

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Южно-Уральский государственный университет  
(национальный исследовательский университет)»  
Институт «Архитектурно-строительный»  
Кафедра «Градостроительство, инженерные сети и системы»

ПРОЕКТ ПРОВЕРЕН

Рецензент  
должность

\_\_\_\_\_ А.Н. Новиков  
\_\_\_\_\_ 2019 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой,  
к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ Д.В. Ульрих  
\_\_\_\_\_ 2019 г.

Проектирование водогрейной газовой котельной мощностью 120 МВт  
для тепличного комплекса, г. Усть–Катав

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ  
ЮУрГУ – 13.03.01.2019.379.01. ПЗ ВКР

Консультанты:

Раздел «Автоматизация»

к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ С.В. Панфёров  
\_\_\_\_\_ 2019 г.

Руководитель проекта:

старший преподаватель

\_\_\_\_\_ С.Л. Дегтярь  
\_\_\_\_\_ 2019 г.

Автор проекта:

студент группы АС-452

\_\_\_\_\_ В.А. Батуева  
\_\_\_\_\_ 2019 г.

Нормоконтролер:

старший преподаватель

\_\_\_\_\_ С.Л. Дегтярь  
\_\_\_\_\_ 2019 г.

## АННОТАЦИЯ

Батуева В.А. Проектирование водогрейной газовой котельной мощностью 120 МВт для тепличного комплекса, г. Усть-Катав – Челябинск: ЮУрГУ, АС-452; 2019, 76 с, библиографический список – 20 наим., 2 прил., 7 листов чертежей ф. А1.

В выпускной квалификационной работе для тепличного комплекса в городе Усть-Катав была запроектирована водогрейная газовая котельная мощностью 120 МВт.

В соответствии с исходными тепловыми нагрузками была разработана и рассчитана тепловая схема котельной, подобрано котельное оборудование, подобраны установки химической нейтрализации конденсата. Запроектированы системы отопления и вентиляции котельной. Рассчитана высота дымовых труб в соответствии с действительными нормами предельно допустимых концентраций вредных веществ.

В разделе «Автоматизация» была разработана схема автоматизации котельной.

|            |          |          |       |      |  |                             |      |        |
|------------|----------|----------|-------|------|--|-----------------------------|------|--------|
|            |          |          |       |      |  | 13.03.01.2019.379.01 ПЗ ВКР |      |        |
| Изм.       | Лист     | № докум. | Подп. | Дата |  |                             |      |        |
| Зав. каф.  | Ульрих   |          |       |      | Проектирование водогрейной газовой котельной мощностью 120 МВт для тепличного комплекса, г. Усть-Катав | Стадия                      | Лист | Листов |
| Н.контр.   | Дегтярь  |          |       |      |  | ДП                          | 3    | 76     |
| Руководит. | Дегтярь  |          |       |      |  | ЮУрГУ<br>Кафедра ГИСиС      |      |        |
| Консульт.  | Панферов |          |       |      |  |                             |      |        |
| Дипломник  | Батуева  |          |       |      |  |                             |      |        |

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|   |    |
|---|----|
| ВВЕДЕНИЕ.....   | 9  |
| 1 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ.....                                       | 10 |
| 1.1 Краткое описание объекта проектирования.....                                | 10 |
| 1.2 Климатологические параметры.....  | 10 |
| 1.3 Параметры потребителя проектируемой котельной.....                          | 11 |
| 2 ГРАФИК ГОДОВОГО РАСХОДА ТЕПЛОТЫ.....  | 14 |
| 2.1 Вспомогательная часть.....  | 14 |
| 2.2 Основная часть.....   | 16 |
| 3 ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ ТЕПЛОВАЯ СХЕМА КОТЕЛЬНОЙ.....                                  | 17 |
| 3.1 Описание тепловой схемы котельной.....                                      | 17 |
| 3.2 Расчет тепловой схемы котельной.....  | 19 |
| 3.3 Подбор основного оборудования котельной.....                                | 28 |
| 3.3.1 Подбор котельного агрегата.....   | 28 |
| 3.3.2 Подбор горелочного устройства.....  | 30 |
| 3.3.3 Подбор теплообменника.....  | 31 |
| 3.3.4 Подбор насосного оборудования.....  | 33 |
| 3.3.4.1 Подбор сетевого насоса.....   | 33 |
| 3.3.4.2 Подбор рециркуляционных насосов.....                                    | 34 |
| 3.3.5 Подбор расширительного бака.....  | 37 |
| 3.3.6 Подбор устройства нейтрализации конденсата.....                           | 40 |
| 4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ВОЗДУХА НА ГОРЕНИЕ И РАСЧЕТ<br>ОБЪЕМА ДЫМОВЫХ ГАЗОВ ..... | 42 |
| 4.1 Определение теоретических объемов воздуха и дымовых газов.....              | 42 |
| 4.2 Определение коэффициентов избытка воздуха.....                              | 43 |
| 4.3 Определение действительных объемов воздуха и дымовых газов.....             | 45 |
| 5 ДЫМОВЫЕ ТРУБЫ.....  | 48 |
| 6 ОТОПЛЕНИЕ И ВЕНТИЛЯЦИЯ.....   | 57 |
| 6.1 Вентиляция котельного зала.....   | 57 |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 6.1.1 | Приточная вентиляция.....  | 57 |
| 6.1.2 | Вытяжная вентиляция.....   | 60 |
| 6.2   | Отопление котельного зала.....                                     | 61 |
| 6.2.1 | Расчет тепловых потерь через наружные ограждающие конструкции..... | 62 |
| 6.2.2 | Расчет тепловых потерь на нагрев наружного воздуха.....            | 65 |
| 6.2.3 | Расчет тепловых поступлений от оборудования котельной.....         | 66 |
| 6.2.4 | Тепловой баланс.....   | 66 |
| 7     | АВТОМАТИЗАЦИЯ РАБОТЫ КОТЕЛЬНОЙ.....                                | 67 |
|       | ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....  | 70 |
|       | БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....                                      | 71 |
|       | ПРИЛОЖЕНИЕ А – Расчет тепловой схемы котельной.....                | 73 |
|       | ПРИЛОЖЕНИЕ Б – Расчет тепловых потерь через НОК.....               | 76 |

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в Российской Федерации очень распространилось строительство тепличных комплексов и хозяйств. Как известно, основной частью себестоимости выращиваемой продукции в теплицах являются энергетические затраты. Следствием этого становится то, что необходимо строить автономные источники тепла рядом с тепличными хозяйствами, которые будут обеспечивать теплоснабжение всего комплекса. Также строительство автономной котельной существенно снижает тепловые потери при транспортировке теплоносителя непосредственно к теплопотребителю.

Также для эффективной работы тепличных комплексов требуется большое количество углекислого газа  $\text{CO}_2$ . Современным методом его получения является выработка его от водогрейных котлов котельной. Использование отводящих газов от котлов является распространенным и эффективным вариантом получения углекислого газа для повышения урожайности в тепличных комплексах.

Целью выпускной квалификационной работы является разработка проекта водогрейной газовой котельной для инвестиционных проектов: тепличный комплекс в г. Усть-Катав с досветкой – «Горный», логистический центр сельскохозяйственной продукции с переработкой, комплекс легких теплиц по адресу: Челябинская область, г. Усть-Катав, п. Малый Бердяш.

|      |      |          |       |      |                             |      |
|------|------|----------|-------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |       |      | 13.03.01.2019.379.01 ПЗ ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                             | 9    |

# 1 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

## 1.1 Краткое описание объекта проектирования

Объектом проектирования является водогрейная газовая котельная для инвестиционных проектов: тепличный комплекс в г. Усть-Катав с досветкой – «Горный», логистический центр сельскохозяйственной продукции с переработкой, комплекс легких теплиц по адресу: Челябинская область, г. Усть-Катав, п. Малый Бердяш.

Продукцией, вырабатываемой котельной, является горячая вода с параметрами 105/80 °С.

Наружные сети от котельной до тепличного комплекса и вспомогательных объектов в дипломной работе не разрабатываются.

Котельная по отпуску тепла относится ко II категории.

Потребитель относится ко II категории.

## 1.2 Климатологические параметры

Климатологические параметры наружного воздуха принимаются по [1] для города Челябинска и приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Климатологические параметры

| Наименование  | Обозначение | Единица измерения | Величина |
|---|-------------|-------------------|----------|
| Температура наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92 | $t_{но}$    | °С                | -34      |
| Средняя температура наиболее холодного месяца                   | $t_{нхм}$   | °С                | -15,8    |
| Средняя температура отопительного периода                       | $t_{от.п}$  | °С                | -6,5     |
| Температура внутреннего воздуха                                 | $t_{в}$     | °С                | 17       |
| Продолжительность отопительного периода                         | $Z_{от.п}$  | сут               | 218      |

|      |      |          |       |      |
|------|------|----------|-------|------|
|      |      |          |       |      |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |

13.03.01.2019.379.01 ПЗ ВКР

Лист

10

### 1.3 Параметры потребителя проектируемой котельной

Теплопроизводительность котельной и параметры теплоносителя принимаются в соответствии с заданием на проектирование и техническими условиями на теплоснабжение.

В данном проекте котельная вырабатывает горячую воду на нужды отопления, вентиляции, горячего водоснабжения и собственные нужды котельной.

Собственными нуждами котельной в данном проекте является выработка углекислого газа для окуливания овощей в тепличном комплексе.

Теплопроизводительность котельной в соответствии с техническим заданием на проектирование:

- отопление 98155790 Вт;
- вентиляция 2257568 Вт;
- горячее водоснабжение (х.б.) 265791 Вт;
- горячее водоснабжение (техн.) 2091347 Вт;
- собственные нужды котельной 2720700 Вт.

Установленная тепловая мощность котельной определяется по формуле:

$$Q_{\text{кот}} = Q_o + Q_v + Q_{\text{ГВС}}^{\text{х.б.}} + Q_{\text{ГВС}}^{\text{техн}} + Q_{\text{с.н.}}; \quad (1.1)$$

$$Q_{\text{кот}} = 98155709 + 2257568 + 265791 + 2091347 + 2720700 = 120 \text{ МВт.}$$

Основными параметрами теплоносителя являются температура теплоносителя, объем теплоносителя и располагаемый напор на выходе из котельной.

По заданию на проектирование требуется установить котлы с параметрами теплоносителя 105/80 °С.

Температура теплоносителя на выходе из котельной соответствует графику 95/75 °С.

|      |      |          |       |      |                             |      |
|------|------|----------|-------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |       |      | 13.03.01.2019.379.01 ПЗ ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                             | 11   |

Общий объем теплоносителя, отпускаемый в систему теплоснабжения должен обеспечивать передачу требуемой тепловой энергии потребителю и равен  $5155 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Располагаемый напор на выходе из котельной должен обеспечивать требуемую циркуляцию теплоносителя по всем участкам системы теплоснабжения и составляет  $27 \text{ м}$ .

Теплоносителем для собственных нужд котельной является вода с параметрами  $105/80 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Газоснабжение предусмотрено природным газом по ГОСТ 5542-2014 с низшей теплотой сгорания  $Q_{\text{н}}=33634 \text{ кДж/нм}^3$  ( $8033 \text{ ккал/нм}^3$ ). Источником газоснабжения является ГРС г. Усть-Катава.

Предусмотрено аварийное теплоснабжение. В качестве топлива используется дизельное топливо с низшей теплотой сгорания  $Q_{\text{н}}=42624 \text{ кДж/кг}$  ( $10180 \text{ ккал/кг}$ ). Его доставка осуществляется автотранспортом. Согласно [2] вместимость хранилища должна быть на 3-суточный расход. Определим это значение по формуле:

$$V_{\text{топлива}} = \frac{Q_{\text{к}}}{Q_{\text{р}}^{\text{н}} \cdot \eta} \cdot 24 \cdot 3, \quad (1.2)$$

где  $Q_{\text{к}}$  – часовая теплопроизводительность котла,  $\text{кДж/ч}$ , в данном проекте принимается  $120 \text{ МВт} = 432000000 \text{ кДж/ч}$ ;

$Q_{\text{р}}^{\text{н}}$  – низшая теплота сгорания газа,  $\text{кДж/нм}^3$ , в данном проекте принимается  $42624 \text{ кДж/кг}$ ;

$\eta$  – коэффициент полезного действия котлоагрегата, принимается по техническому паспорту котла, в данном проекте принимается  $90\%$ .

$$V_{\text{топлива}} = \frac{432000000}{42624 \cdot 0,9} \cdot 24 \cdot 3 = 810811 \text{ кг} = 942 \text{ м}^3.$$

|      |      |          |       |      |                             |      |
|------|------|----------|-------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |       |      | 13.03.01.2019.379.01 ПЗ ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                             | 12   |



Хранение запаса топлива осуществляется в стальных горизонтальных подземных резервуарах объемом 200 м<sup>3</sup> в количестве 5 штук, размещенных на территории котельной в соответствии с [21].

|      |      |          |       |      |                             |      |
|------|------|----------|-------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |       |      | 13.03.01.2019.379.01 ПЗ ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                             | 13   |

## 2 ГРАФИК ГОДОВОГО РАСХОДА ТЕПЛОТЫ

График расходов теплоты применяется для решения важных вопросов теплофикация: выбора тепло-приготовительного оборудования для котельной; составления графика регулирования тепловой нагрузки, ремонта оборудования, координации графиков отпусков обслуживающего персонала и других целей.

Построение графика выполняется графоаналитическим способом.

### 2.1 Вспомогательная часть

Во вспомогательной части строим графики зависимостей часовых расходов теплоты на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение от наружной температуры воздуха, а также график для суммарной тепловой нагрузки. Все эти графики представляют собой прямые. Они строятся по трём точкам: при максимально-зимнем режиме  $t_n = -34$  °С, при средней температуре наиболее холодного месяца  $t_n = -15,8$  °С, при средней температуре за отопительный период  $t_n = -6,5$  °С.

Часовой расход теплоты на отопление определяется по формуле:

$$Q_o = Q_o^{\max} \cdot \frac{t_B - t_n}{t_n - t_{н0}}; \quad (2.1)$$
$$Q_{o1} = 98,16 \cdot \frac{18 + 34}{18 + 34} = 98,16 \text{ МВт.}$$

Часовой расход теплоты на вентиляцию определяется по формуле:

$$Q_B = Q_B^{\max} \cdot \frac{t_B - t_n}{t_n - t_{н0}}; \quad (2.2)$$
$$Q_{B1} = 2,26 \cdot \frac{18 + 34}{18 + 34} = 2,26 \text{ МВт.}$$

Часовой расход теплоты на ГВС равен максимальному расходу:

$$Q_{ГВС(з)} = Q_{ГВС}^{\max} = 2,09 \text{ МВт.}$$

Часовой расход теплоты в на ГВС в летний период:

$$Q_{\text{ГВС(л)}} = 1,74 \text{ МВт.}$$

Часовой расход тепла на потери и собственные нужды определяется по формуле:

$$Q_{\text{сн}} = Q_{\text{сн}}^{\text{max}} \cdot \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}}{t_{\text{н}} - t_{\text{но}}}; \quad (2.3)$$

$$Q_{\text{сн}} = 2,72 \cdot \frac{18 + 34}{18 + 34} = 2,72 \text{ МВт.}$$

Суммарный часовой расход теплоты на отопление, вентиляцию, горячее водоснабжение и собственные нужды определяется по формуле:

$$\Sigma Q = Q_{\text{o}} + Q_{\text{в}} + Q_{\text{ГВС}} + Q_{\text{сн}}; \quad (2.4)$$

$$\Sigma Q_1 = 98,16 + 2,26 + 2,09 + 2,72 = 105,49 \text{ МВт.}$$

Расчет для всех трёх точек сведен в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Зависимость часовых расходов от наружной температуры воздуха

| Расчетный режим   | Теплопроизводительность котельной, МВт |                            |                               |                             |  |                                 |
|---|--|----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|--|---------------------------------|
|   | Расход тепла на отопление              | Расход тепла на вентиляцию | Расход тепла на ГВС (хоз-быт) | Расход тепла на ГВС (полив) | Расход тепла на потери и собственные нужды | Общий расход тепла (с потерями) |
| Максимально зимний период<br>$t_{\text{н}} = -34^{\circ}\text{C}$                           | 98,16                                  | 2,26                       | 0,27                          | 2,09                        | 2,72                                       | 105,49                          |
| При средней температуре наиболее холодного месяца<br>$t_{\text{н}} = -15,8^{\circ}\text{C}$ | 63,80                                  | 1,47                       | 0,27                          | 2,09                        | 1,77                                       | 69,39                           |
| При средней температуре за отопительный период<br>$t_{\text{н}} = -6,5^{\circ}\text{C}$     | 46,13                                  | 1,06                       | 0,27                          | 2,09                        | 1,28                                       | 50,83                           |
| Теплый период   | –                                      | –                          | 0,22                          | 1,74                        | –  | 1,74                            |

## 2.2 Основная часть

Определим стояние различных температур согласно [8] начиная с  $t_{н} = -34$  °С.

