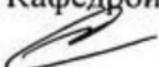


Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО "АмГУ")

Факультет Энергетический
Кафедра Энергетики
Направление подготовки 13.03.01 – Теплоэнергетика и теплотехника
Направленность (профиль) образовательной программы Энергообеспечение
предприятий

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Зав. Кафедрой

 Н.В.Савина

« 23 » 06 2018 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему: Очистка дымовых газов котельной 101 квартала города Благовещенск
Амурской области

Исполнитель

студент группы 442-об1(2)

 20.06.18
(подпись, дата)

Д.Ю. Озерова

Руководитель

профессор, д-р. техн. наук

 22.06.18
(подпись, дата)

О.В. Скрипко

Консультант:

по безопасности и

экологичности

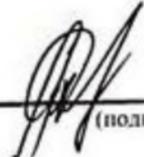
доцент, канд. техн. наук

 24.06.2018
(подпись, дата)

А.Б. Булгаков

Нормоконтроль

доцент


(подпись, дата)

А.Г. Ротачева

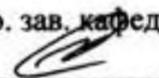
Благовещенск 2018

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

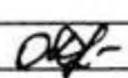
Факультет энергетический
Кафедра энергетики

УТВЕРЖДАЮ

И.о. зав. кафедрой


Н.В. Савина
«27» 05 2018 г.

ЗАДАНИЕ

- К выпускной квалификационной работе студента Озерова Дарья Юрьевна
1. Тема бакалаврской работы: Оценка доходных износительных 101 квартала города Благовещенск Амурской области
(утверждено приказом от _____ № _____)
 2. Срок сдачи студентом законченной работы 13.06.18
 3. Исходные данные к бакалаврской работе: Аспект кейсовый; схема тепловых сетей района; материалы получены на предприятии.
 4. Содержание бакалаврской работы (перечень подлежащих разработке вопросов): Процесс тепловых сетей, тепловых сетей, тепловых сетей. Выбор оборудования котельной.
 5. Перечень материалов приложения: (наличие чертежей, таблиц, графиков, схем, программных продуктов, иллюстративного материала и т.п.) Бизнес-план котельной, да таблицы, графики.
 6. Консультанты по выпускной квалификационной работе (с указанием относящихся к ним разделов) доктор, канд. техн. наук А.В. Бушманов
 7. Дата выдачи задания 7.05.2018
- Руководитель выпускной квалификационной работы: профессор, д-р
(фамилия, имя, отчество, должность, ученая степень, ученое звание)
техн. наук Д.Р. Скрябин
- Задание принял к исполнению (дата): 7.05.2018 
(подпись студента)

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит: 76 с., 1 рисунков, 22 таблиц, 60 формул

ОЧИСТКА ДЫМОВЫХ ГАЗОВ КОТЕЛЬНОЙ 101 КВАРТАЛА ГОРОДА БЛАГОВЕЩЕНСК АМУРСКОЙ ОБЛАСТИ

В работе была произведена реконструкция котельной 101 квартала г. Благовещенск способствует к уменьшению вредных выбросов продуктов сгорания в атмосферу.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| Введение | 10 |
| 1 Характеристика района проектирования | 12 |
| 1.1 Географическая характеристика района | 12 |
| 1.2 Климатическая характеристика района | 12 |
| 1.3 Характеристики котельной 101 квартала АО «АКС» | 14 |
| 2 Расчет тепловых нагрузок квартала | 17 |
| 2.1 Расчет нагрузок на отопление | 17 |
| 2.2 Расчет нагрузок на горячее водоснабжение | 18 |
| 3 Гидравлический расчет тепловой сети | 21 |
| 3.1 Предварительный гидравлический расчет | 21 |
| 3.2 Уточненный гидравлический расчет | 23 |
| 4 Расчет тепловых потерь | 25 |
| 5 Выбор оборудования котельной | 28 |
| 5.1 Выбор котлов | 28 |
| 5.2 Общие сведения о фильтре ФИПаI – 1,0 – 0,6 – На. | 29 |
| 6 Влияние вредных выбросов от котельной | 31 |
| 6.1 Загрязнение атмосферы дымовыми газами | 31 |
| 6.2 Расчет вредных выбросов от котельной 101 квартала | 36 |
| 6.3 Расчет выбросов в атмосферу частиц золы и недожога | 40 |
| 6.4 Расчет выбросов в атмосферу окислов серы | 41 |
| 6.5 Расчет выбросов в атмосферу окиси углерода | 41 |
| 6.6 Расчет выбросов в атмосферу оксидов азота | 42 |
| 7 Анализ существующей системы очистки дымовых газов на котельной | 44 |
| 7.1 Общие сведения о циклоне БЦ 2-6х(4+3) | 45 |
| 7.2 Расчет батарейного циклона | 47 |
| 7.3 Расчет рукавного фильтра и его выбор | 49 |
| 8 Организационно-экономическая часть | 54 |
| 8.1 Капитальные вложения | 54 |
| 8.2 Расчет амортизационных отчислений | 56 |

| | |
|---|-----|
| 8.3 Расчет эксплуатационных затрат | 57 |
| 8.4 Расчет издержек на топливо | 58 |
| 8.5 Расчет затрат на воду | 59 |
| 8.6 Расчет численности рабочих | 60 |
| 8.7 Расчет затрат на оплату труда персонала котельной | 62 |
| 8.8 Расчет налога на социальные нужды и медицинское страхование | 62 |
| 8.9 Расчет прочих затрат | 63 |
| 8.10 Оценка экономической эффективности проекта | 64 |
| 8.11 Расчет и построение графика чистого дисконтированного дохода | 65 |
| 9 Безопасность и экологичность | 67 |
| 9.1 Безопасность | 67 |
| 9.2 Чрезвычайные ситуации | 69 |
| Заключение | 73 |
| Библиографический список | 74 |
| Приложение А | 76 |
| Приложение Б | 87 |
| Приложение В | 102 |

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время нормирование выбросов вредных веществ в атмосферу основано на необходимости соблюдения гигиенических критериев качества атмосферного воздуха населенных мест. Вместе с тем, как показывают результаты ряда исследований, разные уровни загрязнения атмосферного воздуха по-разному влияют на различные составляющие экосистемы (растительность и лесные насаждения, сельскохозяйственные угодья разных видов, почва, вода, фауна и т.д.). Источники тепловой энергии осуществляют загрязнение атмосферного воздуха продуктами сгорания, а также токсическими веществами, содержащимися в исходном топливе, либо образующимися в топочном процессе – локальные и глобальные, (являясь мощным источником антропогенных выбросов). При определенных условиях происходит локальное повышенное загрязнение приземного слоя воздуха в зонах, удаленных на значительные расстояния от котельной в результате сверхдальних переносов выбросов. Кроме того, промышленная площадка котельной и непосредственно примыкающая к ней территория находятся под воздействием неорганизованных и мелких источников выбросов котельной.

Изменение состава атмосферного воздуха в зоне влияния котельной определяется также использованием кислорода на сжигание топлива. Местный источник теплоты достаточной интенсивности способствует образованию устойчивой термической циркуляции. Во всех случаях вся теплота, поступающая от энергетических объектов и водоемов, в конечном счете, передается в атмосферу. Термальное загрязнение повышает токсичность загрязнителей, находящихся в воде.

Цель:

- 1 Рассмотреть и выявить особенности объекта проектирования;
- 2 Произвести анализ и оценку системы очистки на котельном оборудовании;

3 Произвести выбор вспомогательного оборудования для очистки дымовых газов.

4 Рассмотреть выгоду и целесообразность проекта (экономическое обоснование проекта)

5 Рассмотреть безопасность и экологичность.

Реконструкция котельной 101 квартала г. Благовещенск способствует к уменьшению вредных выбросов продуктов сгорания в атмосферу.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ПРОЕКТИРОВАНИЯ

1.1 Географическая характеристика района

Благовещенск - является административным центром Амурской области. Население — 224 419 (2017), пятый по величине город Дальнего Востока.

Расположен на левом берегу Амура и на правом берегу Зеи (в устье); единственный административный центр региона России, находящийся на государственной границе, китайский город Хэйхэ стоит на правом берегу Амура, расстояние 526 метров.

Благовещенск — конечная железнодорожная станция на линии, отходящей от станции Белогорск на Транссибе. Международный аэропорт Игнатьево. Научно-образовательный центр.

Благовещенск находится в часовой зоне МСК+6(якутское время). Смещение применяемого времени относительно UTC составляет+9:00

В соответствии с применяемым временем и географической долготой средний солнечный полдень в Благовещенске наступает в 12:30.

1.2 Климатическая характеристика района

Погода в Благовещенске, ввиду очень небольшой теплоёмкости воздуха, в температурном режиме очень зависит от продолжительности солнечного сияния и поступающего солнечного тепла. Поэтому декабрь холоднее февраля, а июнь лишь чуть холоднее, чем август. В таблице 1 представлена годовая климатическая характеристика г.Благовещенск.

Таблица 1- Годовая климатические характеристики

| Показатель | Янв. | Фев. | Март. | Апр. | Май | Июнь | Июль | Авг. | Сен | Окт. | Нояб. | Дек. | Год |
|-------------------------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| Абсолютный максимум, °С | -0,4 | 3,1 | 12,7 | 28,7 | 32,6 | 39,4 | 36,7 | 34,5 | 31,2 | 28,0 | 13,4 | -0,6 | 39,4 |
| Средний максимум, °С | -15,3 | -10,9 | -1,6 | 10,4 | 20,0 | 26,1 | 27,8 | 26,1 | 19,6 | 10,0 | -3,8 | -15,1 | 7,8 |
| Средняя температура, °С | -21,1 | -17,5 | -7,6 | 4,4 | 13,5 | 20,2 | 22,4 | 20,4 | 13,3 | 4,0 | -8,9 | -19,9 | 2,4 |

Продолжение таблицы 1

| | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| Средний минимум, °С | -25,7 | -22,9 | -13,1 | -1,3 | 7,4 | 14,9 | 17,9 | 15,7 | 8,2 | -0,6 | -12,7 | -23,8 | -3 |
| Абсолютный минимум, °С | -37,1 | -36 | -28,4 | -13,4 | -0,9 | 5,6 | 11,1 | 6,0 | -0,9 | -14,7 | -30,4 | -36,4 | -37,1 |
| Норма осадков, мм | 6 | 10 | 14 | 25 | 66 | 89 | 151 | 103 | 51 | 20 | 17 | 15 | 567 |

В Благовещенске континентальный вариант умеренного муссонного климата. Континентальность климата проявляется в большой годовой (43°С) и суточной (10-15°С) амплитуде температуры. Муссонность климата выражается в направлении сезонных ветров, активной циклонической деятельности и большом количестве осадков в теплое время года. Лето жаркое со значительным количеством солнечного сияния. Зима холодная, сухая, с маломощным снежным покровом. Температурный рекорд был зафиксирован 25 июня 2010 года, когда температура воздуха в городе поднялась до отметки +39,4 °С:

- Среднегодовая температура — +1,6 °С
- Сумма активных температур ($T_{ср} > 10\text{ °С}$) — 2555 (5 мая — 25 сентября)
- Среднегодовая влажность воздуха — 67 %.
- Среднегодовая скорость ветра — 2,0 м/с.

В таблице 2 представлена годовая характеристика относительной влажности воздуха.

