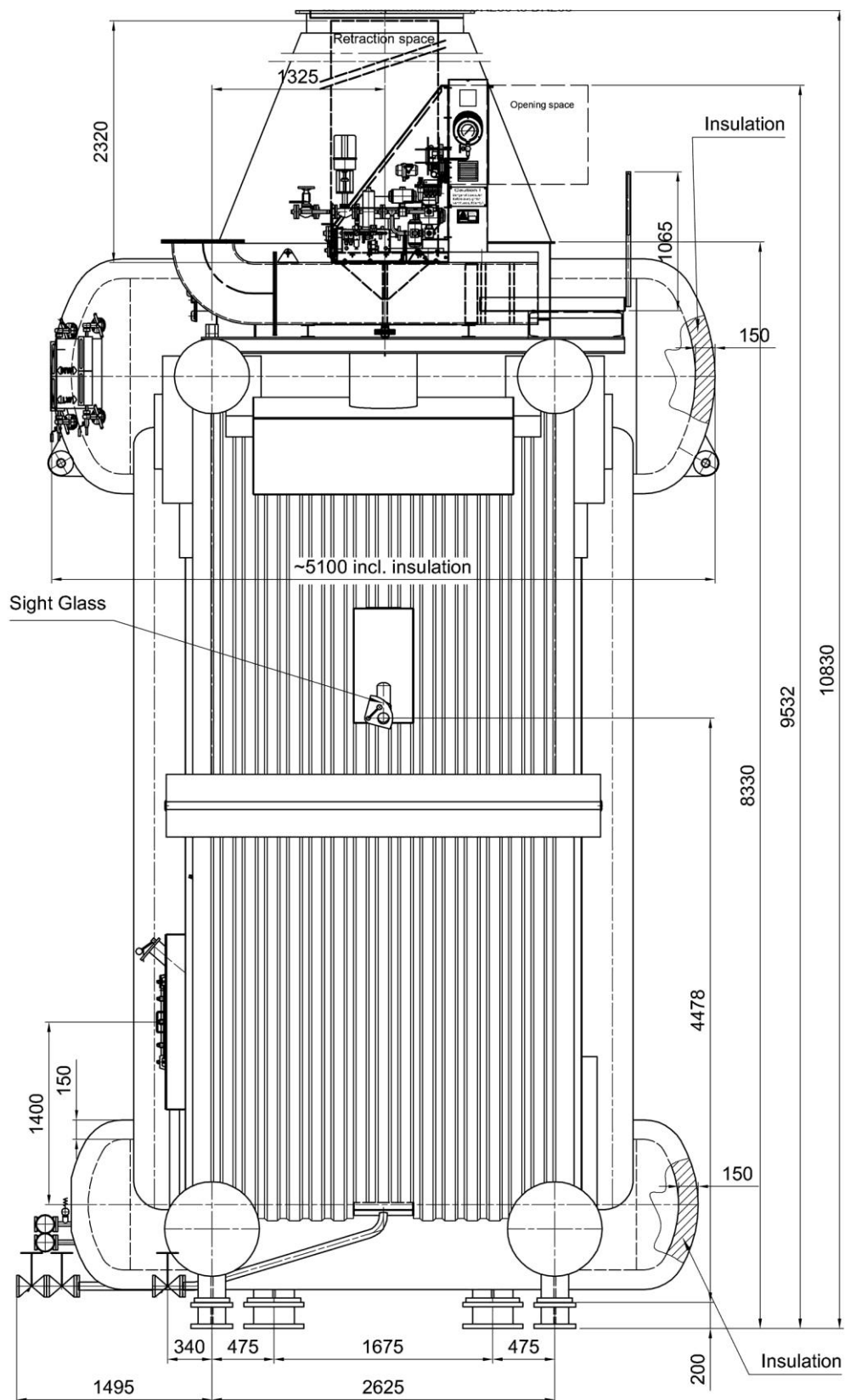
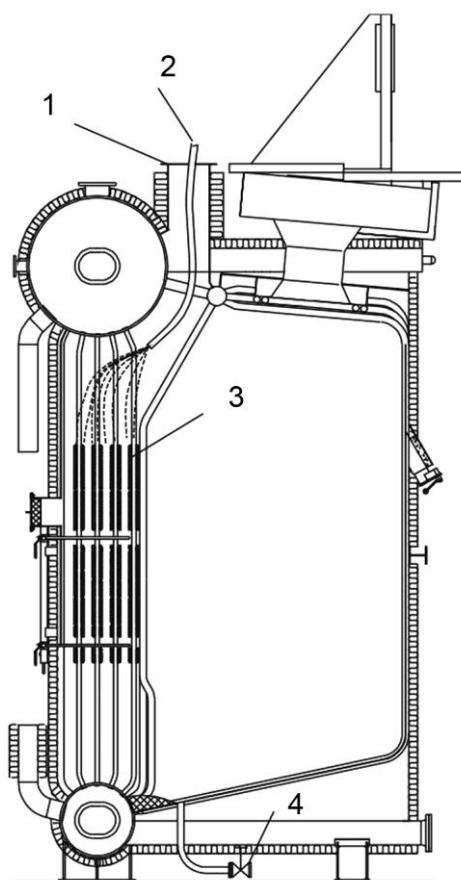


Рисунок Ц.5 –Котел Mission D-type Model 45000. Вид слева

На рисунках Ц.6 представлено операция мойки ошипованного испарительного пучка.



1 – газоход; 2 – вводимый трубопровод с направляющими распылителями;
3 – ошипованная часть пучка; 4 – дренажный клапан для удаления отходов

Рисунок Ц.6 – Котел Mission D-type Model 45000. Мойка испарительного пучка

Приложение Ч

Техническая характеристика и описание судового парового котла типа Aalborg i-OC 1800/1100

Котел i-OC 1800/1100 – паровой композитный вертикальный цилиндрический газотрубный содержит в одном прочном корпусе утилизационную секции и секцию с мазутным отоплением. Паропроизводительность утилизационной части 1100 кг/ч; вспомогательной – 1800 кг/ч.

На рисунке Ч.1 представлен продольный разрез котла с различными вариантами подачи выхлопных газов от ДВС: снизу и через боковую поверхность входной газовой камеры.

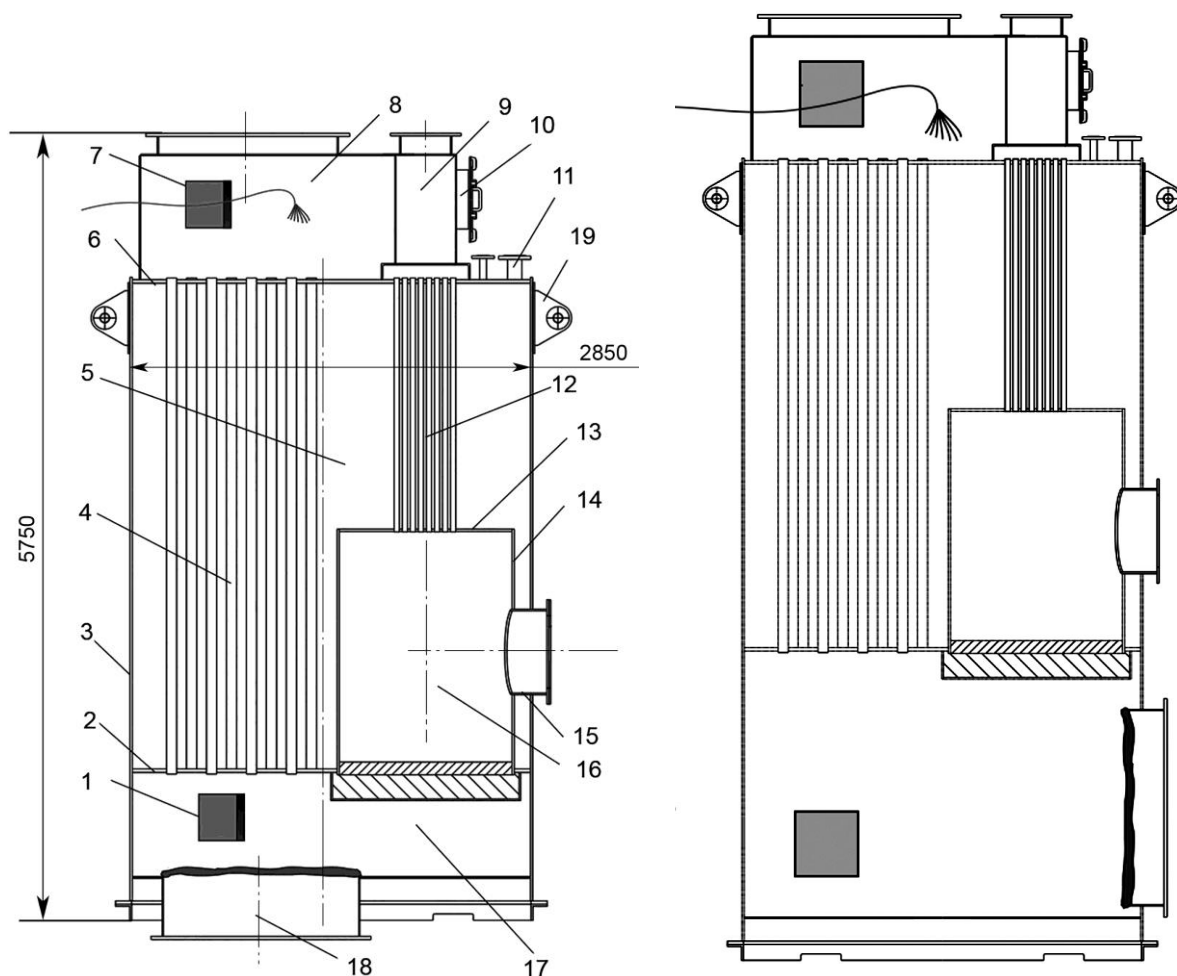


Рисунок Ч.1 – Устройство котла Aalborg i-OC 1800/1100

Обе секции имеют общий водяной объем, что улучшает циркуляцию воды в котле.

Котел содержит следующую компоновку: в утилизационную секцию выхлопные газы от ДВС поступают во входной газовый 17 короб через патрубок 18. короб. Из входного газового короба 17 продукты сгорания поступают в конвективный испарительный пучек 4, содержащего простые и связные трубы. Парообразующий пучек утилизационного котла занимают до 75 % площади поперечного бочки котла 3, окружая топку 16. Из пучка 4 дымовые газы поступают в верхний газовый короб 8 и далее выходя в дымовую трубу. Форсуночная горелка вспомогательного котла установлена в фурменном отверстии 15. Эксцентрично расположенная цилиндрическая топка 16 с вертикальной осью является водоохлаждаемой (кроме пода) и соответственно хорошо экранированной. Продукты сгорания из топки поступают газотрубный парообразующий пучек 12, откуда поступают в свой небольшой газовый короб и далее в дымовую трубу.

Прочный корпус котла образован главной цилиндрической обечайкой 3 с приваренными трубными досками 2 и 6. В нижнюю трубную доску 2 вварена цилиндрическая обечайка топки 14. В верхней трубной доске 13 топки 14 установлен конвективный пучек вспомогательного котла 12. К верхней трубной доске приварены трубы испарительных пучков утилизационного и вспомогательного котлов. Обечайка топки и бочки котла соединены фурменным каналом 15.

Для обслуживания котла газовые короба оснащены лазами 1, 7 и 10. Основная часть арматуры установлена на патрубках 11, приваренных в верхней трубной доске. Для закрепления на бочке установлены грузовые обухи 19.