Таблица 2.2 – Стояние различных температур

|                      |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |
|----------------------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|
| Температура, °С      | -34 | -30 | -25 | -20 | -15  | -10  | -5   | 0    | +5   | +8   |
| Продолжительность, ч | 7   | 31  | 123 | 345 | 573  | 814  | 942  | 893  | 860  | 596  |
| Всего, ч             | 7   | 38  | 161 | 506 | 1079 | 1893 | 2835 | 3728 | 4588 | 5184 |

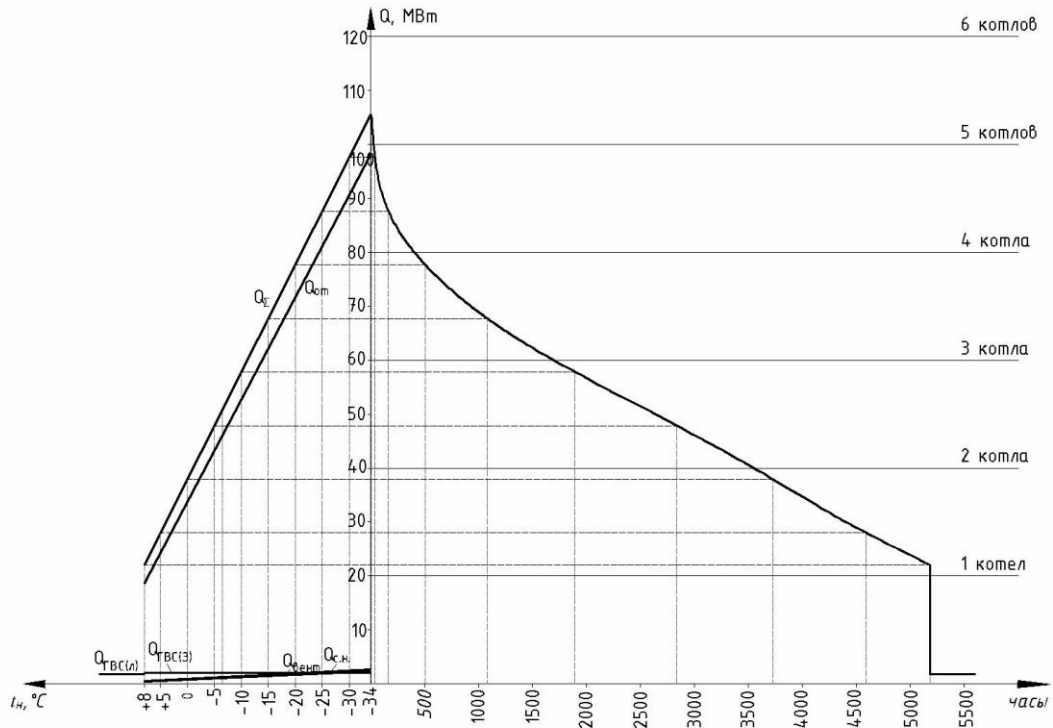


Рисунок 2.1 – Годовой график расходов теплоты

Исходя из графика годового расхода теплоты делаем вывод:

- в летний период работает 1 котел для обеспечения теплоты на горячее водоснабжение и собственные нужды котельной;
- при температуре ниже 8 °С работают 2 котла для обеспечения теплоты для горячего водоснабжения, отопления и собственных нужд котельной;
- при средней температуре за отопительный период работают 3 котла;
- при средней температуре наиболее холодного месяца работают 4 котла;
- в максимально зимний период работают 6 котлов.

|      |      |          |       |      |
|------|------|----------|-------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|------|------|----------|-------|------|

### 3 ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ ТЕПЛОВАЯ СХЕМА КОТЕЛЬНОЙ

При проектировании котельной необходимо грамотно продумать тип основного и вспомогательного оборудования, его количество, назначение и основные функции, а также объединить его в общую схему, соединив между собой элементами трубопроводов.

Условное графическое обозначение основного и вспомогательного оборудования котельной установки, соединенное линиями трубопроводов, называется тепловой схемой котельной.

При составлении принципиальной схемы определяются расходы теплоносителя в системе и осуществляется подбор основного и вспомогательного оборудования.

#### 3.1 Описание тепловой схемы котельной

В соответствии с заданием на проектирование, а также согласно тепловым нагрузкам в проекте приняты шесть водогрейных котлов Viessman Vitomax 200–LW установленной мощностью 20000 кВт с комбинированными горелками GKT–25K WD 200 «Onion», предназначенным для работы на природном газе и дизельном топливе.

Для обеспечения независимых гидравлических режимов котловых и сетевых контуров в качестве разделителей устанавливаются пластинчатые разборные теплообменники, причем каждый котел имеет собственный теплообменник для того, чтобы улучшить режим работы и долговечность котельного оборудования, а также для гидравлической устойчивости системы и для отсутствия разбалансировки. Для обеспечения регулирования температур теплоносителя, а также для обеспечения поддержания температуры воды в обратной линии на вводе в котел не ниже 60 °С на каждом котле установлены рециркуляционные насосы WILO IL 200/240–7,5/6. Циркуляция теплоносителя в котловом контуре обеспечивается котловыми насосами WILO IL 80/160–1,5/4, установленными по два (оба рабочие)  $G=718 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;  $H=6,3 \text{ м}$ . Циркуляция

|      |      |          |       |      |                             |      |
|------|------|----------|-------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |       |      | 13.03.01.2019.379.01 ПЗ ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                             | 17   |

теплоносителя в сетевом контуре обеспечивается насосами WILO NLG 300/550–315/4 в количестве пяти штук (все рабочие)  $G=5155 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;  $H=36 \text{ м}$ .

На трех из шести котлах установлены конденсаторы для охлаждения дымовых газов и для нужд окуривания тепличной продукции. Они предназначены для снижения температуры дымовых газов со  $190 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $60 \text{ }^\circ\text{C}$ . Циркуляция теплоносителя в контуре конденсатора насосом WILO IL 200/260–7,5/6  $G=718 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;  $H=6,3 \text{ м}$ . Также на этих котлах предусмотрена установка модулей FGR, обеспечивающих низкие выбросы оксидов азота  $\text{NO}_x$  при работе на природном газе путем рециркуляции дымовых газов.

Подпитка котловых и сетевого контуров реализована химически чистой, деаэрированной водой от установки хим–водоподготовки.

Избыток воды от температурного расширения теплоносителя в котловых контурах отводится в индивидуальные расширительные баки Reflex G4000 емкостью 4000 л.

В летний период при температуре воздуха выше  $8 \text{ }^\circ\text{C}$  работает 1 котел для обеспечения теплоты на нужды горячего водоснабжения и на собственные нужды котельной. Когда температура воздуха опускается ниже  $8 \text{ }^\circ\text{C}$  работают 2 котла и покрывают нагрузку на системы отопления, горячего водоснабжения, а также на собственные нужды котельной. При средней температуре воздуха за отопительный период  $-6,5 \text{ }^\circ\text{C}$  работают 3 котла и обеспечивают теплоту на системы отопления, вентиляции, горячего водоснабжения, а также для собственных нужд котельной. При средней температуре наиболее холодного месяца  $-15,8 \text{ }^\circ\text{C}$  работают 4 котла, которые обеспечивают теплотой все системы и работают на собственные нужды котельной. При максимально зимней температуре  $-34 \text{ }^\circ\text{C}$  работают все 6 котлов и обеспечивают теплотой все системы.

Так как котельная работает летом не только на нужды горячего водоснабжения, но и на выработку углекислого газа (для технологических нужд работает два из трех котлов с конденсаторами), то теплоноситель с избыточным

|      |      |          |       |      |                             |      |
|------|------|----------|-------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |       |      | 13.03.01.2019.379.01 ПЗ ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                             | 18   |

теплом отводится для охлаждения в два бака охладителя емкостью 4000 м<sup>3</sup>, расположенных снаружи котельной.

Параметры теплоносителей:

- расчетный график теплоносителя в котловом контуре – 105/80 °С;
- расчетный график теплоносителя на выходе из котельной – 95/75 °С.

Учет тепла на выходе из котельной производится теплосчетчиком «Эльф», датчики которого установлены снаружи котельной. На выходе теплотрассы после датчиков учета устанавливаются приварные поворотные затворы.

Отвод продуктов сгорания от котлов осуществляется через индивидуальные для каждого котла дымовые трубы. Индивидуальные дымовые трубы позволяют поддерживать стабильный аэродинамический режим каждого котла.

Отвод конденсата из дымового тракта предусматривается через дренажный трубопровод, который проложен в одной изоляции с газоходом.

### 3.2 Расчет тепловой схемы котельной

Расчет тепловой схемы котельной выполняется по методике, представленной в [3] для трех режимов работы котельной: максимально зимнего (мз), наиболее холодного месяца (хм), летнего (л).

По исходным данным выбираем схему подключения теплообменников горячего водоснабжения:

$$\frac{Q_{ГВС}^{мз}}{Q_0^{мз}} = \frac{2,09}{98,16} = 0,02. \quad (3.1)$$

Так как  $\frac{Q_{ГВС}^{мз}}{Q_0^{мз}} = 0,02 < 0,2$ , то принимаем одноступенчатую последовательную схему подключения теплообменников.

Определяем коэффициент снижения расхода теплоты на нужды отопления и вентиляции для наиболее холодного месяца:

|      |      |          |       |      |                             |      |
|------|------|----------|-------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |       |      | 13.03.01.2019.379.01 ПЗ ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                             | 19   |

$$K_{OB} = \frac{t_B - t_H^{XM}}{t_B - t_H^{M3}}; \quad (3.2)$$

$$K_{OB} = \frac{18 + 15,8}{18 + 34} = 0,65.$$

Определяем температуру воды, °С, в подающем трубопроводе на нужды отопления и вентиляции для наиболее холодного месяца:

$$t_1^{XM} = t_B + (85 - t_B) \cdot (K_{OB})^{0,8} + ((t_1^{M3} - t_2^{M3}) - 12,5) \cdot K_{OB}, \quad (3.3)$$

где 85 – средняя температура отопительного прибора при расчете отопления на параметры 95-75 °С;

$t_1^{M3}$  – расчетная температура в подающем трубопроводе, °С, принимаем по заданию  $t_1^{M3}=105$  °С;

$t_2^{M3}$  – расчетная температура в обратном трубопроводе после систем отопления и вентиляции, °С, принимаем по заданию  $t_2^{M3}=80$  °С;

12,5 – половина температурного перепада в системе отопления, °С.

$$t_1^{XM} = 18 + (85 - 18) \cdot (0,65)^{0,8} + ((105 - 80) - 12,5) \cdot 0,65 = 75 \text{ °С.}$$

Определяем температуру воды (°С) в обратном трубопроводе после систем отопления и вентиляции для наиболее холодного месяца:

$$t_2^{XM} = t_1^{XM} - (t_1^{M3} - t_2^{M3}) \cdot K_{OB}; \quad (3.4)$$

$$t_2^{XM} = 74 - (105 - 80) \cdot 0,65 = 59 \text{ °С.}$$

Определим суммарную тепловую нагрузку, МВт, на нужды вентиляции и отопления:

$$Q_{OB}^{M3} = Q_O^{M3} + Q_B^{M3}; \quad (3.5)$$

$$Q_{OB}^{XM} = Q_{OB}^{M3} \cdot K_{OB}; \quad (3.6)$$

$$Q_{OB}^{M3} = 98,16 + 2,26 = 100,42 \text{ МВт};$$

$$Q_{OB}^{XM} = 100,42 \cdot 0,65 = 65,27 \text{ МВт.}$$



Определим суммарную тепловую нагрузку, МВт, на нужды отопления, вентиляции и горячего водоснабжения:

$$Q^{МЗ} = Q_{ОВ}^{МЗ} + Q_{ГВС}^{МЗ}; \quad (3.7)$$

$$Q_{ОВ}^{ХМ} = Q_{ОВ}^{ХМ} + Q_{ГВС}^{ХМ}; \quad (3.8)$$

$$Q^Л = Q_{ГВС}^Л; \quad (3.9)$$

$$Q^{МЗ} = 100,42 + 2,09 = 102,51 \text{ МВт};$$

$$Q_{ОВ}^{ХМ} = 65,27 + 2,09 = 67,36 \text{ МВт};$$

$$Q^Л = 1,74 \text{ МВт}.$$

Определим расход воды,  $\frac{T}{ч}$ , в подающем трубопроводе на нужды горячего водоснабжения зимой:

$$G_{ГВС}^{потр,мз} = \frac{860 \cdot Q_{ГВС}^{МЗ}}{t_{ГВС}^{потр} - t_{св}}; \quad (3.10)$$

$$G_{ГВС}^{потр,хм} = \frac{860 \cdot Q_{ГВС}^{ХМ}}{t_1^{ХМ} - t_2^{ХМ}}; \quad (3.11)$$

где  $t_{ГВС}^{потр}$  – температура горячей воды на нужды ГВС, °С, принимаем  $t_{ГВС}^{потр}=60$  °С;

$t_{св}$  – температура холодной воды, °С, принимаем для зимнего периода  $t_{св}=5$  °С.

$$G_{ГВС}^{потр,мз} = \frac{860 \cdot 2,09}{60 - 5} = 32,7 \frac{T}{ч};$$

$$G_{ГВС}^{потр,хм} = \frac{860 \cdot 2,09}{75 - 59} = 110,6 \frac{T}{ч}.$$

Определим расход сетевой воды,  $\frac{T}{ч}$ , на местный теплообменник для летнего режима:

$$G_{ГВС}^Л = \frac{860 \cdot Q_{ГВС}^Л}{t_1^Л - (\Delta t_B + t_{св}^Л)}; \quad (3.12)$$

где  $t_1^л$  – температура сетевой воды в подающем трубопроводе, °С, принимаем  $t_1^л=80$  °С;

$\Delta t_b$  – минимальная разность греющей и нагреваемой воды, °С, принимаем  $\Delta t_b=10$  °С;

$t_{св}^л$  – температура холодной воды летом, °С, принимаем  $t_{св}^л=15$  °С.

$$G_{ГВС}^л = \frac{860 \cdot 1,74}{80 - (10 + 15)} = 27,2 \frac{\text{Т}}{\text{ч}}$$

Определим расход сетевой воды,  $\frac{\text{Т}}{\text{ч}}$ , на нужды отопления и вентиляции:

$$G_{ОВ} = \frac{860 \cdot Q_{ОВ}}{t_1 - t_2}; \quad (3.13)$$

$$G_{ОВ}^{МЗ} = \frac{860 \cdot 100,42}{105 - 80} = 3454,4 \frac{\text{Т}}{\text{ч}}$$

Определим расход сетевой воды,  $\frac{\text{Т}}{\text{ч}}$ , на нужды отопления, вентиляции и ГВС внешних потребителей:

$$G_{ВН}^з = G_{ОВ}^з; \quad (3.14)$$

$$G_{ВН}^л = G_{ГВС}^л; \quad (3.15)$$

$$G_{ВН}^{МЗ} = 3454,45 \frac{\text{Т}}{\text{ч}}$$

$$G_{ВН}^л = 27,2 \frac{\text{Т}}{\text{ч}}$$

Определим температуру сетевой воды, °С, после внешних потребителей:

$$t_{обр} = t_2 - \frac{860 \cdot Q_{ГВС}}{G_{ВН} \cdot \eta}; \quad (3.16)$$

где  $\eta$  – тепловая эффективность теплообменников, принимаем  $\eta=0,98$ .

$$t_{обр}^{МЗ} = 80 - \frac{860 \cdot 2,09}{3454,45 \cdot 0,98} = 75 \text{ °С.}$$

|      |      |          |       |      |                             |      |
|------|------|----------|-------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |       |      | 13.03.01.2019.379.01 ПЗ ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                             | 22   |

Определим расход химически очищенной воды,  $\frac{\text{Т}}{\text{Ч}}$ , для восполнения утечек сетевой воды:

$$G_{\text{ХОВ}} = 0,01 \cdot K_{\text{ТС}} \cdot G_{\text{ВН}}, \quad (3.17)$$

где  $K_{\text{ТС}}$  – процент утечек в тепловой сети, принимаем  $K_{\text{ТС}}=2\%=0,02$ .

$$G_{\text{ХОВ}}^{\text{МЗ}} = 0,01 \cdot 0,02 \cdot 3454,45 = 0,7 \frac{\text{Т}}{\text{Ч}}$$

Определим расход сырой воды,  $\frac{\text{Т}}{\text{Ч}}$ , поступающей на химводоочистку:

$$G_{\text{СВ}} = K_{\text{ХВО}} \cdot G_{\text{ХОВ}}, \quad (3.18)$$

где  $K_{\text{ХОВ}}$  – коэффициент собственных нужд химводоочистки, принимаем по заданию на проектирование  $K_{\text{ХОВ}}=1,3$ .

$$G_{\text{СВ}}^{\text{МЗ}} = 1,3 \cdot 0,7 = 0,9 \frac{\text{Т}}{\text{Ч}}$$

Определим температуру химически очищенной воды,  $^{\circ}\text{С}$ , после охладителя деаэрированной воды:

$$t''_{\text{ХОВ}} = \frac{G'_{\text{ПОДП}}}{G_{\text{ХОВ}}} \cdot (t'_{\text{ПОДП}} - t''_{\text{ПОДП}}) \cdot \eta + t'_{\text{ХОВ}}, \quad (3.19)$$

где  $t'_{\text{ХОВ}}$  – температура сырой воды перед химводоочисткой,  $^{\circ}\text{С}$ , предварительно принимаем  $t'_{\text{ХОВ}}=20^{\circ}\text{С}$ ;

$t'_{\text{ПОДП}}$  – температура подпиточной воды после деаэратора,  $^{\circ}\text{С}$ , принимаем  $t'_{\text{ПОДП}}=104^{\circ}\text{С}$ ;

$t''_{\text{ПОДП}}$  – температура подпиточной воды после охладителя деаэрированной воды,  $^{\circ}\text{С}$ , принимаем  $t''_{\text{ПОДП}}=70^{\circ}\text{С}$ ;

$G'_{\text{ПОДП}}$  – предварительно принятые расходы воды в подпиточной линии,  $\frac{\text{Т}}{\text{Ч}}$ , принимаем  $G'_{\text{ПОДП}}^{\text{МЗ}}=1,6 \frac{\text{Т}}{\text{Ч}}$ ,  $G'_{\text{ПОДП}}^{\text{ХМ}}=1,6 \frac{\text{Т}}{\text{Ч}}$ ,  $G'_{\text{ПОДП}}^{\text{МЗ}}=0,01 \frac{\text{Т}}{\text{Ч}}$ .