Таблица 2- Относительная влажность воздуха.

| | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|-------|------|-----|
| Месяц | Янв. | Фев. | Март | Апр. | Май | Июнь | Июль | Авг. | Сен. | Окт. | Нояб. | Дек. | Год |
| Относительная влажность воздуха, % | 73 | 68 | 62 | 55 | 55 | 70 | 78 | 80 | 72 | 62 | 67 | 74 | 68 |

На 1 января 2017 года по численности населения город находился на 90 месте из 1112 городов Российской Федерации

В дореволюционное время численность населения Благовещенска росла быстрыми темпами: в 1868 проживало 3500 человек, в 1878 — 5000, в 1888 — 20 000, в 1898 — 40 000, в 1905 — более 50 000, в 1913 — около 80 000.

В городе имеются крупные предприятия:

- с 1893 года действует завод «Амурский металлист», специализирующееся на выпуске горно-шахтного оборудования;
- судостроительный завод им. Октябрьской революции, выпускающий морские буксиры и сейнеры;
- кондитерская фабрика «Зея»;
- Амурский завод железобетонных конструкций.

Тепловой и отчасти электрической энергией город обеспечивает

Источником тепловой электрической энергии на территории г.Благовещенск является Благовещенская ТЭЦ. Так же источником тепловой энергии отдельных жилых районов является муниципальные котельные, которые относятся к АО «АКС».

1.3 Характеристики котельной 101 квартала АО «АКС»

Характеристики объекта проектирования является котельная г.Благовещенск.

Наименование объекта и его местонахождение: г.Благовещенск, ул.Первомайская, 27, 101 квартал. Ввод котельной в эксплуатацию 1968г., производительность котельной 19,5 Гкал/ч. На котельной установлены котла марки ДКВр 10-13, в количество 3шт., работающие на угле марки 2БР. Отопление водяное 95/70°C, вентиляция приточно-вытяжная, источник водоснабжения горвопровод.

Котельная с паровыми котлами марки ДКВр 10-13 предназначена для потребления тепловой энергии, на нужды отопления, горячего водоснабжения зданий и сооружений различного назначения. Технические характеристики которых представлены в таблице 3[4].

Топливо: бурый уголь 2БР , месторождения с $G_H = 2800-3000$ ккал/кг.

Склад топлива открытый

Доставка топлива на территорию котельной предусмотрена автотранспортом.

Укладка угля в штабель и подача угля в приемный бункер топливоподачи производится бульдозером.

Система топливоподачи механическая.

Удаление золы и шлака механически.

Вывоз золы и шлака осуществляется автотранспортом.

Котёл ДКВр-10-13С (Е-10-1,4Р) - паровой котёл, основными элементами которого являются два барабана: верхний длинный и нижний, а также экранированная топочная камера.

Топочная камера котла ДКВр-10-13С (Е-10-1,4Р) разделена кирпичной стенкой на собственно топку и камеру догорания, которая позволяет повысить КПД котла за счёт снижения химического недожога. Вход газов из топки в камеру догорания и выход газов из котла асимметричные[4].

В котлах с пароперегревателем последние размещаются в первом газоходе с левой стороны котла.

Стенки верхнего барабана охлаждаются потоком пароводяной смеси, выходящим из труб боковых экранов и труб передней части конвективного пучка.

Предохранительные клапаны, главный паровой вентиль или задвижка, вентили для отбора проб пара, отбора пара на собственные нужды (обдувку) располагаются на верхней образующей верхнего барабана.

Питательная труба находится в водном пространстве верхнего барабана, в паровом объёме - сепарационные устройства. В нижнем барабане размещены перфорированная труба для продувки, устройство для прогрева барабана при растопке и штуцер для спуска воды.

Нормативный срок службы котла ДКВр-10-13С, без капитального ремонта составляет 16 лет, при капитальном ремонте служба может быть

увеличена до 25 лет. Но так как котлы отработали практически по 25лет, то капитальный ремонт является не эффективным. Таблица 3.

Таблица 3 - Паровые котлы

| № | Тип Котла | Год Установки | Год Капитального Ремонта | Производительность | | Поверхность Нагрева, М2 |
|----------------------|------------|---------------|--------------------------|--------------------|-----|-------------------------|
| | | | | Гкал/ч | т/ч | |
| ПАРОВЫЕ КОТЛЫ | | | | | | |
| 1. | ДКВр 10-13 | 1998 | — | 6,5 | 10 | 251,6 |
| 2. | ДКВр 10-13 | 2000 | — | 6,5 | 10 | 251,6 |
| 3. | ДКВр 10-13 | 1969 | 1996 | 6,5 | 10 | 251,6 |

Вспомогательным оборудованием, установленном на котельной являются дымосос марки Д 12,5 в количестве 3 шт., дутьевой вентилятор ДН 10 в количестве 3 шт. Технические характеристики которых представлены в таблице 4.

Таблица 4 - Вспомогательное оборудование

| Назначение | Тип | Количество, Шт. | Технические Характеристики | |
|---------------------|--------|-----------------|----------------------------|----------|
| | | | Подача, М3/Ч | Напор, М |
| Дымосос | Д 12,5 | 2 | 26600 | 243 |
| | Д 12,5 | 1 | 38600 | 137 |
| Дутьевой Вентилятор | ВН 10 | 2 | 20000 | 160 |
| | ВН 10 | 1 | 27000 | 160 |

2 РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫХ НАГРУЗОК КВАРТАЛА

При решении поставленных в выпускной квалификационной работе задач необходимо произвести тепловой расчет, с целью определения тепловых нагрузок необходимых для отопления и горячего водоснабжения потребителей. Так же для сравнения и оценки существующей системы теплоснабжения на соответствии её расчетной нагрузки[8].

2.1 Расчет нагрузок на отопление

Расчетная тепловая нагрузка на отопления отдельного здания определяется по укрупненным показателям:

$$Q_o^{\max} = \alpha V q_o (t_j - t_o) (1 + K_{u,p}) 10^{-6} \quad (1)$$

где α - поправочный коэффициент, учитывающий отличие расчетной температуры наружного воздуха для проектирования отопления t_o от $t_o = -33$ °С;

V - объем здания по наружному обмеру, м³;

q_o - удельная отопительная характеристика здания при $t_o = -30$ °С, ккал/м³ч°С;

$K_{u,p}$ - расчетный коэффициент инфильтрации, обусловленной тепловым и ветровым напором, т.е. соотношение тепловых потерь зданием с инфильтрацией и теплопередачей через наружные ограждения при температуре наружного воздуха, расчетной для проектирования отопления.

Расчетный коэффициент инфильтрации $K_{u,p}$ определяется:

$$K_{u,p} = 10^{-2} \sqrt{\left[2gL \left(1 - \frac{273+t_o}{273+t_j} \right) + w_o^2 \right]} \quad (2)$$

где g - ускорение свободного падения, м/с²;

L - свободная высота здания, м;

w_o - расчетная для данной местности скорость ветра в отопительный период, м/с; принимается по СНиП 23-01-99 .

Средняя тепловая нагрузка отопления определяется по формуле:

$$Q_o^{cp} = Q_o^{\max} \frac{t_{вн} - t_o^{cp}}{t_{вн} - t_o^p}, \quad (3)$$

где Q_o^{\max} - расчетная тепловая нагрузка отопления

$t_{вн}$ - расчетная температура внутреннего воздуха в помещениях, °С;

t_o^p - расчетная для отопления температура наружного воздуха, °С;

t_o^{cp} - расчетная за отопительный период температура наружного воздуха, °С.

Годовой расход теплоты на отопление:

$$Q_o^r = Q_o^{cp} \cdot h_0, \quad (4)$$

где h_0 - длительность отопительного периода, ч.

2.2 Расчет нагрузок на горячее водоснабжение

Средняя часовая тепловая нагрузка горячего водоснабжения потребителя тепловой энергии Q_{hm} , Гкал/ч, в отопительный период определяется по формуле:

$$Q_{hm} = \frac{\alpha N (55 - t_c) 10^{-6}}{T}, \quad (5)$$

где α - норма затрат воды на горячее водоснабжение абонента, л/ед. измерения в сутки; должна быть утверждена местным органом самоуправления; при отсутствии утвержденных норм принимается по таблице (обязательного) СНиП 2.04.01-85;

N - количество единиц измерения, отнесенное к суткам, - количество жителей, учащихся в учебных заведениях и т.д.;

t_c - температура водопроводной воды в отопительный период, °С; при отсутствии достоверной информации принимается $t_c = 5$ °С;

T - продолжительность функционирования системы горячего водоснабжения абонента в сутки, принимаем 24 ч;

Годовой расход теплоты на горячее водоснабжение:

$$Q_{\text{гвс}}^{\text{г}} = Q_{\text{гвс}} \cdot n_0 \quad (6)$$

где n_0 - длительность периода горячего водоснабжения, ч.

Таблица 5 - Нагрузка на отопление и горячее водоснабжение

| № здания | $V, \text{ м}^3$ | $q, \text{ ккал /м}^3\text{ч}^0 \text{ С}$ | $L, \text{ м}$ | $t, \text{ }^0\text{С}$ | $Q_{\text{отоп}} \text{ Гкал/ч}$ | $Q_0^{\text{г}}$ Гкал | $Q_{\text{гвс}}$ Гкал/ч | $Q_{\text{гвс}}^{\text{г}}$ Гкал |
|----------|------------------|--|----------------|-------------------------|----------------------------------|-----------------------|-------------------------|----------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1 | 26155 | 0.372 | 17 | 20 | 0,0443 | 3,517 | 0,027 | 218,394 |
| 2 | 22283 | 0.373 | 39 | 20 | 0,392 | 3,107 | 0,056 | 446,551 |
| 3 | 22341 | 0.373 | 9 | 20 | 0,373 | 2,96 | 0,056 | 447,714 |
| 4 | 12109 | 0.388 | 90 | 20 | 0,233 | 1,848 | $1,177 \times 10^{-3}$ | 9,437 |
| 5 | 10168 | 0.398 | 29 | 20 | 0,188 | 1,492 | 0,025 | 203,767 |
| 6 | 6375 | 0.435 | 23 | 20 | 0,128 | 1,013 | 0,014 | 113,204 |
| 7 | 7385 | 0.422 | 30 | 20 | 0,145 | 1,151 | 0,023 | 184,994 |
| 8 | 19065 | 0.374 | 69 | 20 | 0,347 | 2,754 | 0,02 | 159,193 |
| 9 | 8419 | 0.414 | 74 | 20 | 0,17 | 1,352 | 0,021 | 168,717 |
| 10 | 2977 | 0.511 | 7 | 20 | 0,068 | 0,537 | 0,019 | 149,148 |
| 11 | 17816 | 0,37 | 8 | 20 | 0,297 | 2,354 | 0,045 | 357,033 |
| 12 | 13595 | 0.372 | 17 | 20 | 0,23 | 1,828 | 0,034 | 272,444 |
| 13 | 23589 | 0.373 | 16 | 20 | 0,4 | 3,174 | $2,293 \times 10^{-3}$ | 18,384 |
| 14 | 1059 | 0.649 | 47 | 20 | 0,033 | 0,259 | $2,647 \times 10^{-3}$ | 21,222 |
| 15 | 12869 | 0.554 | 20 | 20 | 0,327 | 2,591 | 0,012 | 93,129 |
| 16 | 10150 | 0.398 | 23 | 20 | 0,186 | 1,476 | 0,013 | 101,703 |
| 17 | 5192 | 0.455 | 26 | 20 | 0,109 | 0,867 | 0,016 | 130,06 |
| 18 | 233 | 0.818 | 45 | 20 | $9,044 \times 10^{-3}$ | 0,072 | $2,589 \times 10^{-4}$ | 2,075 |
| 19 | 15271 | 0.561 | 16 | 16 | 0,357 | 2,832 | 0,021 | 170,017 |
| 20 | 9742 | 0.392 | 75 | 20 | 0,187 | 1,483 | $9,471 \times 10^{-3}$ | 75,923 |
| 21 | 1500 | 0.57 | 13 | 20 | 0,039 | 0,307 | $3,75 \times 10^{-3}$ | 30,06 |
| 22 | 23986 | 0.372 | 10 | 19 | 0,392 | 3,111 | $3,331 \times 10^{-3}$ | 26,704 |
| 23 | 20109 | 0.379 | 29 | 20 | 0,354 | 2,811 | 0,05 | 402,984 |
| 24 | 15535 | 0.374 | 32 | 20 | 0,271 | 2,152 | 0,022 | 172,956 |
| 25 | 24629 | 0.373 | 4 | 20 | 0,405 | 3,216 | 0,154 | $-1,234 \times 10^{-4}$ |
| 26 | 12940 | 0.371 | 57 | 20 | 0,231 | 1,832 | 0,032 | 259,318 |
| 27 | 2650 | 0.519 | 69 | 20 | 0,067 | 0,531 | 0,017 | 132,358 |
| 28 | 7325 | 0.519 | 55 | 20 | 0,182 | 1,448 | $8,902 \times 10^{-3}$ | 71,358 |
| 29 | 16876 | 0.376 | 12 | 20 | 0,286 | 2,27 | 0,042 | 338,195 |
| 30 | 12278 | 0.387 | 11 | 20 | 0,214 | 1,696 | 0,031 | 246,051 |