Общий вид котла представлен на рисунках Ч.2 ...Ч.5. На рисунках обозначены следующие элементы котла: 1 – клапан нижнего продувания; 2

– дренажный клапан; 3, 6 – грузовой обух; 4 – компенсатор динамических нагрузок; 5 – газовый датчик; 7 – лаз в прочный корпус; 8 – клапан отбора проб; 9 – форсуночный агрегат; 10 – воздухопровод; 11 – сливная воронка; 12 – инспекционное окно; 13 – водоуказательные колонки;

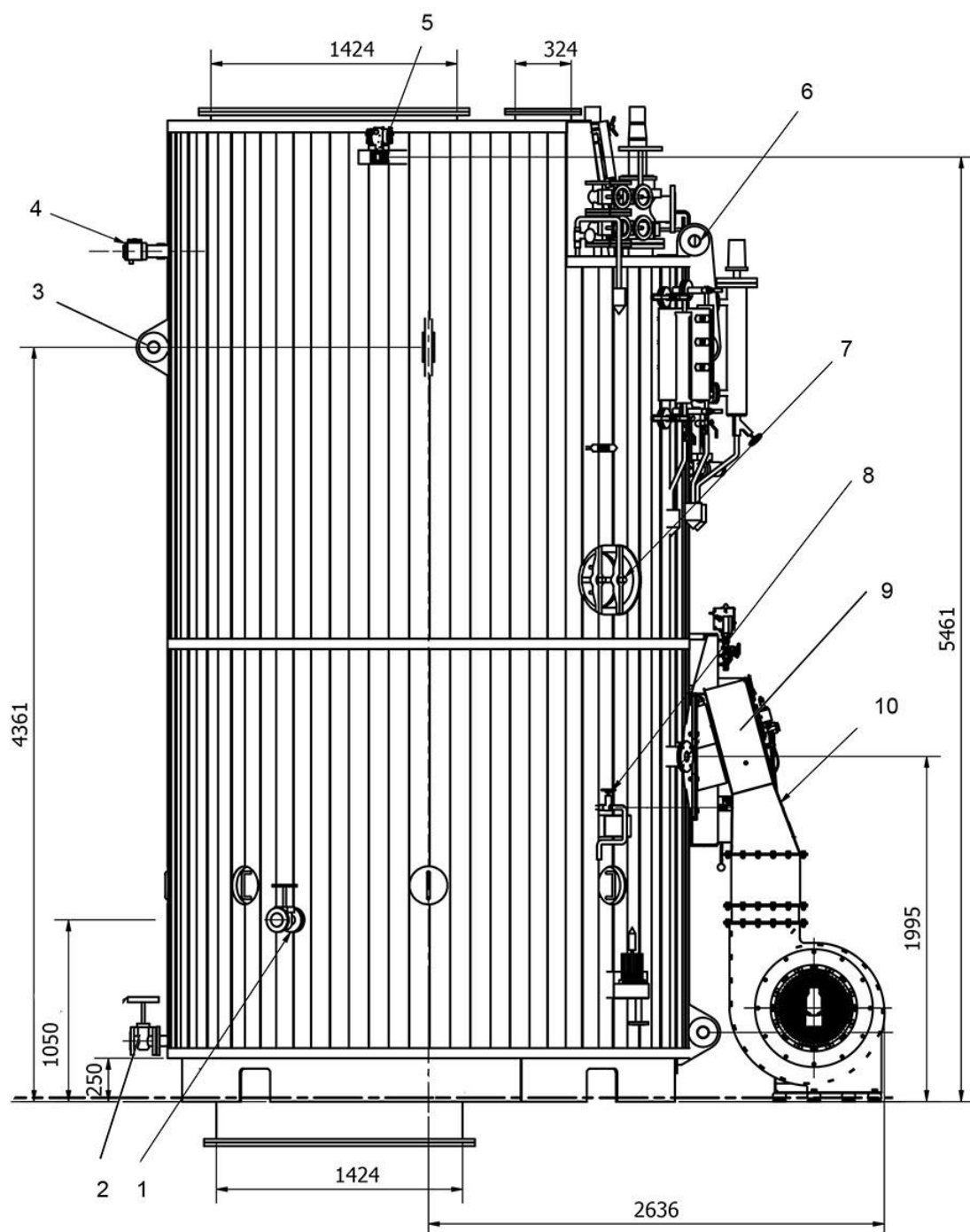


Рисунок Ч.2 – Вид котла Aalborg i-OS 1800/1100 сбоку

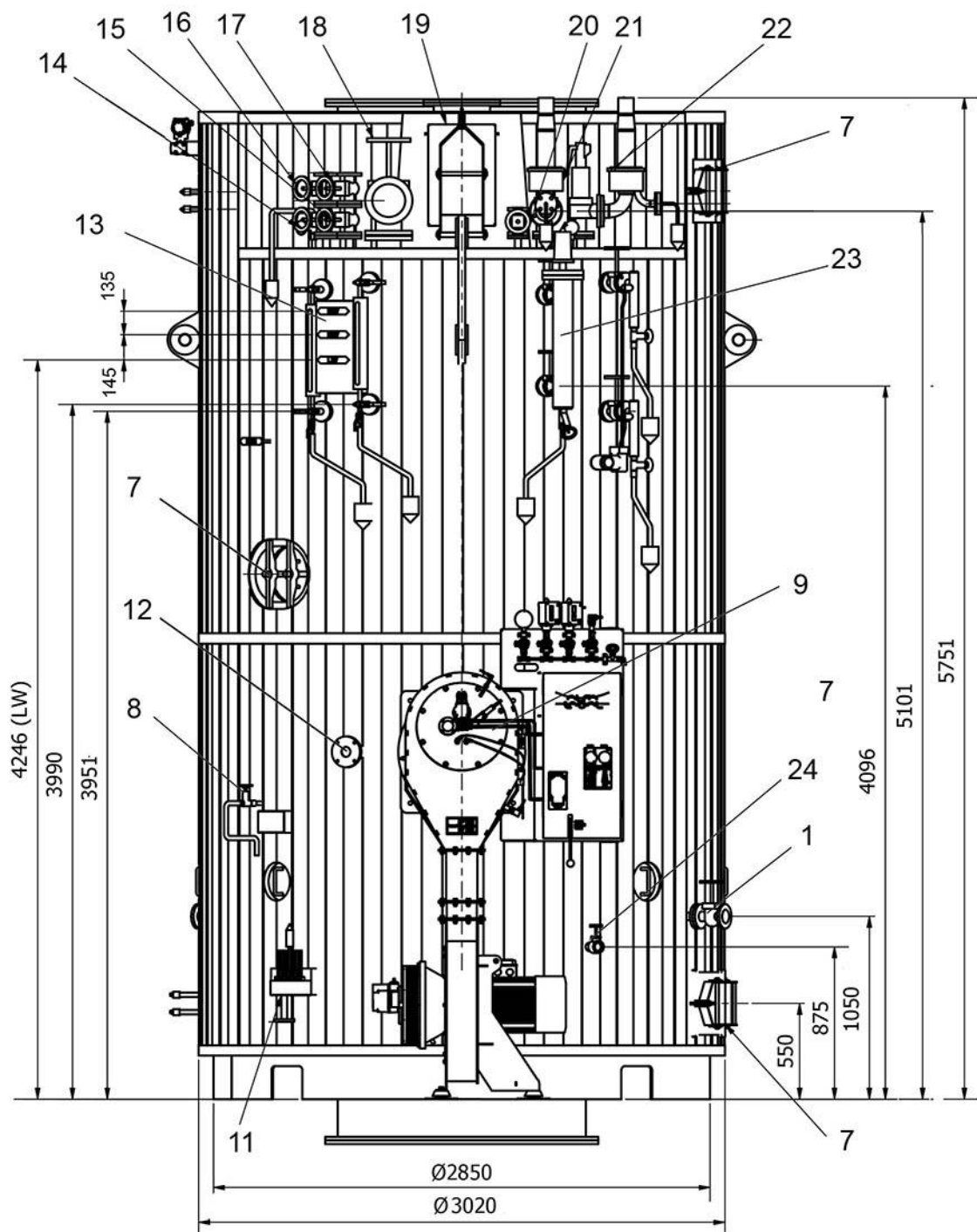


Рисунок Ч.3 – Вид котла Aalborg i-OC 1800/1100 спереди

14, 15 – запорные питательные клапана; 16, 17 – невозвратно-запорные питательные клапана; 18 – главный стопорный клапан; 19 – инспекционный

лаз; 20 – клапан верхнего продувания; 21, 22 – предохранительный клапан; 23 – штыревая водоуказательная колонка; 24 – дренажный клапан топки.

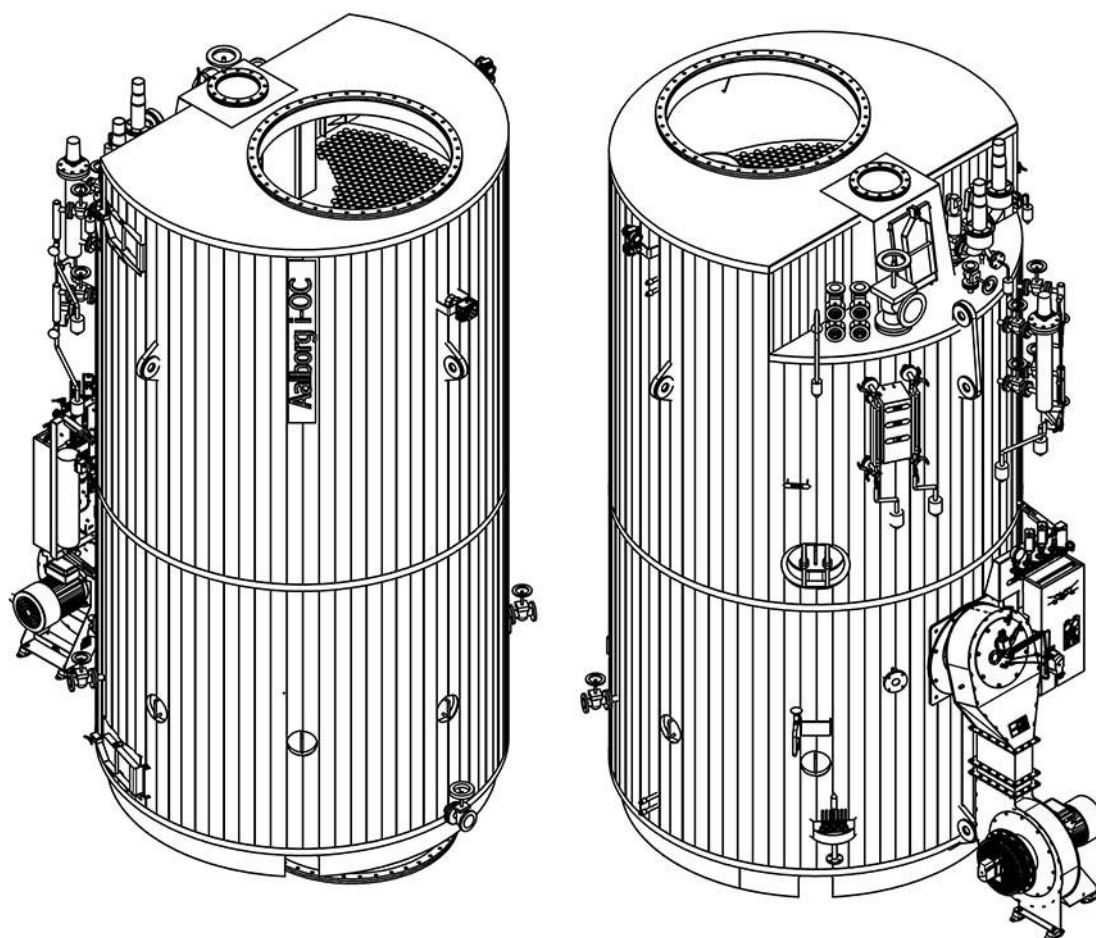


Рисунок Ч.4 – Вид котла Aalborg i-OC 1800/1100 в изометрии

Котел имеет следующие технические характеристики: полная высота котла 5,7 м; диаметр (включая изоляцию) 3,02 м; масса сухого котла 22,8 т; масса котла с водой 36,2 т; паропроизводительность утилизационной части 1,1 т/ч; паропроизводительность вспомогательной части 1,8 т/ч; рабочее давление 0,7 МПа; рабочая температура 170,4 °С; температура питательной воды 60 °С; толщина изоляции котла 75 мм.

Вспомогательная часть: вязкость топлива, поступающего на форсунку – 14...16 сСт; температура уходящих газов вспомогательного котла 272

°С; расход воздуха 2147 кг/ч; расход дымовых газов 2276 кг/ч. Расход жидкого топлива 64 ... 147 кг/ч.

Утилизационная часть: расход выхлопных газов через котел 81720 кг/ч; температура газов на входе в котел 220 °С; на выходе 188 °С.

