

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ**  
**ЧЕРЕПОВЕЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

кафедра промышленной  
теплоэнергетики

**КУРСОВАЯ РАБОТА**  
на тему «Аэродинамический расчет котельных установок»

Выполнил: студент  
группы ЗПТ-31  
Тумин А.Т  
Проверил: доцент  
Петрова Г.М.

Череповец 2010-2011 уч. год.

## Содержание

Введение.....	4
1. Теоретическая часть.....	5
2. Аэродинамический расчёт воздушного тракта.....	9
2.1. Аксонометрическая схема воздушного тракта.....	10
2.2. Расчёт потерь давления в воздухопроводе.....	10
2.3. Расчет участка 1–2.....	11
2.4. Расчет участка 2–2'.....	12
2.5. Расчёт сопротивления воздухоподогревателя.....	13
2.6. Расчет участка 2'–3.....	15
2.7. Расчет участка 3–4.....	16
2.8. Расчет участка 4–5.....	19
2.9. Сопротивление горелочного устройства.....	21
2.10. Выбор дутьевого вентилятора.....	21
2.11. Пересчет участка 1–2.....	22
2.12. Пересчет участка 2–2'.....	23
3. Аэродинамический расчёт газового тракта.....	26
3.1. Аксонометрическая схема газового тракта.....	27
3.2. Аэродинамическое сопротивление котла.....	28
3.3. Сопротивление кипяточного пучка.....	29
3.4. Аэродинамическое сопротивление пароперегревателя.....	30
3.5. Аэродинамическое сопротивление водяного экономайзера.....	32
3.6. Аэродинамическое сопротивление воздухоподогревателя.....	33
3.7. Аэродинамическое сопротивление газоходов в тракте.....	35
3.7.1. Расчет участка 1–2.....	35
3.7.2. Расчет участка 3–4.....	37
3.7.3. Расчет участка 5–6.....	38
3.7.4. Расчет участка 7–8.....	40
3.7.5. Расчет участка 8–9.....	42
3.8. Аэродинамический расчёт дымовой трубы.....	43
3.9. Выбор дымососа.....	44
3.10. Пересчет участка 7–8.....	45
3.11. Пересчет участка 8–9.....	46
4. Вывод.....	47
5. Литература.....	48

					<b>ЧГУ.КР.140104.000.019. ПЗ</b>				
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>					
<i>Разраб.</i>		Тумин А.Т		а	<i>Лит.</i>			<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		Петрова Г.М.					2	48	
<i>Н. Контр.</i>					<b>ЧГУ Группа 3 ПТ - 31</b>				
<i>Утв.</i>					<b>Аэродинамический расчет котельной установки</b>				

## Введение

В данной курсовой работе необходимо выполнить аэродинамический расчет котельной установки. Для организации процесса горения котлоагрегаты оснащаются тягодутьевыми устройствами: дутьевыми вентиляторами, подающими воздух в топку, дымососами для удаления из котла дымовых газов, а также дымовой трубой.

Современные котлоагрегаты имеют индивидуальные дымососы и дутьевые вентиляторы.

Для того чтобы подобрать необходимые тягодутьевые устройства и выполняют аэродинамический расчет котлоагрегата, который состоит из двух частей. Вначале выполняется расчёт воздушного тракта котлоагрегата. Целью этого расчета является подбор дутьевого вентилятора. Вторая часть включает в себя расчёт газового тракта.

Главной задачей этого расчета является подбор дымососа и дымовой трубы. Все необходимые данные представлены в задании для выполнения курсовой работы.

№ п/п	Наименование графы	Обозначение	Значение	Единица СИ
1	Расход топлива	$B_p$	14000	м <sup>3</sup> /ч
2	Теоретический расход топлива	$V_0$	3,8	м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>
3	Объем дымовых газов на выходе из топки	$V_1$	5,1	м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>
4	Объем дымовых газов перед воздухоподогревателем	$V_2$	6,1	м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>
5	Объем дымовых газов после воздухоподогревателя	$V_{yx}$	7,1	м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>
6	Температура дымовых газов перед пароперегревателем	$t_{дг1}$	1080	°С
7	Температура дымовых газов перед экономайзером	$t_{дг2}$	760	°С
8	Температура дымовых газов перед воздухоподогревателем	$t_{дг3}$	550	°С
9	Температура уходящих газов	$t_{yx}$	140	°С
10	Присос воздуха в топке	$\Delta\alpha_t$	0,2	-
11	Утечка воздуха из воздухоподогревателя	$\Delta\beta_{вп}$	0,15	-
12	Коэффициент избытка воздуха в топке	$\alpha_t$	1,15	-
13	Средняя скорость воздуха	$W_B$	15	м/с
14	Средняя скорость дымовых газов	$W_{Г}$	10	м/с
15	Температура холодного воздуха	$t_{ХВ}$	30	°С
16	Температура подогретого воздуха	$t_{ПВ}$	300	°С
17	Коэффициент запаса по производительности	$\beta_1$	1,05	

					ЧГУ.КР.140104.000.019. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		3

## 1. Теоретическая часть

Котельная установка представляет собой комплекс устройств, предназначенных для преобразования химической энергии топлива в тепловую энергию горячей воды или пара требуемых параметров.

В зависимости от назначения различают следующие типы котельных установок:

- энергетические, вырабатывающие пар для паротурбогенераторов;
- производственно-отопительные, вырабатывающие пар и нагревающие воду для удовлетворения технологических потребностей производства, отопления, вентиляции и горячего водоснабжения;
- отопительные, вырабатывающие теплоту для отопления, вентиляции и горячего водоснабжения жилых и общественных зданий, а также для промышленных и коммунальных предприятий;
- смешанного назначения, вырабатывающие пар для снабжения одновременно паровых двигателей, технологических нужд, отопительно-вентиляционных установок и горячего водоснабжения.

Котельные установки по виду вырабатываемого теплоносителя разделяют на три основных класса: паровые котельные установки для производства водяного пара, водогрейные котельные установки для получения горячей воды и смешанные котельные установки, оборудованные паровыми и водогрейными котлами, используемыми для получения пара и горячей воды одновременно или попеременно.

Котельная установка состоит из котельного агрегата и вспомогательного оборудования.

В состав котельного агрегата входят топочное устройство, паровой котел, пароперегреватель, водяной экономайзер, воздухоподогреватель, каркас с лестницами и помостами для обслуживания, обмуровка, тепловая изоляция, обшивка, арматура, гарнитура и газоходы. К вспомогательному оборудованию относятся дутьевые вентиляторы, дымососы, питательные, подпиточные и циркуляционные насосы, водоподготовительные установки, системы топливоподачи, золоулавливания и шлакозолоудаления. При сжигании газообразного топлива к вспомогательному оборудованию относится газорегуляторный пункт или газорегуляторная установка.

Для организации процесса горения котлоагрегаты оснащаются тягодутьевыми устройствами: дутьевыми вентиляторами, подающими воздух в топку, дымососами для удаления из котла дымовых газов, а также дымовой трубой, устанавливаемой, как правило, общей для всех котлоагрегатов. Современные котлоагрегаты имеют

					ЧГУ.КР.140104.000.019. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		4

индивидуальные дымососы и дутьевые вентиляторы. Для подбора тягодутьевых устройств необходимо выполнить аэродинамический расчет котлоагрегата.

Целью аэродинамического расчета котельной установки (расчет тяги и дутья) является выбор необходимых тягодутьевых машин на основе определения производительности тяговой и дутьевой систем и перепада полных давлений в газовом и воздушном трактах. Кроме того, в ходе расчета проводится оптимизация элементов и участков газоздушного тракта, обеспечивающая минимальные расчетные затраты, а также определяются расчетные данные для конструирования газоздухопроводов.

Газоздушный тракт включает в себя воздухопроводы холодного и горячего воздуха, калориферы для подогрева воздуха перед воздухоподогревателем, запорные и регулирующие органы, тягодутьевые машины, элементы собственно парогенератора, золоуловители, газопроводы и дымовые трубы.

В котлах с уравновешенной тягой отдельно рассчитываются перепады давлений в воздушном тракте, от места забора воздуха из окружающей атмосферы до выхода воздуха в топку, и в газовом тракте, от топки до выхода газов из дымовой трубы. Основная часть воздушного тракта, от вентилятора до выхода в топку, находится под давлением, а газовый тракт в основном, за исключением иногда части участка между дымососом и дымовой трубой — при разрежении. Нулевое давление, близкое к атмосферному, поддерживается в топке.

Рассмотрим некоторые устройства входящие в состав котлоагрегата.

*Дымососы* предназначены для удаления дымовых газов из котельной установки, так как при наличии в котельном агрегате водяного экономайзера и воздухоподогревателя общее газовое сопротивление становится настолько большим, что естественная тяга, создаваемая дымовой трубой даже очень большой высоты становится недостаточной для его преодоления.

*Пароперегреватель* предназначается для повышения температуры и энтальпии пара, полученного в котле, с целью повышения экономичности всей паросиловой установки. В *водяном экономайзере* используют тепло дымовых газов, уходящих из котла, для подогрева воды, подаваемой в котёл, а в *воздухоподогревателе* – для подогрева воздуха, поступающего в его топку, что существенно улучшает процесс горения топлива. Устанавливают либо только водяной экономайзер или воздухоподогреватель, либо тот и другой в совокупности; первое решение осуществляют в котельных установках небольшой производительности, а второе в установках средней и большой производительности.

Дутьевые вентиляторы устанавливаются для того, чтобы при подаче воздуха в топку преодолеть сопротивление горелок или слоя топлива на решётке, а также сопротивление воздухоподогревателя.

При сжигании твёрдого топлива образуются зола и шлак. Зола уносится из топки дымовыми газами в газоходы котельной установки, а из них через дымовую трубу – в атмосферу, что приводит к загрязнению воздушного бассейна и окружающей территории. Кроме того, зола, проходя через дымососы, сильно изнашивает их, что приводит к необходимости частого ремонта. Во избежание всего этого котельные установки, предназначенные для работы на твёрдом топливе, оснащают *золоуловителем*, в котором дымовые газы очищаются от золы, унесённой из топки. *Золоуловитель* устанавливается перед дымососами. Зола, уловленная в нём, удаляется через *золоспускное* устройство. Шлак из топки удаляется через *шлакоспускные* устройства. Уловленная в золоуловителе зола, также как и шлак, спущенный из топки, поступает в систему *шлакозолоудаления* для отвода в золовой отвал.

Для подачи в котёл воды, подлежащей испарению, служит *питательная установка*. Основной частью её являются *питательные насосы* с электрическим и паровым приводами, развивающие давление, необходимое для преодоления давления пара в котле и сопротивления всей системы питательных линий. Питательные насосы являются ответственным элементом котельной установки. Поэтому число, производительность и вид привода питательных насосов, подлежащих установке в котельных различного назначения, строго регламентированы. Другой частью питательной установки являются *питательные баки*, назначение которых – принять и хранить некоторое количество питательной воды, с тем чтобы исключить опасность перерыва в питании котлов из-за её отсутствия. В котельных установках электростанций предусматривается подогрев питательной воды отборным паром от турбин в подогревателях.