Продолжение таблицы 5

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|----|-------|--------|----|----|-------|-------|------------------------|----------|
| 31 | 6473 | 0.436 | 30 | 20 | 0,131 | 1,042 | 0,045 | 360,33 |
| 32 | 13651 | 0.375 | 46 | 20 | 0,243 | 1,93 | 0,034 | 273,5668 |
| 33 | 14934 | 0.371 | 32 | 20 | 0,259 | 2,052 | 0,026 | 207,832 |
| 34 | 8704 | 0.412 | 45 | 20 | 0,162 | 1,285 | 0,022 | 174,428 |
| 35 | 15877 | 0.373 | 18 | 20 | 0,27 | 2,145 | 0,014 | 114,897 |
| 36 | 16453 | 0.374 | 32 | 19 | 0,281 | 2,231 | $2,666 \times 10^{-3}$ | 21,371 |
| 37 | 5148 | 0.4448 | 45 | 20 | 0,109 | 0,862 | $8,938 \times 10^{-4}$ | 7,164 |

Расчёт приведен в приложении А.

3 ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ТЕПЛОВОЙ СЕТИ

Целью гидравлического расчета является определение расчетных расходов теплоносителя в тепловой сети, необходимых для доставки тепловой энергии на отопление и горячее водоснабжение потребителя[9].

Расчетный расход теплоносителя на отопление, кг/с:

$$G_o^{\max} = \frac{Q_o^{\max}}{c \cdot (\tau_1' - \tau_2')}, \quad (7)$$

где c – теплоемкость воды;

τ_1', τ_2' - текущие температуры в подающем трубопроводе тепловой сети и обратном трубопроводе после системы отопления, $^{\circ}\text{C}$.

Расход теплоносителя на горячее водоснабжение, кг/с:

$$G_{hm} = \frac{Q_{hm}}{c \cdot (\tau_1' - \tau_2')}, \quad (8)$$

3.1 Предварительный гидравлический расчет

Предварительный гидравлический расчет выполняется без учета потерь в местных сопротивлениях[8].

Зная расходы теплоносителя на участках и средние удельные потери на трение, находим диаметр $d_{\text{вн}}$ трубопровода и соответствующие значения $R_{\text{уд}}$:

$$d_{\text{вн}} = \frac{0,117 \cdot G^{0,38}}{R_{\text{уд}}^{0,19}}, \quad (9)$$

где G - расход теплоносителя на участке, кг/с;

$d_{\text{вн}}$ - внутренний диаметр, м;

$R_{\text{уд}}$ – удельные потери, Па/м.

По вычисленному значению $d_{\text{вн}}$ подбирается стандартный диаметр, по которому уточняется величина $R_{\text{уд}}$:

$$R_{\text{уд}} = \frac{13,62 \cdot 10^{-6} \cdot G^2}{d_{\text{вн}}^{5,25}}, \quad (10)$$

Предварительный гидравлический расчет сводится в таблицу 6.

Таблица 6 – Предварительный гидравлический расчет

| № участка | Расчётные расходы теплоносителя, кг/с | | | l, м | d _{вн} , мм | R _{уд} , Па/м | R _{уд} × l, Па |
|-----------|---------------------------------------|------------------------|-------------------------|--------|----------------------|------------------------|-------------------------|
| | G _{от} | G _{гвс} | G _{сум} | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 1 | 3,517 | 0,0216 | 3,5386 | 213 | 0,084 | 78,48 | 58,689 |
| 2 | 3,107 | 0,442 | 3,549 | 70 | 0,257 | 58,86 | 27,824 |
| 3 | 2,96 | 0,443 | 3,403 | 13,1 | 0,09 | 49,05 | 53,054 |
| 4 | 1,848 | 9,343×10 ⁻³ | 11,191×10 ⁻³ | 31 | 0,26 | 68,67 | 24,661 |
| 5 | 1,492 | 0,202 | 1,694 | 133 | 0,159 | 58,56 | 2,577 |
| 6 | 1,013 | 0,112 | 1,125 | 87,6 | 0,158 | 58,86 | 17,308 |
| 7 | 1,151 | 0,183 | 1,334 | 98 | 0,126 | 58,86 | 5,353 |
| 8 | 2,754 | 0,158 | 2,912 | 104,8 | 0,113 | 68,67 | 36,301 |
| 9 | 1,354 | 0,167 | 1,521 | 106,5 | 0,064 | 49,05 | 66,725 |
| 10 | 0,537 | 0,148 | 0,685 | 9 | 0,105 | 49,05 | 20,769 |
| 11 | 2,354 | 0,353 | 2,707 | 39,2 | 0,089 | 68,67 | 48,774 |
| 12 | 1,828 | 0,27 | 2,098 | 104 | 0,055 | 49,05 | 29,434 |
| 13 | 3,174 | 0,018 | 3,192 | 23,4 | 0,062 | 78,48 | 36,708 |
| 14 | 0,259 | 0,021 | 0,28 | 237,8 | 0,077 | 58,86 | 35,688 |
| 15 | 2,591 | 0,092 | 2,683 | 98,8 | 0,103 | 49,05 | 22,629 |
| 16 | 1,476 | 0,101 | 1,577 | 56 | 0,12 | 49,05 | 1,312×10 ³ |
| 17 | 0,867 | 0,129 | 0,996 | 47 | 0,065 | 49,05 | 53,657 |
| 18 | 0,072 | 2,055×10 ⁻³ | 2,127×10 ⁻³ | 19,5 | 0,048 | 49,05 | 43,266 |
| 19 | 2,832 | 0,168 | 3 | 11,6 | 0,101 | 49,05 | 55,933 |
| 20 | 1,483 | 0,075 | 1,651 | 23,3 | 0,082 | 49,05 | 5,503 |
| 21 | 0,307 | 0,03 | 0,337 | 26,3 | 0,074 | 49,05 | 34,394 |
| 22 | 3,111 | 0,026 | 3,137 | 75 | 0,068 | 58,86 | 26,416 |
| 23 | 2,811 | 0,399 | 3,21 | 32 | 0,09 | 49,05 | 50,791 |
| 24 | 2,152 | 0,171 | 2,232 | 45 | 0,087 | 49,05 | 42,919 |
| 25 | 3,216 | 1,222 | 4,438 | 16 | 0,034 | 49,05 | 23,393 |
| 26 | 1,832 | 0,257 | 2,089 | 84 | 0,212 | 58,86 | 81,711 |
| 27 | 0,531 | 0,131 | 0,662 | 245 | 0,188 | 78,48 | 57,536 |
| 28 | 1,448 | 0,071 | 1,519 | 90 | 0,133 | 58,86 | 85,593 |
| 29 | 2,27 | 0,335 | 2,605 | 92,5 | 0,116 | 58,86 | 42,685 |
| 30 | 1,696 | 0,244 | 1,94 | 46,8 | 0,118 | 49,05 | 38,963 |
| 31 | 1,042 | 0,357 | 1,399 | 33,51 | 0,08 | 49,05 | 51,723 |
| 32 | 1,93 | 0,271 | 2,201 | 104,75 | 0,062 | 68,67 | 57,783 |
| 33 | 2,052 | 0,206 | 2,258 | 69 | 0,054 | 58,86 | 23,062 |
| 34 | 1,285 | 0,173 | 1,458 | 73,3 | 0,1 | 49,05 | 51,972 |
| 35 | 2,145 | 0,114 | 2,259 | 8 | 0,099 | 49,05 | 50,328 |
| 36 | 2,231 | 0,021 | 2,252 | 90 | 0,082 | 58,86 | 37,912 |
| 37 | 0,862 | 7,093×10 ⁻³ | 7,955×10 ⁻³ | 92,5 | 0,066 | 49,05 | 18,971 |

где l – длина участка, м;

ΔH – потери на участке без учета местных сопротивлений, Па.

3.2 Уточненный гидравлический расчет

Таблица 7 – Уточненный гидравлический расчет

| № участка | $G_{\text{сум}},$ кг/с | $l,$ м | $l_0,$ м | $l+l_0,$ м | $d_{\text{вн}},$ мм | $R_{\text{уд}},$ Па/м | $H,$ Па |
|-----------|---------------------------|--------|----------|------------|---------------------|--------------------------|---------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 1 | 3,5386 | 213 | 2,6 | 255,6 | 0,084 | 78,48 | 1,529 |
| 2 | 3,549 | 70 | 14 | 84 | 0,257 | 58,86 | 0,238 |
| 3 | 3,403 | 13,1 | 2,62 | 15,72 | 0,09 | 49,05 | 0,085 |
| 4 | $11,191 \times 10^{-3}$ | 31 | 26,6 | 37,2 | 0,26 | 68,67 | 0,094 |
| 5 | 1,694 | 133 | 17,52 | 159,6 | 0,159 | 58,56 | 0,042 |
| 6 | 1,125 | 87,6 | 19,6 | 105,12 | 0,158 | 58,86 | 0,185 |
| 7 | 1,334 | 98 | 20,96 | 117,6 | 0,126 | 58,86 | 0,064 |
| 8 | 2,912 | 104,8 | 21,3 | 125,76 | 0,113 | 68,67 | 0,465 |
| 9 | 1,521 | 106,5 | 1,8 | 127,8 | 0,064 | 49,05 | 0,086 |
| 10 | 0,685 | 9 | 7,84 | 10,8 | 0,105 | 49,05 | 0,023 |
| 11 | 2,707 | 39,2 | 20,8 | 47,04 | 0,089 | 68,67 | 0,234 |
| 12 | 2,098 | 104 | 4,68 | 124,8 | 0,055 | 49,05 | 0,374 |
| 13 | 3,192 | 23,4 | 47,56 | 28,08 | 0,062 | 78,48 | 0,105 |
| 14 | 0,28 | 237,8 | 19,76 | 285,36 | 0,077 | 58,86 | 1,038 |
| 15 | 2,683 | 98,8 | 11,2 | 118,56 | 0,103 | 49,05 | 0,273 |
| 16 | 1,577 | 56 | 9,4 | 67,2 | 0,12 | 49,05 | 8,99 |
| 17 | 0,996 | 47 | 3,9 | 56,4 | 0,065 | 49,05 | 0,308 |
| 18 | $2,127 \times 10^{-3}$ | 19,5 | 2,32 | 23,4 | 0,048 | 49,05 | 0,103 |
| 19 | 3 | 11,6 | 4,64 | 13,92 | 0,101 | 49,05 | 0,079 |
| 20 | 1,651 | 23,3 | 5,26 | 27,84 | 0,082 | 49,05 | 0,016 |
| 21 | 0,337 | 26,3 | 15 | 31,56 | 0,074 | 49,05 | 0,111 |
| 22 | 3,137 | 75 | 6,4 | 90 | 0,068 | 58,86 | 0,242 |
| 23 | 3,21 | 32 | 9 | 38,4 | 0,09 | 49,05 | 0,199 |
| 24 | 2,232 | 45 | 3,2 | 54 | 0,087 | 49,05 | 0,236 |
| 25 | 4,438 | 16 | 16,8 | 19,2 | 0,034 | 49,05 | 0,046 |
| 26 | 2,089 | 84 | 49 | 100,8 | 0,212 | 58,86 | 0,84 |
| 27 | 0,662 | 245 | 18 | 294 | 0,188 | 78,48 | 1,724 |
| 28 | 1,519 | 90 | 18 | 108 | 0,118 | 49,05 | 0,942 |
| 29 | 2,605 | 92,5 | 18,5 | 111 | 0,08 | 49,05 | 0,483 |
| 30 | 1,94 | 46,8 | 9,36 | 56,16 | 0,062 | 68,67 | 0,223 |
| 31 | 1,399 | 33,51 | 6,702 | 40,212 | 0,054 | 58,86 | 0,212 |
| 32 | 2,201 | 104,75 | 20,95 | 125,7 | 0,084 | 78,48 | 0,74 |
| 33 | 2,258 | 69 | 13,8 | 82,8 | 0,257 | 58,86 | 0,195 |