Температура химически очищенной воды после охладителя деаэрированной воды:

|      |      |          |       |      |                             |      |
|------|------|----------|-------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |       |      | 13.03.01.2019.379.01 ПЗ ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                             | 23   |

$$t''_{\text{ХОВ}}^{\text{МЗ}} = \frac{1,6}{0,7} \cdot (104 - 70) \cdot 0,98 + 20 = 97 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Определим температуру химически очищенной воды,  $^{\circ}\text{C}$ , поступающей в деаэрактор:

$$t_{\text{ХОВ}}^{\text{Д}} = \frac{G_{\text{ГР}}^{\text{ПОД}}}{G_{\text{ХОВ}}} \cdot (t_1^{\text{БК}} - t''_{\text{ГР}}) \cdot \eta + t''_{\text{ХОВ}}, \quad (3.20)$$

где  $G_{\text{ГР}}^{\text{ПОД}}$  – предварительно принятый расход греющей воды на подогреватель очищенной воды,  $\frac{\text{T}}{\text{ч}}$ , принимаем  $G_{\text{ГР}}^{\text{ПОД,МЗ}}=0,4 \frac{\text{T}}{\text{ч}}$ ,  $G_{\text{ГР}}^{\text{ПОД,ХМ}}=0,4 \frac{\text{T}}{\text{ч}}$ ,  $G_{\text{ГР}}^{\text{ПОД,Л}}=0,001 \frac{\text{T}}{\text{ч}}$ ;

$t_1^{\text{БК}}$  – расчетная температура на выходе из водогрейного котла,  $^{\circ}\text{C}$ , принимается по заданию  $t_1^{\text{БК}}=105 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

$t''_{\text{ГР}}$  – температура греющей воды после подогревателя химически очищенной воды,  $^{\circ}\text{C}$ , принимается на  $4 \text{ }^{\circ}\text{C}$  выше температуры в деаэракторе, т.е.  $t''_{\text{ГР}}=104 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

$$t_{\text{ХОВ}}^{\text{Д,МЗ}} = \frac{0,4}{0,7} \cdot (105 - 104) \cdot 0,98 + 97 = 98 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Произведем проверку ранее принятой температуры,  $^{\circ}\text{C}$ , перед химоводоочисткой:

$$t_{\text{ХОВ}} = \frac{G_{\text{ГР}}^{\text{ПОД}}}{G_{\text{ХОВ}}} \cdot (t''_{\text{ГР}} - t''_{\text{ПОДП}}) \cdot \eta + t_{\text{СВ}}; \quad (3.21)$$

$$t_{\text{ХОВ}}^{\text{МЗ}} = \frac{0,34}{0,7} \cdot (104 - 70) \cdot 0,98 + 5 = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Определим невязку вычисленной и ранее принятой температур:

$$\Delta t_{\text{ХОВ}} = t_{\text{ХОВ}} - t'_{\text{ХОВ}}; \quad (3.22)$$

$$\Delta t_{\text{ХОВ}} = 20 - 20 = 0 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Так как  $\Delta t_{\text{ХОВ}}=0 \text{ }^{\circ}\text{C} < 0,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , расчет выполнен верно.

|      |      |          |       |      |                             |      |
|------|------|----------|-------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |       |      | 13.03.01.2019.379.01 ПЗ ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                             | 24   |

Определим расход греющей воды,  $\frac{\text{Т}}{\text{ч}}$ , на деаэратор:

$$G_{\text{гр}}^{\text{Д}} = \frac{G'_{\text{подп}} \cdot t'_{\text{подп}} - G_{\text{хов}} \cdot t_{\text{хов}}^{\text{Д}}}{t_1^{\text{ВК}}}; \quad (3.23)$$
$$G_{\text{гр}}^{\text{Д,МЗ}} = \frac{1,6 \cdot 104 - 0,7 \cdot 98}{105} = 0,9 \frac{\text{Т}}{\text{ч}}$$

Произведем проверку ранее принятых расходов воды,  $\frac{\text{Т}}{\text{ч}}$ , в подпиточной линии:

$$G_{\text{подп}} = G_{\text{хов}} + G_{\text{гр}}^{\text{Д}}; \quad (3.24)$$
$$G_{\text{подп}}^{\text{МЗ}} = 0,7 + 0,9 = 1,6 \frac{\text{Т}}{\text{ч}}$$

Определим невязку вычисленного и принятого ранее расхода воды на подпитку:

$$\Delta G_{\text{подп}} = \frac{G_{\text{подп}} - G'_{\text{подп}}}{G_{\text{подп}}} \cdot 100\%; \quad (3.25)$$
$$\Delta G_{\text{подп}} = \frac{1,6 - 1,6}{1,6} \cdot 100\% = 0\%.$$

Так как невязка  $\Delta G_{\text{подп}} = 0\% < 3\%$ , то расчет выполнен верно.

Определим расход теплоты, МВт, на подогрев сырой воды:

$$Q_{\text{св}} = 0,001163 \cdot G_{\text{св}} \cdot (t_{\text{хов}} - t_{\text{хв}}) \cdot \frac{1}{\eta}; \quad (3.26)$$
$$Q_{\text{св}}^{\text{МЗ}} = 0,001163 \cdot 0,9 \cdot (20 - 5) \cdot \frac{1}{0,98} = 0,02 \text{ МВт.}$$

Определим расход теплоты, МВт, на подогрев химически очищенной воды:

$$Q_{\text{хов}} = 0,001163 \cdot G_{\text{хов}} \cdot (t_{\text{хов}}^{\text{Д}} - t_{\text{хов}}^{\text{н}}) \cdot \frac{1}{\eta}; \quad (3.27)$$

|      |      |          |       |      |
|------|------|----------|-------|------|
|      |      |          |       |      |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |

$$Q_{\text{ХОВ}}^{\text{МЗ}} = 0,001163 \cdot 0,7 \cdot (98 - 97) \cdot \frac{1}{0,98} = 0,001 \text{ МВт.}$$

Определим расход теплоты, МВт, на деаэратор:

$$Q_{\text{д}} = 0,001163 \cdot G_{\text{Гр}}^{\text{д}} \cdot (t_1^{\text{БК}} - t'_{\text{подп}}) \cdot \frac{1}{\eta}; \quad (3.28)$$

$$Q_{\text{д}}^{\text{МЗ}} = 0,001163 \cdot 0,9 \cdot (105 - 104) \cdot \frac{1}{0,98} = 0,001 \text{ МВт.}$$

Определим расход теплоты, МВт, на подогрев химически очищенной воды в охладителе деаэрированной воды:

$$Q_{\text{охл}} = 0,001163 \cdot G_{\text{ХОВ}} \cdot (t''_{\text{ХОВ}} - t_{\text{ХОВ}}) \cdot \frac{1}{\eta}; \quad (3.29)$$

$$Q_{\text{охл}}^{\text{МЗ}} = 0,001163 \cdot 0,7 \cdot (97 - 20) \cdot \frac{1}{0,98} = 0,06 \text{ МВт.}$$

Определим суммарный расход теплоты, МВт, который необходимо выработать в котлах:

$$\sum Q = Q + Q_{\text{св}} + Q_{\text{ХОВ}} + Q_{\text{д}} - Q_{\text{охл}}; \quad (3.30)$$

$$\sum Q^{\text{МЗ}} = 102,54 + 0,02 + 0,001 + 0,001 - 0,06 = 102,46 \text{ МВт.}$$

Расход воды,  $\frac{\text{Т}}{\text{ч}}$ , через водогрейные котлы:

$$G_{\text{к}} = \frac{860 \cdot \sum Q}{t_1^{\text{БК}} - t_2^{\text{БК}}}, \quad (3.31)$$

где  $t_2^{\text{БК}}$  – температура воды на входе в котел, принимается по паспорту,  $t_2^{\text{БК}} = 80 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

$$G_{\text{к}}^{\text{МЗ}} = \frac{860 \cdot 102,46}{105 - 80} = 3524,8 \frac{\text{Т}}{\text{ч}}$$

|      |      |          |       |      |                             |      |
|------|------|----------|-------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |       |      | 13.03.01.2019.379.01 ПЗ ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                             | 26   |

Определим расход воды,  $\frac{\text{Т}}{\text{ч}}$ , на рециркуляцию:

$$G_{\text{рец}} = \frac{G_{\text{к}} \cdot (t_2^{\text{БК}} - t_{\text{обр}})}{t_1^{\text{БК}} - t_{\text{обр}}}; \quad (3.32)$$
$$G_{\text{рец}}^{\text{МЗ}} = \frac{3524,8 \cdot (80 - 75)}{105 - 75} = 597,2 \frac{\text{Т}}{\text{ч}}$$

Определим расход воды,  $\frac{\text{Т}}{\text{ч}}$ , по перепускной линии:

$$G_{\text{пер}} = \frac{G_{\text{вн}} \cdot (t_1^{\text{БК}} - t_1)}{t_1^{\text{БК}} - t_{\text{обр}}}; \quad (3.33)$$
$$G_{\text{пер}}^{\text{МЗ}} = \frac{3454,4 \cdot (105 - 105)}{105 - 75} = 0 \frac{\text{Т}}{\text{ч}}$$

Определим расход воды,  $\frac{\text{Т}}{\text{ч}}$ , в обратной линии (с учетом утечек):

$$G_{\text{обр}} = G_{\text{вн}} - G_{\text{ут}}; \quad (3.34)$$
$$G_{\text{обр}}^{\text{МЗ}} = 3454,4 - (3454,4 \cdot 2\%) = 3385,4 \frac{\text{Т}}{\text{ч}}$$

Определим расчетный расход воды,  $\frac{\text{Т}}{\text{ч}}$ , через котлы:

$$G'_{\text{к}} = G_{\text{вн}} + G_{\text{гр}}^{\text{ПОД}} + G_{\text{рец}} - G_{\text{пер}}; \quad (3.35)$$
$$G'_{\text{к}}^{\text{МЗ}} = 3454,4 + 0,4 + 597,2 - 0 = 4052,1 \frac{\text{Т}}{\text{ч}}$$

Определим расход воды,  $\frac{\text{Т}}{\text{ч}}$ , к внешним потребителям по подающей линии:

$$G' = G'_{\text{к}} - G_{\text{гр}}^{\text{Д}} - G_{\text{гр}}^{\text{ПОД}} - G_{\text{рец}} + G_{\text{пер}}; \quad (3.36)$$
$$G'^{\text{МЗ}} = 4052,1 + 0,9 + 0,4 - 597,2 - 0 = 3453,5 \frac{\text{Т}}{\text{ч}}$$

|      |      |          |       |      |
|------|------|----------|-------|------|
|      |      |          |       |      |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |

Определим невязку вычисленного и уточненного ранее расходов воды внешними потребителями:

$$\Delta G = \frac{G_{\text{вн}} - G'}{G_{\text{вн}}} \cdot 100\%; \quad (3.37)$$
$$\Delta G = \frac{3454,4 - 3453,5}{3454,5} \cdot 100\% = 0,03\%.$$

Так как  $\Delta G = 0,03\% < 3\%$ , то расчет выполнен верно.

Расчет параметров для остальных режимов выполняется аналогично и сведен таблицу А1 приложения А.

Определим количество устанавливаемых котлов для максимально зимнего режима:

$$n = \frac{G'_k}{G^{\text{вк}'}} \quad (3.38)$$

где  $G^{\text{вк}}$  – расчетный расход воды через один котел,  $\frac{\text{т}}{\text{ч}}$ , принимается по паспортным данным  $G^{\text{вк}} = 619 \frac{\text{т}}{\text{ч}}$ .

$$n = \frac{3528,1}{619} = 5,7 \approx 6 \text{ шт.}$$

### 3.3 Подбор основного оборудования котельной

На основе результатов расчета тепловой схемы произведем подбор основного оборудования.

#### 3.3.1 Подбор котельного агрегата

Подбор котла производится по установленной мощности котельной в зимний период 120 МВт в соответствии с техническим заданием.

В данном проекте принимаем к установке шесть водогрейных котлов марки Vitomax 200-LW типа М64А фирмы Viessmann с номинальной мощностью 20000 кВт. Выбранные котлы обладают высокой степенью экологичности при

|      |      |          |       |      |                             |      |
|------|------|----------|-------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |       |      | 13.03.01.2019.379.01 ПЗ ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                             | 28   |



сжигании топлива, имеют надежный отвод тепла и простоту гидравлической стыковки, имеют незначительные потери на излучение благодаря оптимальной теплоизоляции. Также данный котел имеет шкаф управления Vitocontrol для всех регулирующих и управляющих устройств водогрейного котла. Основные характеристики котла приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Основные характеристики котла

| Наименование  | Ед. изм.       | Показатели     | Примечание                |
|---|----------------|----------------|---------------------------|
| Марка котла   | –              | Vitomax 200-LW |                           |
| Теплопроизводительность                               | кВт            | 20000          |                           |
| Коэффициент полезного действия                        | %              | 90             |                           |
| Температура воды на выходе (max)                      | °С             | 105            |                           |
| Температура воды на входе (min)                       | °С             | 80             |                           |
| Давление теплоносителя не более                       | бар            | 6,0            |                           |
| Температура уходящих газов                            | °С             | ~190           | у котлов без конденсатора |
| Водяной объем   | м <sup>3</sup> | 39,8           |                           |
| Гидравлическое сопротивление                          | м.в.ст.        | 0,5            |                           |
| Тип горелочного устройства                            | –              | GKT-23A WD 200 | комби                     |
| Производительность горелки                            | кВт            | 2900-23000     |                           |
| Мощность электрического двигателя вентилятора горелки | кВт            | 75             |                           |
| Габаритные размеры котла (ДхШхВ)                      | мм             | 9416           |                           |
|   |                | 3650           |                           |
| Масса котлоагрегата                                   | кг             | 4150           | без воды                  |
|   |                | 40100          |                           |

На трех из шести котлах установлены конденсаторы для охлаждения дымовых газов типа АВ-2400/1710-12F-W6-VAO-25/25-U7 фирмы Coldarius, которые подобрал завод-изготовитель выбранных котлов. Общее количество конденсаторов в системе 3 штуки.

В конденсаторах дымовые газы охлаждаются от 190 °С до 100 °С, а далее температура опускается до 60 °С в трубопроводах из-за теплопотерь.

В максимально зимний период котельная работает на нужды отопления, вентиляции, горячего водоснабжения и собственные нужды, при этом работают все шесть котлов. В летний период котельная работает только на нужды

горячего водоснабжения и собственные нужды (выработку углекислого газа), при этом работают два из трех котлов с конденсаторами.

### 3.3.2 Подбор горелочного устройства

Горелочные устройства подбираются в зависимости от типа топлива, давления газа для конкретной модели котла.

В данном проекте в качестве топлива предусмотрен природный газ по ГОСТ 5542-2014, а в качестве аварийного топлива предусмотрено дизельное топливо, поэтому к установке примем горелочное устройство комбинированного типа.

Подбор выполняется по тепловой мощности горелки, кВт, которая определяется по формуле:

$$Q_{\Gamma} = \frac{Q_{\text{уст}} \cdot 100}{\eta}, \quad (3.39)$$

где  $Q_{\text{уст}}$  – номинальная тепловая мощность котла, кВт,  $Q_{\text{уст}}=20000$  кВт;  
 $\eta$  – КПД котла,  $\eta=90$ .

$$Q_{\Gamma} = \frac{20000 \cdot 100}{90} = 22 \text{ МВт.}$$

К установке принимаем горелочное устройство комбинированного типа (газ/дизель) модели GKT–25K с системой управления WD 200 фирмы «Oilon». Производительность горелки 2900–22000 кВт. Горелка вентиляторного типа. Воздуха на горение поступает в воздушных короб, благодаря чему вихревой поток воздуха горения усиливается, а факел стабилизируется.

| Горелка               | Номинал. мощность *)<br>МВт | A<br>мм | B<br>мм | C<br>мм | Di<br>мм | Ei<br>мм | Fx<br>мм | Fr<br>мм | H<br>Типичн.<br>мм | K1<br>мм | K2<br>мм | K3<br>мм |
|-----------------------|-----------------------------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|--------------------|----------|----------|----------|
| GT/RT/KT/GRT/GKT -3K  | 0.5 - 2.7                   | 430     | 520     | 520     | 230      | 155      | 210      | 128      | 500                | 2050     | 2400     | 2900     |
| GT/RT/KT/GRT/GKT -5K  | 0.9 - 4.5                   | 550     | 640     | 580     | 295      | 190      | 270      | 170      | 580                | 2150     | 2500     | 3100     |
| GT/RT/KT/GRT/GKT -8K  | 1.4 - 7.0                   | 690     | 780     | 710     | 375      | 250      | 340      | 210      | 670                | 2400     | 2700     | 3300     |
| GT/RT/KT/GRT/GKT -12K | 2.2 - 11.0                  | 840     | 930     | 725     | 455      | 305      | 415      | 258      | 770                | 2800     | 2950     | 3550     |
| GT/RT/KT/GRT/GKT -18K | 3.2 - 16.0                  | 1020    | 1110    | 815     | 555      | 370      | 505      | 315      | 900                | 3200     | 3500     | 4300     |
| GT/RT/KT/GRT/GKT -25K | 4.4 - 22.0                  | 1200    | 1290    | 905     | 675      | 450      | 595      | 365      | 1030               | 3700     | 3900     | 4900     |
| GT/RT/KT/GRT/GKT -35K | 6.2 - 31.0                  | 1410    | 1510    | 1050    | 820      | 540      | 700      | 430      | 1170               | 4100     | 4500     | 5500     |

Рисунок 3.1 – Подбор горелочного устройства

Котлы с конденсаторами (№4, №5, №6) дополнительно оборудуются модулем FGR, который обеспечивает низкие выбросы оксидов азота  $\text{NO}_x$  при работе на природном газе путем рециркуляции дымовых газов.

Воздух на горение забирается из верхней зоны помещения на высоте 5 метров непосредственно из помещения, так как он туда подается приточными установками, и подается к горелкам снизу.

Расход воздуха на горение рассчитывается в п. 4.3.

### 3.3.3 Подбор теплообменника

Проектом предусмотрено разделение котлового и сетевого контуров пластинчатыми теплообменниками, причем каждый котел имеет индивидуальный котловой контур со своим разделительным теплообменником.

В данном проекте подбор теплообменников производится в специализированной программе «Ридан» исходя из типа среды, температурного графика греющей и нагреваемой сред и мощности котлоагрегата.