Природная вода содержит механические и коллоидальные примеси, растворённые соли и воздух. Некоторые соли выделяются из воды в процессе её нагревания и испарения в котле и оседают на внутренних стенках поверхностей нагрева в виде плотной, трудноотделимой накипи, которая ухудшает передачу тепла через стенку и может вызвать разрушение металла в результате его перегрева. Другие соли выпадают в объёме котловой воды в виде мелкодисперсных взвешенных частиц, что приводит к появлению в котле подвижного осадка, называемого шламом, который также может послужить причиной аварии котла. Поэтому воду, предназначенную для подачи в котёл, приходится предварительно осветлять и умягчать, доводя содержание в ней солей, образующих накипь и шлам, до технически возможного минимума. Для этого сооружают специальную

					ЧГУ.КР.140104.000.019. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		6

*водоподготовительную установку*, в которую входят устройства для освещения и умягчения воды. Исходная вода подаётся в водоподготовительную установку насосом из бака.

Кислород растворённого в воде воздуха, попадая в котёл, вступает в реакцию с металлом и вызывает его коррозию. Это приводит к необходимости освобождать питательную воду от растворённого в ней воздуха, что осуществляют в особом устройстве, называемом *деаэратором*.

Оставшееся в умягчённой воде минимальное количество солей накапливается в котловой воде в процессе её испарения и может привести к образованию накипи и шлама в котле. Поэтому в паровом котле для удаления проникших в него солей предусматривают особую продувочную систему, в которую входят *сепаратор непрерывной продувки*, *продувочные линии* и *барботер* для приёма продувочной воды.

Пар, образующийся в паровом котле, выносит капельки влаги, в которых содержится некоторое количество растворённых солей. Попадая в пароперегреватель, эти капли влаги испаряются, а содержащиеся в них соли оседают на внутренних стенках его труб, что может привести к их пережогу; эти соли попадают также в паровую турбину, где они оседают во входном клапане турбины и на её лопатках, нарушая нормальную работу турбины. В связи с этим в паровых котлах устанавливают сепарационные устройства, предназначенные для отделения капель влаги от пара, выходящего из котла.

Во многих элементах котельной установки в результате теплоотдачи происходит охлаждение пара с образованием конденсата. В связи с этим возникает необходимость создания *дренажной системы* для удаления этого конденсата, который собирают в *дренажный (конденсатный) бак*; *конденсатными насосами* конденсат возвращается в деаэратор и питательный бак.

## 2. Аэродинамический расчёт воздушного тракта

Целью расчёта является подбор дутьевого вентилятора. Для подбора вентилятора, необходимо знать  $Q_B$  м<sup>3</sup>/ч, и напор  $H_B$ , Па. Все исходные данные (температура воздуха, живое сечение, средняя скорость и др.) берутся из задания.

Производительность вентилятора определяется по формуле:

$$Q_B = \beta_1 V_B,$$

где  $\beta_1$  — коэффициент запаса по производительности;

$V_B$  — количество воздуха, необходимое для подачи в топку котла, м<sup>3</sup>/ч,

$$V_B = B_p V_0 (\alpha_T + \Delta\alpha_T + \Delta\beta_{вп}) \frac{273 + t_{XB}}{273},$$

$$V_B = 14000 \cdot 3,8 \cdot (1,15 - 0,2 + 0,15) \frac{273 + 30}{273} = 64950,76 \text{ (м}^3\text{/ч)}.$$

$$\text{Тогда } Q_B = 1,05 \cdot 64950,76 = 68198,3 \text{ (м}^3\text{/ч)}.$$

Значения  $B_p$ ,  $V_0$ ,  $\alpha_T$ ,  $\Delta\alpha_T$ ,  $\Delta\beta_{вп}$ ,  $t_{XB}$ ,  $\beta_1$ , берутся из задания.

Напор, развиваемый вентилятором, находится по формуле:

$$H_B = \beta_2 \cdot \Delta P_B,$$

где  $\beta_2$  — коэффициент запаса по напору,  $\beta_2 = 1,1$ ;

$\Delta P_B$  — аэродинамическое сопротивление воздушного тракта котлоагрегата.

Расчёт  $\Delta P_B$ , Па, ведётся в следующей последовательности:

составляется аксонометрическая схема воздушного тракта котлоагрегата от воздухозаборного патрубка до самой последней горелки;

весь тракт разбивается на участки (на участках должен быть постоянный расход и средняя скорость);

для каждого участка определяются потери давления от трения и от местных сопротивлений;

найденная сумма потерь давления  $\Sigma \Delta P$  прибавляется к сопротивлению горелочного устройства  $\Delta P_{гор}$ :

$$\Delta P_B = \Sigma \Delta P = \Delta P_{гор}.$$

					<b>ЧГУ.КР.140104.000.019. ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>		8

## 2.1. Аксометрическая схема воздушного тракта

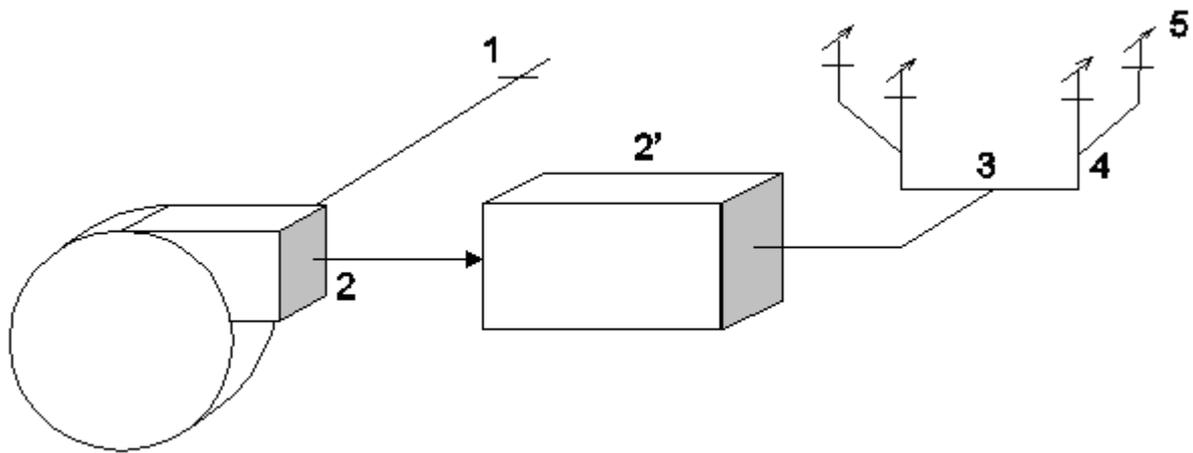


Рис. 1 Воздушный тракт

## 2.2. Расчёт потерь давления в воздухопроводе

Потери давления от трения:

$$\Delta P_{\text{ТР}} = \lambda \cdot \frac{l}{d_{\text{э}}} \cdot \frac{\rho \cdot W^2}{2}, \text{ Па.}$$

Потери давления от местных сопротивлений  $\Delta P_{\text{МС}}$ , Па, определяются по формуле:

$$\Delta P_{\text{МС}} = \Sigma \xi \cdot \frac{\rho \cdot W^2}{2}$$

где  $\lambda$  — коэффициент трения, зависящий от числа Рейнольдса и коэффициента шероховатости стенок канала  $k_s$ ,  $\lambda = 0,02$  — для стальных труб;

$l$  — длина участка, м;

$\Sigma \xi$  — сумма коэффициентов местных сопротивлений;

$d_{\text{э}}$  — эквивалентный диаметр сечения воздушного канала, м,

$$d_{\text{э}} = \frac{4F}{\Pi}$$

где  $F$  — площадь живого сечения канала, м<sup>2</sup>;

$\Pi$  — периметр канала, м;

$\rho$  — плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>,

$$\rho = \rho_0 \cdot \frac{273}{273 + t} = 1,293 \cdot \frac{273}{273 + t},$$

					ЧГУ.КР.140104.000.019. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		9

где  $t$  — температура воздуха, °С;

$\rho_0$  — плотность воздуха при нормальных условиях, кг/м<sup>3</sup>;

$W$  — скорость воздуха м/с.

$$W = \frac{V_B}{3600 \cdot F}$$

где  $V_B$  — расход воздуха на данном участке, м<sup>3</sup>/ч;

$F$  — площадь поперечного сечения трубы, м<sup>2</sup>.

### 2.3. Расчет участка 1-2

На участке 1–2 находятся: воздухозаборный патрубок, шибер, всасывающий карман, а также диффузор (конфузор) для соединения трубы с карманом, который направляет воздух в вентилятор.

Площадь поперечного сечения равна:

$$F = \frac{V_B}{3600 \cdot W} = \frac{64950,76}{3600 \cdot 15} = 1,202 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Соответственно полученной площади выбираем, согласно ГОСТ 24751-81, размеры и вид трубы:

Труба 160x8000 мм.

Площадь живого сечения равна:

$$F = 0,16 \cdot 8 = 1,28 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Эквивалентный диаметр воздуховода равен:

$$d_{\text{э}} = \frac{4 \cdot 1,28}{2 \cdot (0,16 + 8)} = 0,31 \text{ (м)}.$$

Рассчитываем скорость воздуха в трубе:

$$W = \frac{V_B}{3600 \cdot F} = \frac{64950,76}{3600 \cdot 1,28} = 15 \text{ (м/с)}.$$

Плотность холодного воздуха равна:

$$\rho_{\text{хв}} = 1,293 \frac{273}{273 + t} = 1,293 \frac{273}{273 + 30} = 1,165 \text{ (кг/м}^3\text{)}.$$

Динамический напор равен:

					<b>ЧГУ.КР.140104.000.019. ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>		10

$$\frac{\rho \cdot W^2}{2} = \frac{1,165 \cdot 15^2}{2} = 131,06 \text{ (Па)}.$$

Рассчитываем потери от трения:

$$\Delta P_{\text{тр}} = 10 \frac{0,02}{0,31} \cdot 131,06 = 84,55 \text{ (Па)}.$$

Коэффициенты местных сопротивлений в воздухозаборном патрубке 0,3 и в шибере 0,1

Чтобы определить коэффициент местного сопротивления соединения воздухопровода с всасывающим карманом, необходимо знать размеры входного отверстия кармана, которые зависят от диаметра выходного отверстия. Выход кармана непосредственно соединяется с входным отверстием дутьевого вентилятора. Таким образом, следует выбрать вентилятор, но для этого необходимо знать напор, который он будет развивать в воздушном тракте. Напор вентилятора зависит от потерь давления на всём воздушном тракте, поэтому, рассчитав потери давления на участках воздушного тракта после вентилятора, определяем приближённое значение напора. По этому значению напора и по значению расхода воздуха  $Q_B$  выбираем тип дутьевого вентилятора. Затем, рассчитав потери давления в соединении трубы участка 1–2 с всасывающим карманом и соединении трубы участка 2–2' с выходом вентилятора, вносим поправку в значение создаваемого вентилятором напора. Если же такого напора вентилятор создать не может, то необходимо выбрать другой вентилятор.

Тогда потери давления в воздухозаборном патрубке и шибере составят:

$$\Delta P_{\text{МС}} = (0,1 + 0,3) \cdot 131,06 = 52,42 \text{ (Па)}.$$

Приближённые потери на участке:

$$\Delta P_{1-2} = \Delta P_{\text{тр}} + \Delta P_{\text{МС}} = 84,55 + 52,42 = 136,97 \text{ (Па)}.$$

## 2.4. Расчет участка 2–2'

Этот участок воздухопровода соединяет выходное отверстие вентилятора с воздухоподогревателем. На данном участке расход и плотность воздуха остаются такими же, как и на участке 1–2, т. е.  $V_B = 64950,76 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Если принять на участке размеры воздухопровода как на участке 1–2, т. е.  $160 \times 8000 \text{ мм}$ , то останется неизменной скорость воздуха и динамический напор.

$$\text{Рассчитываем потери от трения: } \Delta P_{\text{тр}} = 15 \frac{0,02}{0,31} \cdot 131,06 = 126,8 \text{ (Па)}.$$

					ЧГУ.КР.140104.000.019. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		11

## 2.5. Расчёт сопротивления воздухоподогревателя

Воздухоподогреватель представляет собой пучок линейных труб. Дымовые газы проходят внутри труб (снизу вверх или сверху вниз), которые снаружи омываются нагреваемым воздухом. Расположение труб может быть как коридорного вида, так и шахматного. Соответственно сопротивлением воздухоподогревателя будет являться сопротивление поперечно омываемого коридорного или шахматного пучка труб.