Продолжение Таблицы 7

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 5 | 6 | 7 |
|----|-------|-------|-------|--------|-------|-------|------------------------|
| 34 | 1,458 | 20 | 4 | 24 | 0,1 | 49,05 | 0,127 |
| 35 | 1,463 | 71 | 14,2 | 85,2 | 0,099 | 49,05 | 0,437 |
| 36 | 4,68 | 73,3 | 14,66 | 87,96 | 0,082 | 58,86 | 0,34 |
| 37 | 0,307 | 8 | 1,6 | 9,6 | 0,066 | 49,05 | 0,019 |
| 38 | — | 17,1 | 3,42 | 50,52 | 0,1 | 49,05 | 0,07 |
| 39 | — | 16 | 3,2 | 19,2 | 0,086 | 49,05 | 0,047 |
| 40 | — | 144 | 28,8 | 172,8 | 0,1 | 68,67 | 1,306 |
| 41 | — | 9 | 1,8 | 10,8 | 0,087 | 49,05 | 0,048 |
| 42 | — | 32 | 6,4 | 38,4 | 0,077 | 49,05 | 0,089 |
| 43 | — | 99 | 19,8 | 118,8 | 0,15 | 58,86 | 1,951 |
| 44 | — | 153,5 | 30,7 | 184,2 | 0,092 | 68,67 | 0,896 |
| 45 | — | 67 | 13,4 | 80,4 | 0,13 | 58,86 | 0,642 |
| 46 | — | 57 | 11,4 | 68,4 | 0,071 | 58,86 | 0,238 |
| 47 | — | 51 | 10,2 | 61,2 | 0,12 | 58,86 | 0,309 |
| 48 | — | 46 | 9,2 | 55,2 | 0,048 | 49,05 | 0,228 |
| 49 | — | 41,1 | 8,22 | 49,32 | 0,12 | 49,05 | 0,21 |
| 50 | — | 70 | 14 | 84 | 0,107 | 58,86 | 0,236 |
| 51 | — | 11,2 | 2,24 | 13,44 | 0,072 | 49,05 | 0,04 |
| 52 | — | 126,5 | 25,3 | 1551,8 | 0,09 | 68,67 | 1,08 |
| 53 | — | 55,1 | 11,02 | 66,12 | 0,063 | 58,86 | 0,361 |
| 54 | — | 11,8 | 2,36 | 14,16 | 0,08 | 49,05 | 0,077 |
| 55 | — | 250 | 50 | 300 | 0,058 | 78,48 | 1,392 |
| 56 | — | 95 | 19 | 114 | 0,106 | 58,86 | 0,305 |
| 57 | — | 68,5 | 13,7 | 82,2 | 0,073 | 58,86 | 0,317 |
| 58 | — | 184,5 | 36,9 | 221,4 | 0,086 | 68,67 | 1,312 |
| 59 | — | 78,8 | 15,76 | 94,56 | 0,074 | 58,86 | 0,119 |
| 60 | — | 72 | 14,4 | 86,4 | 0,062 | 58,86 | 0,045 |
| 61 | — | 124 | 24,8 | 148,8 | 0,108 | 68,67 | $9,068 \times 10^{-5}$ |
| 62 | — | 18 | 3,6 | 21,6 | 0,099 | 49,05 | 0,108 |
| 63 | — | 10 | 2 | 12 | 0,076 | 49,05 | 0,048 |
| 64 | — | 133 | 26,6 | 159,6 | 0,05 | 68,87 | 1,13 |

Расчёт приведен в приложении Б.

4 РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ

Нормативы технологических потерь при передаче тепловой энергии разрабатываются для каждой организации, эксплуатирующей тепловые сети для передачи тепловой энергии потребителям. Разработка нормативов технологических потерь при передаче тепловой энергии осуществляется выполнением расчетов нормативов для тепловой сети каждой системы теплоснабжения[9].

Нормативные значения потерь теплоносителя за год с его нормируемой утечкой, м^3 , определяются по формуле:

$$G_{\text{ут.н}} = a \times V_{\text{год}} \times n_{\text{год}} 10^{-2} = m_{\text{ут.год.н}} n_{\text{год}}, \quad (12)$$

где a - норма среднегодовой утечки теплоносителя, $\text{м}^3/\text{ч} \cdot \text{м}^3$, установленная правилами технической эксплуатации электрических станций и сетей, а также правилами технической эксплуатации тепловых энергоустановок, в пределах 0,25% среднегодовой емкости трубопроводов тепловых сетей в час;

$V_{\text{год}}$ - среднегодовая емкость трубопроводов тепловых сетей, эксплуатируемых теплосетевой организацией, м^3 ;

$n_{\text{год}}$ - продолжительность функционирования тепловых сетей в году, ч;

$m_{\text{ут.год.н}}$ - среднегодовая норма потерь теплоносителя, обусловленных утечкой, $\text{м}^3/\text{ч}$.

Определение нормативных технологических потерь тепловой энергии, Гкал, обусловленных потерями теплоносителя производится по формуле:

$$Q_{\text{ут.н}} = m_{\text{ут.год.н}} \rho_{\text{год}} c [b\tau_{1\text{год}} + (1-b)\tau_{2\text{год}} - \tau_{\text{х.год}}] n_{\text{год}} 10^{-6}; \quad (13)$$

где $\rho_{\text{год}}$ - среднегодовая плотность теплоносителя при средней (с учетом б) температуре теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах тепловой сети, $\text{кг}/\text{м}^3$;

b - доля массового расхода теплоносителя, теряемого подающим трубопроводом тепловой сети (принимаем 0,6);

$\tau_{1год}$ и $\tau_{2год}$ - среднегодовые значения температуры теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах тепловой сети по температурному графику регулирования тепловой нагрузки, °С;

$\tau_{x.год}$ - среднегодовое значение температуры исходной воды, подаваемой на источник теплоснабжения и используемой для подпитки тепловой сети, °С;

c - удельная теплоемкость теплоносителя, ккал/кг °С.

Нормативные технологические затраты тепловой энергии на заполнение новых участков трубопроводов и после плановых ремонтов, Гкал, определяются:

$$Q_{зан} = 1,5V_{тр.з}\rho_{зан}c(\tau_{зан} - \tau_x)10^{-6}; \quad (14)$$

где $V_{тр.з}$ - емкость заполняемых трубопроводов тепловых сетей, эксплуатируемых теплосетевой организацией, м³;

$\rho_{зан}$ - плотность воды, используемой для заполнения, кг/м³;

$\tau_{зан}$ - температура воды, используемой для заполнения, °С;

τ_x - температура исходной воды, подаваемой на источник тепловой энергии в период заполнения, °С.

Определение нормативных значений часовых тепловых потерь, Гкал/ч, для среднегодовых условий эксплуатации трубопроводов тепловых сетей производится по формуле:

$$Q_{из.н.год} = \sum(q_{из.н}L\beta)10^{-6}; \quad (15)$$

где $q_{из.н}$ - удельные часовые тепловые потери трубопроводами каждого диаметра, определенные пересчетом табличных значений норм удельных часовых тепловых потерь на среднегодовые условия эксплуатации, ккал/ч·м;

L - длина участка трубопроводов тепловой сети, м;

β - коэффициент местных тепловых потерь, учитывающий тепловые потери запорной и другой арматурой, компенсаторами и опорами.

Таблица 8 – Тепловые потери

| № участка | L, м | G _{ут.н.} , м ³ | Q _{у.н.} , Гкал | Q _{зап.} , Гкал | Q _{из.н.год.} , Гкал/ч | m _{у.год.н.} , м ³ /ч | V _{год.} , м ³ |
|-----------|--------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------------|---|------------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 1 | 104,21 | 75,653 | 6,166 | 1,378x10 ⁻³ | 6,885x10 ⁻³ | 0,014 | 5,411 |
| 2 | 5,64 | 0,197 | 0,016 | 3,591x10 ⁻⁶ | 3,065x10 ⁻⁴ | 3,525x10 ⁻⁵ | 0,014 |
| 3 | 35,26 | 25,597 | 2,086 | 4,663x10 ⁻⁴ | 2,865x10 ⁻³ | 4,578x10 ⁻³ | 1,831 |
| 4 | 7,64 | 1,643 | 0,134 | 2,994x10 ⁻⁵ | 4,065x10 ⁻⁴ | 2,939x10 ⁻⁴ | 0,118 |
| 5 | 9,27 | 4,486 | 0,366 | 8,173x10 ⁻⁵ | 8,05x10 ⁻⁴ | 8,023x10 ⁻⁴ | 0,321 |
| 6 | 2,131 | 4,769 | 0,389 | 8,688x10 ⁻⁵ | 1,135x10 ⁻³ | 8,528x10 ⁻⁴ | 0,341 |
| 7 | 10,46 | 6,906 | 0,563 | 1,258x10 ⁻⁴ | 1,127x10 ⁻³ | 1,235x10 ⁻³ | 0,494 |
| 8 | 1,518 | 0,663 | 0,054 | 1,207x10 ⁻⁵ | 3,366x10 ⁻⁴ | 1,185x10 ⁻⁴ | 0,047 |
| 9 | 8,943 | 6,911 | 0,563 | 1,259x10 ⁻⁴ | 1,068x10 ⁻³ | 1,236x10 ⁻³ | 0,494 |
| 10 | 4,536 | 0,396 | 0,032 | 7,208x10 ⁻⁶ | 6,029x10 ⁻⁴ | 7,076x10 ⁻⁵ | 0,028 |
| 11 | 1,518 | 0,763 | 0,062 | 1,391x10 ⁻⁵ | 3,975x10 ⁻⁴ | 1,365x10 ⁻⁴ | 0,055 |
| 12 | 3,018 | 6,307 | 0,514 | 1,149x10 ⁻⁴ | 1,561x10 ⁻³ | 1,128x10 ⁻³ | 0,451 |
| 13 | 1,637 | 0,719 | 0,059 | 1,31x10 ⁻⁵ | 3,746x10 ⁻⁴ | 1,126x10 ⁻⁴ | 0,051 |
| 14 | 1,381 | 4,243 | 0,346 | 7,729x10 ⁻⁵ | 2,115x10 ⁻³ | 7,587x10 ⁻⁴ | 0,303 |
| 15 | 4,407 | 4,586 | 0,374 | 8,354x10 ⁻⁵ | 1,542x10 ⁻³ | 8,201x10 ⁻⁴ | 0,328 |
| 16 | 4,18 | 0,942 | 0,077 | 1,715x10 ⁻⁵ | 4,881x10 ⁻⁴ | 1,684x10 ⁻⁴ | 0,067 |
| 17 | 0,845 | 0,2630 | 0,021 | 4,787x10 ⁻⁶ | 3,639x10 ⁻⁴ | 4,699x10 ⁻⁵ | 0,019 |
| 18 | 3,335 | 3,93 | 0,32 | 7,159x10 ⁻⁵ | 9,93x10 ⁻⁴ | 7,028x10 ⁻⁴ | 0,281 |
| 19 | 0,227 | 1,467 | 0,12 | 2,673x10 ⁻⁵ | 2,282x10 ⁻³ | 2,624x10 ⁻⁴ | 0,105 |

Расчёт приведён в приложении В.