Нагреваемой средой является вода, температурный график греющей среды 105/80 °С, температурный график нагреваемой среды 95/75 °С, мощность котлоагрегата 20 МВт. Запас поверхности на загрязнение 10%.

В соответствии с заданными параметрами к установке принимаем пластинчатый теплообменник разделения контуров типа НН-145-10/5-383-ТК. Общее количество теплообменников в системе 6 штук.

|      |      |          |       |      |                             |      |
|------|------|----------|-------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |       |      | 13.03.01.2019.379.01 ПЗ ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                             | 31   |

| №   | ПТО                            | Цена (%) | S (м2) | V (л)    | Ходы | Срок поставки (недели) |
|-----|--------------------------------|----------|--------|----------|------|------------------------|
| 1   | НН-210-10/4-324-ТК (Ду 400 мм) | 100      | 676,20 | 2748,730 | 1    | 18                     |
| ▶ 2 | НН-145-10/5-383-ТК (Ду 400 мм) | 105      | 552,46 | 2555,580 | 1    | 18                     |

|                                   |                         |                 |
|-----------------------------------|-------------------------|-----------------|
| Тепловая мощность                 | 20                      | МВт             |
| Запас пов-ти на загр. / Ф-р загр. | 381,2 % / 629,1 м2К/МВт | LMTD 25 С       |
| К-т теплопередачи (треб./расч.)   | 1245 / 5993             | ккал / (м2 ч С) |

|                             | Гор.           | Хол.        |           |
|-----------------------------|----------------|-------------|-----------|
| Тип среды                   | Вода           | Вода        |           |
| Расход                      | 1707,28        | 1717,73     | т/ч       |
| Температура                 | 105 -> 95      | 80 <- 75    | С         |
| Потери давления / в портах  | 1,73 / 0,65    | 1,84 / 0,65 | м.вод.ст. |
| Скорость в портах / каналах | 3,49 / 0,7     | 3,45 / 0,69 | м/с       |
| Масса пустой / заполненный  | 6490 / 8970 кг | Прокладка   | EPDM      |

0,5 мм AISI316L; Фланцы Ду 400 (Черные); Максимальное кол-во пластин: 429; (P)

| Основные теплофизические характеристики |           |                   |
|---|-----------|-------------------|
| Плотность                               | 958,59    | 975,15 кг/м3      |
| Удельная теплоемкость                   | 4217,25   | 4191,59 Дж/(кг*К) |
| Теплопроводность                        | 0,68      | 0,66 Вт/(м*К)     |
| Динамическая вязкость                   | 0,0002817 | 0,0003844 Па*с    |

Показать НН-145 на сайте

Рисунок 3.2 – Подбор теплообменника

Применение теплообменников в тепловой схеме котельной существенно упрощает подбор насосов, улучшает режим работы и долговечность котельного оборудования, способствует гидравлической устойчивости системы и отсутствию разбалансировки, а также позволяет эффективно удалять шлам и воздух из системы.

|      |      |          |       |      |
|------|------|----------|-------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|------|------|----------|-------|------|

### 3.3.4 Подбор насосного оборудования

В данном проекте к установке принимаем насосы фирмы WILO. Подбор насосного оборудования осуществляется по программе «Wilo–Select 4 Online».

#### 3.3.4.1 Подбор сетевого насоса

Расчетный напор, м, определяется по формуле:

$$H_c^H = 1,1 \cdot (\Delta H_{Tc} + \Delta H_k), \quad (3.40)$$

где  $\Delta H_{Tc}$  – потери давления в тепловой сети, м, принимаем  $\Delta H_{Tc}=32$  м;

$\Delta H_k$  – гидравлическое сопротивление котла в соответствии с каталогом, м, умноженное на коэффициент запаса 1,5, принимаем  $\Delta H_k=1,5 \cdot 0,5=0,75$  м.

$$H_c^H = 1,1 \cdot (30 + 0,75) = 36 \text{ м.}$$

Расчетная производительность,  $\frac{m^3}{ч}$ , сетевого насоса определяется по формуле:

$$G_c^H = 1,5 \cdot (G_{вн} + G_{гр}^{под}), \quad (3.41)$$

где  $G_{вн}+G_{гр}^{под}$  – расходы в соответствии с расчетом тепловой сети,  $\frac{т}{ч}$ .

$$G_c^H = 1,5 \cdot (3454,4 + 0,4) = 5155 \frac{m^3}{ч}.$$

К установке принимаем насос WILO NLG 300/550–315/4 в количестве 5 штук (все рабочие). Рабочая характеристика насоса приведена на рисунке 3.3.

|      |      |          |       |      |                             |      |
|------|------|----------|-------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |       |      | 13.03.01.2019.379.01 ПЗ ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                             | 33   |



Ответственный  
E-Mail  
Телефон

Клиент

Ответственный  
E-Mail  
Телефон

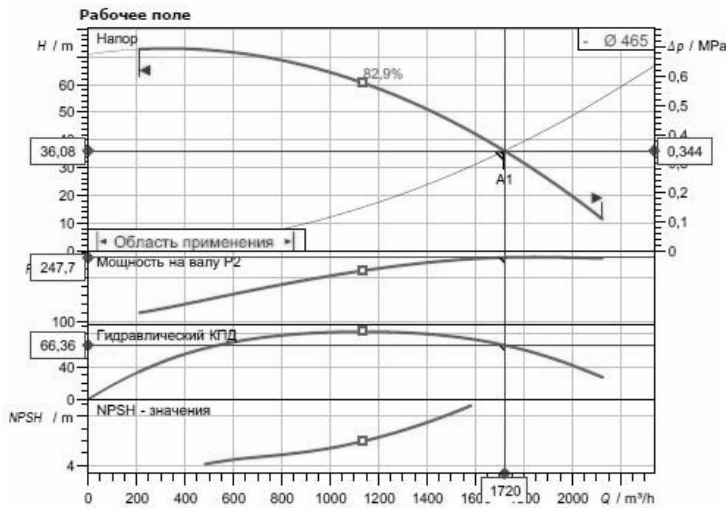
### Технические данные

Насос с сухим ротором стандартный  
NLG 300/550-315/4

Имя проекта Проект без имени 2019-04-21 11:34:17.715

Номер проекта  
Место установки  
Номер позиции клиента

Дата 21.04.19



#### Задать рабочие параметры

Производительность 1718,00 м³/ч  
Напор 36,00 м  
Перекачиваемая жидкость Вода 100 %  
Температура перекачиваемой жидкости 10 °C  
Плотность 971,70 кг/м³  
Кинематич. вязкость 0,36 мм²/с

#### Гидравлические данные (Рабочая точка)

Производительность 1719,94 м³/ч  
Напор 36,08 м  
Мощность на валу P2 247,66 kW  
Гидравлический КПД 66,36 %  
Диаметр рабочего колеса 465

#### Данные продукта

Насос с сухим ротором стандартный  
NLG 300/550-315/4  
Мак. рабочее давление 1,6 MPa  
Температура перекачиваемой жидкости 0... +120 °C  
Макс. Температура окр. Среды 40 °C  
Минимальный индекс эффективности (MFI)

#### Данные мотора

Класс эффективности мотора IE3  
Подключение к сети 3~400 V / 50 Hz

Рисунок 3.3 – Характеристика насоса WILO NLG 300/550–315/4

### 3.3.4.2 Подбор рециркуляционных насосов

Расчетный напор, м, определяется по формуле:

$$H_{\text{рец}}^{\text{н}} = 1,1 \cdot (\Delta H_{\text{к}} + \Delta H_{\text{обр}}), \quad (3.42)$$

где  $\Delta H_{\text{обр}}$  – напор в обратной магистрали тепловой сети, м, принимаем

$$\Delta H_{\text{обр}} = 5 \text{ м.}$$

Расчетная производительность,  $\frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$ , насоса определяется по формуле:

$$G_{\text{рец}}^{\text{н}} = 1,2 \cdot G_{\text{рец}}, \quad (3.43)$$

где  $G_{\text{рец}}$  – расход воды на рециркуляцию в соответствии с расчетом тепловой сети,  $\frac{\text{т}}{\text{ч}}$ .

|      |      |          |       |      |
|------|------|----------|-------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|------|------|----------|-------|------|

13.03.01.2019.379.01 ПЗ ВКР

Лист

34

Определим параметры для подбора циркуляционных насосов:

$$H_{\text{рец}}^{\text{н}} = 1,1 \cdot (0,75 + 5) = 6,3 \text{ м};$$

$$G_{\text{рец}}^{\text{н}} = 1,2 \cdot 597,1 = 718 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}.$$

Регулирование температур теплоносителя, а также обеспечение поддержание температуры воды в обратной линии на вводе в котел не ниже 60°C осуществляется насосами WILO IL 200/240–7,5/6, которые установлены в каждом котловом контуре. Общее количество насосов в системе 6 штук. Характеристика насоса приведена на рисунке 3.4.



Рисунок 3.4 – Характеристика насоса WILO IL 200/240–7,5/6

Циркуляция теплоносителя в котловом контуре обеспечивается котловыми насосами WILO IL 80/160–1,5/4 установленными по два (оба рабочие). Общее количество насосов в системе 12 штук. Характеристика насоса представлена на рисунке 3.5.

|      |      |          |       |      |
|------|------|----------|-------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|------|------|----------|-------|------|



Ответственный  
E-Mail  
Телефон

Клиент

Ответственный  
E-Mail  
Телефон

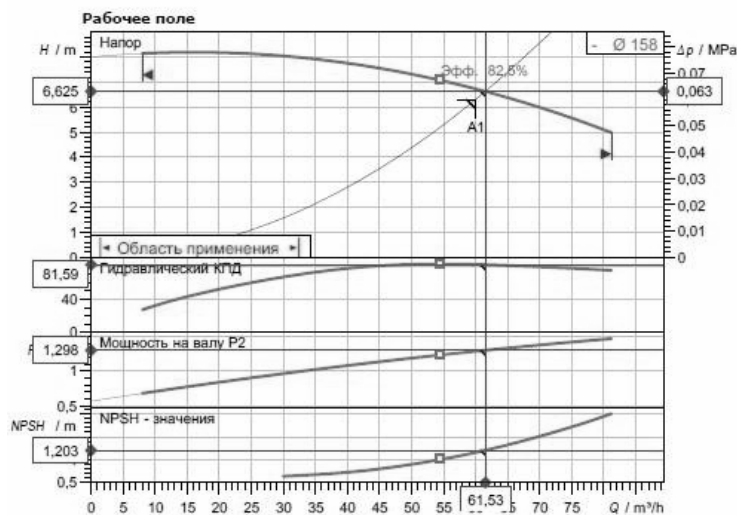
### Технические данные

Насос с сухим ротором Standard одинарный  
IL 80/160-1,5/4

Имя проекта Проект без имени 2019-04-21 11:34:17.715

Номер проекта  
Место установки  
Номер позиции клиента

Дата 21.04.19



#### Задать рабочие параметры

Производительность 60,00 m³/h  
Напор 6,30 m  
Перекачиваемая жидкость Вода 100 %  
Температура перекачиваемой жидкости 40,00 °C  
Плотность 971,70 kg/m³  
Кинематич. вязкость 0,36 mm²/s

#### Гидравлические данные (Рабочая точка)

Производительность 61,53 m³/h  
Напор 6,63 m  
Мощность на валу P2 1,30 kW  
Гидравлический КПД 81,59 %  
NPSH 1,20 m

#### Данные продукта

Насос с сухим ротором Standard одинарный  
IL 80/160-1,5/4  
Мах. рабочее давление 1,6 MPa  
Температура перекачиваемой жидкости 20 °C ... +140 °C  
Макс. Температура окр. Среды 40 °C  
Минимальный индекс эффективности (IMEI)

#### Данные мотора

Класс эффективности мотора IE2  
Подключение к сети 3~ 400 V / 50 Hz  
Допустимый перепад напряжения ±10 %

Рисунок 3.5 – Характеристика насоса WIL0 IL 80/160–1,5/4

На котлах, используемых без установки конденсатора, циркуляция теплоносителя в контуре конденсатора осуществляется насосом WIL0 IL 200/260–7,5/6. Общее количество насосов в системе 3 штуки. Характеристика насоса представлена на рисунке 3.6.

|      |      |          |       |      |
|------|------|----------|-------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|------|------|----------|-------|------|

13.03.01.2019.379.01 ПЗ ВКР

Лист

36





Ответственный  
E-Mail  
Телефон

Клиент

Ответственный  
E-Mail  
Телефон

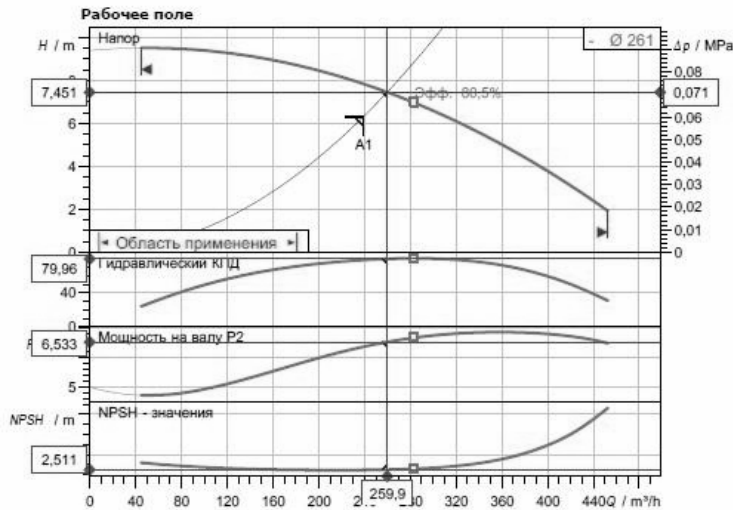
### Технические данные

Насос с сухим ротором Standard одинарный  
IL 200/260-7,5/6

Имя проекта Проект без имени 2019-04-21 11:34:17.715

Номер проекта  
Место установки  
Номер позиции клиента

Дата 21.04.19



#### Задать рабочие параметры

Производительность 239,00 m³/h  
Напор 6,30 m  
Перекачиваемая жидкость Вода 100 %  
Температура перекачиваемой жидкости 20,00 °C  
Плотность 971,70 kg/m³  
Кинематич. вязкость 0,36 mm²/s

#### Гидравлические данные (Рабочая точка)

Производительность 259,91 m³/h  
Напор 7,45 m  
Мощность на валу P2 6,53 kW  
Гидравлический КПД 79,96 %  
NPSH 2,51 m

#### Данные продукта

Насос с сухим ротором Standard одинарный  
IL 200/260-7,5/6

Мак. рабочее давление 1,6 MPa  
Температура перекачиваемой жидкости ... + 140 °C  
Макс. Температура окр. Среды 40 °C  
Минимальный индекс эффективности (MEI)

#### Данные мотора

Класс эффективности мотора IE3  
Подключение к сети 3~ 400 V / 50 Hz  
Допустимый перепад напряжения ±10 %

Рисунок 3.6 – Характеристика насоса WILO IL 200/260–7,5/6

### 3.3.5 Подбор расширительного бака

Расширительный бак предназначен для компенсации избыточного объема воды при температурном расширении теплоносителя в котловых контурах.

В данном проекте подбор расширительного бака осуществляется по методике, изложенной в [4].

Расширительные баки подбираются по сумме объема теплоносителя и объема его расширения, которая определяется по формуле:

$$V = (V_e + V_v) \cdot \frac{P_e + 1}{P_e - P_0}, \quad (3.44)$$

где  $V_v$  – начальный объем теплоносителя в расширительном баке, л;

$V_e$  – объем расширения теплоносителя, л;

$P_e$  – конечное давление в баке, бар;

$P_0$  – начальное давление в баке, бар, оно равно давлению воздуха в мембране перед установкой.

|      |      |          |       |      |
|------|------|----------|-------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|------|------|----------|-------|------|

13.03.01.2019.379.01 ПЗ ВКР

Лист

37

Объем расширения теплоносителя определяется по формуле:

$$V_e = V_a \cdot \Delta e, \quad (3.45)$$

где  $V_a$  – объем теплоносителя в замкнутой системе, принимается по техническому заданию, в данном проекте 5155000 л/ч;

$\Delta e$  – коэффициент температурного расширения, принимается по [4], в данном проекте принимается 0,0309.

Начальный объем теплоносителя в расширительном баке определяется по формуле:

$$V_v = \frac{V_a \cdot 0,5}{100}. \quad (3.46)$$

Конечное давление в баке определяется по формуле:

$$P_e = (P_{sv} - P_{da}) + \frac{H_{sv}}{10}, \quad (3.47)$$

где  $P_{sv}$  – давление срабатывания предохранительного клапана, бар, в данном проекте принимается 5,5 бар;

$H_{sv}$  – разница уровней между установкой мембранного бака и предохранительного клапана, м, в данном проекте принимается 1 м;

$P_{da}$  зависит от давления срабатывания предохранительного клапана, при  $P_{sv} \leq 5$  бар  $\rightarrow P_{da} = 0,5$  бар, при  $P_{sv} > 5$  бар  $\rightarrow P_{da} = 0,05 \cdot P_{sv}$  бар. В данном проекте, так как  $P_{sv} = 5,5$  бар  $> 5$  бар  $\rightarrow P_{da} = 0,05 \cdot 5,5 = 0,275$  бар.

Начальное давление в баке определяется по формуле:

$$P_o = \frac{H_s}{10} + 0,2 + P_p + P_{нас}, \quad (3.48)$$

где  $H_s$  – статическая высота системы от точки присоединения мембранного бака, м, в данном проекте принимаем 2 м;

|      |      |          |       |      |                             |      |
|------|------|----------|-------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |       |      | 13.03.01.2019.379.01 ПЗ ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                             | 38   |

$P_p$  – давление насоса, учитывается, если мембранный бак устанавливается после насоса, бар, в данном проекте так как бак расположен до насосов по ходу движения теплоносителя, то принимаем это значение 0;

$P_{нас}$  – насыщенное давление водяных паров в системе с перегретой водой, бар, в данном проекте принимается 0,21 бар.