Средняя температура воздуха в воздухоподогревателе:

$$t_{\text{ВП}} = \frac{t_{\text{XB}} + t_{\text{ПВ}}}{2} = \frac{30 + 300}{2} = 165^\circ\text{C}.$$

Пересчитаем расход воздуха  $V$  и его плотность  $\rho_{\text{АГ}}$  для воздухоподогревателя:

$$\rho_{\text{ВП}} = 1,293 \frac{273}{273 + t_{\text{ВП}}} = 1,293 \frac{273}{273 + 165} = 0,806 \text{ , (кг/м}^3\text{)}.$$

$$V = B_P V_0 (\alpha_T - \Delta\alpha_T + \Delta\beta_{\text{ВП}}) \frac{273 + t_{\text{ВП}}}{273} ;$$

$$V_B = 14000 \cdot 3,8(1,15 - 0,2 + 0,15) \frac{273 + 165}{273} = 93889,23 \text{ , (м}^3\text{/ч)}$$

При аэродинамическом расчёте выберем:

количество  $Z_1 = 48$  и  $Z_2 = 78$ , шаг  $S_1 = 60$  мм и  $S_2 = 45$  мм труб в поперечном и продольном сечениях соответственно, диаметр  $d = 30$  мм, высота  $h = 2500$  мм и толщина стенок  $s = 2$  мм труб.

Ширина воздухоподогревателя равна:

$$b = (Z_1 + 1)S_1 = (48 + 1) \cdot 60 = 2940 \text{ (мм)}.$$

Длина воздухоподогревателя определяется по формуле:

$$l = (Z_2 + 1) \cdot S_2 = (78 + 1) \cdot 45 = 3555 \text{ (мм)}.$$

Площадь живого сечения пучка равна:

$$F = h(b - Z_1 \cdot d) \text{ , (м}^2\text{)}.$$

$$F = 2,5 \cdot (2,94 - 1,44) = 3,75 \text{ , (м}^2\text{)}.$$

Скорость воздуха в воздухоподогревателе равна:

$$W = \frac{93889,23}{3600 \cdot 3,75} = 6,954 \text{ (м/с)}.$$

					ЧГУ.КР.140104.000.019. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		12

Расположение труб в воздухоподогревателе — коридорное, трубы — гладкие.

Определим потери давления в воздухоподогревателе:

относительный поперечный шаг труб в пучке

$$\sigma_1 = \frac{S_1}{d};$$

$$\sigma_2 = \frac{S_2}{d}$$

т.к.  $S_1 = S_2$ , то  $\sigma_1 = 2, \sigma_2 = 1,5$ , следовательно расчет ведем по формуле

$$\Delta h = \xi = C_{\sigma} \cdot \xi_{\text{ид}} \cdot Z_2;$$

т.к.  $\sigma_1 = 2$ , то  $C_{\sigma} = 1,06$  [рис.5б]

т.к.  $d = 30$  мм,  $t = 165^{\circ} \text{C}$ ,  $W = 6,954$  м/с, тогда  $\Delta h_{\text{сп}} = 0,47$  [рис. 5а]

$$\text{тогда } \xi = \Delta h = 1,06 \cdot 0,47 \cdot (78 + 1) = 39,3 \text{ мм.вод.ст.} = 385,533 \text{ Па}$$

Присоединение трубы участка 2–2' к воздухоподогревателю происходит с помощью резкого расширения: начальное сечение 160x8000 мм, конечное — 640x10000 мм.

Коэффициент сопротивления при резком расширении прямого канала определяется в зависимости от отношения меньшего сечения к большему:

$$\frac{F_M}{F_B} = \frac{1,28}{6,4} = 0,2.$$

$$\text{Тогда } \xi_{\text{вых}} = 0,66$$

Потери давления при резком расширении:

$$\Delta P_{\text{MC}} = 0,66 \cdot 131,06 = 86,501 \text{ (Па)}.$$

Потери давления на участке с учетом потерь в воздухоподогревателе составляют:

$$\Delta P_{2-2'} = \Delta P_{\text{TP}} + \Delta P_{\text{MC}} + \xi \text{ (Па)}.$$

$$\Delta P_{2-2'} = 126,8 + 84,501 + 385,533 = 596,834 \text{ (Па)}.$$

## 2.6. Расчет участка 2'–3

Этот участок воздухопровода соединяет выход воздухоподогревателя с трубопроводами, подающими подогретый воздух к горелкам.

					ЧГУ.КР.140104.000.019. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		13

Объем подогретого воздуха  $V_B$ , м<sup>3</sup>/ч, подаваемый в топку, определяется по формуле:

$$V_B = B_p V_0 (\alpha_1 - \Delta\alpha_T) \frac{273 + t_{пв}}{273},$$

где  $t_{пв}$  — температура подогретого воздуха, °С.

$$V_B = 14000 \cdot 3,8 \cdot (1,15 - 0,2) \frac{273 + 300}{273} = 106078,46 \text{ (м}^3\text{/ч)}.$$

Площадь поперечного сечения равна:

$$F = \frac{V_B}{3600 \cdot W} = \frac{106078,46}{3600 \cdot 15} = 1,964 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Соответственно полученной площади выбираем по ГОСТу размеры и вид трубы:

Труба 315×6300 мм;

$$F = 0,315 \cdot 6,3 = 1,984 \text{ (м}^2\text{)};$$

$$d_{\text{в}} = \frac{4 \cdot 1,984}{2(0,315 + 6,3)} = 0,599 \text{ (м)};$$

Скорость воздуха в трубе:

$$W = \frac{106078,46}{3600 \cdot 1,984} = 14,85 \text{ (м/с)}.$$

Плотность подогретого воздуха равна:

$$\rho_{пв} = 1,293 \cdot \frac{273}{273 + t_{пв}} = 1,293 \cdot \frac{273}{273 + 300} = 0,616 \text{ (кг/м}^3\text{)}.$$

Динамический напор равен:

$$\frac{\rho_{пв} \cdot W^2}{2} = \frac{0,616 \cdot 14,85^2}{2} = 67,92 \text{ (Па)}.$$

Рассчитываем потери от трения:

$$\Delta P_{\text{тр}} = 15 \frac{0,02}{0,599} \cdot 67,92 = 34,01 \text{ (Па)}.$$

Выход воздухоподогревателя соединяется с трубой участка посредством пирамидального конфузора (640×10000 мм → 315×6300 мм).

Коэффициент местного сопротивления пирамидального конфузора определяется в зависимости от большего угла сужения  $\alpha$ . Большой угол сужения будет при уменьшении ширины воздухоподогревателя до ширины трубопровода:

					<b>ЧГУ.КР.140104.000.019. ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>		14

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{b_1 - b_2}{2l};$$

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{640 - 315}{2 \cdot 1000} = 0,1575.$$

Получаем  $\alpha = 2 \cdot \operatorname{arctg} 0,1575 = 21^\circ$ .

Так как угол  $20^\circ < \alpha < 60^\circ$ , то коэффициент местного сопротивления конфузора  $\xi = 0,1$ . [АРКУ Мочан с174]

На участке также находится поворот на угол  $90^\circ$ , коэффициент местного сопротивления которого  $\xi = 1$ .

Потери давления в местных сопротивлениях составляют:

$$\Delta P_{MC} = (0,1 + 1) \cdot 67,92 = 74,712 \text{ (Па)}.$$

Суммарная потеря давления на участке равна:

$$\Delta P_{2-3} = 34,01 + 74,712 = 108,722 \text{ (Па)}.$$

## 2.7. Расчет участка 3–4

По расходу топлива определяем количество горелок, используемых в котельной установке. Для этого данный расход делим на производительность горелки по газу. Возьмём горелку РГМГ-30, у которой производительность по газу равна  $4060 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Тогда число горелок равно:

$$14000/4060 = 3,44$$

т. е. устанавливаем 4 горелки РГМГ-30

Для осуществления подвода воздуха к горелкам, в начале участка 3–4 поставим симметричный разделяющий тройник. Каждая ветка тройника направляет поток воздуха к одной горелке. Поскольку ответвления к горелкам симметричные, то для определения потерь давления на участке 3–4 достаточно вычислить потери в одной ветке.

Для расчета разделим участок 3-4 на два: 1' - участок до ответвления потока на первую горелку; 2' - участок после ответвления. Сопротивлением участка 3-4 будет суммарное сопротивление этих участков.

### Участок 1'

Данный участок содержит поворот на угол  $90^\circ$  в симметричном тройнике.

					ЧГУ.КР.140104.000.019. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		15

Так как в тройнике поток делится на две равные части, объем воздуха, проходящий через участок, равен половине расхода на предыдущем участке:

$$V_B = \frac{V_{2'-3}}{2} = \frac{106078,46}{2} = 53039,23 \text{ (м}^3\text{/ч)}.$$

площадь поперечного сечения

$$F = \frac{V_B}{3600 \cdot W} = \frac{53039,23}{3600 \cdot 15} = 0,98 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Соответственно полученной площади выбираем, согласно ГОСТ24751-81, размеры и вид трубы:

труба 710×1400 (мм);

$$F = 1,4 \cdot 0,71 = 0,99 \text{ (м}^2\text{)};$$

$$d_{\text{э}} = \frac{4F}{\pi} = \frac{4 \cdot 0,99}{2 \cdot (0,71 + 1,4)} = 0,93 \text{ (м)}.$$

Рассчитываем скорость воздуха в трубе:

$$W = \frac{V_B}{3600 \cdot F} = \frac{53039,23}{3600 \cdot 0,99} = 14,88 \text{ (м/с)}.$$

плотность подогретого воздуха равна  $\rho_{п.в} = 0,616 \text{ (кг/м}^3\text{)}$ .

Динамический напор

$$\frac{\rho \cdot W^2}{2} = \frac{0,616 \cdot 14,88^2}{2} = 68,2 \text{ (Па)}.$$

Потери давления от трения

$$\Delta P_{TP} = \lambda \cdot \frac{l}{d_{\text{э}}} \cdot \frac{\rho \cdot W^2}{2} = 4,5 \cdot \frac{0,02}{0,93} \cdot 68,2 = 6,6 \text{ (Па)}.$$

Коэффициент сопротивления при повороте в симметричном тройнике определяется так же, как при боковом ответвлении в несимметричном тройнике при  $F_C = F_6 + F_B$ , где  $F_C$ -площадь живого сечения трубы до ответвления;  $F_6$ -площади живого сечения бокового ответвления тройника;  $F_B$ -площади живого сечения трубы в проходе тройника.

При равенстве скоростей до ответвления и в боковом ответвлении при ответвлении на угол 90° коэффициент местного сопротивления  $\xi = 1,07$  [рис 14].