5 ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ КОТЕЛЬНОЙ

Котельная с паровыми котлами – это сложный с инженерно-технической стороны комплекс, от правильного проектирования и оборудования которого зависит бесперебойность производственного процесса или качественное поступление тепловой энергии потребителю.

Оборудование котельной разной производительности может быть представлено одним котлом или установкой, состоящей из нескольких агрегатов, которые устанавливаются блоками на территории производственной площадки либо в отдельно-стоящем сооружении [16].

5.1 Выбор котлов

Для определения тепловой нагрузки котельной необходимо учесть тепловую нагрузку на отопление, горячее водоснабжение и потери.

$$\sum Q_{o\max} + Q_{hm} + Q_{пот} = Q_{котельной}$$

(16)

$$Q_{котельной} = 8,516 + 0,925 + 0,135 = 9,576 \text{ Гкал / ч};$$

По произведенным расчетным нагрузкам определили что тепловая нагрузка котельной составляет 9,576 Гкал/ч , так как установленные на котельной котлы находятся в эксплуатации 20 лет, и капитальный ремонт проводить не целесообразно.

Выбираем котел типа ДКВР 10-13 в количестве 2 шт., нагрузкой 6,5 Гкал/ч. Так как суммарная нагрузка получается 13 Гкал/ч , имеется остаток тепловой мощности , которая может использоваться как резервная , так и для новых подключений.

В качестве дополнительного оборудования поставляется:

- Экономайзер БВЭС-IV-1
- Вентилятор ВДН-11,2-1000
- Дымосос ДН-12,5-1000
- Водоуказательные приборы и арматура к котлу

Степень подготовки воды для котлов, должна быть достаточно высокого уровня, в комплекте с котлами применяется фильтр ФИПаI – 1,0 – 0,6 – Na.

5.2 Общие сведения о фильтре ФИПаI – 1,0 – 0,6 – Na.

Фильтр ФИПа I-2,0-0,6-Na ионитный параллельно-точные первой ступени для Na-катионирования используются на водоподготовительных установках промышленных и отопительных котельных для обработки воды с относительно малой карбонатной жесткостью. Образование бикарбоната натрия в этом случае не требует чрезмерного увеличения продувки котлов, а щелочность котловой воды не увеличивается более чем на 15-20%

Фильтр ФИПа 1 2,0 0,6-Na, представляют собой вертикальный однокамерный цилиндрический аппарат, состоящий из корпуса, нижнего и верхнего распределительных устройств, трубопроводов, запорной арматуры, пробоотборного устройства и фильтрующей загрузки[18].

Корпус сварной — из листовой стали, с эллиптическими штампованными верхним и нижним днищами.

Нижнее распределительное устройство представляет собой трубчатую систему с колпачками типа К-500. Штуцера на отводах направлены к днищу и за счет разной длины «копируют» форму днища.

Верхнее распределительное устройство, выполненное в виде перфорированного стакана, предназначено для подвода исходной воды, регенерационного раствора и отвода взрыхляющей воды.

Корпус и трубопровод фронта фильтра ФИПа, также нижнее распределительное устройство изготавливаются из углеродистой стали.

Верхнее распределительное устройство выполняется из полиэтилена, а щелевые колпачки — из полимеров.

В комплект поставки фильтра ФИПа I-2,0-0,6-Na входят корпус фильтра, верхнее и нижнее распределительные устройства, трубопроводы и арматура в пределах фронта фильтра, пробоотборное устройство, манометры с трехходовыми кранами и сифонными трубками, крепежные детали и прокладочные материалы, щелевые колпачки.

Цикл работы фильтра ФИПа состоит из следующих операций: умягчение, взрыхление, регенерация, отмывка.

Умягчение происходит следующим образом: вода, прошедшая обработку на Na-катионитных фильтрах первой ступени, под давлением 0,6 МПа поступает в Иа-катионитный фильтр второй ступени и проходит через слой зернистого ионообменного материала в направлении сверху вниз. При этом катионит поглощает из воды ионы Ca^{2+} и Mg^{2+} , обуславливающие ее жесткость, и заменяет их эквивалентным количеством ионов Ca^+ [2].

Взрыхление предназначено для устранения уплотнения ионообменного материала, препятствующего свободному доступу регенерационного раствора к его зернам.

Регенерация катионита для обогащения его ионами Na^+ производится 5-8%-ным раствором NaCl.

Отмывка ионообменного материала от регенерационного раствора и продуктов регенерации происходит в направлении сверху вниз.

6 ВЛИЯНИЕ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ ОТ КОТЕЛЬНОЙ

В процессе сжигания топлива в котлоагрегатах котельных, в атмосферу вместе с дымовыми газами поступает огромное количество загрязняющих веществ: окислы азота; окись углерода; сернистый ангидрид; бенз(а)пирен; сажа; зола и другие[17].

Сложность выбросов теплоэнергетики обуславливается составом золы. В золе содержится: ванадий, никель, свинец, хром и ряд других высокотоксичных компонентов. Поэтому некоторые исследователи полагают, что в основе влияния золы на организм может лежать фиброгенный эффект, а токсичное действие содержащихся в ней тяжелых металлов. Зола с повышенным содержанием оксида кальция оказывает, прежде всего, токсичное действие.

Разнообразие компонентного состава золы (таблица 9) существенно затрудняет ее гигиеническую оценку, так как такие химические вещества, как V, Mn, N, Cr и др. имеют различные токсикометрические параметры и регламенты в атмосфере.

6.1 Загрязнение атмосферы дымовыми газами

Таблица 9 - Химический состав атмосферного воздуха

| № | Газ (элемент) | Содержание | |
|---|--------------------------|---------------------|----------------------|
| | | По объему % | По массе % |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | Азот(N_2) | 78,08 | 75,51 |
| 2 | Кислород(O_2) | 20,95 | 23,15 |
| 3 | Аргон(Ar) | 0,93 | 1,28 |
| 4 | Углекислый газ(CO_2) | 0,03 | 0,046 |
| 5 | Неон(Ne) | $1,8 \cdot 10^{-3}$ | $1,25 \cdot 10^{-3}$ |
| 6 | Гелий(He) | $5,2 \cdot 10^{-4}$ | $0,72 \cdot 10^{-4}$ |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|----|-----------------------|---------------------|---------------------|
| 7 | Метан(CH_4) | $2,2 \cdot 10^{-4}$ | $1,2 \cdot 10^{-4}$ |
| 8 | Криптон(Kr) | $1 \cdot 10^{-4}$ | $2,9 \cdot 10^{-4}$ |
| 9 | Оксид азота(NO_2) | $1 \cdot 10^{-4}$ | $1,5 \cdot 10^{-4}$ |
| 10 | Водород(H_2) | $5 \cdot 10^{-5}$ | $0,3 \cdot 10^{-5}$ |
| 11 | Ксенон(Xe) | $8 \cdot 10^{-5}$ | $3,6 \cdot 10^{-5}$ |
| 12 | Озон(O_3) | $1 \cdot 10^{-5}$ | $3,6 \cdot 10^{-5}$ |

По агрегатному состоянию основные вещества, загрязняющие атмосферу, делятся на две группы – газы и твердые частицы. Газы составляют 90% общей массы выбрасываемых веществ в атмосферу, оставшиеся 10% – твердые частицы. Наибольшее загрязнение атмосферного воздуха приходится на долю оксидов углерода, соединений серы и азота, углеводородов и промышленной пыли.

Рассмотрим основные загрязнители атмосферного воздуха:

Взвешенные вещества.

Аэрозоль – дисперсная система, в которой дисперсной средой является газ, а дисперсной фазой твердые или жидкие частицы.

Дым – вид аэрозоля, образуются при горении, размер взвешенных частиц от 0,1 до 5 мкм. Пыль – вид аэрозоля, дисперсная система твердых взвешенных частиц размером от 5 до 100 мкм. Пыль может причинять серьезный вред здоровью человека. Вместе с пылью в организм могут проникать болезнетворные бактерии, пыль механически воздействует на легкие, мешая нормально дышать. Может развиваться такое тяжелое заболевание как бронхит или даже онкология, если пыль канцерогенна (например, асбест).

К пыли также относятся сажа и зола.

Сажа – токсичный порошок, состоящий на 95% из углерода. Образуется при неполном сгорании углерода. Имеет большую адсорбиционную

способность к тяжелым углеводородам, может нести на своей поверхности канцерогенные вещества (например, бенз(а)пирен). Длительный контакт с сажей может вызвать рак кожи.

Зола – несгораемый остаток, состоящий из минеральных примесей топлива и образующийся при сжигании топлива.

Чем меньше диаметр пыли, тем более глубоко она может оказаться в легких. Длительное вдыхание пыли может привести к профессиональному заболеванию – пневмокониоз

Оксид углерода (II)

Оксид углерода (II) – газ без цвета и запаха, ядовит, не растворим в воде, растворим в органических растворителях. Тривиальное название – угарный газ. Класс опасности 4. Оксид углерода образуется при неполном сгорании углеродсодержащих соединений.

Очень опасен для человека. При пожарах очень часто причиной смерти человека является даже не огонь, а именно дым. Угарный газ связывается с белком крови – гемоглобином, образуя прочное соединение карбоксигемоглобин. Угарный газ связывается с гемоглобином гораздо быстрее чем кислород, тем самым он блокирует процессы транспортировки и передачи кислорода клеткам организма, что приводит к кислородному голоданию. При взаимодействии с хлором может образовывать фосген – боевое отравляющее вещество.

Оксиды азота

Оксид азота (II) - бесцветный газ, плохо растворим в воде, t плавления - 164 °С, t кипения -152 °С. Класс опасности 3. Оксиды азота могут образовывать с гемоглобином опасное соединение метгемоглобин, из-за которого образуется кислородная недостаточность. Оксид азота (IV) (диоксид азота) – красновато-бурый газ с характерным резким запахом. Температура плавления -11,2 °С, температура кипения 21,1 °С. Класс опасности 3. В 7 раз токсичнее оксида азота (II). Влияет на дыхательную систему, раздражает

слизистые оболочки дыхательных путей. При большой концентрации диоксида азота может возникать удушье.