Определим начальное давление в баке по формуле (3.48):

$$P_o = \frac{2}{10} + 0,2 + 0 + 0,21 = 0,61 \text{ бар.}$$

Начальное давление в баке равным 1бар согласно техническим рекомендациям, по которым оно должно быть не менее 1 бар или быть равным давлению в подпиточной линии контура.

Определим конечное давление в баке по формуле (3.47):

$$P_e = (5,5 - 0,275) + \frac{1}{10} = 5,33 \text{ бар.}$$

Определим объем температурного расширения теплоносителя по формуле (3.45):

$$V_e = 5155000 \cdot 0,0309 = 2208 \text{ л.}$$

Определим начальный объем теплоносителя в расширительном баке по формуле (3.46):

$$V_v = \frac{5155000 \cdot 0,5}{100} = 440 \text{ л.}$$

Исходя из выше вычисленных значений можем определить необходимый расчет расширительного бака по формуле (3.44):

$$V = (2208 + 440) \cdot \frac{5,33 + 1}{5,33 - 1} = 3871 \text{ л.}$$

К установке в данном проекте принимаем расширительный бак Reflex G4000 емкостью 4000 л.

|      |      |          |       |      |                             |      |
|------|------|----------|-------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |       |      | 13.03.01.2019.379.01 ПЗ ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                             | 39   |

### 3.3.6 Подбор устройства нейтрализации конденсата

Отвод конденсата из дымового тракта предусматривается через дренажный трубопровод, который проложен в одной изоляции с газоходом.

В данном проекте конденсат кислый и поэтому необходимо предусмотреть установку нейтрализации конденсата.

Она подбирается по мощности котла и по расходу конденсата.

Расход конденсата определяется по формуле:

$$G_{H_2O} = B \cdot V_{H_2O} \cdot \frac{273 + \vartheta}{273}, \quad (3.49)$$

где  $B$  – расход топлива на котлы,  $m^3/ч$ ;

$V_{H_2O}$  – действительный объем водяных паров,  $nm^3/m^3$ , принимается по п. 4.2 и равен  $2,083 nm^3/m^3$ ;

$\vartheta$  – температура дымовых газов,  $^{\circ}C$ , принимается по техническому паспорту котла, в данном проекте равна  $190^{\circ}C$ .

Расход топлива на котельную определяется по формуле:

$$B_k = \frac{Q_k}{Q_p^H \cdot \eta}, \quad (3.50)$$

где  $Q_k$  – часовая теплопроизводительность котла,  $кДж/ч$ , в данном проекте принимается  $120 MВт = 432000000 кДж/ч$ ;

$Q_p^H$  – низшая теплота сгорания газа,  $кДж/м^3$ , в данном проекте принимается  $33634 кДж/м^3$ ;

$\eta$  – коэффициент полезного действия котлоагрегата, принимается по техническому паспорту котла, в данном проекте принимается  $90\%$ .

|      |      |          |       |      |                             |      |
|------|------|----------|-------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |       |      | 13.03.01.2019.379.01 ПЗ ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                             | 40   |

Расход топлива на котельную равен:

$$V_k = \frac{432000000}{33634 \cdot 0,9} = 14334 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$$

Так как в данном проекте установка конденсаторов предусматривала только для трех котлов, то определим расход топлива на котлы №4, №5, №6 в отдельности:

$$V = \frac{14334}{6} = 2389 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$$

Определим расход конденсатора:

$$G_{\text{H}_2\text{O}} = 2389 \cdot 2,083 \cdot \frac{273 + 190}{273} = 8440 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}} = 8440000 \frac{\text{л}}{\text{ч}}$$

Согласно [6] для котлов мощностью выше 3500 кВт (в нашем случае 20000 кВт) требуется два устройства жидкостной нейтрализации конденсата.

В данном проекте предусматриваем к установке устройство нейтрализации конденсата фирмы Viessmann для котлов с конденсаторами №4, №5, №6.

Устройства включают в себя корпус из прочного пластика, бак-приемник с зоной осаждения и встроенным нагнетательным насосом из светонепроницаемого пластика. На баке-приемнике установлены нейтрализационный бак из белого пластика, системы управления и дозатор. Конденсат фильтруется и перекачивается в нейтрализационный бак. Одновременно дозирующим насосом подается жидкое нейтрализующее средство типа ФКК.

|      |      |          |       |      |                             |      |
|------|------|----------|-------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |       |      | 13.03.01.2019.379.01 ПЗ ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                             | 41   |

#### 4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ВОЗДУХА НА ГОРЕНИЕ И РАСЧЕТ ОБЪЕМА ДЫМОВЫХ ГАЗОВ

В данном проекте газоснабжение предусмотрено природным газом по ГОСТ 5542-2014 с низшей теплотой сгорания  $Q=33634$  кДж/м<sup>3</sup>. Источником газоснабжения является ГРС г. Усть-Катав. Элементный состав топлива приведен в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Элементный состав топлива

| Состав газа по объему, % |                 |                |                  | Теплота сгорания, $Q_{н}^p$ , кДж/м <sup>3</sup> |
|--------------------------|-----------------|----------------|------------------|--|
| CH <sub>4</sub>          | CO <sub>2</sub> | N <sub>2</sub> | N <sub>2</sub> S |  |
| 95,1                     | 0,3             | 4,5            | 0,1              | 33634  |

##### 4.1 Определение теоретических объемов воздуха и дымовых газов

Теоретический объем сухого воздуха, необходимого для полного сгорания газа, определяется по формуле:

$$V_B^o = 0,0476 \cdot \left[ 0,5 \cdot (CO + H_2) + 1,5 \cdot H_2S + \sum \left( m + \frac{n}{4} \right) \cdot C_m H_n - O_2 \right]; \quad (4.1)$$

$$V_B^o = 0,0476 \cdot \left[ 1,5 \cdot 0,1 + \sum \left( 1 + \frac{4}{4} \right) \cdot 95,1 \right] = 9,061 \frac{HM^3}{M^3}.$$

Теоретический объем азота определяется по формуле:

$$V_{N_2}^o = 0,79 \cdot V_B^o + \frac{N^p}{100}; \quad (4.2)$$

где  $\frac{N^p}{100}$  в расчет не берут, считая что это отношение равно 0.

$$V_{N_2}^o = 0,79 \cdot 9,061 = 7,158 \frac{HM^3}{M^3}.$$

Теоретический объем трехатомных газов определяется по формуле:

$$V_{\text{RO}_2}^0 = 0,01 \cdot \left( \text{CO}_2 + \text{CO} + \text{H}_2\text{S} + \sum m \cdot \text{C}_m\text{H}_n \right); \quad (4.3)$$

$$V_{\text{RO}_2}^0 = 0,01 \cdot \left( 0,3 + 0,1 + \sum 1 \cdot 95,1 \right) = 0,956 \frac{\text{нм}^3}{\text{м}^3}.$$

Теоретический объем водяных паров определяется по формуле:

$$V_{\text{H}_2\text{O}}^0 = 0,01 \cdot \left( \text{H}_2\text{S} + \sum \frac{n}{2} \cdot \text{C}_m\text{H}_n + 0,124 \cdot d \right) + 0,0161 \cdot V_{\text{B}}^0, \quad (4.4)$$

где  $d$  – влагосодержание газа,  $\frac{\text{г}}{\text{кг}}$ ,  $d=10 \frac{\text{г}}{\text{кг}}$ .

$$V_{\text{H}_2\text{O}}^0 = 0,01 \cdot \left( 0,1 + \sum \frac{4}{2} \cdot 95,1 + 0,124 \cdot 10 \right) + 0,0161 \cdot 9,061 = 2,061 \frac{\text{нм}^3}{\text{м}^3}.$$

Теоретический объем дымовых газов определяется по формуле:

$$V_{\text{r}}^0 = V_{\text{N}_2}^0 + V_{\text{RO}_2}^0 + V_{\text{H}_2\text{O}}^0; \quad (4.5)$$

$$V_{\text{r}}^0 = 7,158 + 0,956 + 2,061 = 10,175 \frac{\text{нм}^3}{\text{м}^3}.$$

#### 4.2 Определение коэффициентов избытка воздуха

Для полного сгорания топлива теоретического объема воздуха недостаточно, т.к. эта величина не учитывает тип топлива, его состояние, способ сжигания и времени контакта топлива и окислителя, поэтому объем воздуха на горение необходимо завышать над теоретическим на величину коэффициента избытка воздуха.

Принимаем коэффициент избытка воздуха в топку  $\alpha_{\text{r}}' = 1,01$ .

Так как между поверхностями нагрева не предусмотрено различных устройств контроля горения, состояния дымовых газов, лючков прочистки и т.д., то считается, что присосы воздуха между элементами отсутствуют, т.е.  $\Delta\alpha=0$ .

|      |      |          |       |      |                             |      |
|------|------|----------|-------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |       |      | 13.03.01.2019.379.01 ПЗ ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                             | 43   |

Тогда коэффициент избытка воздуха в конце топки будет определяться по формуле:

$$\alpha'' = \alpha' + \Delta\alpha; \quad (4.6)$$
$$\alpha_{\text{т}}'' = 1,01 + 0 = 1,01.$$

Коэффициент избытка воздуха на входе в кипятельный пучок равен коэффициенту на выходе из топки, т.е.  $\alpha_{\text{кп}}' = \alpha_{\text{т}}'' = 1,01$ .

Так как в современных котлах для побуждения движения дымовых газов по газовому тракту устанавливают дымосос, создающий разрежение в кипятельном пучке и хвостовой поверхности нагрева, то считается, что в них образуется  $\Delta\alpha$ , величина которого зависит от конструкции поверхности. В данном проекте  $\Delta\alpha = 0,1$ .

Тогда коэффициент избытка воздуха на выходе из кипятельного пучка определяется по формуле (4.6):

$$\alpha_{\text{кп}}'' = 1,01 + 0,1 = 1,11.$$

Коэффициент избытка воздуха на входе в экономайзер равен коэффициенту на выходе из кипятельного пучка, т.е.  $\alpha_{\text{эк}}' = \alpha_{\text{кп}}'' = 1,11$ .

В данном проекте конденсор выполнен из нержавеющей стали, то  $\Delta\alpha = 0,08$ .

Тогда избытка воздуха на выходе из экономайзера определяется по формуле (4.6):

$$\alpha_{\text{эк}}'' = 1,11 + 0,08 = 1,19.$$

Средний коэффициент избытка воздуха определяется по формуле:

$$\alpha_{\text{ср}} = \frac{\alpha' + \alpha''}{2}; \quad (4.7)$$
$$\alpha_{\text{т}}^{\text{ср}} = \frac{1,01 + 1,01}{2} = 1,01;$$
$$\alpha_{\text{кп}}^{\text{ср}} = \frac{1,01 + 1,11}{2} = 1,06;$$



$$\alpha_{\text{ЭК}}^{\text{ср}} = \frac{1,11 + 1,19}{2} = 1,15.$$

### 4.3 Определение действительных объемов воздуха и дымовых газов

Действительный объем водяных паров определяется по формуле:

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = V_{\text{H}_2\text{O}}^0 + 0,0161 \cdot (\alpha_{\text{ср}} - 1) \cdot V_{\text{B}}^0; \quad (4.8)$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{T}} = 2,061 + 0,0161 \cdot (1,01 - 1) \cdot 9,061 = 2,062 \frac{\text{HM}^3}{\text{M}^3};$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{КП}} = 2,061 + 0,0161 \cdot (1,06 - 1) \cdot 9,061 = 2,070 \frac{\text{HM}^3}{\text{M}^3};$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{ЭК}} = 2,061 + 0,0161 \cdot (1,15 - 1) \cdot 9,061 = 2,083 \frac{\text{HM}^3}{\text{M}^3}.$$

Действительный объем дымовых газов определяется по формуле:

$$V_{\text{Г}} = V_{\text{RO}_2}^0 + V_{\text{N}_2}^0 + V_{\text{H}_2\text{O}} + (\alpha_{\text{ср}} - 1) \cdot V_{\text{B}}^0; \quad (4.9)$$

$$V_{\text{Г}}^{\text{T}} = 0,956 + 7,158 + 2,062 + (1,01 - 1) \cdot 9,061 = 10,267 \frac{\text{HM}^3}{\text{M}^3};$$

$$V_{\text{Г}}^{\text{КП}} = 0,956 + 7,158 + 2,070 + (1,06 - 1) \cdot 9,061 = 10,728 \frac{\text{HM}^3}{\text{M}^3};$$

$$V_{\text{Г}}^{\text{ЭК}} = 0,956 + 7,158 + 2,083 + (1,15 - 1) \cdot 9,061 = 11,556 \frac{\text{HM}^3}{\text{M}^3}.$$

Действительный объем воздуха на горение определяется по формуле:

$$V_{\text{B}} = V_{\text{B}}^0 + (\alpha_{\text{ср}} - 1) \cdot V_{\text{B}}^0; \quad (4.10)$$

$$V_{\text{B}}^{\text{T}} = 9,061 + (1,01 - 1) \cdot 9,061 = 9,152 \frac{\text{HM}^3}{\text{M}^3};$$

$$V_{\text{B}}^{\text{КП}} = 9,061 + (1,06 - 1) \cdot 9,061 = 9,605 \frac{\text{HM}^3}{\text{M}^3};$$

$$V_{\text{B}}^{\text{ЭК}} = 9,061 + (1,15 - 1) \cdot 9,061 = 10,420 \frac{\text{HM}^3}{\text{M}^3}.$$

Определим объемные доли сухих трехатомных газов по формуле:

$$r_{\text{RO}_2} = \frac{V_{\text{RO}_2}^0}{V_r}; \quad (4.11)$$

$$r_{\text{RO}_2}^T = \frac{0,956}{10,267} = 0,093;$$

$$r_{\text{RO}_2}^{\text{кп}} = \frac{0,956}{10,728} = 0,089;$$

$$r_{\text{RO}_2}^T = \frac{0,956}{11,556} = 0,083.$$

Определим объемные доли водяных паров по формуле:

$$r_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{V_{\text{H}_2\text{O}}}{V_r}; \quad (4.12)$$

$$r_{\text{H}_2\text{O}}^T = \frac{2,062}{10,267} = 0,201;$$

$$r_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{кп}} = \frac{2,070}{10,728} = 0,193;$$

$$r_{\text{H}_2\text{O}}^T = \frac{2,083}{11,556} = 0,180.$$

Определим суммарную долю трехатомных газов по формуле:

$$r = r_{\text{RO}_2} + r_{\text{H}_2\text{O}}; \quad (4.13)$$

$$r^T = 0,093 + 0,201 = 0,294;$$

$$r^{\text{кп}} = 0,089 + 0,193 = 0,282;$$

$$r^{\text{ЭК}} = 0,083 + 0,180 = 0,263.$$

Результаты расчет сведены в таблицу 4.2.

|      |      |          |       |      |                             |      |
|------|------|----------|-------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |       |      | 13.03.01.2019.379.01 ПЗ ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                             | 46   |

Таблица 4.2 – Характеристики топлива

| Наименование                            | Обозначение                   | Ед. измерения                   | Значение |
|---|-------------------------------|---------------------------------|----------|
| Коэффициент избытка воздуха             | $\alpha$                      | –                               | 1,15     |
| Теоретический объем дымовых газов       | $V_{\Gamma}^0$                | нм <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> | 10,175   |
| Действительный объем воздуха на горение | $V_{\text{в}}$                | нм <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> | 10,420   |
| Действительный объем водяных паров      | $V_{\text{H}_2\text{O}}$      | нм <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> | 2,083    |
| Действительный объем дымовых газов      | $V_{\Gamma}$                  | нм <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> | 11,556   |
| Объемная доля трехатомных газов         | $\Gamma_{\text{RO}_2}$        | –                               | 0,083    |
| Объемная доля водяных паров             | $\Gamma_{\text{H}_2\text{O}}$ | –                               | 0,180    |
| Суммарная доля трехатомных газов        | $\Gamma$                      | –                               | 0,263    |

В результате расчета выяснили, что коэффициент избытка воздуха составляет 1,15, теоретический объем дымовых газов составляет 10,175 нм<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>, а действительный объем воздуха на горение равен 10,420 нм<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>. Также выяснили, что действительный объем водяных паров 2,083 нм<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>, действительный объем дымовых газов 11,556 нм<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>. Суммарная доля трехатомных газов равно 0,263.

## 5 ДЫМОВЫЕ ТРУБЫ

Дымовая труба котельной представляет собой вертикальную конструкцию, смонтированную на отдельном фундаменте или на фасаде здания. Принцип действия дымовой трубы основан на эффекте тяги, который обеспечивает перемещение массы дымовых газов в направлении от входного отверстия до устья трубы. Естественная тяга обеспечивается за счет разницы температур за пределами здания и внутри топки.

У дымовых труб есть два основных назначения:

- отвод продуктов горения топлива;
- обеспечение рассеивания в атмосфере вредных выбросов, содержащихся в дымовых газах, до значений предельно допустимой конденсации в приземном слое.

В дипломном проекте принимаем к установке дымовые трубы из нержавеющей стали индивидуальные для каждого котла.

Для расчета высоты дымовой трубы необходимо задаться исходными данными.

Исходные данные для расчета:

- температура наружного воздуха – принимается по [1] –  $t_n = -34$  °С;
- скорость дымовых газов на выходе из устья дымовой трубы –  $\omega_0 = 18 \frac{м}{с}$ ;
- теплопроизводительность котла – принимается по техническому паспорту котла –  $Q_k = 20$  МВт;
- температура дымовых газов на входе в дымовую трубу – принимается по техническому паспорту котла –  $t_d = 190$  °С;
- низшая теплота сгорания топлива – принимается по техническому заданию –  $Q_p^H = 33,63 \frac{МДж}{м^3}$ ;
- расход топлива – принимается по п. 3.3.6 –  $V_T = 0,66 \frac{м^3}{с}$ .

|      |      |          |       |      |                             |      |
|------|------|----------|-------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |       |      | 13.03.01.2019.379.01 ПЗ ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                             | 48   |

Выполним расчет.