Потери давления в местных сопротивлениях

$$\Delta P_{M.C.} = 1,07 \cdot 68,2 = 72,974 \text{ (Па)}.$$

Суммарные потери давления на участке 1' составляют

$$\Delta P_{1'} = \Delta P_{TP} + \Delta P_{M.C.} = 6,6 + 72,974 = 79,574 \text{ (Па)}.$$

					ЧГУ.КР.140104.000.019. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		16

## Участок 2'

На данном участке находится разделяющий несимметричный тройник, площадь ответвления в котором равна площади прохода и соответственно объемы воздуха, проходящие через проход и ответвление, равны.

Объем воздуха, проходящий через проход тройника (участок 2') и через ответвление, равен

$$V_B = \frac{V_{1'}}{2} = \frac{53039,23}{2} = 26519,61 \text{ (м}^3\text{/ч)}.$$

площадь поперечного сечения

$$F = \frac{V_B}{3600 \cdot W} = \frac{26519,61}{3600 \cdot 15} = 0,49 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Соответственно полученной площади выбираем, согласно ГОСТ24751-81, размеры и вид трубы:

труба 224×2240 (мм);

$$F = 2,24 \cdot 0,224 = 0,5 \text{ (м}^2\text{)};$$

$$d_{\text{э}} = \frac{4F}{\pi} = \frac{4 \cdot 0,5}{2 \cdot (0,224 + 2,24)} = 0,405 \text{ (м)}.$$

Рассчитываем скорость воздуха в трубе:

$$W = \frac{V_B}{3600 \cdot F} = \frac{26519}{3600 \cdot 0,5} = 14,88 \text{ (м/с)}.$$

Плотность подогретого воздуха:  $\rho_{п.в} = 0,616 \text{ (кг/м}^3\text{)}$ .

Динамический напор

$$\frac{\rho \cdot W^2}{2} = \frac{0,616 \cdot 14,88^2}{2} = 67,4 \text{ , (Па)}.$$

Потери давления от трения

$$\Delta P_{TP} = \lambda \cdot \frac{l}{d_{\text{э}}} \cdot \frac{\rho \cdot W^2}{2} = 5,5 \cdot \frac{0,02}{0,405} \cdot 67,4 = 18,3 \text{ , (Па)}.$$

Коэффициент местного сопротивления в проходе тройника определяется в зависимости от отношения скоростей после и до ответвления.[рис 14]

$$\frac{W_{2'}}{W_{1'}} = \frac{14,88}{14,88} \approx 1 \text{ Следовательно } \xi = 0$$

$$\Delta P_{M.C.} = 0 \cdot 67,4 = 0 \text{ , (Па)}.$$

Суммарные потери давления на участке 2'

$$\Delta P_{2'} = \Delta P_{TP} + \Delta P_{M.C.} = 18,3 + 0 = 18,3 \text{ , (Па)}.$$

					<b>ЧГУ.КР.140104.000.019. ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>		<b>18</b>

Суммарное сопротивление участка 3-4 принимается равным:

$$\Delta P_{3-4} = \Delta P_2 + \Delta P_1 = 18,3 + 74,42 = 92,7 \quad , \text{ (Па)}.$$

## 2.8. Расчет участка 4–5

На данном участке происходит соединение воздухопровода с горелочными устройствами.

Рассчитываем сопротивление воздухопроводов к каждой из горелок на одной ветке участка 3-4, а затем, выбрав участок с максимальным сопротивлением, получим потери на участке 4-5.

### Подвод к первой горелке:

Данный подвод является ответвлением несимметричного тройника в начале участка 3-4 (2') под углом 45°, на котором также находятся поворот на угол 45° и соединение а вводом в горелку.

Объем воздуха, проходящий через участок 4-5, равен

$$V_B = 26519,61 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

площадь поперечного сечения равна

$$F = \frac{V_B}{3600 \cdot W} = \frac{26519,61}{3600 \cdot 15} = 0,49 \text{ м}^2.$$

Соответственно полученной площади выбираем, согласно ГОСТ24751-81, размеры и вид трубы:

труба 224x2240 мм.

$$F = 0,224 \cdot 2,24 = 0,5 \text{ м}^2;$$

$$d_{\text{э}} = \frac{4F}{\pi} = \frac{4 \cdot 0,5}{2 \cdot (0,224 + 2,24)} = 0,405 \text{ м}.$$

Рассчитываем скорость воздуха в трубе:

$$W = \frac{V_B}{3600 \cdot F} = \frac{26519,61}{3600 \cdot 0,5} = 14,88 \text{ м/с}.$$

плотность подогретого воздуха равна  $\rho_{\text{п.в}} = 0,616 \text{ кг/м}^3$ .

Динамический напор

$$\frac{\rho \cdot W^2}{2} = \frac{0,616 \cdot 14,88^2}{2} = 67,4 \text{ Па}.$$

Потери давления от трения

					ЧГУ.КР.140104.000.019. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		19

$$\Delta P_{TP} = 5 \cdot \frac{0,02}{0,405} \cdot 67,4 = 16,64 \text{ Па.}$$

Коэффициент местного сопротивления бокового ответвления тройника на угол 45° определяется в зависимости от отношения скоростей после и до ответвления. При их равенстве коэффициент местного сопротивления  $\xi = 0,27$  [рис 14]

Коэффициент местного сопротивления поворота на угол 45°  $\xi = 0,5$ .

В конце участка 4-5 воздухопровод присоединяется к вводу в горелку размерами 250x2500мм. Для присоединения трубы 224x2240 необходимо устанавливать диффузор

$$\xi_{diff} = \ell_p \cdot \xi_{вых}$$

$\ell_p$ , это коэффициент полноты удара, определяется в зависимости от угла раскрытия диффузора.

$$\xi_{вых.минимое} = F_M / F_6 = 0,49 / (0,25 \cdot 2,5) = 0,784, \text{ тогда}$$

$$\xi_{вых.действительное} = 0,13$$

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{250 - 224}{2 \cdot 500} = 0,024.$$

Получаем  $\alpha = 2 \cdot \operatorname{arctg} 0,024 = 2,7^\circ$ . По углу раскрытия определяем, что

$$\ell_p = 0,06$$

$$\xi_{diff} = \ell_p \cdot \xi_{вых} = 0,06 \cdot 0,13 = 0,0078$$

Потери давления от местных сопротивлений составляют

$$\Delta P_{M.C.} = (0,27 + 0,5 + 0,0078) \cdot 67,4 = 52,42 \text{ Па.}$$

Суммарные потери давления на подводе к первой горелке составляют

$$\Delta P_1 = \Delta P_{TP} + \Delta P_{M.C.} = 16,64 + 52,42 = 69,06 \text{ Па.}$$

### Подвод ко второй горелке:

На данном участке воздухопровода находится поворот на угол 90° от участка 3-4 (2') и диффузор, соединяющий трубу с вводом в горелку.

Объем воздуха, проходящий через данный участок, равен объему воздуха, проходящему на участке 3-4 (2'), т.е. 26519,61 м³/ч. расчеты трубопровода остаются неизменными по сравнению с участком 3-4 (2'), следовательно, остаются неизменными скорость воздуха и динамический напор.

Потери давления от трения составляют

$$\Delta P_{TP} = \lambda \cdot \frac{l}{d_{\text{э}}} \cdot \frac{\rho \cdot W^2}{2} = 5 \cdot \frac{0,02}{0,405} \cdot 67,4 = 16,64 \quad \text{Па.}$$

Коэффициент местного сопротивления поворота на угол  $45^\circ \xi = 0,5$

Потери давления от местных сопротивлений составляют

$$\Delta P_{M.C.} = (0,5 + 0,0078) \cdot 64,7 = 34,2 \quad \text{Па.}$$

Потери давления в подводе ко второй горелке

$$\Delta P = \Delta P_{TP} + \Delta P_{M.C.} = 16,64 + 34,2 = 50,84 \quad \text{Па.}$$

Потери давления на участке 4-5 принимаются равными сопротивлению подвода к первой горелке:

$$\Delta P_{4-5} = \Delta P_1 = 69,06 \quad \text{Па.}$$

Приближенное значение потерь давления по воздушному тракту:

$$\sum \Delta P = \Delta P_{1-2} + \Delta P_{2-2'} + \Delta P_{2'-3} + \Delta P_{3-4} + \Delta P_{4-5} = 136,97 + 596,34 + 108,722 + 92,7 + 69,06 = 1003,79$$

Па

## 2.9 Сопротивление горелочного устройства

Сопротивление горелочного устройства  $\Delta h_{\text{гор}}$ , Па, рассчитывается по формуле:

$$\Delta h_{\text{гор}} = \xi \frac{\rho \cdot W^2}{2},$$

Стороны горелки 1,3x1,75

$$F = 1,3 \cdot 1,75 = 2,275$$

$$d_{\text{э}} = \frac{4F}{\Pi} = \frac{4 \cdot 2,275}{2 \cdot (1,3 + 1,75)} = 1,49$$

где  $W$  — скорость воздуха в горелке, м/с,

$$W = \frac{V_{B_{4-5}}}{3600 \cdot F_{\text{гор}}} = \frac{26519,61}{3600 \cdot 1,74} = 4,23 \text{ (м/с).}$$

где  $F_{\text{гор}}$  — площадь, по которой двигается воздух в горелке,

$$F_{\text{гор}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{гор}}^2}{4} = \frac{\pi \cdot 1,49^2}{4} = 1,74 \text{ (м}^2\text{).}$$

Динамический напор:

					ЧГУ.КР.140104.000.019. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		20



Трубопровод участка 1–2 присоединяется к карману с помощью диффузора (160x8000 мм → 1565x3060 мм).

Коэффициент местного сопротивления пирамидального диффузора определяется в зависимости от большего угла раскрытия диффузора и от отношения меньшего сечения к большему. Большой угол раскрытия будет при увеличении стороны трубопровода размером 3060 мм до стороны кармана размером 8000 мм.

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{8000 - 3060}{2 \cdot 2000} = 0,32$$

Угол раскрытия  $\alpha = 2 \arctg 0,32 = 35,5^\circ$ . По углу  $\alpha$  находим  $\varphi_p = 0,97$ .

Отношение меньшего сечения к большему равно:

$$\frac{F_m}{F_6} = \frac{1,28}{4,78} = 0,26.$$

Тогда  $\xi_{\text{вых}} = 0,57$ .

$$\xi_{\text{диф}} = \varphi_p \cdot \xi_{\text{вых}} = 0,5 \cdot 0,15 = 0,075.$$

Потери давления в диффузоре равны:

$$\Delta P_{\text{диф}} = 0,533 \cdot 131,0625 = 72,47 \text{ (Па)}.$$

Потери давления во всасывающем кармане рассчитываются по скорости потока воздуха в кармане:

$$W = \frac{64950,76}{3600 \cdot 3,06 \cdot 1,564} = 72,47 \text{ (м/с)}.$$

Коэффициент местных сопротивлений в кармане равен 0,1

$$\Delta P = 0,1 \cdot \frac{1,165 \cdot 3,77^2}{2} = 0,82 \text{ (Па)}.$$

Потери давления от местных сопротивлений на участке составляют:

$$\Delta P_{\text{мс}} = 52,425 + 72,47 + 0,82 = 125,7 \text{ (Па)}.$$

Суммарные потери на участке 1–2:

$$\Delta P_{1-2} = 84,55 + 125,7 = 210,25 \text{ (Па)}.$$

					ЧГУ.КР.140104.000.019. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		23

## 2.12. Пересчет участка 2–2'

Труба соединяется с выходом вентилятора посредством резкого расширения (630×1105 мм → 160×8000 мм).