Работа котла обеспечивается двумя питательными центробежными насосами производительностью 3120 кг/ч высотой всасывания 3,15 м и давлением 1,3 МПа. Мощность насоса 3, кВт, частота вращения 3500 Для горения воздух подается 1 вентилятором производительностью 3157 м³/ч давлением 837 мм.вод.ст., мощностью 17,0 кВт и частотой вращения 3635 мин⁻¹. Топливо подается двумя винтовыми насосами производительностью до 1080 л/ч рабочим давлением 3,3 МПа.

Приложение III

Техническая характеристика и описание судового главного парового котла типа Kawasaki UME 65

Котел D – образный, содержит полностью экранированную топку, притопочный и основной испарительные пучки, экономайзер и паровой воздухоподогреватель. Котел устанавливается на газовозах парами. Пароперегреватель расположен между притопочным (два ряда) и основным пучками испарительной поверхности. Котел оснащен мембранными экранами, имеет потолочное расположение трех топочных устройств. Сборка экономайзера и пароперегревателя осуществляется из предварительно подготовленных панелей труб. Соединение труб испарительного основного испарительного пучка выполнено вальцовкой, остальные соединения труб с коллекторами выполнено посредством сварки. Температура перегретого пара регулируется с помощью пароперегревателя, расположенного в водяном коллекторе.

Котел имеет следующие технические характеристики: коэффициент полезного действия 88,5 %; паропроизводительность 52 т/ч; давлением пара на выходе из пароперегревателя 6,0 МПа; температура перегретого пара 525 °С; температура питательной воды 145 °С. Температура воздуха на входе в воздухоподогреватель 38 °С; температура воздуха на выходе из воздухоподогревателя 130 °С. Расход топлива 4670 кг/ч, форсунка мазутная – пароструйная. Расход распыливающего пара 152 кг/ч, давление 0,78 МПа.

Поверхности нагрева: топочных экранов 139 м²; испарительного пучка 650 м²; экономайзера 1317 м²; пароперегревателя 233 м²; парового воздухоподогревателя 660 м². Суммарная поверхность нагрева 3061 м².

Объем топки 48,5 м³. Объем воды в котле 17,5 м³. Масса котла без воды 139 т.

Главный экран, боковые экраны, направляющий мембранный ряд котла – трубы 63,5 × 4,5 мм; пароперегреватель – 38 × 4,5 мм; – 63,5 × 4,5 мм; основной испарительный пучек – 45 × 3,8 мм; опускная труба к коллектору главного экрана – 216,3×12,7 мм; опускная труба к коллектору бокового экрана – 165,2×11,0 мм; опускная труба к водяному коллектору – 267,4×15,1 мм; труба отбора перегретого пара – 267×28,6 мм; поперечный шаг основного испарительного пучка – 72 мм; поперечный шаг притопочного пучка 125 мм; шаг главного экрана – 80 мм.

Внутренний диаметр пароводяного коллектора – 1400 мм; толщина обечайки пароводяного коллектора – 50 мм; толщина трубной доски – 136 мм.

На рисунке Ш.1 представлен поперечный разрез котла; на рисунке Ш.2 – продольный разрез котла; на рисунке Ш.3 – вид котла сверху; на рисунке Ш.4 – устройство экономайзера котла; на рисунке Ш.5 – схема формирования циркуляции воды в котле; на рисунке Ш.6 – главный вид котла; на рисунке Ш.7 – устройство пароводяного коллектора. На рисунках обозначены следующие позиции: 1 – коллектор главного экрана; 2, 29, 30 – дренажные патрубки; 3, 18, 22 – лаз; 4, 13 – нижний и верхний коллектора боковых экранов; 5 – боковой экран; 6 – главный экран; 7 – пароперегреватель; 8 – балка жесткости; 9 – топка; 10 – притопочный пучек; 11 – фотоэлемент; 12 – перепускная труба; 14 – топочное устройство; 15 – подвод жидкого топлива на газо-мазутную горелку; 16 – подвод газа на горелку; 17 – паросборная труба; 19 – отбор насыщенного пара; 20 – пароводяной коллектор; 21 – выход продуктов сгорания; 23, 26 – сажеобдувочные аппараты; 24 – основной испарительный пучек; 25 – опускная труба к водяному коллектору; 27 – направляющий мембранный ряд испарительного пучка;

28 – водяной коллектор; 31 – трубопровод отбора перегретого пара; 32 – пространство выдвижения сажеобдувочных