Оксиды азота образуются в основном окислением азота из воздуха под воздействием высоких температур. Большая часть выбросов оксидов – это оксид азота (II), который составляет 90%, наибольшую его концентрацию можно обнаружить в непосредственной близости от источника загрязнения, дальше оксид азота с помощью кислорода из воздуха превращается в диоксид азота.

Большое количество выбросов оксидов азота может привести к образованию фотохимического смога (лос-анджелесский тип смога). Также вместе с парами воды в атмосфере оксиды азота образуют азотную кислоту, которая вместе с серной приводит к выпадению кислотных дождей

Диоксид серы – бесцветный газ с острым запахом. Температура плавления $-75,5$ °С, температура кипения $-10,01$ °С. Класс опасности 3. Приблизительно в 2 раза тяжелее воздуха. Образуется при сжигании топлива, содержащего серу. Для экологии последствиями выбросов диоксида серы являются кислотные дожди. У человека из-за выбросов сернистого ангидрида могут развиваться заболевания дыхательных путей (так как основной путь попадания диоксида серы в организм это легкие). Также оказывает сильное раздражающее действие на слизистые оболочки глаз. Из-за больших выбросов диоксида серы в атмосферу в Лондоне в начале XX века возник туман, в котором образовывалась серная кислота. Позже его называли смогом (от англ. smoke – дым, fog – туман). Основными источниками выбросов диоксида серы в атмосферу являются предприятия, производящие целлюлозу.

Диоксины

Одной из главных опасностей мусоросжигательного завода является выброс в атмосферу диоксинов, которые образуются при сжигании твердых бытовых отходов.

Диоксин – опасный ксенобиотик из числа полихлорированных полициклических соединений, название диоксин произошло от

тетрахлордибенз(о)парадиоксина. Диоксины очень токсичны, обладают канцерогенным, мутагенным действием. Они очень долго не уходят из атмосферы, поэтому длительное время могут влиять на живые организмы. Диоксины повреждают ДНК, воздействуют на процессы деления клеток.

По заключению экспертов международного агентства по изучению рака(МАИР) диоксины отнесены к самой опасной 1 группе – группе веществ, которые являются официально доказанными канцерогенами.

Для контролирования концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе существуют гигиенические и экологические нормативы качества атмосферного воздуха.

Согласно статье 1 федерального закона «Об охране атмосферного воздуха» гигиенический норматив качества атмосферного воздуха - критерий качества атмосферного воздуха, который отражает предельно допустимое максимальное содержание вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе и при котором отсутствует вредное воздействие на здоровье человека; Экологический норматив - то же самое что и гигиенический норматив, только при нем отсутствует вредного воздействия на окружающую среду.

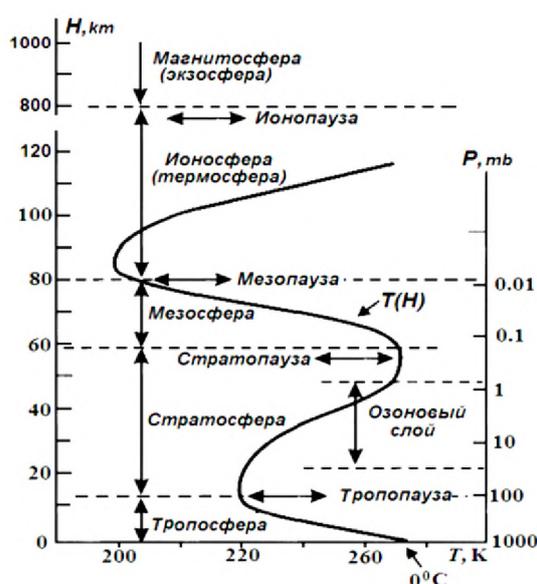


Рисунок 1 -Схема строения Земной атмосферы и изменение с высотой температуры воздуха

6.2 Расчет вредных выбросов от котельной 101 квартала

Важнейшими характеристиками золы и пыли является слипаемость, плотность, абразивность, дисперсность и химический состав, удельное электрическое сопротивление[21].

По степени слипаемость промышленные пыли условно разделяются на четыре группы (таблица 10).

Таблица 10- Группы слипаемости пыли

| Группа слипаемости | Разрывная прочность слоя пыли, Р, Па | Некоторые пыли |
|--------------------|---------------------------------------|---|
| 1 | Неслипающиеся, $P < 60$ | Доломитовая, глиноземная, шлаковая |
| 2 | Слабослипающиеся, $P = 60 - 300$ | Летучая зола с недожогом более 30% при пылевидном сжигании каменных углей; летучая зола при слоевом сжигании углей; коксовая пыль; магниевая пыль; сланцевая зола; доменная пыль; апатитовая сухая пыль |
| 3 | Среднеслипающиеся, $P = 300 - 600$ | Летучая зола без недожога; торфяная зола; магранцитовая пыль; окиси цинка, свинца олова |
| 4 | Сильнослипающиеся, $P > 600$ | Цементная пыль; гипсовая; пыль глины, мучная пыль, огарковая; волокнистые пыли; пыль содержащая крупные примеси |

Слипаемость пыли зависит от ряда факторов – влажности, крупности, температуры, наличие частиц несгоревшего топлива. Слипаемость тесно связана с сыпучестью пыли. Сыпучесть, так же как и слипаемость, зависит от природных свойств пыли. Ее оценивают по углу естественного откоса, который принимает пыль в свеженасыпанном состоянии. Этой величиной определяется поведение пыли в бункерах и течках золо-пылеулавливающих установок. Увлажненная зола теряет свойство сыпучести, а в некоторых случаях, при большом содержании в ней вязких веществ, приобретает склонность к схватыванию[14].

Важнейшей характеристикой золы и пыли является их плотность, измеряемая в кг/м³ или в г/м³. Различают истинную плотность (присущую материалу, из которого приготовлена пыль), насыпную и кажущуюся.

Немаловажным свойством при эксплуатации и проектировании систем газоочистки является абразивность золы и пыли. Износ металла при одинаковой концентрации и скорости частиц пыли и золы зависит от размера, формы, веса и твердости частиц. Абразивное действие золы или пыли должно учитываться при выборе скоростей газопылевых потоков, толщины металла для изготовления газоходов и газоочистных установок или при выборе для них облицовочных материалов.

В пылеулавливающих установках поведение частиц пыли неодинаково.

Поэтому важным значением является изучение дисперсного состава золы или пыли. Частицы промышленной пыли в большинстве случаев имеют неправильную форму – форму осколков, неправильных многогранников, в отдельных случаях частицы имеют шарообразную форму (частицы получившиеся в результате конденсации паров или оплавленные при высоких температурах).

Дисперсный состав золы или пыли определяют экспериментально. Одни методы и приборы для экспериментального определения дисперсности пылей позволяют определять фактические размеры частиц, другие — их стоксовские диаметры.

При работе котельных происходит загрязнение атмосферы и водоемов вредными выбросами [13].

Загрязнение атмосферы. Вредные выбросы в атмосферу поступают в виде твердых частиц (зола и сажа), а также газообразных токсичных веществ: оксидов серы, азота, углерода (SO_2 , SO_3 , NO_x , CO), фтористых соединений, углеводородов (CH_4 , C_2H_4), а также канцерогенных углеводородов, например бензопирен и др. Количество и содержание вредных выбросов в атмосферу определяется видом топлива и организацией процесса сгорания. В табл. 22 приведены усредненные показатели вредных выбросов для различных видов топлива.

Выброс сернистых соединений обуславливается содержанием серы в топливе. В твердом топливе она находится в виде включений железного колчедана FeS_2 , сульфатной серы, а также входит в состав органической массы топлива [15].

При обогащении угля содержание FeS_2 снижается. При гидротермической очистке угля от серы из него могут быть удалены как FeS_2 , так и органическая сера. Известен способ связывания серы в кипящем слое, состоящем из угля и размолотого известняка. При температуре около 900°C происходит диссоциация CaCO_3 на CO_2 и CaO ; CaO вступает в реакцию с серой, образуя CaSO_4 . В этом случае очистка топлива от серы достигает 90 %.

Дымовые газы от оксидов серы очищают с помощью мокрых скрубберов, однако такая очистка малоэффективна.

Выброс оксидов азота можно уменьшить посредством рациональной организации процесса горения: двухстадийного сжигания топлива, подачи воды и пара в зону горения, уменьшения избытка воздуха в топке, рециркуляции дымовых газов в топочную камеру. Удаление оксидов азота из дымовых газов можно провести путем абсорбции раствором аммиака, адсорбцией силикагелем или торфощелочными сорбентами.

Выброс твердых частиц можно снизить с помощью различных золоуловителей: инерционными сухими или мокрыми фильтрами, электрофильтрами, комбинированными устройствами.

Предельно допустимая концентрация (ПДК) вредных веществ в воздухе (таблица 11) характеризуется двумя показателями: максимальноразовая (за 20 мин) и среднесуточная (за 24 ч).

Таблица 11 - Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе населенных пунктов (ПДК), $мг / м^3$

| Вредное вещество | Максимально разовая | Среднесуточная |
|------------------------|---------------------|----------------|
| 1 | 2 | 3 |
| Диоксид серы | 0,50 | 0,050 |
| Оксид углерода | 5,00 | 3,00 |
| Диоксид азота | 0,85 | 0,040 |
| Технический углерод | 0,15 | 0,050 |
| Сероводород | 0,008 | 0,250 |
| Фтористые соединения | 0,02 | 0,005 |
| Твердые частицы (пыль) | 0,50 | 0,150 |

Для котельных эти условия ужесточаются. ПДК оксидов серы и азота определяются по формуле (56)[7]:

$$\frac{C_{SO_2}}{ПДК_{SO_2}} + \frac{C_{NO_2}}{ПДК_{NO_2}} \leq 1 \quad (17)$$

Где C_{SO_2} и C_{NO_2} - концентрации оксидов соответственно серы и азота в уходящих газах, $мг / м^3$

К вредным выбросам в гидросферу относятся охлаждающие воды, сточные воды из систем гидрозолоудаления, подготовки воды, отработанные растворы химической очистки оборудования, растворы от промывки котлов, работающих на мазуте, и т.д. Количество этих стоков и загрязнение ими

различны и зависят от производительности котельной, вида используемого топлива, способа водоочистки и золоудаления и др [15].

Снижение загрязнений водоемов сточными водами возможно либо в результате очистки всех стоков до предельно допустимых концентраций вредных веществ, либо за счет внедрения оборотных систем с многократным использованием воды. При этом степень очистки и количество забираемых из источников вод уменьшаются[11].

Способ очистки сточных вод зависит от состава вредных примесей.

Если в сточных водах содержатся нефтепродукты, то применяют отстаивание, флотацию и фильтрование. Выделенные нефтепродукты направляют в мазутосборник, а затем — после подогрева — в котельную для сжигания. При очистке сточных вод после промывки котлов их нейтрализуют щелочными растворами и отстаивают. После отстаивания из шлама выделяется ванадий.

Предельно допустимые концентрации (мг/дм³) вредных веществ сточных вод котельной в воде водоемов не должны превышать: ванадия (V⁵⁺) — 0,1; мышьяка — 0,05; фтора — 1,5; аммиака — 2; железа (Fe³⁺) — 0,5; нефти — 0,1—0,3; поверхностно-активных веществ — 0,5.

При сбросе сточных вод в водные бассейны происходит не только их загрязнение, но и повышение температуры воды. Согласно водно-санитарному законодательству летняя температура воды при спуске сточных вод не должна превышать среднемесячную температуру воды самого жаркого месяца года за последние 10 лет более чем на 3 °С [11].