Коэффициент местного сопротивления при резком расширении трубы определяется в зависимости от отношения площади меньшего сечения к большему:

$$\frac{F_M}{F_6} = \frac{0,63 \cdot 1,105}{0,16 \cdot 8} = 0,543.$$

Тогда коэффициент местного сопротивления резкого расширения  $\xi_{\text{вых}} = 0,25$ .

Потеря давления  $\Delta P$ , Па, от местного сопротивления после вентилятора определяется по формуле:

$$\Delta P = \xi_{\text{вых}} \frac{\rho \cdot W^2}{2},$$

где  $W$  — скорость воздуха на выходе из вентилятора.

Скорость воздуха на выходе из вентилятора

$$W = \frac{64950,76}{3600 \cdot 1,105 \cdot 0,75} = 25,9 \text{ (м/с)}.$$

$$\Delta P = 0,25 \cdot \frac{1,165 \cdot 25,9^2}{2} = 97,7 \text{ (Па)}.$$

Потери давления от местных сопротивлений на участке составляют:

$$\Delta P_{\text{мс}} = 86,501 + 97,7 = 184,2 \text{ (Па)}.$$

Суммарные потери в воздухопроводе на участке:

$$\Delta P'_{2-2'} = 184,2 + 385,533 + 126,8 = 696,5 \text{ (Па)}.$$

Суммарные потери на участке с учетом потерь в воздухоподогревателе:

Пересчитав потери давления на участках 1–2 и 2–2', получаем истинное значение потерь давления по воздушному тракту. Объединим полученные результаты при расчёте потерь давления на всех участках в таблицу:

Таблица 1

Номер участка	$V_{\text{в}}$ , м <sup>3</sup> /ч	$l$ , м	$a \times b$ , мм	$d_3$ , м	$W$ , м/с	$\xi$	$\Delta P_{\text{тр}}$ , Па	$\Delta P_{\text{м.с.}}$ , Па	$\Delta P$ , Па
1-2	64950,76	10	160×8000	0,31	15	0,575	84,55	125,4	210,25

					ЧГУ.КР.140104.000.019. ПЗ				Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат					24

2-2'	93889,23	15		160×8000	0,31	6,594	1,72	126,8	184,2	696,5	
2'-3	106078,46	15	1	315×6300	0,599	14,85	1,1	31,04	74,712	108,722	
3-4	1'	53039,23	4,5	1	710×1400	0,93	14,88	1,07	6,6	66,172	79,574
	2'	26519,61	5,5		224×2240	0,405	14,88	0,01	18,3	0	18,3
4-5	1	26519,61	5	1	224×2240	0,405	14,88	0,77	16,64	52,42	69,06
	2	26519,61	5	1	224×2240	0,405	14,88	0,5	16,64	34,2	50,84

Потери давления в воздухоподогревателе:  $\Delta P_{\text{в}} = 1177,95 + 18,7 = 1196,65$  (Па).

Потери давления по всему воздушному тракту составляют:

$$\Delta P_{\text{в}} = 210,4 + 696,5 + 108,722 + 92,7 + 69,06 = 1177,95 \text{ (Па)}.$$

Напор, развиваемый вентилятором:

$$H_{\text{в}} = 1,1 \cdot 1,196,65 = 1316,7 \text{ (Па)} = 178,81 \text{ (мм вод. ст.)}$$

Используя производительность дутьевого вентилятора:

$$Q_{\text{в}} = 68198,3 \text{ (м}^3\text{/ч)}$$

и напор

$$H_{\text{в}} = 178,81 \text{ (мм вод. ст.)},$$

создаваемый им, по графику аэродинамических характеристик дутьевого вентилятор ВДН–17 с частотой вращения 740 об/мин находим значение КПД вентилятора:

$$\eta = 0,86.$$

Затрачиваемая вентилятором мощность  $N_{\text{в}}$ , кВт, рассчитывается по формуле:

$$N_{\text{в}} = \frac{Q_{\text{в}} \cdot H_{\text{в}}}{36700 \cdot \eta_{\text{в}}},$$

где  $Q_{\text{в}}$  — производительность вентилятора, м<sup>3</sup>/ч;

$H_{\text{в}}$  — напор, создаваемый вентилятором, Па;

$\eta_{\text{в}}$  — КПД вентилятора, %.

$$N_{\text{в}} = \frac{68198,3 \cdot 178,81}{3700 \cdot 86} = 39,38 \text{ (кВт)}.$$

### 3. Аэродинамический расчёт газового тракта

Целью расчёта является подбор дымососа и дымовой трубы. Для подбора дымососа необходимо знать его производительность  $Q_{\text{д}}$  и создаваемое насосом давление  $H_{\text{д}}$ .

					ЧГУ.КР.140104.000.019. ПЗ	Лист
						25
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		

Производительность дымососа  $Q_d$ , м<sup>3</sup>/ч, определяется по формуле:

$$Q_d = \beta_1 \cdot V_{дг},$$

где  $\beta_1$  — коэффициент запаса по производительности:  $\beta_1 = 1,05$ ;

$V_{дг}$  — объём дымовых газов, удаляемых дымососом из котлоагрегата, м<sup>3</sup>/ч,

$$V_{дг} = B_p \cdot V_{yx} \cdot \frac{273 + \vartheta_{yx}}{273}$$

$$V_{дг} = 14000 \cdot 7,1 \cdot \frac{273 + 140}{273} = 150374,34 \text{ (м}^3\text{)}.$$

Тогда производительность дымососа  $Q_d$  равна:

$$Q_d = 1,05 \cdot 150374,34 = 157893,07 \text{ (м}^3\text{/ч)}.$$

Давление, создаваемое дымососом, определяется по формуле:

$$H_d = \beta_2 \cdot k_2 \cdot \Delta P_{ка},$$

где  $\beta_2$  — коэффициент запаса по расходу,  $\beta_2 = 1,1$ ;

$k_2$  — коэффициент, учитывающий отличия условия работы дымососа от условий, для которых составлена аэродинамическая характеристика дымососа,

$$k_2 = \frac{273 + \vartheta_{yx}}{273 + t_{хар}},$$

где  $t_{хар} = 100$  °С — температура дымовых газов, для которой составлена характеристика дымососа. Тогда

$$k_2 = \frac{273 + 140}{273 + 100} = 1,1$$

$$\Delta P_{ка} = \Delta P_k + \Delta P_{п/п} + \Delta P_{в эк} + \Delta P_{в/п} + \Delta P_{г/х} + \Delta P_{д тр} \pm \Delta P_{с/т},$$

где  $\Delta P_{ка}$  — потери давления по газовому тракту котлоагрегата, Па.

$\Delta P_k$  — аэродинамическое сопротивление самого котла, Па;

$\Delta P_{п/п}$  — аэродинамическое сопротивление пароперегревателя, Па;

$\Delta P_{в эк}$  — аэродинамическое сопротивление водяного экономайзера, Па;

$\Delta P_{в/п}$  — аэродинамическое сопротивление воздухоподогревателя, Па;

					<b>ЧГУ.КР.140104.000.019. ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>		26

$\Delta P_{г/х}$  — аэродинамическое сопротивление газоходов, соединяющих котёл с хвостовыми поверхностями нагрева, а также дымосос и дымовую трубу между собой, Па;

$\Delta P_{д.тр}$  — аэродинамическое сопротивление дымовой трубы, Па;

$\Delta P_{с/т}$  — самотяга, развиваемая дымовой трубой, Па.

### 3.1. Аксонометрическая схема газового тракта

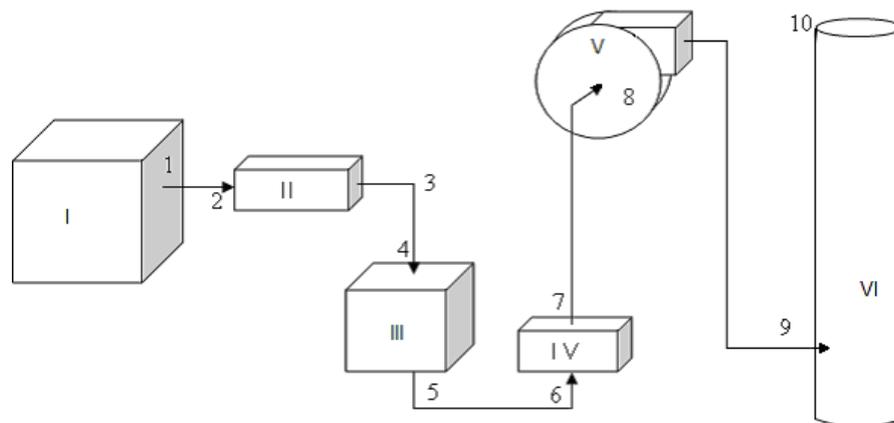


Рис. 2 Газовый тракт

#### Условные обозначения:

I – котел

II – пароперегреватель

III – водяной экономайзер

IV – воздухоподогреватель

V – дымосос

VI – дымовая труба

### 3.2. Аэродинамическое сопротивление котла

Котёл состоит из топки, выложенной внутри экранными поверхностями нагрева, по которым циркулирует вода. Примем габаритные размеры котла 11×24×18 м.

$$\Delta P_{к} = \Delta P_{р} + \Delta P_{4пов} + \Delta P_{кп} + \Delta P_{рс},$$

где  $\Delta P_{р}$  — разряжение на выходе из топки (20 ~ 30 Па). Примем  $\Delta P_{р} = 25$  Па;

$\Delta P_{4пов}$  — потери давления при четырех резких поворотах на угол 90° в камере, Па;

					ЧГУ.КР.140104.000.19. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		28

$\Delta P_{\text{кп}}$  — потери давления в кипятильных пучках, Па;

$\Delta P_{\text{рс}}$  — потери давления при резком сужении на входе в канал газового тракта, Па.

Объём дымовых газов, проходимых через котёл:

$$V_{\text{дг}}^{\text{к}} = B_{\text{р}} \cdot V_1 \cdot \frac{273 + t_{\text{дг1}}}{273} = 14000 \cdot 5,1 \cdot \frac{273 + 1080}{273} = 492630,8 (\text{м}^3).$$

Площадь камеры котла равна:

$$F_{\text{кам}} = \frac{a - 1}{2} \cdot b = \frac{11 - 1}{2} \cdot 24 = 120 (\text{м}^2).$$

Скорость дымовых газов в камере котла:

$$W = \frac{V_{\text{дг}}^{\text{к}}}{3600 \cdot F_{\text{кам}}} = \frac{492630,8}{3600 \cdot 120} = 1,14 (\text{м/с}).$$

Плотность дымовых газов  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>, вычисляется по формуле:

$$\rho_{\text{дг}} = 1,32 \cdot \frac{273}{273 + t_{\text{дг1}}}, \quad \rho_{\text{дг}} = 1,32 \cdot \frac{273}{273 + 1080} = 0,266 (\text{кг/м}^3).$$

Динамический напор:

$$\frac{\rho_{\text{дг}} \cdot W^2}{2} = \frac{0,266 \cdot 1,14^2}{2} = 0,172 (\text{Па}).$$

Потери давления при четырех резких поворотах на угол 90° ( $\xi = 1$ ) составляют:

$$\Delta P_{\text{4ппо}} = 4 \cdot \xi \cdot \frac{\rho_{\text{дг}} \cdot W^2}{2} = 4 \cdot 1 \cdot 0,172 = 0,688 (\text{Па}).$$

### 3.3. Сопротивление кипятильного пучка

Кипятильный пучок в котле образован из экранных труб задней стенки котла, на которой расположено  $Z$  трубок диаметром  $d = 50$  мм с шагом 60 мм. Количество трубок на задней стенке равно:

$$Z = \frac{24000}{60} - 1 = 399.$$

Составим кипятильный пучок коридорного типа из  $Z_2 = 3$  рядов с шагом  $S_2 = 70$  мм, тогда в каждом ряду будет по  $Z_1 = 133$  трубки, расположенных с шагом  $S_1 = 3 \cdot 60 =$

					<b>ЧГУ.КР.140104.000.019. ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>		29

180мм. Высота пучка равна 3000 мм. По количеству трубок в поперечном сечении и их шагу уточняем ширину котла:

$$b = (Z_1 + 1) \cdot S_1 = 180 \cdot (133 + 1) = 24,12 \text{ м.}$$

Коэффициент сопротивления гладкотрубного коридорного пучка труб определяется в зависимости:

— от относительного поперечного шага труб

$$\sigma_1 = \frac{S_1}{d} = \frac{180}{50} = 3,6,$$

— от относительного продольного шага труб

$$\sigma_2 = \frac{S_2}{d} = \frac{70}{50} = 1,4,$$

— от коэффициента

$$\psi = \frac{S_1 - d}{S_2 - d} = \frac{180 - 50}{70 - 50} = 6,5.$$

При  $\sigma_1 > \sigma_2$  и  $1 \leq \psi \leq 8$  коэффициент местного сопротивления коридорного пучка труб  $\xi$  определяется по формуле: [рис 5а и 5б]

$$\xi = C_{Re} \cdot C_{\sigma} \cdot \xi_{гр} \cdot Z_2.$$

При  $\sigma_1 = 3,6$  коэффициент  $C_{\sigma} = 0,495$ .