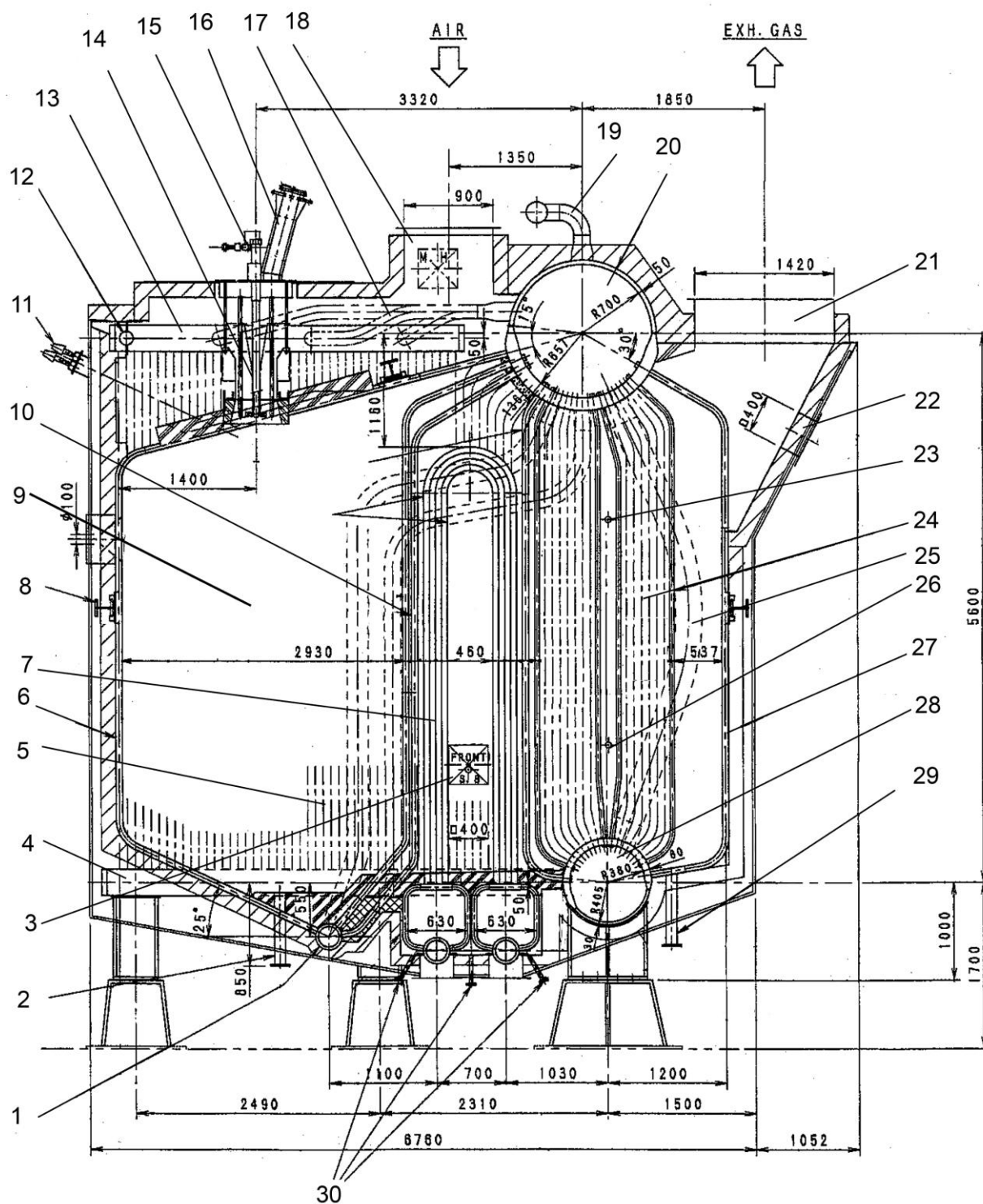


Рисунок III.1 – Котел Kawasaki UME 65, поперечный разрез

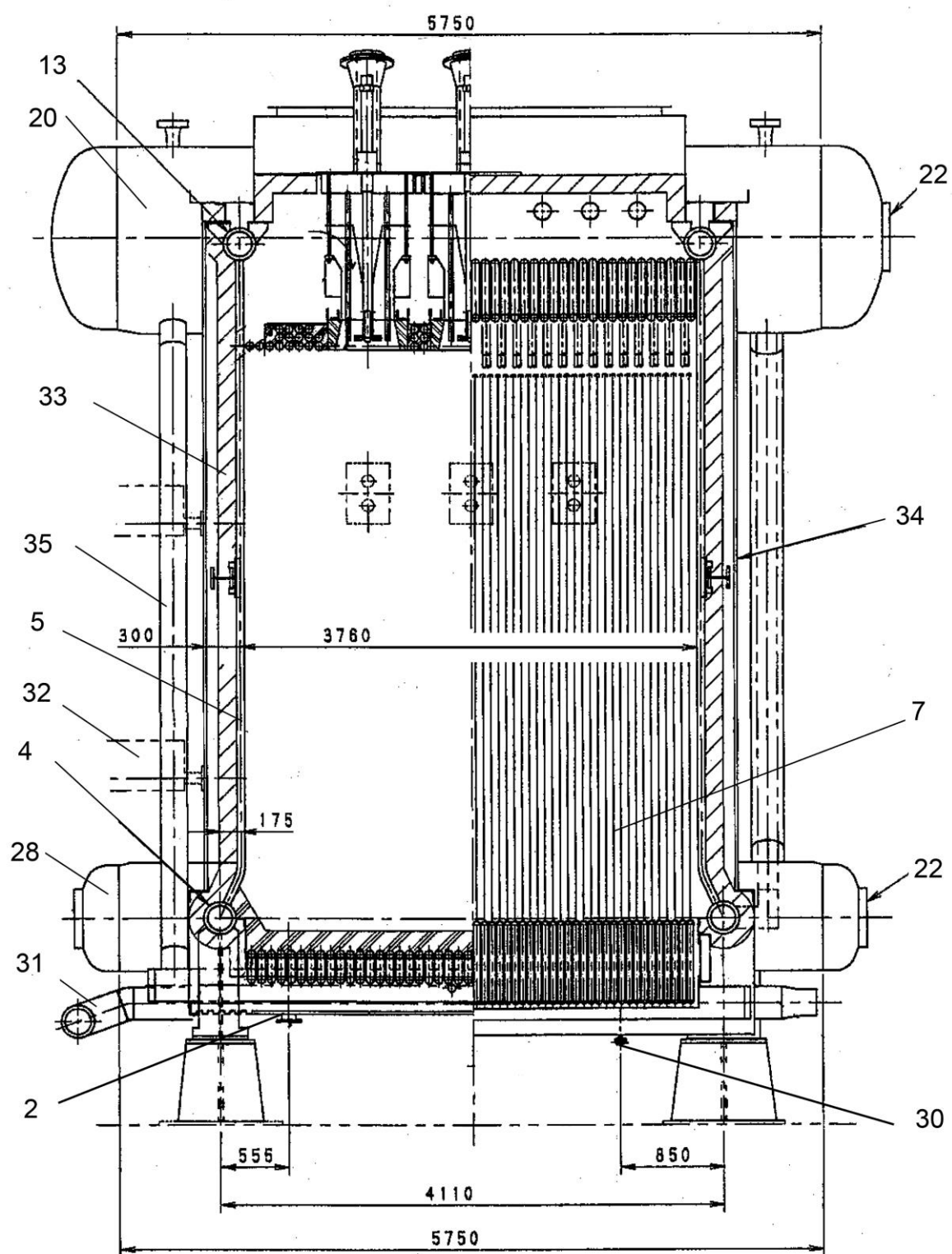


Рисунок III.2 – Котел Kawasaki UME 65, продольный разрез

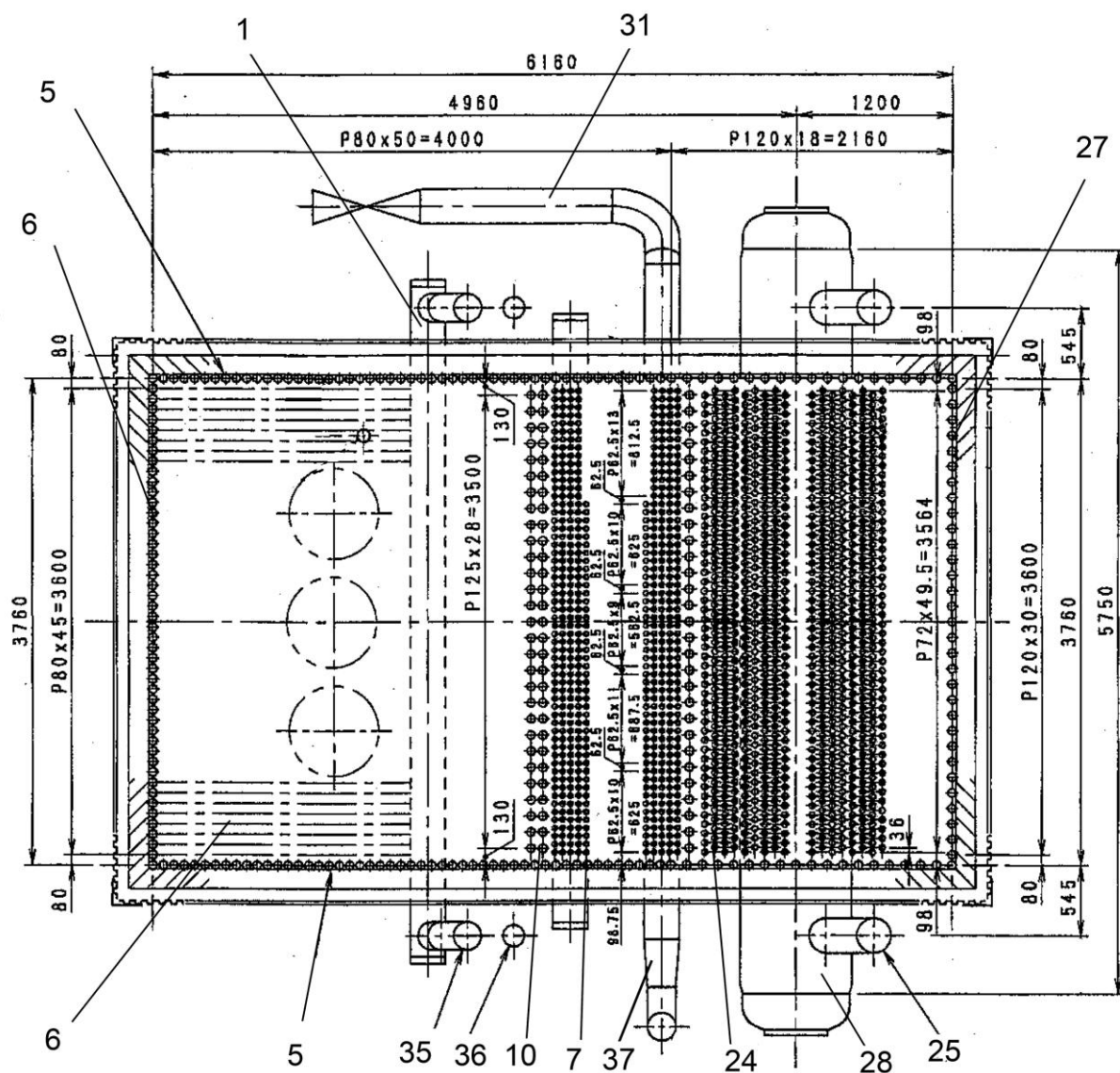


Рисунок Ш.3 – Котел Kawasaki UME 65, вид сверху

аппаратов; 33 – обмуровка экрана; 34 – изоляция; 35 – опускная труба коллектора главного экрана; 36 – опускная труба коллектора бокового экрана; 37 – подвод насыщенного пара к пароперегревателю; 38 – оребренный экономайзер; 39 – вход питательной воды в экономайзер; 40 – выход питательной воды из экономайзера; 41 – паровой воздухоподогреватель; 42 – подача перегретого пара на пароохладитель; 43 – ввод воды от экономайзера

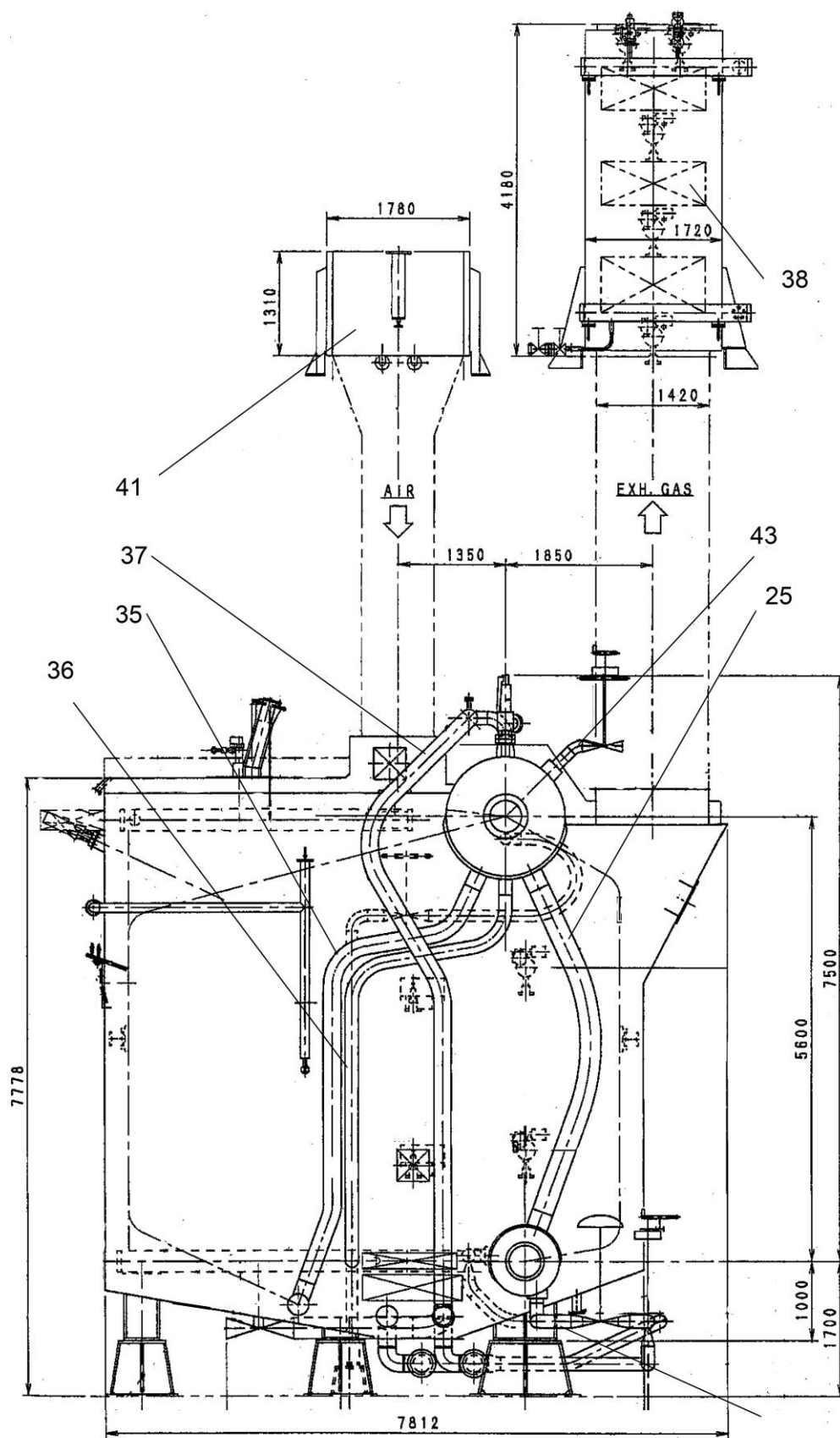
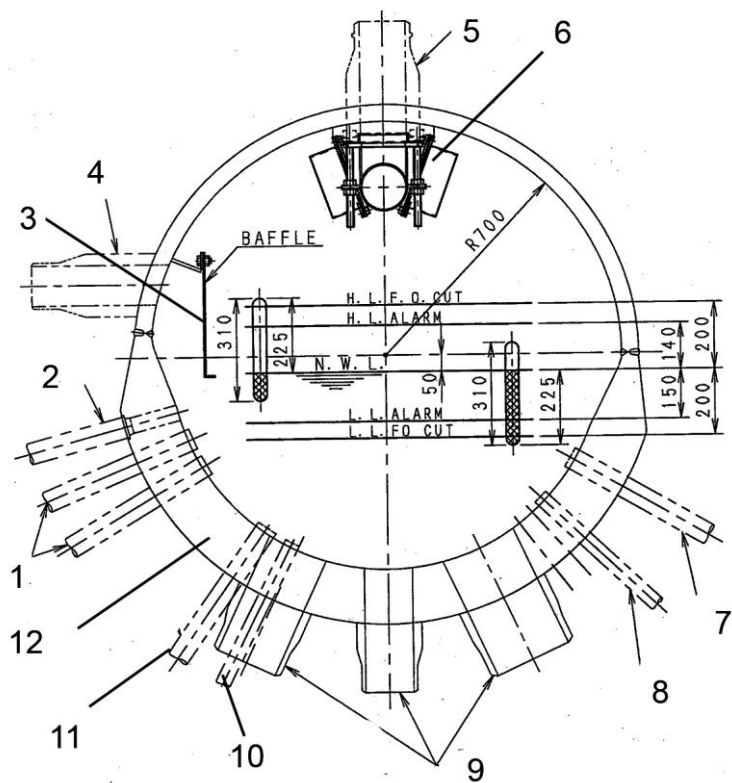


Рисунок Ш.6 – Котел Kawasaki UME 65. Главный вид



1 – отбор пара от притопочного испарительного пучка; 2 – отбор пара от главного экрана; 3 – отбойный щит; 4 – отбор пара от боковых экранов; 5 – отбор насыщенного пара; 6 – сепаратор пара; 7 – отбор пара направляющего мембранного ряда испарительного пучка; 8, 10 – отбор пара от основного испарительного пучка; 9 – опускные трубы; 11 – поддерживающий ряд

Рисунок Ш.7 – Котел Kawasaki UME 65, поперечный разрез пароводяного коллектора

Приложение Щ

Техническая характеристика и описание судового парового котла типа Mitsubishi MC-140A

Котел Mitsubishi MC-140A – вспомогательный, вертикальный цилиндрический, водотрубный.

Основные потребители пара – трубные змеевики для подогрева топлива и жидких грузов, требующих определенной вязкости при переходе танкера. Пар – насыщенный.

Номинальная паропроизводительность 13500 кг/ч при рабочем давлении 0,74 МПа.