Расчет будем выполнять по рассеиванию оксида азота  $\text{NO}_2$ .

Необходимо определить количество оксида азота  $\text{NO}_x$  с уходящими газами. Суммарное количество  $\text{NO}_x$  в пересчете на  $\text{NO}_2$ , г/с, согласно [методика определения выбросов загрязняющих атмосферу...] определяется по формуле:

$$M_{\text{NO}_2} = V_T \cdot Q_p^H \cdot k_{\text{NO}_2} \cdot \beta_k \cdot \beta_t \cdot \beta_\alpha \cdot (1 - \beta_\Gamma) \cdot (1 - \beta_\delta) \cdot k_\Pi, \quad (5.1)$$

где  $V_T$  – расчетный расход топлива,  $\text{нм}^3/\text{с}$ ;

$Q_p^H$  – низшая теплота сгорания топлива,  $\text{МДж}/\text{нм}^3$ ;

$\beta_k$  – безразмерный коэффициент, учитывающий принципиальную конструкцию горелки, принимаем 1;

$\beta_\alpha$  – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние избытка воздуха на образование оксидов азота, принимаем 1;

$\beta_\Gamma$  – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рециркуляции дымовых газов через горелки на образование оксидов азота  $\text{NO}_2$ , принимаем 0;

$\beta_\delta$  – безразмерный коэффициент, учитывающий ступенчатый ввод воздуха в топочную камеру, принимаем 0;

$k_\Pi$  – коэффициент пересчета, принимаем равным 1;

$\beta_t$  – безразмерный коэффициент, учитывающий температуру воздуха, подаваемого для горения, определяется по формуле:

$$\beta_t = 1 + 0,002 \cdot (t_B - 30). \quad (5.2)$$

$k_{\text{NO}_2}$  – удельный выброс оксидов азота  $\text{NO}_2$  при сжигании газа,  $\text{г}/\text{МДж}$ , для водогрейных котлов принимается по формуле:

$$k_{\text{NO}_2} = 0,0113 \cdot \sqrt{Q_T} + 0,03, \quad (5.3)$$

где  $Q_T$  – фактическая тепловая мощность котла по введенному в топку теплу,  $\text{МВт}$ , определяется по формуле:

$$Q_T = V_T \cdot Q_p^H. \quad (5.4)$$

|      |      |          |       |      |                             |      |
|------|------|----------|-------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |       |      | 13.03.01.2019.379.01 ПЗ ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                             | 49   |

Определим коэффициент, учитывающий температуру воздуха, подаваемого для горения, определяется по формуле (5.2):

$$\beta_t = 1 + 0,002 \cdot (17 - 30) = 0,974.$$

Определим фактическая тепловая мощность котла по введенному в топку теплу по формуле (5.4):

$$Q_T = 0,66 \cdot 33,63 = 22,2 \text{ МВт.}$$

Определим удельный выброс оксидов азота  $\text{NO}_2$  при сжигании газа по формуле (5.3):

$$k_{\text{NO}_2} = 0,0113 \cdot \sqrt{22,2} + 0,03 = 0,08 \frac{\text{г}}{\text{МДж}}.$$

Определим количество оксида азота  $\text{NO}_x$ , уходящего с дымовыми газами по формуле (5.1):

$$M_{\text{NO}_2} = 0,66 \cdot 33,63 \cdot 0,08 \cdot 1 \cdot 0,974 \cdot 1 \cdot (1 - 0) \cdot (1 - 0) \cdot 1 = 1,73 \frac{\text{г}}{\text{с}}$$

Определим диаметр устья дымовой трубы по формуле:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot V_{\text{дг}}}{\pi \cdot \omega_0}}, \quad (5.5)$$

где  $\omega_0$  – скорость дымовых газов на выходе из устья трубы, м/с;

$V_{\text{дг}}$  – расход дымовых газов через устье дымовой трубы,  $\text{м}^3/\text{с}$ , определяется по формуле:

$$V_{\text{дг}} = V_{\text{г}} \cdot V_{\text{т}} \cdot \frac{273 + \vartheta}{273}, \quad (5.6)$$

где  $V_{\text{г}}$  – действительный объем продуктов сгорания,  $\text{нм}^3/\text{м}^3$  принимается по п. 4.3;

$V_{\text{т}}$  – секундный расход топлива,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$\vartheta$  – температура уходящих газов,  $^{\circ}\text{C}$ .

|      |      |          |       |      |                             |      |
|------|------|----------|-------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |       |      | 13.03.01.2019.379.01 ПЗ ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                             | 50   |

Расход дымовых газов через устье дымовой трубы:

$$V_{\text{дг}} = 11,556 \cdot 0,66 \cdot \frac{273 + 190}{273} = 12,94 \frac{\text{нм}^3}{\text{с}}$$

Диаметр устья дымовой трубы:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 12,94}{\pi \cdot 18}} = 0,77 \text{ м} \approx 0,8 \text{ м.}$$

По стандартному типоразмеру принимаем диаметр дымовой трубы  $D_{\text{ст}}=0,8$  м.

Определим фактическую скорость дымовых газов на выходе из устья трубы по формуле:

$$\omega_{\text{ф}} = \frac{4 \cdot V_{\text{дг}}}{\pi \cdot D_{\text{ст}}^2}; \quad (5.7)$$

$$\omega_{\text{ф}} = \frac{4 \cdot 12,94}{\pi \cdot 0,8^2} = 17,4 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

По вычисленному диаметру дымовой трубы и вычисленной фактической скорости дымовых газов можем определить действительную высоту дымовой трубы. Выполним данный расчет графоаналитическим способом. Для этого необходимо задаться предварительной высотой трубы в двух приближениях и по формуле определить действительную высоту:

$$H_{\text{д}} = \sqrt{A \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \frac{M_{\text{NO}_2}}{\text{ПДК}_{\text{NO}_2}} \cdot \sqrt[3]{\frac{1}{V_{\text{дг}} \cdot \Delta T}}}; \quad (5.8)$$

где  $A$  – коэффициент температурной стратификации атмосферы для данной местности, принимаем  $A=200$ ;

$F$  – коэффициент, учитывающий оседание частиц в воздухе, принимаем  $F=1$ ;

$V_{\text{дг}}$  – объем дымовых газов,  $\text{нм}^3/\text{с}$ ;

|      |      |          |       |      |
|------|------|----------|-------|------|
|      |      |          |       |      |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |

ПДК<sub>NO2</sub> – предельно допустимая среднесуточная концентрация NO<sub>2</sub>, мг/м<sup>3</sup>, принимается по [5] равным 0,04 мг/м<sup>3</sup>;

m, n – безразмерные коэффициенты.

Коэффициент m определяется по формуле:

$$m = \frac{1,47}{\sqrt[3]{f}}, \text{ если } f \geq 100; \quad (5.9)$$

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt[2]{f} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{f}}, \text{ если } f \leq 100, \quad (5.10)$$

где f – безразмерный коэффициент, определяется по формуле:

$$f = \frac{10^3 \cdot \omega_{\phi}^2 \cdot D_{ст}}{(H^{зад})^2 \cdot \Delta T}, \quad (5.11)$$

где H<sup>зад</sup> – заданная высота дымовой трубы, м;

ΔT – разница температур дымовых газов и наружного воздуха, определяется по формуле:

$$\Delta T = t_{дг} - t_{н}; \quad (5.12)$$

$$\Delta T = 190 - (-34) = 224 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Коэффициент n определяется в зависимости от коэффициента v<sub>m</sub>, который определяется по формуле:

$$v_m = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_{дг} \cdot \Delta T}{H^{зад}}}. \quad (5.13)$$

Если v<sub>m</sub> > 2, то n = 1.

Если 0,5 < v<sub>m</sub> < 2, то коэффициент n определяется по формуле:

$$n = 0,532 \cdot v_m^2 - 2,13 \cdot v_m + 3,113. \quad (5.14)$$

Если v<sub>m</sub> < 0,5, то коэффициент n определяется по формуле:

$$n = 4,4 \cdot v_m. \quad (5.15)$$

|      |      |          |       |      |                             |      |
|------|------|----------|-------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |       |      | 13.03.01.2019.379.01 ПЗ ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                             | 52   |



После того, как определили действительную высоту дымовой трубы в двух приближениях, необходимо нанести найденные значения на числовое поле. На числовом поле из начала координат нужно провести биссектрису поля и отметить две точки – действительные высоты дымовой трубы в двух приближениях. Затем нужно соединить отрезком две точки действительной высоты трубы и на месте пересечения этого отрезка и биссектрисы числового поля будет находиться искомая высота дымовой трубы – ее отмеряют на ординате числового поля.

Определим действительную высоту дымовой трубы.

Задаемся высотой в первом приближении  $H_1^{\text{зад}}=1$  м.

Определим коэффициент  $f$  по формуле (5.11):

$$f = \frac{10^3 \cdot 17,4^2 \cdot 0,8}{1^2 \cdot 224} = 1081 > 100,$$

поэтому коэффициент  $m$  определяется по формуле (5.9):

$$m = \frac{1,47}{\sqrt[3]{1081}} = 0,14$$

Определим коэффициент  $v_m$  по формуле (5.13):

$$v_m = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{12,94 \cdot 224}{1}} = 9,27 > 2,$$

значит коэффициент  $n=1$ .

Определим действительную высоту дымовой трубы в первом приближении по формуле (5.8):

$$H_d = \sqrt{200 \cdot 1 \cdot 0,14 \cdot 1 \cdot \frac{1,73}{0,04} \cdot \sqrt[3]{\frac{1}{12,94 \cdot 224}}} = 9,2 \text{ м.}$$

|      |      |          |       |      |
|------|------|----------|-------|------|
|      |      |          |       |      |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |

Задаемся высотой во втором приближении  $H_2^{\text{зад}}=40$  м.

Определим коэффициент  $f$  по формуле (5.11):

$$f = \frac{10^3 \cdot 17,4^2 \cdot 0,8}{40^2 \cdot 224} = 0,7 < 100,$$

поэтому коэффициент  $m$  определяется по формуле (5.10):

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt[2]{0,7} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{0,7}} = 0,95.$$

Определим коэффициент  $v_m$  по формуле (5.13):

$$v_m = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{12,94 \cdot 224}{40}} = 2,71 > 2,$$

значит коэффициент  $n=1$ .

Определим действительную высоту дымовой трубы в первом приближении по формуле (5.8):

$$H_d = \sqrt{200 \cdot 1 \cdot 0,95 \cdot 1 \cdot \frac{1,73}{0,04} \cdot \sqrt[3]{\frac{1}{12,94 \cdot 224}}} = 24,01 \text{ м.}$$

Числовое поле изображено на рисунке 5.1. Искомая высота дымовой трубы 14,2 м.

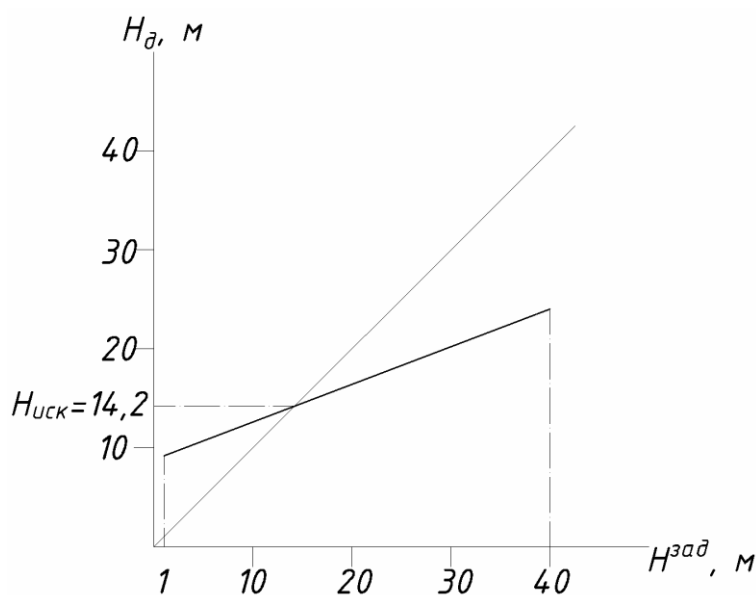


Рисунок 5.1 – Числовое поле для определения высоты дымовой трубы

|      |      |          |       |      |
|------|------|----------|-------|------|
|      |      |          |       |      |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |

В данном проекте принимаем 6 дымовых труб высотой 14,2 м, причем у каждого из шести котлов индивидуальная дымовая труба.

Максимальная приземная концентрация не должна превышать десятикратной предельно допустимой среднесуточной концентрации. Она определяется по формуле:

$$C_{\text{NO}_2} = \frac{A \cdot M_{\text{NO}_2} \cdot F \cdot m \cdot n}{H_{\text{иск}}^2 \cdot \sqrt[3]{V_{\text{дг}} \cdot \Delta T}} \quad (5.16)$$

Для вычисленной искомой высоты дымовой трубы  $H^{\text{иск}}=14,2$  м определим коэффициенты, необходимые для расчета  $C_{\text{NO}_2}$ .

Определим коэффициент  $f$  по формуле (5.11):

$$f = \frac{10^3 \cdot 17,4^2 \cdot 0,8}{14,2^2 \cdot 224} = 5,4 < 100,$$

поэтому коэффициент  $m$  определяется по формуле (5.10):

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt[2]{5,4} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{5,4}} = 0,67.$$

Определим коэффициент  $v_m$  по формуле (5.13):

$$v_m = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{12,94 \cdot 224}{14,2}} = 3,83 > 2,$$

значит коэффициент  $n=1$ .

Определим максимальную приземную концентрацию вредных веществ по формуле (5.16):

$$C_{\text{NO}_2} = \frac{200 \cdot 1,73 \cdot 1 \cdot 0,67 \cdot 1}{14,2^2 \cdot \sqrt[3]{12,94 \cdot 224}} = 0,02 \frac{\text{мг}}{\text{м}^3}.$$

Десятикратный размер среднесуточной предельно допустимой концентрации равен  $0,4 \text{ мг/м}^3$ .

|      |      |          |       |      |                             |      |
|------|------|----------|-------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |       |      | 13.03.01.2019.379.01 ПЗ ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                             | 55   |

Сравним максимально приземную концентрацию и десятикратный размер среднесуточной ПДК:

$$C_{\text{NO}_2} = 0,02 \frac{\text{мг}}{\text{м}^3} < 10\text{ПДК}_{\text{NO}_2} = 0,4 \frac{\text{мг}}{\text{м}^3}.$$

Можем сделать вывод, что при найденной графоаналитическим способом искомой высоты дымовой трубы условие рассеивания оксида азота выполняется. Значит в данном проекте дымовые трубы принимаются высотой 14,2 м.

|      |      |          |       |      |                             |      |
|------|------|----------|-------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |       |      | 13.03.01.2019.379.01 ПЗ ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                             | 56   |

## **6 ОТОПЛЕНИЕ И ВЕНТИЛЯЦИЯ**

При проектировании систем вентиляции и отопления следует учитывать, что котельная предназначена для работы с постоянным присутствием обслуживающего персонала. Согласно [2] температура внутреннего воздуха в таком случае равна 17 °С. Также согласно [2] в помещении котельной, работающей на газообразном топливе при постоянном присутствии обслуживающего персонала следует предусматривать не менее трехкратного воздухообмена в 1 час без учета воздуха на горение. То есть принимаем трехкратный воздухообмен в сумме с воздухом на горение топлива.

### **6.1 Вентиляция котельного зала**

Для нормального функционирования котельной требуется достаточное количество воздуха, обеспечивающее необходимый воздухообмен и расход воздуха на горение, иначе сгорание топлива будет неполным. Также работа в режиме, когда воздуха в котельном зале недостаточно, опасна образованием угарного газа. Котельная предназначена для работы с постоянным пребыванием персонала, а даже очень малые количества угарного газа вызывают головную боль, слабость и могут привести к трагическим последствиям.

Также в котельном зале необходима установка эффективной вытяжки, которая будет препятствует образованию гари и не будет позволять тяге снизиться.

В данном проекте предусмотрена система вентиляции с механическим побуждением. Установки располагаются на высоте 5 метров от пола. Воздухообмен осуществляется по схеме «сверху-вверх».

#### **6.1.1 Приточная вентиляция**

Приточная установка рассчитывается на расход воздуха, равный трехкратному воздухообмену согласно [2] в сумме с воздухом, подаваемый на горение, так как воздух на горение забирается непосредственно из помещения.

|      |      |          |       |      |                             |      |
|------|------|----------|-------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |       |      | 13.03.01.2019.379.01 ПЗ ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                             | 57   |

Расход воздуха на горение определяется по формуле:

$$L_{\Gamma} = V_{\text{в}} \cdot \alpha \cdot \frac{Q \cdot 860}{Q_{\text{p}}^{\text{н}} \cdot \eta}, \quad (6.1)$$

где  $V_{\text{в}}$  – действительный объем воздуха на горение,  $\frac{\text{нм}^3}{\text{м}^3}$ , принимается по п. 4.1 равным  $10,420 \text{ нм}^3/\text{м}^3$ ;

$\alpha$  – коэффициент избытка воздуха, принимается по п. 4.1 равным 1,15;

$Q$  – тепловая мощность котельной, кВт, принимается по техническому заданию 120000 кВт;

$\eta$  – коэффициент полезного действия котельной, принимается по техническому паспорту котла, в данном проекте 90%.

$$L_{\Gamma} = 10,420 \cdot 1,15 \cdot \frac{120000 \cdot 860}{33634 \cdot 0,9} = 40853 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}.$$

Определим расход воздуха на обеспечения трехкратного воздухообмена:

$$L_{\text{п}} = K \cdot V_{\text{п}}, \quad (6.2)$$

где  $K$  – кратность воздухообмена, определяется по [2], в данном проекте принимается трехкратным;

$V_{\text{п}}$  – объем обслуживаемого помещения, принимается по техническому заданию и равен  $10868 \text{ м}^3$ .

$$L_{\text{п}} = 3 \cdot 10868 = 32604 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}.$$

Определим общий расход воздуха через приточные вентиляционные установки по формуле:

$$L = L_{\Gamma} + L_{\text{п}}; \quad (6.3)$$

$$L = 40853 + 32604 = 73457 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}.$$

В данном проекте предусмотрена установка шести приточных установок, включающих в себя воздушных клапан, фильтр, водяной нагреватель, вентиляторную секцию и шумоглушитель. Расход через каждую установку определяется по формуле:

|      |      |          |       |      |                             |      |
|------|------|----------|-------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |       |      | 13.03.01.2019.379.01 ПЗ ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                             | 58   |

$$L_1 = \frac{L}{6}; \quad (6.4)$$

$$L_{п1} = \frac{73457}{6} = 12243 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}.$$

Подбор приточной установки производится в программе «DexVent». Результаты подбора приведены на рисунке 6.1.