6.3 Расчет выбросов в атмосферу частиц золы и недожога

Количество золовых частиц и недожога, уносимое из топки котла за любой промежуток времени (т/год, кг/ч, кг/с и т.д.), определяется по формуле (18) [15]:

$$M_{me} = 0,01 \cdot B \cdot (\alpha_{yn} \cdot A^p + q_4^{yn} \cdot \frac{Q_n^p}{32680}) \cdot (1 - \eta_3), \quad (18)$$

где B - расход натурального топлива котлоагрегата за любой промежуток времени ($B = 0.248$ кг/с; $B = 1650 \cdot 10^3$ т/год);

A^p - зольность топлива на рабочую массу, %;

$\alpha_{\text{ун}}$ - доля золовых частиц и недожога, уносимых из котла;

$q_4^{\text{ун}}$ - потери теплоты с уносом от механической неполноты сгорания топлива, %;

Q_n^p - теплота сгорания топлива на рабочую массу, кДж/кг;

η_3 - доля твердых частиц, улавливаемых в золоуловителях.

$$M_{\text{ме}} = 0,01 \cdot 0,248 \cdot (0,25 \cdot 31 + 6 \cdot \frac{25104}{32680}) \cdot (1 - 0,94) = 0,0018 \text{ кг/с.}$$

6.4 Расчет выбросов в атмосферу окислов серы

Количество окислов серы, поступающих в атмосферу с дымовыми газами, в пересчете на SO₂ за любой промежуток времени (т/год, кг/ч, кг/с и т.д.) вычисляется по формуле (19) [15]:

$$M_{\text{SO}_2} = 0,02 \cdot B \cdot S^p \cdot (1 - \eta'_{\text{SO}_2}) \cdot (1 - \eta''_{\text{SO}_2}), \quad (19)$$

где S^p - содержание серы в топливе на рабочую массу, %;

η'_{SO_2} - доля окислов серы, связываемые летучей золой в газоходах котлов, зависит от зольности топлива и содержание окиси кальция в летучей золе;

η''_{SO_2} - доля окислов серы, улавливаемых в золоуловителе попутно с улавливанием твердых частиц, для сухих золоуловителей (электрофильтры, батарейные циклоны, тканевые фильтры) принимается равной нулю.

$$M_{\text{SO}_2} = 0,02 \cdot 0,248 \cdot 0,80 \cdot (1 - 0,1) \cdot (1 - 0,015) = 0,0035 \text{ кг/с.}$$

6.5 Расчет выбросов в атмосферу окиси углерода

Количество окиси углерода (т/год, кг/ч, кг/с и т.д.), выбрасываемой в атмосферу с дымовыми газами в единицу времени, вычисляется по формуле

$$M_{CO_2} = 0,001 \cdot B \cdot C_{CO} \cdot (1 - 0,01q_4), \quad (20)$$

где C_{CO} - выход окиси углерода при сжигании твердого, жидкого или газообразного топлива (кг/т, кг/тыс.м³), определяется по формуле:

$$C_{CO} = \frac{q_3 \cdot R \cdot Q_n''}{1013}, \quad (21)$$

где q_3 - потери теплоты от химической неполноты сгорания топлива, %;

R - коэффициент, учитывающий долю потери теплоты вследствие химической неполноты сгорания топлива, обусловленную содержанием в продуктах неполного сгорания окиси углерода. Для твердого топлива $R=1,0$.

η''_{SO_2} - доля окислов серы, улавливаемых в золоуловителе попутно с улавливанием твердых частиц, для сухих золоуловителей (электрофильтры, батарейные циклоны, тканевые фильтры) принимается равной нулю.

$$C_{CO} = \frac{0,15 \cdot 1 \cdot 25104}{1013} = 3,717 \text{ кг/т},$$

$$M_{CO_2} = 0,001 \cdot 0,248 \cdot 3,717 \cdot (1 - 0,01 \cdot 0,6) = 0,00092 \text{ кг/с}$$

6.6 Расчет выбросов в атмосферу оксидов азота

Количество оксидов азота в пересчете на двуокись азота (т/год, кг/ч, кг/с и т.д.), выбрасываемые в атмосферу с дымовыми газами в единицу времени для водогрейных котлов вычисляется по формуле (22) [15]:

$$M_{NO_2} = 10^{-3} \cdot K \cdot B_y \cdot (1 - 0,01q_4) \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3, \quad (22)$$

где K - коэффициент, характеризующий выход окислов азота, кг/т. у.т;

B_y - расход условного топлива за любой промежуток времени (тут/год, кгут/ч, кгут/с и т.д.);

β_1 - коэффициент, учитывающий влияние на выход окислов азота качества сжигаемого топлива (содержание N^f);

β_2 - коэффициент, учитывающий конструкцию горелок. Для прямооточных горелок $\beta_2=0,85$;

β_3 - коэффициент, учитывающий вид шлакоудаления. При жидком шлакоудалении $\beta_3=1,6$, во всех остальных случаях $\beta_3=1,0$.

Расход условного топлива определяется:

$$B_y = B \cdot \frac{Q_p}{29320}, \quad (23)$$

где $Q_p = 25104$ кДж/кг - низшая теплота сгорания топлива.

$$B_y = 0,248 \cdot \frac{25104}{29320} = 0,212 \text{ кг/с.}$$

Значение β_1 при сжигании твердого топлива ($\alpha_r \leq 1,25$) вычисляют по формуле:

$$\beta_1 = 0,178 + 0,47 \cdot N^r, \quad (24)$$

где $N^r = 1,24$ % – содержание азота в топливе на горючую массу.

$$\beta_1 = 0,178 + 0,47 \cdot 1,24 = 0,7608$$

$$M_{NO_2} = 10^{-3} \cdot 0,1738 \cdot 0,212 \cdot (1 - 0,01 \cdot 0,6) \cdot 0,7608 \cdot 0,85 \cdot 1,6 = 0,00003789 \text{ кг/с.}$$

7 АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ НА КОТЕЛЬНОЙ

Промышленная очистка газов от взвешенных в них твердых или жидких частиц проводится для уменьшения загрязненности воздуха, улавливания из газа ценных продуктов или удаления из него вредных примесей, отрицательно влияющих на последующую обработку газа, а также разрушающих аппаратуру[16].

Очистка отходящих промышленных газов является одной из важных технологических задач большинства химических производств. Поэтому разделение газовых неоднородных систем относится к числу широко распространенных основных процессов химической технологии.

В промышленных условиях пыль может образовываться в результате механического измельчения твердых тел (при дроблении, истирании, размалывании, транспортировке и т. д.), при горении топлива (зольный остаток), при конденсации паров, а также при химическом взаимодействии газов, сопровождающемся образованием твердого продукта. Получаемая в таких процессах пыль состоит из твердых частиц размерами 3-70мкм (ориентировочно). Взвеси, образующиеся в результате конденсации паров (нефтяные дымы, туманы смол, серной кислоты и др.), чаще всего состоят из очень мелких частиц размерами от 0,001 до 1мкм.

В зависимости от типа и мощности котельной могут применяться самые различные способы и методы золоудаления - фильтрация (тканевая, бумажная, волокнистая, сухая и мокрая электрофильтрация), сухие и мокрые скрубберы, осадительные камеры и циклоны. Наибольшее распространение получила очистка газов котельных с применением циклонов, их действие основано на силе тяжести, центробежной силе и инерции[20].

На котельной 101 квартала г.Благовещенск установлены циклоны в количестве 3 шт типа БЦ 2-6*(4+3) с КПД не менее 85% , и натрий – катионовый фильтр типа ФИПаI – 1,0 – 0,6 – Na.

Поэтому дополнительная арматура для очистки дымовых газов не требуется.

В циклонах используется центробежная сила, развивающаяся при вращательно-поступательном движении газового потока. Под действием центробежной силы частицы золы или пыли подводятся к стенке циклона и вместе с частью газов попадают в бункер. Попавшая в бункер часть газов, освободившись от пыли, возвращается в циклон через центральную часть пылеотводящего отверстия, давая начало внутреннему вихрю очищенного газа, покидающего аппарат. Отделение частиц от попавших в бункер газов происходит под действием сил инерции при перемене направления движения газов на 180° . По мере движения этой части газов в сторону выхлопной трубы к ней постепенно присоединяются порции газов, не попавших в бункер. Последнее не вызывает значительного увеличения выноса пыли в выхлопную трубу, так как распределенное по значительному отрезку длины циклона перетекание газов происходит со скоростью недостаточной для противодействия движению частиц к периферии циклона. Несравненно большее влияние на полноту очистки газов оказывает их движение в области пылеотводящего отверстия навстречу сыплющейся пыли[22].

7.1 Общие сведения о циклоне БЦ 2-6х(4+3)

Циклон БЦ 2-6х(4+3) применяется для очищения газов с высокой температурой до $+ 410$ градусов по Цельсию, от цементной пыли, известковых микрочастиц, золы и продуктов горения. Так же они очищают аэрозоли (не горючие с температурой $+ 155$ градусов по Цельсию), служат для улавливания золы из уходящих газов в твердотопливных отопительных и производственных котельных, с котлами типа КЕ, ДКВР и КВ-ТС, КВм, производительностью до 25 тонн пара в час и тепловой мощностью до 11,63 МВт.

Батарейный циклон БЦ 2-6х(4+3) представляет собой золоуловитель, составленный из параллельно установленных 42 чугунных циклонных

элементов, объединенных в одном корпусе и имеющих общие подвод и отвод газов, а также сборный бункер[22].

Цельнолитые чугунных циклонные элементы имеют диаметр 254 мм, и оборудованы направляющими аппаратами типа "Розетка" с углом наклона до 25°. Циклон разделен на две параллельно работающие секции; последние снабжаются шиберами для их отключения. Такое устройство циклона позволяет сохранять оптимальную скорость движения газов в циклонных элементах при переменных нагрузках (например работе котельных в летний и зимний периоды) путем отключения соответствующих секций. Кроме того, секционирование исключает переток газов из одних элементов в другие через пылевой бункер. В каждой секции на крышках установлены предохранительные клапаны во избежание повреждения циклона при взрывах или хлопках в процессе очистки взрывоопасных пылегазовых смесей. Корпус и бункер батарейного циклона БЦ 2-6х(4+3) изготавливают сварными из листовой стали. Сварные швы корпусов батарейного циклона обеспечивают газоплотность всего циклона.

Запыленный газ попадает в секции батарейного циклона БЦ 2-6х(4+3) общим потоком, равномерно распределённым по всему входному сечению. Из этого потока запыленный газ подводится в элементы и начинает вращение из-за лопаток закручивающего аппарата. Двигаясь по инерции прямо, твердые частицы золы и пыли прижимаются к корпусу циклонного элемента и спускаются по конической части корпуса вместе с газовым потоком. Благодаря спиральному вихревому движению образуется пониженное давление в середине циклонного элемента, в результате поток газов из нижней части конуса меняет направление движения и идет вверх по центру корпуса циклонного элемента, направляясь в трубу для выхлопов. Зола и пыль оседает вниз в сборочный бункер, откуда ее удаляют.

Чтобы батарейные циклоны БЦ 2-6х(4+3) нормально функционировал нужно поддерживать постоянное сопротивление при наименьшей нагрузке котла не менее двадцати килограмм на метр квадратный. Для этого

необходимо отключать одну из секций, не допускать подсосов воздуха извне и переполнения бункера золой. Кроме того, нужно полностью выгружать из бункера уловленную золу при остановке котла.