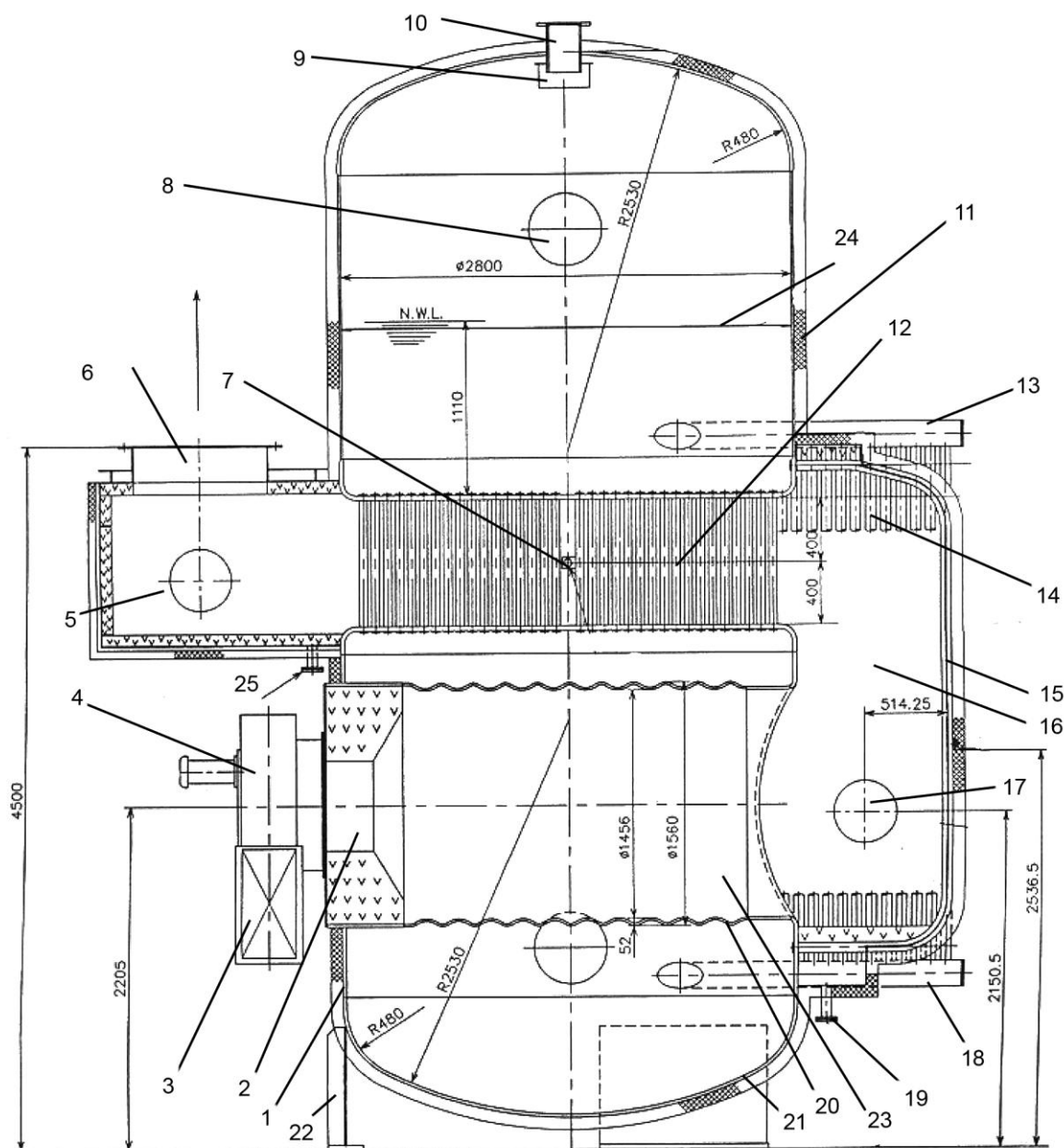
На рисунках Щ.1 и Щ.2 представлены продольный и поперечный разрезы котла.

Прочный корпус котла образован вертикальной цилиндрической бочкой 1 с верхним и нижним 21 сферическими днищами, цилиндрической горизонтальной жаровой трубой 20, четырьмя коллекторами 13 и 18 боковой радиационной поверхности и, собственно, испарительные поверхности конвективного пучка 12 и жаровой камеры 14 и 15.

Котел оснащен основной ротационной и пусковой механической форсунками.

Котел состоит из прочного корпуса, топочного устройства 4, топки 23, жарового поворотного короба 16, выходного газового короба 5 с выходным отверстием 7, опор 22, изоляции 11 и арматуры со средствами автоматического управления работой котла.

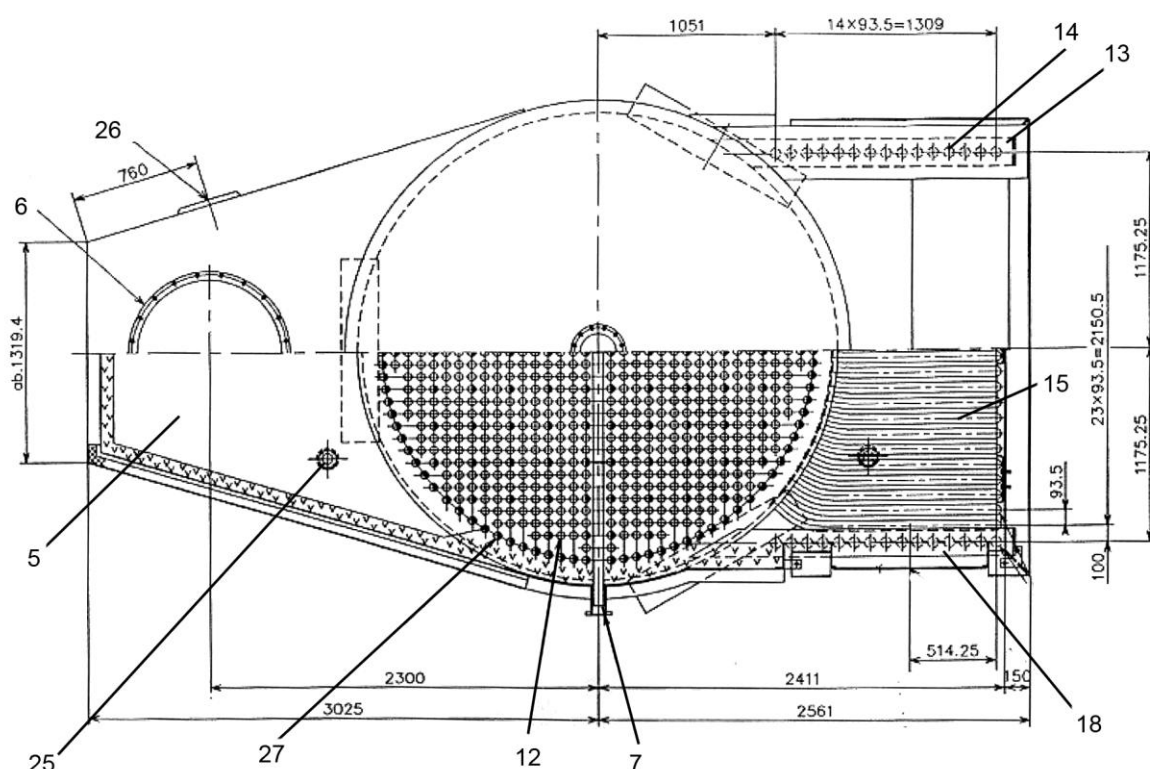
Топливо-воздушная смесь сгорая в топке 23, передает часть своей энергии поверхности жаровой трубы 20. Для усиления продольной и поперечной устойчивости труба выполнена волнистой. Из топки продукты сгорания обладая высокой температурой попадают в поворотную жаровую камеру 16, поверхность которой покрыта боковыми 14 и задним экранами 15.



- 1 – цилиндрическая бочка; 2 – фурменное отверстие; 3 – подвод воздуха от вентилятора; 4 – топочное устройство; 5 – выходной газовый короб; 6 – выходное отверстие для продуктов сгорания; 7 – сажеобдувочная труба; 8, 17 – лаз; 9 – сепарационное устройство; 10 – патрубок стопорного клапана; 11 – изоляция; 12 – конвективный испарительный пучок; 13, 18 – коллектора; 14 – боковой экран жаровой камеры; 15 – задний экран жаровой камеры; 16 – жаровая камера; 19, 25 – дренажный патрубок; 20 – жаровая труба; 21 – сферическое днище; 22 – опоры; 23 – топка; 24 – средний уровень воды в котле

Рисунок Щ.1 – Продольный разрез котла Mitsubishi MC-140A

Наличие этих поверхностей повышает эффективность котла. Далее дымовые газы двигаясь горизонтально, омывают конвективный испарительный пучек 12. Испарительный пучек представляет собой совокупность вертикально установленных в коридорном порядке труб длиной 0,8 м. Основная часть труб выполнена из цельнотянутого трубного проката $50,8 \times 2,9$ мм, по краям пучка установлены усиленные трубы $50,8 \times 6,0$ мм. Из пучка дымовые газы попадают в выходной газовый короб 5 и через отверстие 6 в дымовую трубу.



- 5 – выходной газовый короб; 6 – выходное отверстие для продуктов сгорания;
 7 – сажеобдувочная труба; 12 – конвективный испарительный пучек;
 13, 18 – коллектора; 14 – боковой экран жаровой камеры; 15 – задний экран жаровой камеры; 25 – дренажный патрубок; 26 – лаз газовый короб;
 27 – усиленные трубы конвективного испарительного пучка

Рисунок Щ.2 – Поперечный разрез котла Mitsubishi MC-140A

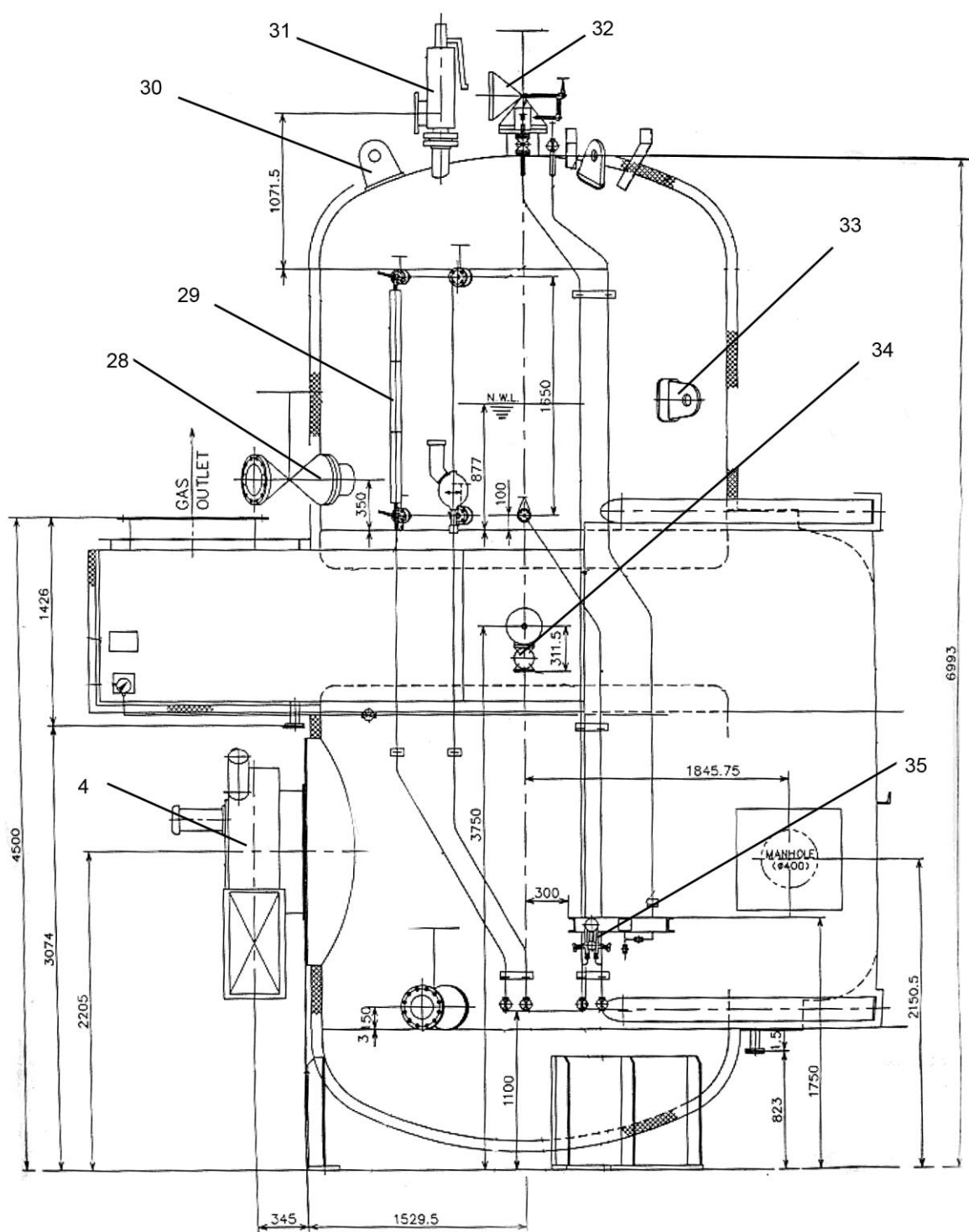
На рисунках Щ.3 и Щ.4 представлены главный вид котла и вид сзади.