#### ТЕХНИЧЕСКИЙ ЛИСТ

##### Приточная установка

|   |                                       |   |                           |
|---|---------------------------------------|---|---------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> Типоразмер    | : 100-50                              | <input checked="" type="checkbox"/> Производительность  | : 12243 м <sup>3</sup> /ч |
| <input checked="" type="checkbox"/> Маркировка    | : DEX-V-FWS-100-50                    | <input checked="" type="checkbox"/> Располагаемый напор | : 400 Па                  |
| <input checked="" type="checkbox"/> Вес установки | : 175.4 кг                            | <input checked="" type="checkbox"/> Автоматика          | : включена                |
| <input checked="" type="checkbox"/> Габариты      | : Н: 560 мм , W: 1140 мм , L: 2341 мм | <input checked="" type="checkbox"/> Скорость воздуха    | : 2.4444 м/сек            |

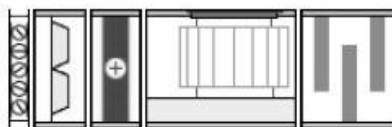


Рисунок 6.1 – Приточная установка

К установке принимаем DEX-V-FWS-100-50 типоразмера 100-50. Она включает в себя воздушный клапан Z100-50, фильтр F3, водяной нагреватель W100-50/2R, вентиляторную секцию V100-50 и шумоглушитель S100-50. Также установка включает в себя комплекс автоматики DCC 3.7-W.

Мощность калорифера определим по формуле:

$$Q = 0,278 \cdot L \cdot \rho \cdot c \cdot (t_k - t_H), \quad (6.5)$$

где  $t_k$  – температура конечного нагрева воздуха в калорифере, принимается меньше на 1°C температуры приточного воздуха;

$$t_k = 16 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$\rho$  – плотность воздуха,  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , определенная при  $t_k$  по формуле:

$$\rho = \frac{353}{273 + t_k}; \quad (6.6)$$

$$\rho = \frac{353}{273 + 16} = 1,22 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

$c$  – удельная теплоёмкость воздуха,  $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$ ;

|      |      |          |       |      |                             |      |
|------|------|----------|-------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |       |      | 13.03.01.2019.379.01 ПЗ ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                             | 59   |

$$c=1,005 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{°C}};$$

$t_n$  – температура наружного воздуха по параметрам Б, °С;

$$t_n = -34 \text{ °С.}$$

$$Q = 0,278 \cdot 12243 \cdot 1,22 \cdot 1,005 \cdot (16 + 34) = 208655 \text{ Вт.}$$

### 6.1.2 Вытяжная вентиляция

Вытяжная установка рассчитывается на расход воздуха, равный трехкратному воздухообмену, без учета воздуха, подаваемого на горение. Воздух, который подается на горение, удаляется через дымовые трубы.

В проекте предусмотрено шесть вытяжных установок, поэтому расход воздуха через каждую установку определяется по формуле:

$$L_{B1} = \frac{L_p}{6}; \quad (6.7)$$

$$L_{B1} = \frac{32604}{6} = 5434 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}.$$

Вытяжная вентиляционная установка включает в себя воздушный клапан, вентиляторную секцию и шумоглушитель.

Подбор вытяжной установки производится по программе «DexVent». Результаты подбора приведены на рисунке 6.2.

#### ТЕХНИЧЕСКИЙ ЛИСТ

##### Вытяжная установка

|                                     |               |                                      |                                     |                     |                          |
|-------------------------------------|---------------|--------------------------------------|-------------------------------------|---------------------|--------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> | Типоразмер    | : 70-40                              | <input checked="" type="checkbox"/> | Производительность  | : 5434 м <sup>3</sup> /ч |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Маркировка    | : DEX-V-S-70-40                      | <input checked="" type="checkbox"/> | Располагаемый напор | : 400 Па                 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Вес установки | : 89 кг                              | <input checked="" type="checkbox"/> | Автоматика          | : включена               |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Габариты      | : Н: 440 мм , W: 740 мм , L: 1768 мм | <input checked="" type="checkbox"/> | Скорость воздуха    | : 1.3909 м/сек           |

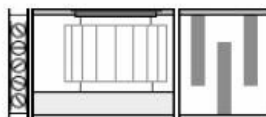


Рисунок 6.2 – Вытяжная установка

К установке принимаем DEX-V-S-70-40 типоразмера 70-40. Она включает в себя воздушный клапан Z70-40, вентиляторную секцию V70-40 и

|      |      |          |       |      |                             |      |
|------|------|----------|-------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |       |      | 13.03.01.2019.379.01 ПЗ ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                             | 60   |



шумоглушитель S70-40. Также установка включает в себя комплекс автоматики DCC 3.4-Z.

## 6.2 Отопление котельного зала

В данном проекте принимаем двухтрубную горизонтальную систему отопления. Для увязки трубопроводов на обратной линии устанавливается автоматический балансировочный клапан, а на подающей линии устанавливается клапан-партнер. Трубопроводы диаметром 50 мм и более принимаются из стальных электросварных прямошовных труб, а трубопроводы диаметром менее 50 мм принимаются из стальных водогазопроводных труб. Для уменьшения теплопотерь трубопроводов применяют тепловую изоляцию. Для облегчения слива теплоносителя и выпуска воздуха трубопроводы прокладывают с уклоном.

Для определения тепловой нагрузки системы отопления необходимо составить уравнение теплового баланса. Оно составляется с учетом теплопотерь котельной и ее теплопоступлений. Тепловые потери котельной это потери через наружные ограждающие конструкции ( $Q_{НОК}$ ), потери на нагрев приточного воздуха для обеспечения трехкратного воздухообмена в сумме с воздухом на горение топлива ( $Q_{ВЕНТ}$ ). Тепловыми поступлениями котельной являются теплопоступления от оборудования котельной ( $Q_{об}$ ) и теплопоступления от системы отопления котельной ( $Q_{СО}$ ).

С учетом всех тепловых потерь и тепловых поступлений составляем уравнение теплового баланса, которое имеет вид:

$$Q_{СО} + Q_{об} = Q_{НОК} + Q_{ВЕНТ} \quad (6.8)$$

Выразим тепловую нагрузку системы отопления котельной из уравнения (6.1):

$$Q_{СО} = Q_{НОК} + Q_{ВЕНТ} - Q_{об} \quad (6.9)$$

|      |      |          |       |      |                             |      |
|------|------|----------|-------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |       |      | 13.03.01.2019.379.01 ПЗ ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                             | 61   |

## 6.2.1 Расчет тепловых потерь через наружные ограждающие конструкции

Расчет теплотерь через наружные ограждающие конструкции ведется согласно методике, изложенной в [9].

Наружной ограждающей конструкцией считаем элемент конструкции, отделяющей помещение от среды с температурой ниже температуры помещения на 3 °С.

Тепловые потери через каждое наружное ограждение или его часть определяют по формуле:

$$Q_{\text{огр}} = K \cdot A \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \cdot n \cdot (1 + \sum \beta), \quad (6.10)$$

где  $A$  – расчетная площадь наружной ограждающей конструкции или ее части,  $\text{м}^2$ , принимается по архитектурно-строительным чертежам;

$t_{\text{в}}$  – расчетная температура внутреннего воздуха, °С, принимается по [2] с учетом того, что котельная предназначена для работы с постоянным присутствием персонала;

$t_{\text{н}}$  – расчетная температура наружного воздуха, °С, принимается по [1] температура наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92;

$n$  – коэффициент, учитывающий фактическое понижение разности температуры для ограждения, которое отделяет отапливаемое помещение от неотапливаемого;

$\beta$  – коэффициент, учитывающий добавочные тепловые потери;

$K$  – коэффициент теплопередачи наружного ограждения,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°С}}$ , определяется из теплотехнического расчета по формуле:

$$K = \frac{1}{R_{\text{о}}^{\text{пр}}}, \quad (6.11)$$

где  $R_{\text{о}}^{\text{пр}}$  – приведенное сопротивление теплопередаче ограждения,  $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{°С}}{\text{Вт}}$ , принимается по техническому заданию.

|      |      |          |       |      |                             |      |
|------|------|----------|-------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |       |      | 13.03.01.2019.379.01 ПЗ ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                             | 62   |

Площадь наружных ограждающих конструкций при расчете тепловых потерь вычисляют с точностью до  $0,01 \text{ м}^2$ , используя размеры ограждений в метрах, которые были сняты с точностью  $0,1 \text{ м}$  с планов и разрезов здания.

Площади таких ограждающих конструкций, как окна и наружные двери, измеряют по наименьшему строительному проему.

Площадь пола, расположенного на грунте, определяют с условной их разбивкой на IV зоны. Зоны делят полосами шириной  $2 \text{ м}$  параллельно стыку наружной стены и поверхности земли. Зоной I является полоса, которая ближе всех находится к наружной стене. Следующие полосы II и III также шириной  $2 \text{ м}$ . Остальная часть пола является зоной IV. Причем одна из зон может начинаться на стене, а заканчиваться на полу. Сопротивление теплопередачи неутепленного пола следует принимать  $R_I=2,1 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$  для зоны I;  $R_{II}=4,3 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$  для зоны II;  $R_{III}=8,6 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$  для зоны III;  $R_{IV}=14,2 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$  для зоны IV.

Тепловые потери, рассчитанные без учета добавочных (то есть при  $\sum \beta=0$ ) называются основными. Дополнительные потери теплоты учитываются добавками к основным тепловым потерям, задаваемых в долях единицы.

Добавочные тепловые потери на ориентацию наружного ограждения по сторонам света принимают для всех наружных вертикальных ограждений. Величины добавок равны: для северной, северо-восточной, северо-западной, восточной ориентации  $\beta=0,1$ ; для юго-восточной и западной ориентации  $\beta=0,05$ ; для южной и юго-западной ориентации  $\beta=0$ . В типовых проектах на все стороны света разрешено принимать  $\beta=0,08$ .

Добавочные тепловые потери на угловые помещения (имеющие две или более наружные стены) принимают  $\beta=0,05$  к основным тепловым потерям.

В угловых помещениях температура внутреннего воздуха принимается на  $2 \text{ °C}$  выше, а добавка на угол не вводится.

Добавочные тепловые потери на врывание холодного воздуха через наружные двери в здания, не оборудованные воздушно-тепловыми завесами,

|      |      |          |       |      |                             |      |
|------|------|----------|-------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |       |      | 13.03.01.2019.379.01 ПЗ ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                             | 63   |

при их кратковременном открывании принимается к основным тепловым потерям дверей. В здании высотой  $H$  эта добавка равна  $\beta=0,2 \cdot H$  – для тройных дверей с двумя тамбурами между ними,  $\beta=0,27 \cdot H$  – для двойных дверей с тамбуром между ними,  $\beta=0,34 \cdot H$  – для двойных дверей без тамбура,  $\beta=0,22 \cdot H$  – для одинарных дверей. Наружные ворота при отсутствии тамбура и воздушно-тепловых завес рассчитываются с добавкой  $\beta=3$ , а при наличии тамбура у ворот с добавкой  $\beta=1$ .

Расчет ведется в табличной форме.

Для удобства расчета принято площадь наружной стены принимать равной суммарной площади стены и окна, расположенных в ней. При этом в качестве коэффициента теплопередачи окна используется разность коэффициентов теплопередачи окна и наружной стены. Наружная стена и расположенная в ней входная дверь рассчитываются отдельно.

Исходные данные для расчета:

- сопротивление теплопередаче наружной стены  $R_{нс}=2,03 \frac{м^2 \cdot ^\circ C}{Вт}$ ;
- сопротивление теплопередаче чердачного перекрытия  $R_{чп}=2,03 \frac{м^2 \cdot ^\circ C}{Вт}$ ;
- сопротивление теплопередаче наружной двери  $R_{дв}=0,82 \frac{м^2 \cdot ^\circ C}{Вт}$  - дверь одинарная без тамбура;
- сопротивление теплопередаче наружных ворот  $R_{дв}=0,82 \frac{м^2 \cdot ^\circ C}{Вт}$  – ворота без наличия тамбура;
- сопротивление теплопередаче окон  $R_{ок}=0,62 \frac{м^2 \cdot ^\circ C}{Вт}$ .

В качестве примера рассчитаем теплотери через наружную стену 1.

Ориентация наружной стены юго-западная.

Размеры стены  $48,5 \times 11,5$  м. Площадь ограждения  $557,75$  м<sup>2</sup>.

Определим коэффициент теплопередачи по формуле (6.11):

|      |      |          |       |      |                             |      |
|------|------|----------|-------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |       |      | 13.03.01.2019.379.01 ПЗ ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                             | 64   |

$$K = \frac{1}{2,03} = 0,49 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$$

Определим добавочные тепловые потери выбранного ограждения. Они включают в себя надбавку на ориентацию по сторонам света, в нашем случае  $\beta_0=0$ . Также к добавочным теплопотерям отнесется добавка на угловое помещение  $\beta=0,05$ .

Определим тепловые потери наружной стены 1 по формуле (6.10):

$$Q_{\text{огр}} = 0,49 \cdot 557,75 \cdot (17 + 34) \cdot 1 \cdot (1 + 0 + 0,05) = 14635 \text{ Вт.}$$

Аналогично выполняется расчет остальных теплопотерь через наружные ограждающие конструкции. Результаты расчета сведены в таблицу Б1 приложения Б.

Суммарные тепловые потери через наружные ограждающие конструкции равны 85731 Вт.

### 6.2.2 Расчет тепловых потерь на нагрев наружного воздуха

Тепловые потери на нагрев наружного воздуха определяются в зависимости от расхода наружного воздуха и определяется по формуле:

Определим теплопотери на нагрев наружного воздуха по формуле:

$$Q_{\text{вент}} = 0,278 \cdot c \cdot (L_{\text{Г}} + L_{\text{П}}) \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \cdot \rho, \quad (6.12)$$

где  $c$  – удельная теплоемкость воздуха,  $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{°C}}$ , для теплотехнических расчетов принимаем  $1,005 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{°C}}$ ;

$t_{\text{в}}$  – температура внутреннего воздуха,  $\text{°C}$ , принимается по [2], так как котельная предназначена для работы с постоянным присутствием персонала, то в проекте принимаем  $17 \text{ °C}$ ;

$t_{\text{н}}$  – температура наружного воздуха,  $\text{°C}$ , наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92, принимается по [1] равной  $-34 \text{ °C}$ ;

|      |      |          |       |      |                             |      |
|------|------|----------|-------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |       |      | 13.03.01.2019.379.01 ПЗ ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                             | 65   |

$\rho$  – плотность воздуха,  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , для теплотехнических расчетов принимаем  $1,2 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ .

$$Q_{\text{вент}} = 0,278 \cdot 1,005 \cdot (40853 + 32604) \cdot (17 + 34) \cdot 1,2 = 1256017 \text{ Вт.}$$

### 6.2.3 Расчет тепловых поступлений от оборудования котельной

Тепловые поступления от оборудования котельной принимаются в размере 1% от тепловой мощности самой котельной, то есть определяются по формуле:

$$Q_{\text{об}} = 0,01 \cdot Q, \quad (6.13)$$

где  $Q$  – тепловая нагрузка котельной, принимается по техническому заданию 120 МВт.

$$Q_{\text{об}} = 0,01 \cdot 120000000 = 1200000 \text{ Вт.}$$

### 6.2.4 Тепловой баланс

С учетом выполненных выше расчетов можем определить нагрузку на систему отопления котельной по уравнению (6.6).

Тепловые потери через наружные ограждающие конструкции котельной равны 45905 Вт. Тепловые потери на нагрев наружного воздуха равны 1299363 Вт. Тепловые поступления от оборудования котельной равны 1200000 Вт.

$$Q_{\text{со}} = 85731 + 1256017 - 1200000 = 141748 \text{ Вт.}$$

|      |      |          |       |      |                             |      |
|------|------|----------|-------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |       |      | 13.03.01.2019.379.01 ПЗ ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                             | 66   |

## 7 АВТОМАТИЗАЦИЯ РАБОТЫ КОТЕЛЬНОЙ

В проектах котельных необходимо предусматривать защиту оборудования (автоматику безопасности), сигнализацию, автоматическое регулирование, контроль, входящие в автоматизированную систему управления технологическими процессами котельной (АСУ ТП).

Автоматизация разработана в соответствии с действующими государственными нормами, правилами и стандартами, согласно техническому заданию на проектирование.

В котельной устанавливается шесть водогрейных котлов марки Vitomax 200-LW типа M64A фирму Viessmann (Германия) мощностью 20000 кВт каждый. Горелочные устройства моделируемые комбинированные (газ/дизель) модели GKT-23A с системой управления WD 200 фирмы Onion (Финляндия). Котлы №4, №5, №6 дополнительно оборудованы модулем FGR, обеспечивающим низкие выбросы оксидов азота  $NO_x$  при работе на природном газе путем рециркуляции дымовых газов.

В комплекте с горелками поставляется газовая арматура, элементы которой смонтированы в соответствии со стандартом. Горелки оснащены автоматической системой контроля факела, в качестве датчика контроля факела горелки используется инфракрасный датчик.