Площадь сечения, по которому движутся дымовые газы в пучке, равна:

$$F = h \cdot (b - Z_1 \cdot d) = 3 \cdot (24,12 - 133 \cdot 0,05) = 52,41 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Скорость дымовых газов в пучке равна:

$$W = \frac{V_{дг}^к}{3600 \cdot F} = \frac{492630,8}{3600 \cdot 52,42} = 2,6 \text{ (м/с)}.$$

При  $W = 2$ , коэффициент  $\xi_{гр} = 0,66$  и  $\psi = 6,5$  коэффициент  $C_{Re} = 0,25$ .

$$\xi = 0,495 \cdot 0,25 \cdot 0,66 \cdot 3 = 0,247.$$

Потери давления в пучке труб составляют:

$$\Delta P_{кп} = 0,244 \cdot \frac{0,266 \cdot 2,6^2}{2} = 0,222 \text{ (Па)}.$$

					ЧГУ.КР.140104.000.019. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		30

Коэффициент местного сопротивления при входе в канал с прямыми кромками заподлицо со стенкой равен 0,5. [АРКУ Мочан с172]

Тогда

$$\Delta P_{\text{pc}} = \xi \cdot \frac{\rho_{\text{дг}} \cdot W^2}{2} = 0,5 \cdot 0,172 = 0,086 \text{ (Па)}.$$

В итоге получаем:

$$\Delta P_{\text{к}} = 25 + 0,688 + 0,222 + 0,086 = 25,99 \text{ (Па)}.$$

### 3.4. Аэродинамическое сопротивление пароперегревателя

Расположение змеевиков в пароперегревателе может быть как коридорное, так и шахматное. Соответственно сопротивлением пароперегревателя является сопротивление коридорного или шахматного пучков труб.

Принял: расположение шахматное, трубы гладкие.

Количество труб в поперечном сечении  $Z_1 = 104$ , а по ходу дымовых газов  $Z_2 = 59$ . Трубы расположены соответственно на расстоянии  $S_1 = 60$  мм и  $S_2 = 45$  мм. Диаметр труб равен 32 мм. Высота труб равна 5000 мм.

Размеры пароперегревателя:

— высота  $h = 5000$  мм;

— ширина  $b = (Z_1 + 1) \cdot S_1 = (104 + 1) \cdot 60 = 6300$  мм;

— длина  $l = (Z_2 + 1) \cdot S_2 = (59 + 1) \cdot 45 = 2700$  мм.

Коэффициент сопротивления гладкотрубного шахматного пучка определяется в зависимости от отношений:

$$\sigma_1 = \frac{S_1}{d} = \frac{60}{32} = 1,88;$$

$$\varphi = \frac{S_1 - d}{S_2' - d}, \text{ где}$$

$$S_2' = \sqrt{0,25 \cdot S_1^2 + S_2^2} = \sqrt{0,25 \cdot 60^2 + 45^2} = 54,08 \text{ мм.}$$

$$\varphi = \frac{60 - 32}{54,08 - 32} = 1,27$$

					<b>ЧГУ.КР.140104.000.019. ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>		31

Сопротивление шахматного пучка труб  $\Delta h$ , мм вод. ст., при  $0,1 \leq \varphi \leq 1,7$  находится по формуле:

$$\Delta h = C_d \cdot C_s \cdot \Delta h_{\text{тр}} (Z_2 + 1).$$

При  $d = 32$  мм  $C_d = 1,005$ . [рис 6б]

При  $\sigma_1 = 1,88$  и  $\sigma_2 = \frac{45}{32} = 1,41$  коэффициент  $C_s = 1,07$ .

Площадь живого сечения пучка равна:

$$F = h \cdot (b - Z_1 \cdot d) = 5 \cdot (6,3 - 104 \cdot 0,032) = 14,86 \text{ м}^2.$$

Средняя температура дымовых газов в пароперегревателе:

$$t_{\text{ср}} = \frac{1080 + 760}{2} = 920 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Плотность дымовых газов в пароперегревателе равна:

$$\rho = 1,32 \cdot \frac{273}{273 + 920} = 0,302 \text{ (кг/м}^3\text{)}.$$

Объём дымовых газов в пароперегревателе:

$$V_{\text{дг}}^{\text{н/п}} = 14000 \cdot 5,1 \cdot \frac{273 + 920}{273} = 434374,35 \text{ (м}^3\text{)}.$$

Скорость дымовых газов в пароперегревателе равна:

$$W = \frac{V_{\text{дг}}^{\text{н/п}}}{3600 \cdot F} = \frac{434374,35}{3600 \cdot 14,86} = 8,11 \text{ (м/с)}.$$

По скорости и средней температуре определяем  $\Delta h_{\text{тр}}$ , мм вод. ст.:

$$\Delta h_{\text{тр}} = 0,42 \text{ (мм вод. ст.) [рис 6а]}$$

Сопротивление пароперегревателя:

$$\Delta h = 1,005 \cdot 1,07 \cdot 0,42 \cdot (59 + 1) = 27,09 \text{ (мм вод. ст.)} = 265,9 \text{ (Па)}.$$

### 3.5. Аэродинамическое сопротивление водяного экономайзера

Стальной змеевиковый экономайзер представляет собой пучок труб, набранный из стальных змеевиков диаметром 28 или 32 мм, со стенками толщиной 3 или 4 мм. Дымовые

					<b>ЧГУ.КР.140104.000.019. ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>		32

газы поперечно омывают змеевики. Расположение змеевиков может быть коридорным и шахматным. (Принял шахматное расположение змеевиков).

Количество труб в поперечном сечении  $Z_1 = 74$ , а по ходу дымовых газов  $Z_2 = 74$ . Трубы расположены соответственно на расстоянии  $S_1 = 70$  мм и  $S_2 = 40$  мм. Диаметр труб равен 32 мм, высота труб — 4500 мм.

Размеры экономайзера:

— длина (высота кипяточного пучка)  $h = 4500$  мм.

— ширина (ширина кипяточного пучка)

$$b = (Z_1 + 1) \cdot S_1 = (74 + 1) \cdot 70 = 5250 \text{ мм};$$

— высота (длина кипяточного пучка)

$$l = (Z_2 + 1) \cdot S_2 = (74 + 1) \cdot 40 = 3000 \text{ мм};$$

Соппротивление шахматного пучка труб зависит от

$$\sigma_1 = \frac{70}{32} = 2,19; \quad \varphi = \frac{S_1 - d}{S'_2 - d},$$

где

$$S'_2 = \sqrt{0,25 \cdot S_1^2 + S_2^2} = \sqrt{0,25 \cdot 70^2 + 40^2} = 53,15 \text{ мм.}$$

$$\varphi = \frac{70 - 32}{53,15 - 32} = 1,8.$$

Соппротивление шахматного пучка труб  $\Delta h$ , мм вод. ст., при  $\sigma_1 \leq 3$  и  $1,7 \leq \varphi \leq 6,5$  рассчитывается по формуле:

$$\Delta h = C_d \cdot C_s \cdot \Delta h_{\text{тр}} \cdot (Z_2 + 1).$$

При  $d = 32$  мм коэффициент  $C_d = 1,005$ . [рис 6б]

При  $\sigma_1 = 2,19$  и  $\sigma_2 = \frac{40}{32} = 1,25$  коэффициент  $C_s = 1,07$ . [рис 6б]

Площадь живого сечения пучка

$$F = h \cdot (b - Z_1 \cdot d) = 4,5 \cdot (5,25 - 74 \cdot 0,032) = 12,97 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Средняя температура дымовых газов в водяном экономайзере равна:

$$t_{\text{в.с.}} = \frac{760 + 550}{2} = 655 \text{ }^\circ\text{C}.$$

					<b>ЧГУ.КР.140104.000.019. ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>		33

Средний объём дымовых газов, уходящих из экономайзера:

$$V_{yx} = \frac{5,1 + 6,1}{2} = 5,6 \text{ (м}^3\text{)}.$$

Объём дымовых газов в экономайзере:

$$V_{дг}^{вэ} = 14000 \cdot 5,6 \cdot \frac{273 + 655}{273} = 266502,6 \text{ (м}^3\text{)}.$$

Скорость дымовых газов в экономайзере равна:

$$W = \frac{V_{дг}^{вэ}}{3600 \cdot F} = \frac{266502,6}{3600 \cdot 12,97} = 5,7 \text{ (м/с)}.$$

По скорости  $W = 5,7$  м/с и средней температуре  $655^\circ\text{C}$  определяем  $\Delta h_{гр}$ , мм вод. ст.:

$$\Delta h_{гр} = 0,29. \text{ [рис 6а]}$$

Сопротивление экономайзера:

$$\Delta h = 1,005 \cdot 1,07 \cdot 0,29 \cdot (74 + 1) = 23,4 \text{ (мм вод. ст.)} = 229,5 \text{ (Па)}.$$

### 3.6. Аэродинамическое сопротивление воздухоподогревателя

Сопротивление воздухоподогревателя складывается из сопротивления трения в трубах и сопротивления входа в трубы и выхода из них. Параметры воздухоподогревателя берутся из воздушного тракта котлоагрегата.

Размеры воздухоподогревателя:

$$h = 2500 \text{ мм}, b = 2940 \text{ мм}, l = 3555 \text{ мм};$$

$$\text{Диаметр и толщина труб: } d = 30 \text{ мм}; s = 2 \text{ мм};$$

$$\text{Количество труб: } Z_1 = 48, Z_2 = 78;$$

$$\text{Расстояние между осями труб: } S_1 = 60, S_2 = 55 \text{ мм};$$

Площадь живого сечения пучка равна:

$$F = \frac{\pi \cdot (d - 2s)^2}{4} \cdot Z_1 \cdot Z_2 = \frac{3,14 \cdot (0,03 - 2 \cdot 0,002)^2}{4} \cdot 48 \cdot 78 = 3,515 \text{ м}.$$

Средняя температура дымовых газов в воздухоподогревателе:

$$t_{в/п} = \frac{550 + 140}{2} = 345^\circ\text{C}.$$

Средний объём дымовых газов, уходящих из воздухоподогревателя:



Плотность дымовых газов в воздухоподогревателе:

$$\rho = 1,32 \frac{273}{273 + 345} = 0,583 \text{ (кг/м}^3\text{)}.$$

Динамический напор:

$$\frac{\rho \cdot W^2}{2} = \frac{0,583 \cdot 16,52^2}{2} = 79 \text{ (Па)}.$$

Тогда

$$\Delta h_{\text{изм}} = 1 \cdot (0,08 + 0,14) \cdot 79 = 17,38 \text{ (Па)}.$$

В итоге сопротивление воздухоподогревателя равно:

$$\Delta P = 285,2 + 17,38 = 302,57 \text{ (Па)}.$$

### 3.7. Аэродинамическое сопротивление газоходов в тракте

#### 3.7.1. Расчет участка 1–2

Данный участок газохода соединяет выход котла с пароперегревателем.