От питательного насоса вода поставляет в котел через два питательных клапана 36 и 37. Один из них установлен на системе питательной воды с автоматическим регулированием количества подаваемой воды в котел, второй – на системе с ручным регулированием. Вода, поступившая в котел, направляется в нижнюю часть вертикальной бочки через крайние трубы конвективного пучка (относительно жаровой трубы) с наименьшим обогревом. Таким образом обеспечивается циркуляция воды в котле. Движущий напор заставляет котловую воду поступать в нижние коллектора боковых экранов 18 жаровой коробки 16 и в нижние концы труб бокового экрана 15 той же жаровой коробки. Полученная пароводяная смесь поступает в верхние коллектора 13 боковых экранов 18 и далее в вертикальный барабан выше конвективного испарительного пучка. Пароводяная смесь бокового экрана также выходит в верхнюю часть барабана выше конвективного испарительного пучка.

Пар, выработанный на поверхности жаровой трубы 20, поступает в виде пароводяной смеси в конвективный испарительный пучек 12. В пучке 12 существенно увеличивается доля пара в пароводяной смеси. И далее пара сквозь котловую воду поднимается к зеркалу испарения и далее, через паровое пространство достаточной высоты на сепарирующее устройство 9.

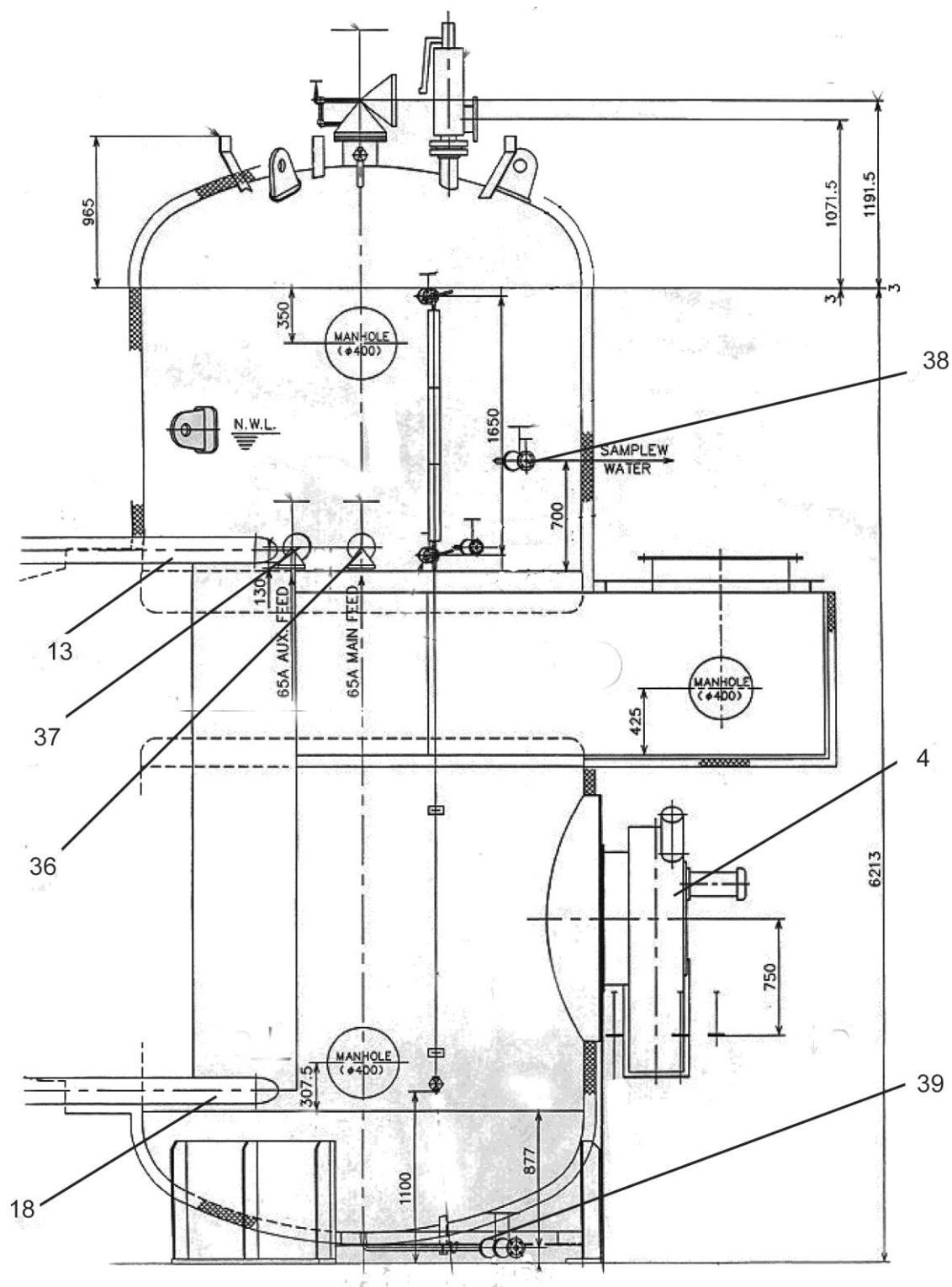
Для очистки конвективного вертикального от сажи предусмотрен сажеобдувочный аппарат 7.

Достаточно большая высота обеспечивает значительные размеры рабочего уровня воды в котле: сигнализация по верхнему уровню срабатывает при превышении нулевой отметки на 720 мм, сигнализация по нижнему уровню срабатывает при снижении от нулевой отметки на 580 мм, аварийная остановка котла осуществляется при снижении от нулевой отметки на 620 мм.



4 – топочное устройство; 28 – клапан верхнего продувания; 29 – водоуказательная колонка; 30 – грузовое ухо; 31 – предохранительный клапан; 32 – стопорный клапан; 33 – ухо для раскрепления котла между переборками МКО; 34 – клапан подачи пара на сажеобдувочный аппарат; 35 – датчик слежения за уровнем воды в котле

Рисунок Ц.3 – Главный вид котла Mitsubishi MC-140A



4 – топочное устройство; 13, 18 – коллектора; 36 – главный питательный клапан;
37 – запасной питательный клапан; 38 – клапан отбора проб; 39 – клапан нижнего
продувания

Рисунок Щ.4 – Главный вид котла Mitsubishi MC-140A

Температура питательной воды – 60 °С. Суммарная площадь поверхности нагрева 141 м². Масса воды в котле при нормальном уровне 21274 кг, масса котла с водой 46560 кг.

Давление настройки предохранительного клапана 0,83 МПа.

На рисунке Щ.5 представлено устройство механической части ротационной форсунки. Шестеренчатым троходиальным насосом топливо под давлением 0,3 МПа подается по гибкому шлангу 7 в трубопровод 16. Неподвижный топливный трубопровод расположен в коаксиально установленных цилиндрических направляющих 15 и 25. В кольцевой зазор 14 подается воздух для распыливания топлива, срывающегося с кромки вращающегося стакана 21. Для направления воздуха на наружном корпусе 15 установлены направляющие лопатки 22. Вращающийся стакан 21 посредством гильзы 20 крепится на валу 2. Вал установлен во внутреннем корпусе 25 на двух подшипниках. Смазка подшипников осуществляется посредством пресс-масленок 23 и 24. Из трубопровода 1 топливо поступает герметичный объем 6, из которого выдавливается на внутреннюю поверхность гильзы 20. За счет центробежных сил топливо с вязкостью 12...40 сСт поступает через расположенные на обертке гильзы отверстия 18 на внутреннюю поверхность вращающегося стакана, откуда поступает на распыливание и горение в топке котла. Частота вращения стакана 6000...9000 мин⁻¹. Вращения приводной вал 13 осуществляется электродвигателем 10 посредством ременной передачи. Передача состоит из ведущего шкива 11, ведомого 8 и поликлинового ремня. При сборке коаксиальных корпусов установлены дистанционные стержни 5.

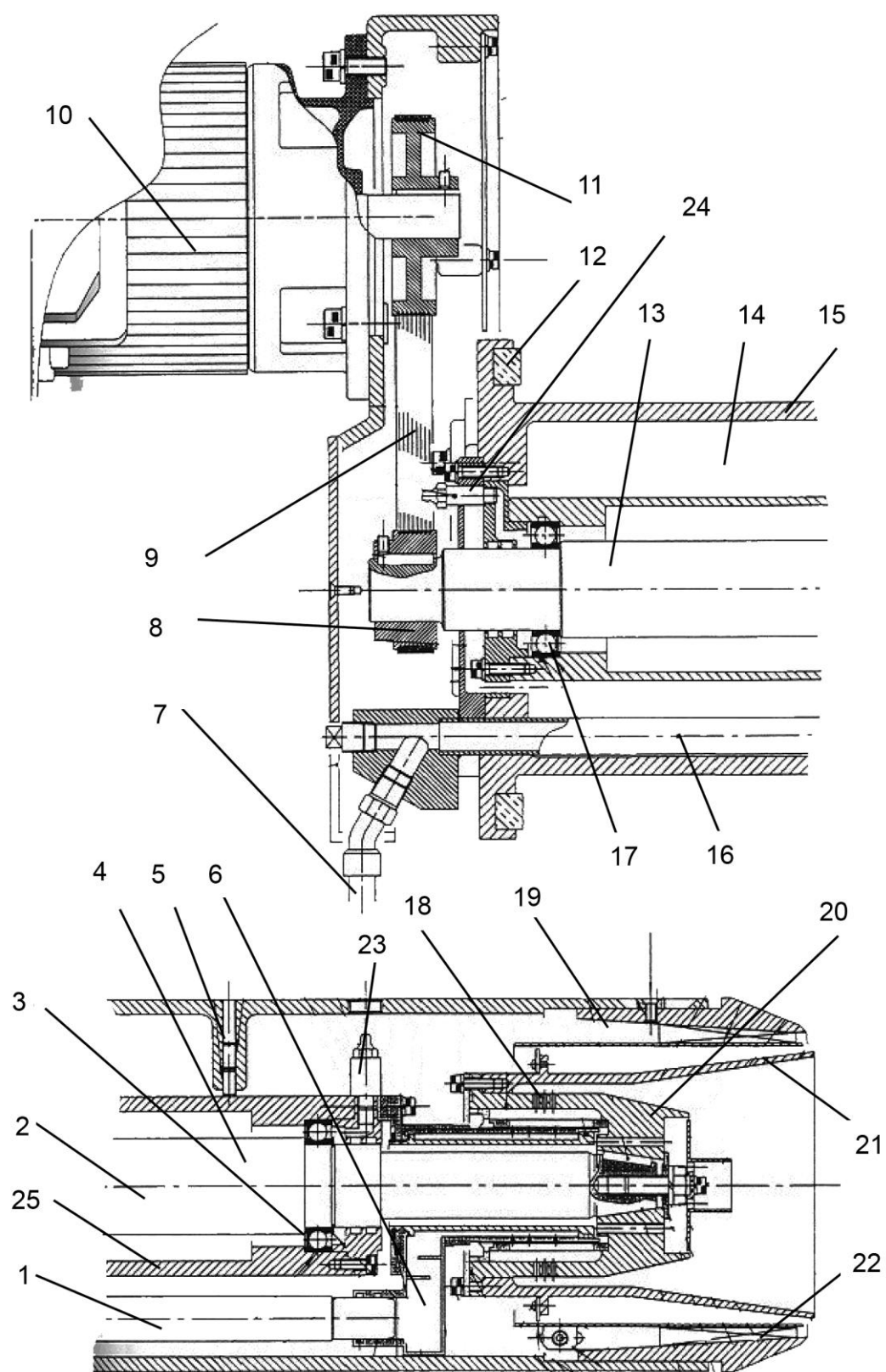


Рисунок Щ.5 – Ротационная форсунка

Приложение Ю

Определение геометрических характеристик котла с помощью системы КОМПАС-3D v23 Учебная версия

Определить важные конструктивные характеристики парового котла по поперечному разрезу можно используя возможности системы 3-х мерного моделирования КОМПАС-3D v23 (в дальнейшем именуемой – «система»).

Посредством данной системы можно, не применяя материальных инструментальных средств (курвиметр, планиметр) и другие методы, определить (с высокой степенью достоверности) длины линейных и криволинейных плоских объектов, площадей поверхности. Такими искомыми параметрами могут быть: длина экрана, длина первого ряда конвективного пучка; полная, активная и длина проекции среднего ряда криволинейного конвективного пучка; площадь фронта топки и др.

Для нахождения этих параметров необходимо наличие в электронном виде поперечного разреза котла из технического описания котла и любого указанного линейного размера (например – нормальное расстояние между осями пароводяного и водяного коллекторов, габаритный размер и т.п.).