Устройства автоматики (программное реле) смонтировано в отдельном шкафу управления, который поставляется комплектно с горелкой. Программные реле управляют всеми циклами работы горелки. При возникновении аварийной ситуации, автоматика отключает горелку. В горелках с системой контроля выбросов оксида азота  $NO_x$  в шкаф горелки встроен блок управления заслонками рециркуляции дымовых газов.

Автоматика горелки прекращает подачу топлива при:

- повышении и понижении давления газообразного топлива перед горелкой;
- повышении давления жидкого топлива перед горелкой;
- понижении давления воздуха перед горелкой;

|      |      |          |       |      |                             |      |
|------|------|----------|-------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |       |      | 13.03.01.2019.379.01 ПЗ ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                             | 67   |

–погасании факела горелки.

Автоматика котлов прекращает подачу газа или жидкого топлива к горелкам при:

- повышении температуры воды на выходе из котла;
- повышении давления воды на выходе из котла;
- понижении давления воды на выходе из котла.

Автоматика управления котельной прекращает подачу газа и жидкого топлива к горелкам при неисправности цепей защиты, включая исчезновение напряжения.

Для автоматического отключения газа при сигнале загазованности помещения котельной и отключении электроэнергии предусмотрен клапан электромагнитный предохранительно-запорный КПЗЭ–200. Авария извещается световым сигналом, а превышение концентрации СО и СН<sub>4</sub> в котельном зале еще и световым сигналом над входом в котельную снаружи.

Котельная работает с постоянным присутствием обслуживающего персонала, поэтому проектом предусматривается вывод в помещение с постоянным присутствием персонала следующих сигналов:

- неисправности оборудования;
- срабатывания запорных клапанов газопровода и топливопровода;
- загазованности.

В проекте автоматизации котельной изложены решения по установке средств контроля, управления и автоматизации оборудования котельной. Это обеспечивает надежную, экономичную и безаварийную эксплуатацию котельной. В результате подбора комплекта автоматики для горелки получаем, что при возникновении аварийной ситуации автоматика отключает горелочное устройство. Также она прекращает подачу топлива при повышении и

|      |      |          |       |      |                             |      |
|------|------|----------|-------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |       |      | 13.03.01.2019.379.01 ПЗ ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                             | 68   |



понижении давления газообразного топлива перед горелкой, при повышении давления жидкого топлива перед горелкой, при понижении давления воздуха перед горелкой и при погасании факела горелки. В результате подбора комплекта автоматики для котлов получаем прекращение подачи топлива к горелкам при повышении температуры воды на выходе из котла, при повышении давления воды на выходе из котла и при понижении давления воды на выходе из котла. Также автоматика управления прекращает подачу топлива к горелочным устройствам при неисправности цепей защиты.

|      |      |          |       |      |                             |      |
|------|------|----------|-------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |       |      | 13.03.01.2019.379.01 ПЗ ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                             | 69   |

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном проекте была запроектирована водогрейная газовая котельная мощностью 120 МВт для инвестиционных проектов: тепличный комплекс в г. Усть-Катав с досветкой – «Горный», логистический центр сельскохозяйственной продукции с переработкой, комплекс легких теплиц по адресу: Челябинская область, г. Усть-Катав, п. Малый Бердяш.

В ходе проектирования была составлена и рассчитана тепловая схема котельной и подобрано основное оборудование. Также выполнен расчет теоретических и действительных объемов воздуха, необходимого для полного сгорания топлива, и продуктов сгорания. Был выполнен расчет дымовых труб и определены их искомые высоты. Также рассчитаны и подобраны системы отопления и вентиляции котельного зала. В проекте была предусмотрена автоматизация работы котельной.

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы были закреплены и применены на практике теоретические знания, полученные в ходе обучения.

|      |      |          |       |      |                             |      |
|------|------|----------|-------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |       |      | 13.03.01.2019.379.01 ПЗ ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                             | 70   |

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 СП 131.13330.2012 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99\* (с Изменением N 2). – Минрегион России, 2015 – 120 с.

2 СП 89.13330.2016 Котельные установки. Актуализированная редакция СНиП II-35-76. – Минрегион России, 2015 – 112 с.

3 Расчет тепловых схем и подбор основного и вспомогательного оборудования котельных : учебное пособие / Е. В. Шумилин. – Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2013. – 39 с.

4 Профессиональное проектирование и расчет оборудования Reflex. – М. Рефлекс, 2016. – 72 с.

5 Методика определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при сжигании топлива в котлах производительностью менее 30 тонн пара в час или менее 20 Гкал в час. – М1999. – 76 с.

6 Принадлежности для водогрейных котлов. М.: Viessmann. – 22 с.

7 СП 43.13330.2012 Сооружения промышленных предприятий. Актуализированная редакция СНиП 2.09.03-85 (и Изменением N 1). – Минрегион России, 2012. – 120 с.

8 Наладка и эксплуатация водяных тепловых сетей: Справочник / В. И. Манюк, Я. И. Каплинский, Э. Б. Хиж и др. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1988. – 432 с.

9 Руководство по расчету теплотерь помещений и тепловых нагрузок на систему отопления жилых и общественных зданий. – М.: НП «АВОК» 2.3. – 2012. – 31 с.

10 Справочник проектировщика проектирование тепловых сетей / под ред. инж. А. А. Николаева, М.: Стройиздат, 1965. – 360 с.

11 Технический паспорт котла Vitomax 200–LW. – М.: Viessmann, 2012. – 8 с.

12 СП 41-104-2000 Проектирование автономных источников теплоснабжения. – М.: Госстрой России, 2000. – 23 с.

|      |      |          |       |      |                             |      |
|------|------|----------|-------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |       |      | 13.03.01.2019.379.01 ПЗ ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                             | 71   |

13 СП 124.13330.2012 Тепловые сети. Актуализированная редакция СНиП 41-02-2003. – Минрегион России, 2012. – 74 с.

14 Котельные установки и парогенераторы (тепловой расчет парового котла): Учебное пособие / Е. А. Бойко, И. С. Деринг, Т. И. Охорзина. Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2005. – 96 с.

15 60.13330.2012 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. – М.: Минрегион России, 2012. – 62 с.

16 ГОСТ 5542-87. Газы горячие природные для промышленного и коммунально-бытового назначения. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 2 с.

17 СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. – М.: Госстрой России, 2013. – 139 с.

18 Кострюков, В. А. Примеры расчетов по отоплению и вентиляции: учебное пособие / В.А. Кострюков. М.: Стройиздат, 1964. – 202 с.

19 Волошенко, А.В. Проектирование систем автоматического контроля и регулирования / А. В. Волошенко.: Томск – Издательство Томского политехнического университета, 2011. – 104 с.

20 Богословский В. Н. Внутренние санитарно-технические устройства. В 60 В 3 ч. Ч. I. Отопление / В. Н. Богословский, Б. А. Крупнов, А. Н. Сканава и др.; Под ред. И.Г. Староверова и Ю. И. Шиллера. – 4-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1990. – 334 с.

21 ГОСТ 305-2013. Топливо дизельное. Технические условия. – М.: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2013. – 30 с.

|      |      |          |       |      |                             |      |
|------|------|----------|-------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |       |      | 13.03.01.2019.379.01 ПЗ ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |                             | 72   |

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Таблица А1 – Расчет тепловой схемы котельной

| №<br>п/п | Величина  | Обозначение      | Значения для расчетных режимов |       |      |
|----------|---|------------------|--------------------------------|-------|------|
|          |   |                  | МЗ                             | ХМ    | Л    |
| 1        | Расположение котельной  | –                | Усть-Катав                     |       |      |
| 2        | Тепловой поток на отопление, МВт  | $Q_o$            | 98,16                          | –     | –    |
| 3        | Тепловой поток на вентиляцию, МВт   | $Q_v$            | 2,26                           | –     | –    |
| 4        | Тепловой поток на горячее водоснабжение, МВт  | $Q_{ГВС}$        | 2,09                           | 2,09  | 1,74 |
| 5        | Расчетная температура наружного воздуха, °С   | $t_n$            | -34                            | -15,8 | 8    |
| 6        | Расчетная температура внутреннего воздуха, °С   | $t_v$            | 18                             | 18    | 18   |
| 7        | Расчетная температура сырой воды, °С  | $t_{св}$         | 5                              | 5     | 15   |
| 8        | Температура подогретой сырой воды перед ХВО, °С   | $t'_{хов}$       | 20                             | 20    | 20   |
| 9        | Температура подпиточной воды после охладителя деаэрированной воды, °С                       | $t''_{подп}$     | 70                             | 70    | 70   |
| 10       | Коэффициент собственных нужд ХВО  | $K_{хво}$        | 1,3                            | 1,3   | 1,3  |
| 11       | Температура воды на выходе из водогрейных котлов, °С  | $t_1^{БК}$       | 105                            | 105   | 105  |
| 12       | Температура воды на входе в водогрейный котел, °С   | $t_2^{БК}$       | 80                             | 80    | 80   |
| 13       | Расчетная температура горячей воды после местных теплообменников горячего водоснабжения, °С | $t_{ГВС}^{потр}$ | 60                             | 60    | 60   |
| 14       | Температура греющей воды после подогревателя химически очищенной воды, °С                   | $t''_{гр}$       | 104                            | 104   | 104  |
| 15       | КПД подогревателей  | $\eta$           | 0,98                           | 0,98  | 0,98 |
| 16       | Процент утечек в тепловой сети, %   | $K_{тс}$         | 2                              | 2     | 2    |
| 17       | Коэффициент снижения расхода теплоты на отопление и вентиляцию                              | $K_{ов}$         | 1                              | 0,65  | –    |
| 18       | Температура воды в подающей линии тепловой сети, °С   | $t_1$            | 105                            | 75    | 80   |

Продолжение таблицы А1

| №<br>п/п | Величина  | Обозначение      | Значения для расчетных режимов |        |       |
|----------|---|------------------|--------------------------------|--------|-------|
|          |   |                  | МЗ                             | ХМ     | Л     |
| 19       | Температура обратной сетевой воды после систем отопления и вентиляции, °С     | $t_2$            | 80                             | 59     | 70    |
| 20       | Суммарный тепловой поток на отопление и вентиляцию, МВт                       | $Q_{ов}$         | 100,42                         | 65,27  | 0     |
| 21       | Суммарный расход теплоты на отопление, вентиляцию и ГВС, МВт                  | $Q$              | 102,51                         | 67,36  | 1,74  |
| 22       | Расход воды в трубопроводе горячего водоснабжения, т/ч                        | $G_{ГВС}^{потр}$ | 32,7                           | 110,6  | 27,2  |
| 23       | Расход сетевой воды на отопление и вентиляцию, т/ч                            | $G_{ов}$         | 3454,4                         | 3454,4 | 0     |
| 24       | Расход сетевой воды на отопление, вентиляцию и ГВС, т/ч                       | $G_{вн}$         | 3454,4                         | 3454,4 | 27,2  |
| 25       | Температура обратной сетевой воды после внешних потребителей, °С              | $t_{обр}$        | 79                             | 58     | 24    |
| 26       | Расход химически очищенной воды для восполнения утечек в тепловых сетях, т/ч  | $G_{хов}$        | 0,7                            | 0,7    | 0,01  |
| 27       | Расход сырой воды, поступающей на ХВО, т/ч                                    | $G_{св}$         | 0,9                            | 0,9    | 0,01  |
| 28       | Предварительный расход воды в подпиточной линии, т/ч                          | $G'_{подп}$      | 1,6                            | 1,6    | 0,01  |
| 29       | Температура подпиточной воды после деаэратора, °С                             | $t'_{подп}$      | 104                            | 104    | 104   |
| 30       | Температура подпиточной воды после охладителя деаэрированной воды, °С         | $t''_{подп}$     | 70                             | 70     | 70    |
| 31       | Температура химически очищенной воды после охладителя деаэрированной воды, °С | $t''_{хов}$      | 97                             | 97     | 96    |
| 32       | Предварительный расход греющей воды на подогреватель очищенной воды, т/ч      | $G_{гр}^{под}$   | 0,4                            | 0,4    | 0,001 |
| 33       | Температура химически очищенной воды, поступающей в деаэратор, °С             | $t_{хов}^д$      | 98                             | 98     | 96    |
| 34       | Проверка температуры подогретой сырой воды перед ХВО, °С                      | $t_{хов}$        | 20                             | 20     | 20    |

Окончание таблицы А1

| №<br>п/п | Величина  | Обозна-<br>чение           | Значения для расчетных режимов |        |          |
|----------|---|----------------------------|--------------------------------|--------|----------|
|          |   |                            | МЗ                             | ХМ     | Л        |
| 35       | Невязка между принятой ранее и полученной температурой подогретой сырой воды перед ХВО, % | $\Delta t_{\text{хов}}$    | 0                              | 0      | 0        |
| 36       | Расход греющей воды на деаэратор, т/ч   | $G_{\text{гр}}^{\text{д}}$ | 0,9                            | 0,9    | 0,01     |
| 37       | Проверка расхода воды в подпиточной линии, т/ч  | $G_{\text{подп}}$          | 1,6                            | 1,6    | 0,01     |
| 38       | Невязка между принятым ранее и полученным расходом воды подпиточной линии, %              | $\Delta G_{\text{подп}}$   | 2,0                            | 2,0    | 2,7      |
| 39       | Расход теплоты на подогрев сырой воды, МВт  | $Q_{\text{св}}$            | 0,02                           | 0,02   | 0,00004  |
| 40       | Расход теплоты на подогрев химически очищенной воды, МВт                                  | $Q_{\text{хов}}$           | 0,001                          | 0,001  | 0,000002 |
| 41       | Расход теплоты на деаэратор, МВт  | $Q_{\text{д}}$             | 0,001                          | 0,001  | 0,00001  |
| 42       | Расход теплоты на подогрев химически очищенной воды в охладителе деаэрированной воды, МВт | $Q_{\text{охл}}$           | 0,06                           | 0,06   | 0,0005   |
| 43       | Суммарный расход теплоты, который необходимо получить в котлах, МВт                       | $\Sigma Q$                 | 102,46                         | 67,32  | 1,74     |
| 44       | Расход воды через водогрейные котлы, т/ч  | $G_{\text{к}}$             | 3524,8                         | 2315,7 | 59,8     |
| 45       | Расход воды на рециркуляцию, т/ч  | $G_{\text{рец}}$           | 73,3                           | 1072,4 | 41,4     |
| 46       | Расход воды по перепускной линии, т/ч   | $G_{\text{пер}}$           | 0                              | 2209,5 | 8,4      |
| 47       | Расход сетевой воды через обратную линию (с учетом утечки), т/ч                           | $G_{\text{обр}}$           | 3385,4                         | 3385,4 | 26,7     |
| 48       | Расчетный расход воды через котлы, т/ч  | $G'_{\text{к}}$            | 3528,1                         | 2317,7 | 60,2     |
| 49       | Расход воды, поступающей к внешним потребителям по прямой линии, т/ч                      | $G'$                       | 3453,5                         | 3453,5 | 27,2     |
| 50       | Разница между найденным ранее и уточненным расходом воды внешними потребителями, %        | $\Delta G$                 | 0,03                           | 0,03   | 0,03     |

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблица Б1 – Расчет тепловых потерь через наружные ограждающие конструкции

| Характеристика ограждения |                                  |            |                            | Коэффициент теплопередачи<br>К, Вт/(м <sup>2</sup> ·°С) | (tв-тн)*п | Основные теплотери через ограждение, Вт | Добавочные теплотери |        | Коэф-т добав. теплотерь | Теплотери через ограждение, Вт |
|---------------------------|----------------------------------|------------|----------------------------|---|-----------|---|----------------------|--------|-------------------------|--------------------------------|
| Наименование              | Ориентация по сторонам горизонта | размеры, м | площадь, А, м <sup>2</sup> |   |           |   | на ориентацию        | прочие |                         |                                |
| НС1                       | ЮЗ                               | 48,5x11,5  | 557,75                     | 0,49  | 51        | 13938                                   | 0                    | 0,05   | 1,05                    | 14635                          |
| НС2                       | СЗ                               | 21,0x11,5  | 241,50                     | 0,49  | 51        | 6035                                    | 0,1                  | 0,05   | 1,15                    | 6940                           |
| НС3                       | СВ                               | 48,5x11,5  | 557,75                     | 0,49  | 51        | 13938                                   | 0,1                  | 0,05   | 1,15                    | 16029                          |
| НС4                       | ЮВ                               | 21,0x11,5  | 241,50                     | 0,49  | 51        | 6035                                    | 0,05                 | 0,05   | 1,1                     | 6639                           |
| ПТ                        | –                                | 21,0x48,5  | 1018,50                    | 0,49  | 51        | 25452                                   | –                    | –      | –                       | 25452                          |
| ПЛ                        | I                                | –          | 262                        | 0,48  | 51        | 6414                                    | –                    | –      | –                       | 6414                           |
|                           | II                               | –          | 230                        | 0,23  | 51        | 2698                                    | –                    | –      | –                       | 2698                           |
|                           | III                              | –          | 198                        | 0,12  | 51        | 1212                                    | –                    | –      | –                       | 1212                           |
|                           | IV                               | –          | 328,5                      | 0,07  | 51        | 1173                                    | –                    | –      | –                       | 1173                           |
| ОК1x6                     | ЮЗ                               | 1,5x1,5    | 2,25                       | 1,61  | 51        | 185                                     | 0                    | –      | 1                       | 185                            |
| ОК2x6                     | СВ                               | 1,5x1,5    | 2,25                       | 1,61  | 51        | 185                                     | 0,1                  | –      | 1,1                     | 203                            |
| ДВ                        | СВ                               | 1,5x2,2    | 3,30                       | 1,22  | 51        | 205                                     | 0,1                  | 0,48   | 1,58                    | 325                            |
| НВ                        | СВ                               | 3,0x5,0    | 15,00                      | 1,22  | 51        | 933                                     | 0,1                  | 3      | 4,1                     | 3827                           |
| Итого по помещению        |                                  |            |                            |   |           |   |                      |        |                         | 85731                          |