Объём дымовых газов, проходящих через участок, равен объёму дымовых газов,

выходящих из котла, т. е.  $V_{1-2} = V_{\text{дг}}^{\text{к}} = 492630,8 \text{ (м}^3\text{/ч)}$ .

Площадь поперечного сечения:

$$F = \frac{V_{1-2}}{3600 \cdot W} = \frac{492630,8}{3600 \cdot 5} = 27,3 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Соответственно полученной площади выбираем размеры и вид трубы:

труба 2800×10000 мм.

Площадь живого сечения:

$$F = 2,8 \cdot 10 = 28 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Эквивалентный диаметр газохода:

$$d_s = \frac{4 \cdot 28}{2 \cdot (2,8 + 10)} = 4,375 \text{ (м)}.$$

Скорость дымовых газов в трубе:

$$W = \frac{492630,8}{3600 \cdot 28} = 4,88 \text{ (м/с)}.$$

					<b>ЧГУ.КР.140104.000.019. ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>		35

Динамический напор:

$$\frac{\rho \cdot W^2}{2} = \frac{0,266 \cdot 4,88^2}{2} = 3,16 \text{ (Па)}.$$

Рассчитываем потери от трения:

$$\Delta P_{\text{тр}} = 10 \cdot \frac{0,02}{2,93} \cdot 3,16 = 0,14 \text{ (Па)} = \Delta P_{1-2}$$

### 3.7.2. Расчет участка 3–4

Данный участок газохода соединяет пароперегреватель с водяным экономайзером.

Объём дымовых газов, проходящих через участок равен:

$$V_{3-4} = 14000 \cdot 5,1 \cdot \frac{273 + 760}{273} = 270169,2 \text{ (м}^3\text{/ч)}.$$

Площадь поперечного сечения:

$$F = \frac{V_{3-4}}{3600 \cdot W} = \frac{270169,2}{3600 \cdot 5} = 15,04 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Соответственно полученной площади выбираем размеры и вид трубы:

труба 1800×8000 мм.

Площадь живого сечения:

$$F = 1,8 \cdot 8 = 14,4 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Эквивалентный диаметр газохода:

$$d_3 = \frac{4 \cdot 14,4}{2 \cdot (1,8 + 8)} = 2,94 \text{ (м)}.$$

Скорость дымовых газов в трубе:

$$W = \frac{270169,2}{3600 \cdot 14,4} = 5,2 \text{ (м/с)}.$$

Плотность дымовых газов при 760 °С:

$$\rho = 1,32 \cdot \frac{273}{273 + 760} = 0,348 \text{ (кг/м}^3\text{)}.$$

Динамический напор:

					<b>ЧГУ.КР.140104.000.019. ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>		36

$$\frac{\rho \cdot W^2}{2} = \frac{0,348 \cdot 5,2^2}{2} = 4,7 \text{ (Па)}.$$

Рассчитываем потери от трения:

$$\Delta P_{\text{тр}} = 10 \cdot \frac{0,02}{2,94} \cdot 4,7 = 0,31 \text{ (Па)}.$$

Выход пароперегревателя соединяется с трубой с помощью пирамидального конфузора (2800×10000 мм → 1800×8000 мм). Коэффициент местного сопротивления пирамидального конфузора находится в зависимости от большего угла сужения  $\alpha$ , который в данном случае будет при уменьшении ширины пароперегревателя до ширины трубы:

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{10000 - 8000}{2 \cdot 2500} = 0,4.$$

Получаем  $\alpha = 21,8^\circ$ . Так как угол  $20^\circ < \alpha < 60^\circ$ , то коэффициент местного сопротивления конфузора  $\xi = 0,1$ . [АРКУ Мочан с174]

Коэффициент местного сопротивления поворота на угол  $90^\circ$   $\xi = 1$ .

Труба соединяется с входом водяного экономайзера с помощью резкого расширения (1800×8000 мм → 5250×4500 мм).

Отношение площади меньшего сечения к площади большего сечения равно:

$$\frac{F_{\text{м}}}{F_{\text{б}}} = \frac{14,4}{5,25 \cdot 4,5} = 0,65.$$

Тогда  $\xi_{\text{вых}} = 0,15$ .

Потери давления в местных сопротивлениях составляют:

$$\Delta P_{\text{мс}} = (0,1 + 1 + 0,15) \cdot 4,7 = 5,875 \text{ (Па)}.$$

Суммарные потери давления на участке:

$$\Delta P_{3-4} = 0,31 + 5,875 = 29,23 \text{ (Па)}.$$

### 3.7.3. Расчет участка 5–6

Данный участок газохода соединяет водяной экономайзер с воздухоподогревателем.

Объём дымовых газов, проходящих через участок, равен:

					ЧГУ.КР.140104.000.019. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		37

$$V_{5-6} = 14000 \cdot 6,1 \cdot \frac{273 + 550}{273} = 257451 \text{ (м}^3\text{/ч)}.$$

Площадь поперечного сечения:

$$F = \frac{V_{5-6}}{3600 \cdot W} = \frac{257451}{3600 \cdot 5} = 14,3 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Соответственно полученной площади выбираем размеры и вид трубы:

труба 4000×3550 мм.

Площадь живого сечения:

$$F = 3,35 \cdot 4 = 14,2 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Эквивалентный диаметр газохода:

$$d_3 = \frac{4 \cdot 14,2}{2 \cdot (3,35 + 4)} = 3,76 \text{ (м)}.$$

Скорость дымовых газов в трубе:

$$W = \frac{257451}{3600 \cdot 14,2} = 5,03 \text{ (м/с)}.$$

Плотность дымовых газов при 550°С:

$$\rho = 1,32 \cdot \frac{273}{273 + 550} = 0,43 \text{ (кг/м}^3\text{)}.$$

Динамический напор:

$$\frac{\rho \cdot W^2}{2} = \frac{0,43 \cdot 5,03^2}{2} = 5,43 \text{ (Па)}.$$

Рассчитываем потери от трения:

$$\Delta P_{\text{тр}} = 15 \cdot \frac{0,02}{3,76} \cdot 5,43 = 0,43 \text{ (Па)}.$$

Выход водяного экономайзера соединяется с трубой с помощью пирамидального конфузора (5250×4500 мм → 4000×3550 мм). Большой угол сужения в данном конфузоре будет при уменьшении ширины водяного экономайзера до ширины трубы:

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{5350 - 4000}{2 \cdot 900} = 0,44$$

$$\alpha = 2 \cdot \operatorname{arctg} 0,44 = 47^\circ$$

						Лист
						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат	ЧГУ.КР.140104.000.019. ПЗ	38
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат	ЧГУ.КР.140104.000.019. ПЗ	39

Получаем  $\alpha = 47^\circ$ . Так как  $20^\circ < \alpha < 60^\circ$ , то коэффициент местного сопротивления конфузора  $\xi = 0,1$ . [АРКУ Мочан с174]

В конце участка 5–6 труба присоединяется к входу воздухоподогревателя. Для присоединения трубы 4000x3550 необходимо установить пирамидальный диффузор.

Коэффициент местного сопротивления каждого из двух поворотов на угол  $90^\circ$   $\xi = 1$

Потери давления в местных сопротивлениях:

$$\Delta P_{\text{мс}} = (0,1 + 2 \cdot 1) \cdot 5,43 = 11,403 \text{ (Па)}.$$

Суммарные потери давления на участке:

$$\Delta P_{5-6} = 11,403 + 0,43 = 11,833 \text{ (Па)}.$$

### 3.7.4. Участок 7–8

Данный участок газохода соединяет воздухоподогреватель с всасывающим карманом, который направляет дымовые газы в дымосос.

На данном участке находится 1 поворот на  $90^\circ$ . Коэффициент местного сопротивления поворота на угол  $90^\circ$   $\xi = 1$

Объём дымовых газов, проходящих через участок, равен объёму дымовых газов, уносимых дымососом, т. е.  $V_{7-8} = V_{\text{дг}} = 150374,34 \text{ (м}^3/\text{ч)}$ .

Площадь поперечного сечения:

$$F = \frac{V_{7-8}}{3600 \cdot W} = \frac{150374,34}{3600 \cdot 5} = 8,35 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Соответственно полученной площади выбираем по ГОСТу размеры и вид трубы:

труба 2800×3150 мм.

Площадь живого сечения:

$$F = 2,8 \cdot 3,15 = 8,82 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Эквивалентный диаметр газохода:

					ЧГУ.КР.140104.000.019. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		40

$$d_3 = \frac{4 \cdot 8,82}{2 \cdot (2,8 + 3,15)} = 2,96 \text{ (м)}.$$

Скорость дымовых газов в трубе:

$$W = \frac{150374,34}{3600 \cdot 8,82} = 4,73 \text{ (м/с)}.$$

Плотность дымовых газов при 140 °С равна:

$$\rho = 1,32 \cdot \frac{273}{273 + 140} = 0,87 \text{ (кг/м}^3\text{)}.$$

Динамический напор:

$$\frac{\rho \cdot W^2}{2} = \frac{0,917 \cdot 4,73^2}{2} = 9,73 \text{ (Па)}.$$

Потери от трения составляют:

$$\Delta P_{\text{тр}} = 15 \cdot \frac{0,02}{2,96} \cdot 9,73 = 0,98 \text{ (Па)}.$$

Соединение воздухоподогревателя с трубой — с помощью конфузора (4000×3550 мм → 3150×2800 мм). Большой угол сужения в данном конфузоре будет при уменьшении ширины воздухоподогревателя до ширины трубы:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} &= \frac{4000 - 2800}{2 \cdot 2500} = 0,24 \\ \alpha &= 2 \cdot \operatorname{arctg} 0,24 = 30^\circ \end{aligned}$$

Получаем  $\alpha = 30^\circ$ . Так как  $20^\circ < \alpha < 60^\circ$ , то коэффициент местного сопротивления конфузора  $\xi = 0,1$ . [АРКУ Мочан с174]

Чтобы рассчитать потери давления во всасывающем кармане и в соединении трубы участка с карманом, необходимо знать размеры входного отверстия кармана, которые определяются в зависимости от размера выходного отверстия, равного размеру входного отверстия дымососа. Для этого необходимо выбрать дымосос. Определим потери давления на участке 8–9 и в дымовой трубе, а также самотягу в дымовой трубе. Рассчитаем приближённое давление, создаваемое дымососом, по которому выберем дымосос. Затем, пересчитав потери на участках 7–8 и 8–9, определим истинное значение напора, создаваемого дымососом. Если же такой напор дымосос не может создать, то необходимо выбрать другой.