Типовая последовательность действия следующая:

а. вставка рисунка поперечного разреза котла в новый фрагмент системы.

б. определение средствами системы численное значение известного размера (простой линейный размер) – например А мм.

в. Зная реальное значение определенного (например, Б мм) масштабируем объект так, чтобы он на фрагменте имел масштаб 1мм:1мм (в натуральную величину) – Вводимый масштабный коэффициент – А/Б.

г. Проверка средствами системы истинное значение на экране монитора с реальным значением параметра.

д. Используя инструмент системы «Сплайн по точкам (рисунок Ю.1). Вдоль оси, например, экрана строим сплайн.



Рисунок Ю.1 – Инструмент Сплайн по точкам

е. Используя инструмент системы «Расстояние по кривой между двумя точками» выделяем построенную кривую сплайном и отмечаем начальную и конечную точки на кривой, расстояние между которыми является искомой величиной.

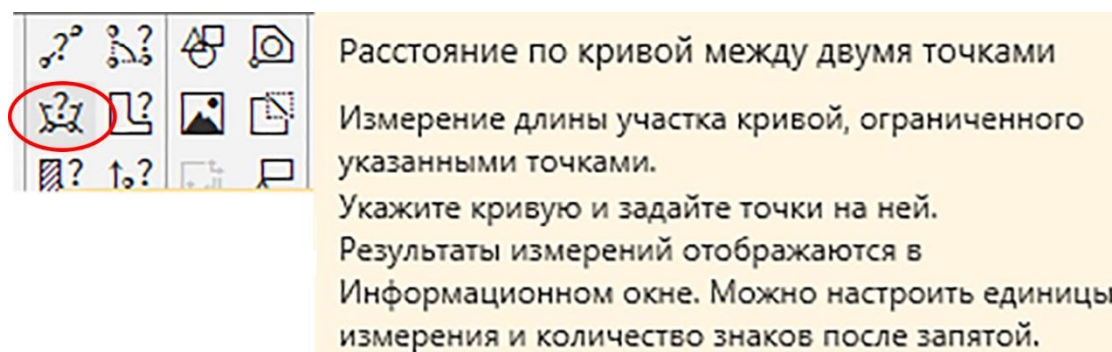


Рисунок Ю.2 – Инструмент расстояние по кривой между двумя точками

По окончании этой процедуры на экране отобразится длина экрана в мм.

ж. Аналогично, построением сплайна определяется длина 1-го ряда конвективного пучка.

з. Для определения площади топки замыкаем инструментом системы «отрезок» контур топки около паро-водяного и водяного коллекторов.

и. Используя инструмент системы «Усечь кривую» удалить лишние элементы двух сплайнов и двух отрезков.

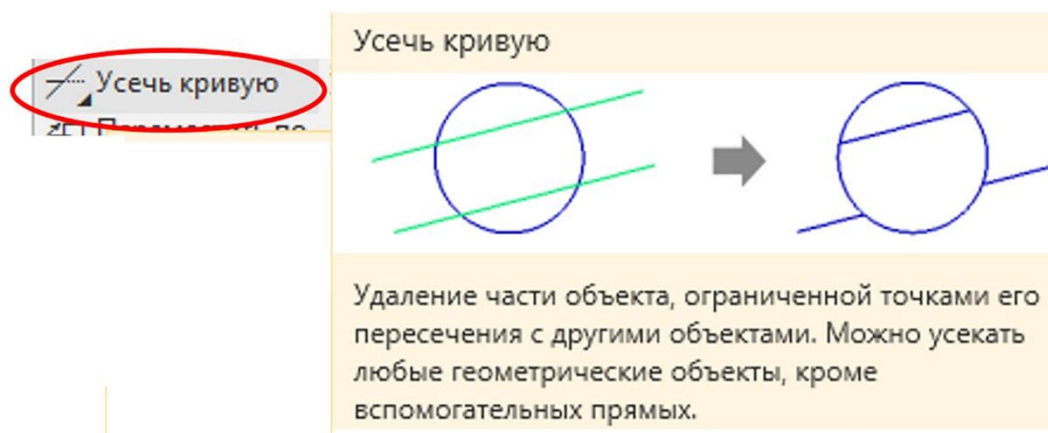


Рисунок Ю.3 – Инструмент усечь кривую

к. Используя инструмент системы выделяем 4 элемент – два сплайна и два отрезка и преобразуем их в контур.

л. Используя инструмент системы «Площадь» определяем искомую площадь топки.

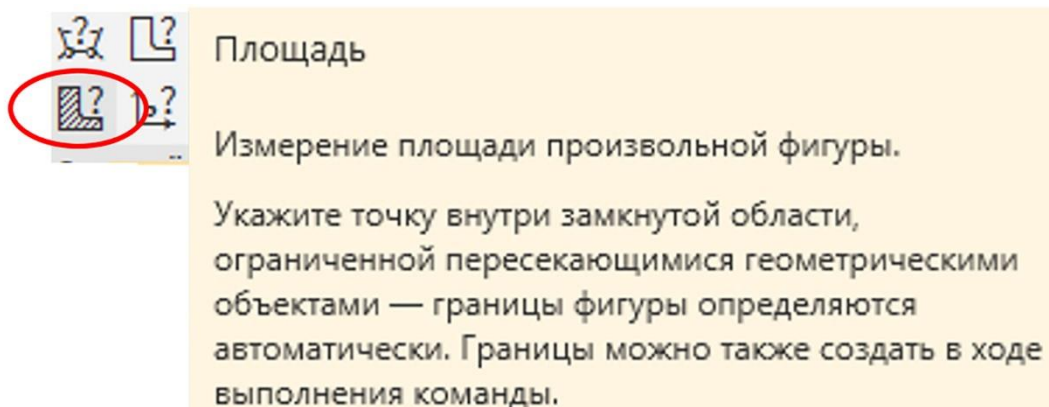


Рисунок Ю.4 – Инструмент площадь.

Ниже представлен пример определения длины экрана и площади фронта котла.

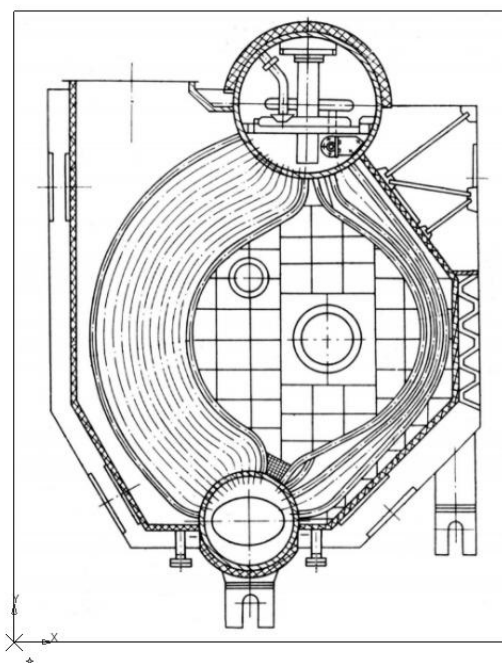


Рисунок Ю.5 – Вставка рисунка котла во фрагмент системы

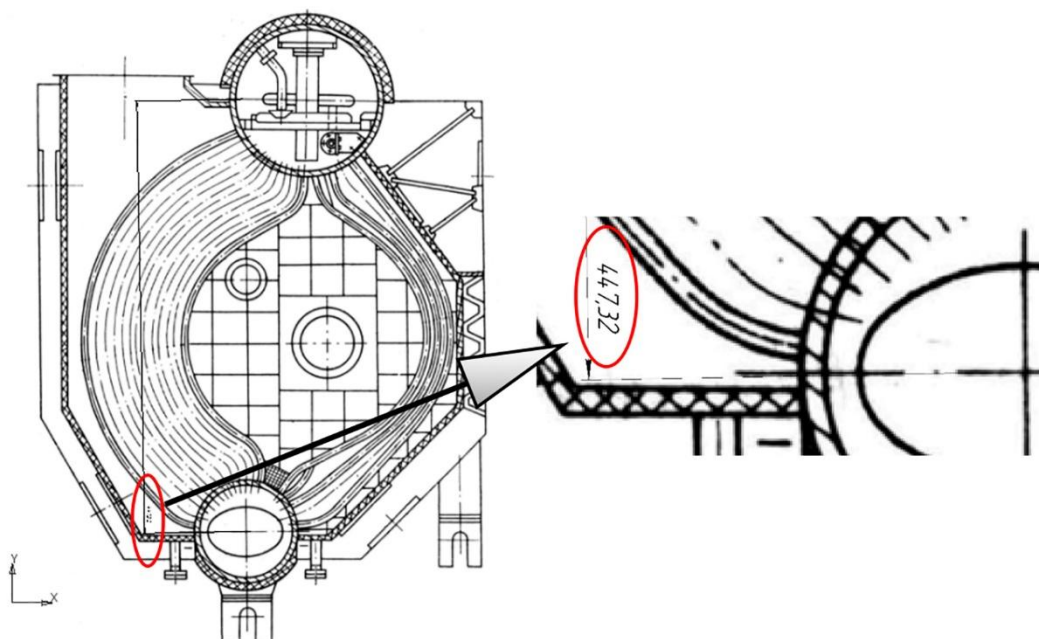


Рисунок Ю.6 – Определение размера на фрагменте известного параметра

Для данного котла нормальное расстояние между осями коллекторов – 2100 мм. Для построения на фрагменте вида котла в натуральную величину определяем масштабный коэффициент $2100/447=4.697987$. Далее выделяем объект и используем инструмент системы «Масштабировать» (рисунок Ю.7). Для понимания процесса рекомендуется предварительно в диалоговом окошке снять галочку и не удалять исходные объекты.

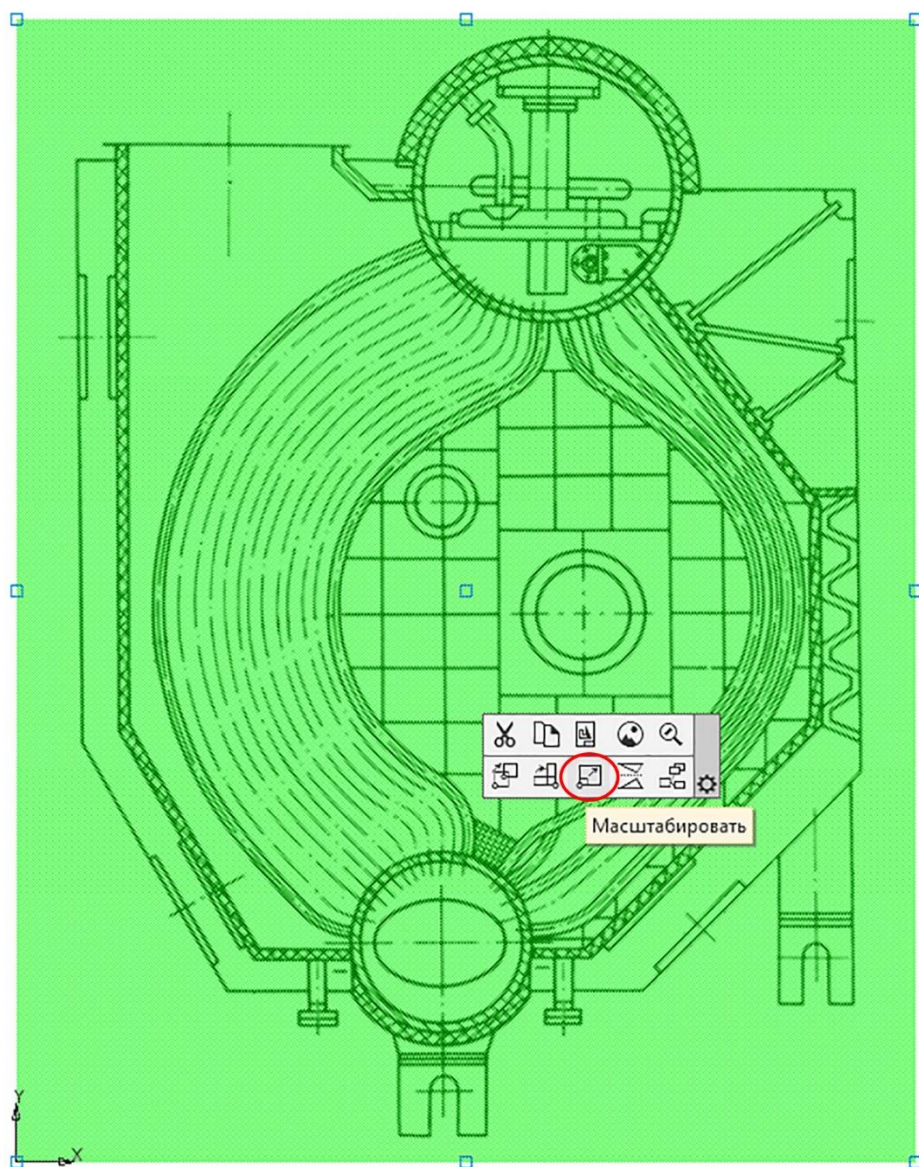


Рисунок Ю.7 – Применение инструмента «Масштабировать»

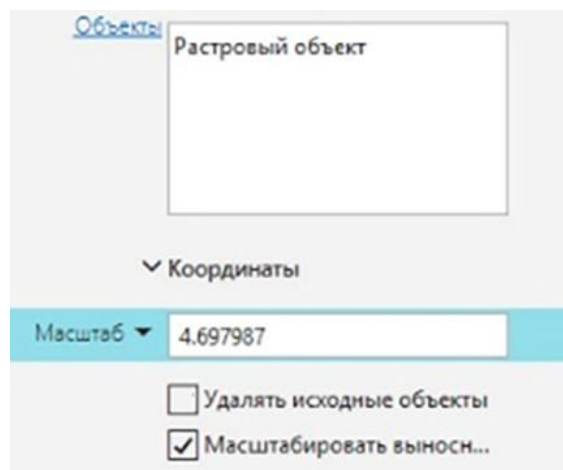


Рисунок Ю.8 – Диалоговое окошко с масштабированием

Получится два изображения на фрагменте: одно изначальное, второе в натуральную величину (рисунок Ю.9).

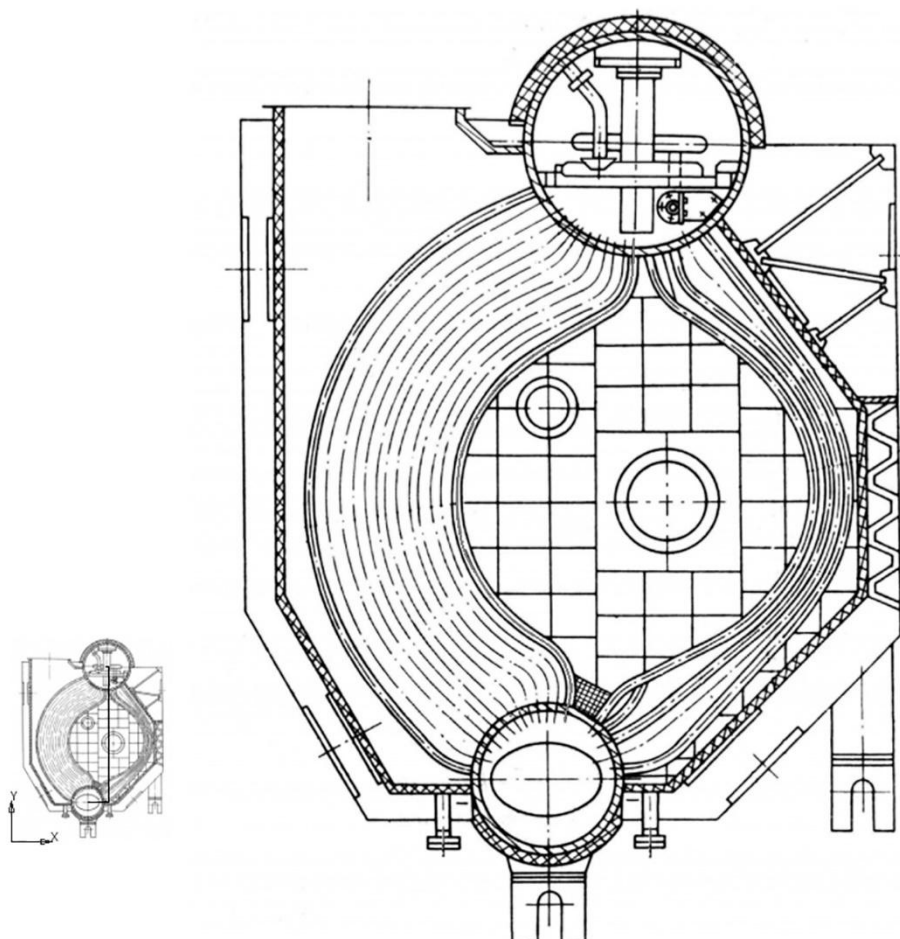


Рисунок Ю.9 – Результаты масштабирования

Далее на изображении с масштабом 1:1 вдоль осевой линии 1-го ряда конвективного пучка проводим сплайн-линию (рисунок Ю.10)

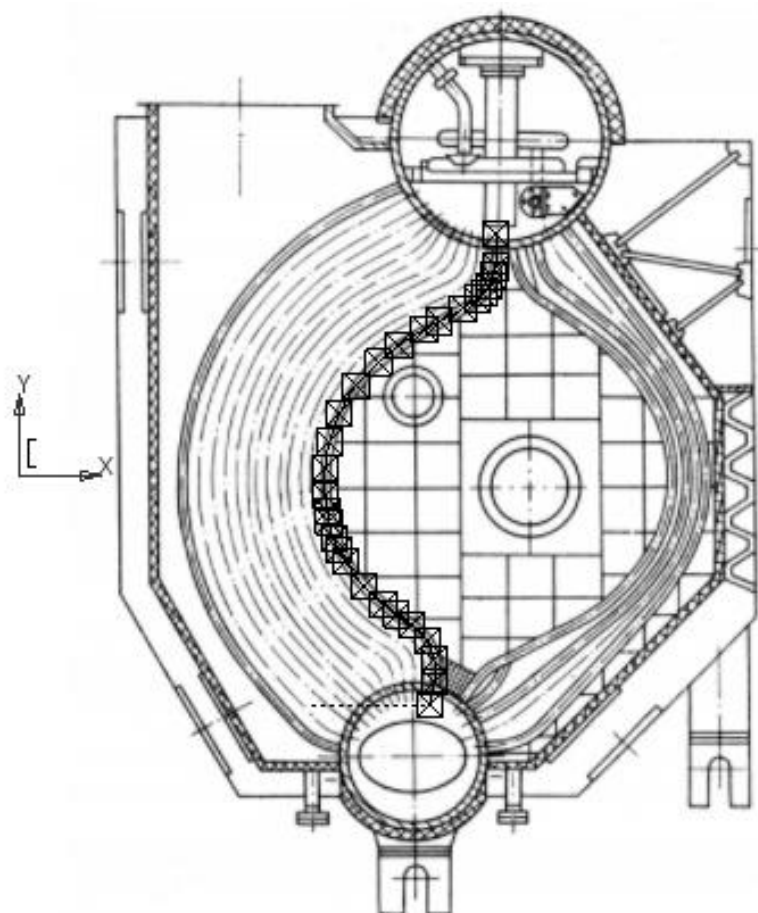


Рисунок Ю.10 – Построение сплайн-линии

Используя инструмент определения длины на кривой между двумя точками определяем облучаемую длин труб 1-го ряда испарительного пучка (Рисунок Ю.11). Полученное расстояние 1774 мм = 1,77 м.

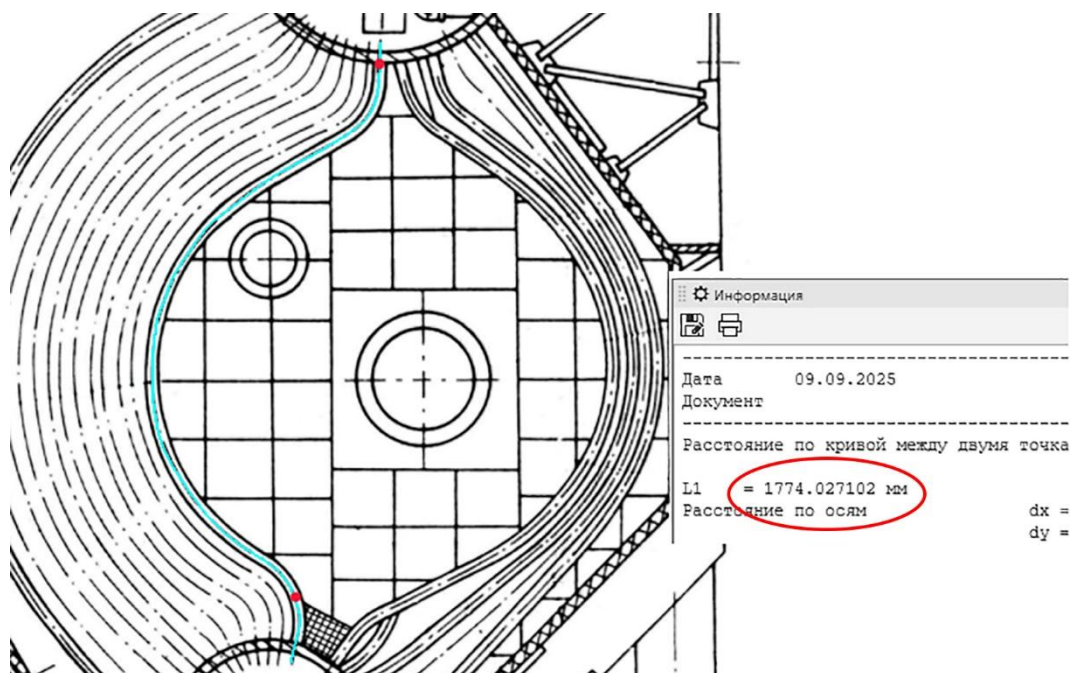


Рисунок Ю.12 – Определение длины 1-го ряда испарительного пучка

Для определения площади фронта топки строится сплайн-линия экрана, отрезками замыкается контур по обечайке паро-водяного коллектора и футеровке водяного коллектора и, используя инструмент системы «площадь» получаем искомую площадь (рисунок Ю.13).

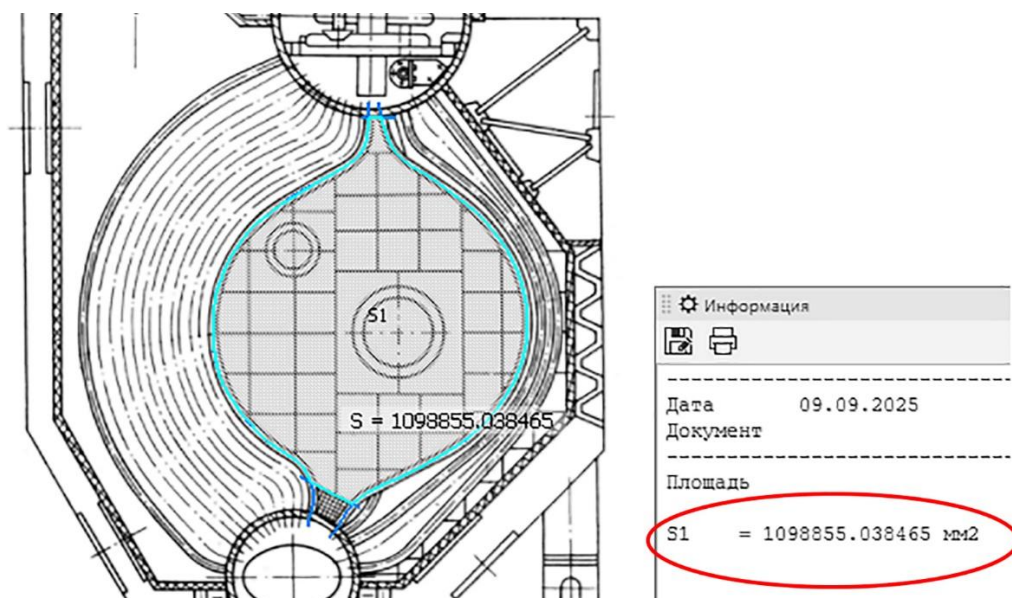


Рисунок Ю.13 – Определение площади фронта топки

Расчеты показывают величину 1098855 мм^2 , что соответствует $1,1 \text{ м}^2$.