					ЧГУ.КР.140104.000.019. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		41

Потери давления в конфузоре:

$$\Delta P_{мс} = 0,1 \cdot 973 = 0,973 \text{ (Па)}.$$

Суммарные приближённые потери давления на участке:

$$\Delta P_{7-8} = 0,98 + 0,973 = 1,953 \text{ (Па)}.$$

### 3.7.5. Участок 8–9

Данный участок газохода соединяет выход дымососа с дымовой трубой.

На данном участке находится 2 поворота на угол  $90^\circ$ . Коэффициент местного сопротивления поворота на угол  $90^\circ$   $\xi = 1$

Объём и плотность дымовых газов, проходящих через данный участок, остаются неизменными по сравнению с участком 7–8, если принять размеры трубопровода на данном участке такими же, как и на участке 7–8, то не изменится скорость дымовых газов, а соответственно и динамический напор.

$$V_{8-9} = V_{7-8} = 150374,34 \text{ (м}^3\text{/ч)}.$$

$$b = 4500 \text{ мм}; a = 0,9 \cdot h = 0,9 \cdot 4500 = 4050 \text{ мм}.$$

Присоединение газохода с цоколем осуществляется без изменения сечения ( $2800 \times 3150 \rightarrow 4050 \times 4500 \text{ мм}$ ).

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{4050 - 2800}{2 \cdot 4000} = 0,15$$

$$\alpha = 2 \cdot \operatorname{arctg} 0,15 = 19,6^\circ$$

Следовательно  $\xi = 0$

Потери давления в местных сопротивлениях составляют:

$$\Delta P_{мс} = 0,7 \cdot 9,73 = 6,8 \text{ (Па)}.$$

Суммарные потери давления на участке составляют:

$$\Delta P_{8-9} = 1,31 + 6,8 = 8,11 \text{ (Па)}.$$

					ЧГУ.КР.140104.000.019. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		42

Суммарные потери давления в газоходах:

$$\Delta P_{r/x} = 0,14 + 6,18 + 11,83 + 1,953 + 8,11 = 28,213 \text{ (Па)}.$$

### 3.8. Аэродинамический расчет дымовой трубы

Выберем цилиндрическую, кирпичную трубу. Для расчёта трубы необходимо задать скорость выхода дымовых газов из трубы. Пусть  $W = 12 \text{ м/с}$ .

Площадь устья трубы равна:

$$F = \frac{V_{8-9}}{3600 \cdot W} = \frac{150374,34}{3600 \cdot 12} = 3,5 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Зная площадь отверстия, можно найти диаметр выходного отверстия:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3,5}{3,14}} = 2,12 \text{ (м)}.$$

По унифицированному ряду типоразмеров дымовых труб выбирается наиболее близкое значение диаметра к полученному значению 2,4 м.

По выбранному диаметру устья находим площадь устья и скорость дымовых газов в трубе:

$$F = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 2,4^2}{4} = 4,52 \text{ (м}^2\text{)}.$$

$$W = \frac{150374,34}{3600 \cdot 4,52} = 9,24 \text{ (м/с)}.$$

По диаметру на выходе трубы по унифицированному ряду типоразмеров дымовых труб выбираем высоту дымовой трубы.

$$H_{тр} = 70 \text{ м}.$$

Плотность дымовых газов при 140 °С равна  $\rho = 0,87 \text{ кг/м}^3$ .

Динамический напор равен:

$$\frac{\rho \cdot W^2}{2} = \frac{0,87 \cdot 9,24^2}{2} = 37,13 \text{ (Па)}.$$

Рассчитываем потери от трения. Коэффициент трения  $\lambda = 0,05$ .

$$\Delta P_{тр} = 70 \cdot \frac{0,05}{2,1} \cdot 37,13 = 54,14 \text{ (Па)}.$$

					<b>ЧГУ.КР.140104.000.019. ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>		43

Потери от местных сопротивлений при выходе из дымовой трубы ( $\xi = 1$ )  
составляют:

$$\Delta P_{mc} = 1 \cdot 37,13 = 37,13 \text{ (Па)}.$$

Суммарные потери давления в дымовой трубе:

$$\Delta P_{д,тр} = 54,14 + 37,13 = 91,27 \text{ (Па)}.$$

Самотяга в трубе:

$$\Delta P_{ст} = - H_{тр} \cdot g \cdot (\rho_{хв} - \rho_{дг}) = - 70 \cdot 9,81 \cdot (1,165 - 0,87) = - 202,5 \text{ (Па)}.$$

### 3.9. Выбор дымососа

Складывая потери давления во всех агрегатах и газоходах, получаем приближённое значение потерь давления по газовому тракту:

$$\Delta P_{ка} = 25,99 + 265,9 + 229,5 + 302,57 + 28,213 + 91,27 - 202,5 = 1150 \text{ (Па)}.$$

Напор, развиваемый дымососом, равен:

$$H_{д} = 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1150 = 1265 \text{ (Па)} = 130 \text{ (мм вод. ст.)}$$

По производительности дымососа

$$Q_{д} = 157893,07 \text{ (м}^3\text{/ч)}$$

и напору

$$H_{д} = 142 \text{ (мм вод. ст.)},$$

которое он создаёт, выбираем дымосос Д-18х2 [рис 26] с частотой вращения 590 об/мин. Зная размеры входного и выходного отверстий дымососа, можно найти потери давления на участках 7–8 и 8–9.

### 3.10. Пересчет участка 7–8

Перед дымососом стоит всасывающий карман с размерами входного отверстия:

$$a = 0,92 \cdot d_{д} = 0,92 \cdot 1800 = 1794 \text{ мм};$$

$$b = 1,8 \cdot d_{д} = 1,8 \cdot 1800 = 3240 \text{ мм}.$$

Чтобы присоединить карман размером 1794×3240 мм к трубе 2800×3150 мм участка, необходимо установить диффузор.

					ЧГУ.КР.140104.000.019. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		44

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{2800 - 1794}{2 \cdot 2500} = 0,2012$$

$$\alpha = 2 \cdot \operatorname{arctg} 0,2012 = 25^\circ$$

тогда  $\xi = 0,1$

Скорость дымовых газов в дымоходе:

$$W = \frac{150374,34}{3600 \cdot 3,24 \cdot 1,794} = 7,18 \text{ (м/с)}.$$

Коэффициент сопротивления во всасывающем кармане  $\xi = 0,1$

Потери давления в диффузоре и всасывающем кармане:

$$\Delta P_{MC} = (0,1 + 0,1) \cdot \frac{0,87 \cdot 7,18^2}{2} = 4,48 \text{ (Па)}.$$

Потери давления в местных сопротивлениях на участке 7–8:

$$\Delta P_{mc} = 0,973 + 4,48 = 5,45 \text{ (Па)}.$$

Суммарные потери давления на участке:

$$\Delta P_{7-8} = 0,98 + 5,45 = 6,43 \text{ (Па)}.$$

### 3.11. Пересчет участка 8–9

Газоход присоединяется к выходу дымососа с помощью диффузора (1794x3240 мм → 2800x3150 мм)

Коэффициент местного сопротивления резкого расширения определяется в зависимости от отношения меньшего сечения к большему:

$$\frac{F_M}{F_G} = \frac{1,794 \cdot 3,24}{2,8 \cdot 3,15} = 0,65$$

Тогда коэффициент резкого расширения  $\xi_{\text{вых}} = 0,27$

Скорость дымовых газов на выходе из дымососа:

$$W = \frac{150374,24}{3600 \cdot 2,8 \cdot 3,15} = 7,18 \text{ (м/с)}$$

Потери давления в диффузоре:

$$\Delta P = 0,27 \frac{0,87 \cdot 7,18^2}{2} = 6,05 \text{ (Па)}.$$

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{2800 - 1794}{2 \cdot 4000} = 0,125$$

$$\alpha = 2 \cdot \operatorname{arctg} 0,125 = 15^\circ$$

$$\xi = 0,06$$

					ЧГУ.КР.140104.000.019. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		45

$$W = \frac{150374,24}{3600 \cdot 2,8 \cdot 3,15} = 4,7 \text{ м/с}$$

Потери давления в местных сопротивлениях на участке составляют:

$$\Delta P_{M.C} = 6,8 + 6,05 + 0,57 = 13,42 \text{ (Па)}.$$

Суммарные потери на участке:

$$\Delta P_{8-9} = 1,31 + 13,42 = 14,73 \text{ (Па)}.$$

Суммарные потери давления в газоходах:

$$\Delta P_{т.х} = 4,48 + 28,213 + 13,42 = 46,113 \text{ (Па)}.$$

Потери давления по всему газовому тракту:

$$\Delta P_{к-а} = 1150 + 4,48 + 6,05 + 0,57 = 1161,1 \text{ (Па)}.$$

Давление создаваемое дымососом:

$$H_d = 1,1 \cdot 1,0724 \cdot 1161,1 = 1369,68 \text{ Па} = 140 \text{ (мм вод. ст.)}$$

Используя производительность дымососа  $Q_d = 157893,07 \text{ (м}^3/\text{ч)}$  и напор  $H_d = 142 \text{ (мм вод. ст.)}$ , создаваемый им, по графику аэродинамических характеристик выбираем дымосос Д-18х2 с частотой вращения 590 об/мин.

Находим КПД дымососа:

$$\eta_d = 39 \% \text{ [рис 26]}$$

Затрачиваемая дымососом мощность  $N_d$ , кВт:

$$N_d = \frac{Q_d \cdot H_d \cdot 1,05}{3600 \cdot \eta_d},$$

где  $Q_d$  – производительность вентилятора,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  $H_d$  – напор развиваемый вентилятором, Па;  $\eta_d$  – КПД вентилятора, %.

$$N_d = \frac{157893,07 \cdot 142 \cdot 1,05}{3600 \cdot 39} = 167,6 \text{ (кВт)}$$

					ЧГУ.КР.140104.000.019. ПЗ	Лист
						46
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		

#### 4. Вывод

Для организации процесса горения котлоагрегаты оснащаются тягодутьевыми устройствами: дутьевыми вентиляторами, подающими воздух в топку, дымососами, удаляющими из котла дымовые газы, а также дымовой трубой.

Выбор вентилятора или дымососа сводится к выбору машины, обеспечивающей производительность и давление, определённые при расчёте воздушного и газового трактов, и потребляющей наименьшее количество энергии при эксплуатации.

В данной курсовой работе было выполнено:

- аэродинамический расчет воздушного тракта котлоагрегата, подобран по производительности и напору дутьевой вентилятор ВДН–17 с частотой вращения 740 об/мин и определена мощность, потребляемая им;
- аэродинамический расчет газового тракта, выбран дымосос Д–18х2 с частотой вращения 590 об/мин и определена мощность, потребляемая им;
- выбрана цилиндрическая кирпичная дымовая труба высотой 70 метров.

					ЧГУ.КР.140104.000.019. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		47

## 5. Литература

1. Захарова Н.С. Методические указания к выполнению курсовой работы "Аэродинамический расчет котельных установок" по дисциплине "Гидрогазодинамика": Учеб.- метод. пособие. — Череповец: ЧГУ, 2003. — 23 с.

2. Приложения к учебно-методическому пособию "Аэродинамический расчет котельных установок". Ч. 1. Череповец: ЧГУ, 2002.

3. Приложения к учебно-методическому пособию "Аэродинамический расчет котельных установок". Ч. 2. Череповец: ЧГУ, 2002.

4. Аэродинамический расчет котельных установок. Нормативный метод / Под ред. С.И. Мочана. 3-е изд. Л.: Энергия, 1977. — 256 с.

					ЧГУ.КР.140104.000.019. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		48