7.2 Расчет батарейного циклона

В батарейном циклоне требуется очищать от пыли 9000 м³/ч газа при температуре 400 °С. Плотность газа (при 0 °С и 800 мм рт. ст.) 1,7 кг/м³. Барометрическое давление 99 300 Па (745 мм рт. ст.). На входе в батарейный циклон газ находится под разрежением 294 Па (30 мм рт. ст.).

Гидравлическое сопротивление батарейного циклона не должно превышать 392 Па (40 мм рт. ст.). Плотность пыли 2500 кг/м³. Запыленность газа 37 г/м³ (при 0 °С и 760 мм рт. ст.). Пыль средне слипающаяся[13].

Характеристики циклонных элементов с большим количеством параллельных установленных циклонных элементов, для улавливания средне слипающейся пыли с плотностью 2500 кг/м³ при $\Delta p/\rho = 736 \text{ м}^2/\text{с}^2$ (или $\Delta p/\gamma = 75 \text{ м}$) приведены в таблице 12.

Таблица 12 - Характеристики циклонных элементов

| Диаметр элемента | Наибольшая допускаемая запыленность газа г/м ³ | Степень улавливания пыли (в %) при диаметре частиц | Коэффициент гидравлического сопротивления ζ при угле наклона лопастей, % |
|------------------|---|--|--|
| 10мм | 37 | 25 | 90 |

На основании данных этой таблицы выбираем циклонные элементы диаметром 254 мм (допускаемая запыленность газа до 37 г/м³). Определяем плотность газа при рабочих условиях:

$$\rho = 1,293 \cdot \frac{273 \cdot \left(745 - \frac{30}{13,5} \right)}{(273 + 310) \cdot 760} = 0,595 \text{ кг} / \text{м}^3 \quad (25)$$

По условию потеря давления Δp циклона не должна превышать 392 Па (40 мм рт. ст.). Соотношение $\Delta p/\rho = 392/0,595 = 600 \text{ м}^2/\text{с}^2$ (или $\Delta p/\rho = 40/0,595 = 67,2 \text{ м}$) не выходит из рекомендуемых пределов 540...730 $\text{м}^2/\text{с}^2$.

Для направляющего аппарата с углом наклона лопастей к горизонтали 25° коэффициент гидравлического сопротивления $\zeta = 90$.

Скорость газа в цилиндрической части циклонного элемента $w_{ц}$ определяем из формулы (18):

$$w_{ц} = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\zeta \cdot \rho}}, \quad (26)$$

$$w_{ц} = \sqrt{\frac{2 \cdot 392}{90 \cdot 0,595}} = 2,93 \text{ м/с}$$

Расход газа на один элемент батарейного циклона:

$$V_1 = 0,785 \cdot D^2 \cdot 3600 \cdot w_{ц}, \quad (27)$$

$$V_1 = 0,785 \cdot 0,150^2 \cdot 3600 \cdot 2,93 = 186 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Требуемое число элементов: $n = 7800/186 = 42$.

С целью повышения экологического состояния окружающей среды установлены блочные батарейные циклоны БЦ-2-6*(4+3) удовлетворяющие условиям сокращения выброса в атмосферу твердых частиц.

Установленный на котельной циклон справляется с очисткой, но так как срок эксплуатации большой и наблюдается снижение КПД.

По расчет и теоретическим сведениям о циклоне они достаточны, но практика его использования на котельной показывает, что его коэффициент полезного действия равен 45%, что является не допустимым, циклон должен обеспечивать степень очистки дымовых газов от 80 – 85%.

С целью меньших эксплуатационных затрат рекомендую выбрать циклон той же марки только нового образца.

Для котлов марки ДКВР 10-13 устанавливаем батарейный циклон БЦ 2-6*(4+3) в количестве 2 шт.

Если требуется дополнительная степень очистки, на усмотрение предприятия, предлагаю рассмотреть к этому циклону рукавный фильтр, расчет которого представлен ниже.

7.3 Расчет рукавного фильтра и его выбор

Рукавный фильтр представляет собой пылеулавливающее приспособление “сухого” типа. Он используется для очищения пылегазовоздушных составов и отличается высокой степенью эффективности. По качеству обработки он заметно превосходит оборудование мокрой очистки и электрофильтры. Приспособление оснащается фильтрующими элементами, эксплуатируемыми при высоком температурном режиме и изготавливаемыми из таких материалов, как полиамид и политетрафторэтилен[17].

Рукавный фильтр относится к категории универсального оборудования, так как он может применяться с одинаковой эффективностью в большей части технологических процессов, характеризующихся большим количеством формируемой пыли. Он не требует постоянного контроля и обслуживания, а функционирование осуществляется непрерывно.

По исходным данным:

Нормативная нагрузка на ткань составляет $q_n = 7 \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{мин})$, коэффициенты $C_{ax} = 1 \text{ г} / \text{м}^3, C_2 = 0,9, C_3 = 1, C_4 = 0,7, C_5 = 0,95$, по таблицам 13,14,15,16,17.

Таблица 13 – Значение коэффициента C_2

| $C_{ax}, \text{г} / \text{м}^3$ | C_2 | $C_{ax}, \text{г} / \text{м}^3$ | C_2 |
|---------------------------------|-------|---------------------------------|-------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | 1,12 | 20 | 0,95 |
| 2 | 1,1 | 40 | 0,9 |
| 6 | 1,04 | 60 | 0,88 |
| 8 | 1,02 | 80 | 0,86 |
| 10 | 1 | 100 | 0,83 |

C_3 - коэффициент учитывающий влияние дисперсного состава пыли в газе определяется по таблице 14.

Таблица 14 – Значение коэффициента C_3

| Медианный размер частиц $d_{ч, мкм}$ | C_3 | Медианный размер частиц $d_{ч, мкм}$ | C_3 |
|--------------------------------------|-------|--------------------------------------|-------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Свыше 100 | 1,4 | 3 – 10 | 0,9 |
| 50 – 100 | 1,1 | Менее 3 | 0,7 |
| 10 - 50 | 1 | | |

C_4 - коэффициент учитывающий влияние температуры очищаемого газа $T_{ex}, ^\circ C$ определяется по таблице 15.

Таблица 15 – Значение коэффициента C_4

| $T_{ex}, ^\circ C$ | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 |
|--------------------|----|-----|------|------|------|------|------|-----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 8 | 9 | 10 |
| C_4 | 1 | 0,9 | 0,84 | 0,78 | 0,75 | 0,73 | 0,72 | 0,7 |

C_5 - коэффициент учитывающий требования к качеству очистки газа определяется в зависимости от содержания пыли в очищаемом газе, $C_{вых}, мг / м^3$

Таблица 16 – Значение коэффициента C_5

| Содержание пыли после очистки $C_{вых}, мг / м^3$ | C_5 |
|---|-------|
| 1 | 2 |
| 30 | 1 |
| 20 | 0,98 |
| 10 | 0,95 |

Находим удельную газовую нагрузку по формуле 20

$$q = qn \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5, \quad (28)$$

$$q = 7 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 0,95 = 4,18$$

Рассчитываем фильтровальную площадь рукавов по формуле 21.

$$F\phi = \frac{V}{60 \cdot q}, \quad (29)$$

$$F\phi = \frac{9000}{60 \cdot 4,18} = 35,9 \text{ м}^2$$

Принимаем для приведенных условий фильтр РЦИ 40,8-48.

Гидравлическое сопротивление фильтра вычисляется по формуле 30.

$$P_{II} = K_1 \cdot \mu \cdot W_{\phi} + K_2 \cdot T \cdot C_{ex} \cdot \mu \cdot W_{\phi}^2, \quad (30)$$

$$P_{II} = 2400 \cdot 10^6 \cdot 20 \cdot 10^{-6} \cdot 0,07 + 100 \cdot 10 \cdot 20 \cdot 10^{-6} \cdot 20 \cdot 10^{-3} \cdot 5,99^2 = 2400 \text{ Па}$$

где K_1 – коэффициент характеризующий сопротивление фильтрующей перегородки принимается по таблице 16;

μ - динамическая вязкость газов, Па*с;

τ - длительность цикла фильтрования, с

C_{ex} - входная концентрация пыли в очищаемых газах г/м³;

W_{ϕ} - скорость фильтрования, м/с определяется по формуле;

$$W_{\phi} = \frac{V}{3600 \cdot F_{\phi}}, \quad (31)$$

$$W_{\phi} = \frac{9000}{3600 \cdot 35,9} = 0,07 \text{ м/с}$$

Таблица 17 – Значение параметров K_1, K_2 .

| дч, мкм | $K_1, \text{м}$ | $K_2, \text{м}$ |
|---------|-------------------|-----------------|
| 1 | 2 | 3 |
| | $1100 \cdot 10^6$ | $6,5 \cdot 10$ |
| | $1500 \cdot 10^6$ | $16 \cdot 10$ |
| | $2200 \cdot 10^6$ | $80 \cdot 10$ |
| 10 | $2400 \cdot 10^6$ | $100 \cdot 10$ |

Определяем скорость потока во входном патрубке

$$W_{II} = \frac{V_{II}}{F_{ex}}, \quad (32)$$

$$W_{II} = \frac{9000}{3600 \cdot 0,270} = 9,25 \text{ м/с}$$

где $F_{ex} = 0,270 \text{ м}^2$ из таблицы 18:

Таблица 18 – Техническая характеристика фильтров типа РЦИ.

| Типо-размер | Фильтрующая поверхность, м^2 | Число рукавов | Высота, м | Диаметр, м | Площадь входа F_{ex} , м^2 |
|-----------------|---------------------------------------|---------------|--------------------|---------------------|---------------------------------------|
| РЦИ – 1,7 – 4 | 1,7 | 4 | 2,518 | 0,508 | 0,011 |
| РЦИ – 5,2 – 8 | 5,2 | 8 | 3,36 | 0,785 | 0,036 |
| РЦИ – 6,9 – 16 | 6,9 | 16 | 3,295 | 1,008 | 0,087 |
| РЦИ – 10,4 – 16 | 10,4 | 16 | 3,895 | 1,008 | 0,087 |
| РЦИ – 15,6 – 24 | 15,6 | 24 | 4,100 | 1,148 | 0,135 |
| РЦИ – 23,4 – 36 | 23,4 | 36 | 4,412 | 1,348 | 0,201 |
| РЦИ – 31,2 – 48 | 31,2 | 48 | 4,657 | 1,508 | 0,270 |
| РЦИ – 40,8 – 48 | 40,8 | 48 | 5,257 | 1,508 | 0,270 |

Гидравлическое сопротивление корпуса аппарата определяем по формуле 34

$$P_K = \zeta_K \cdot \frac{\rho r \cdot W_{II}^2}{2}, \quad (34)$$

$$P_K = 10 \cdot \frac{1,15 \cdot 9,25^2}{2} = 491 \text{ Па}$$

Общее гидравлическое сопротивление рукавного фильтра определяем:

$$P_\phi = P_{II} + P_K, \quad (35)$$

$$P_\phi = 2400 + 491 = 2891 \text{ Па}$$

Эффективность пылеулавливания определяем:

$$\eta = \left(\frac{(C_{ex} - C_{вых})}{C_{ex}} \right) \cdot 100, \quad (36)$$

$$\eta = \left(\frac{(1000 - 10)}{1000} \right) \cdot 100 = 99\%$$

Количество входящей пыли:

$$M_1 = V \cdot C_{ex} \quad (37)$$

$$M_1 = 1,27 \cdot 10 = 12,7 \text{ г/с}$$

$$M_2 = M_1 \cdot \eta \quad (38)$$

$$M_2 = 12,7 \cdot 0,99 = 12,6 \text{ г/с}$$

$$\Delta M = M_1 - M_2 \quad (39)$$

$$\Delta M = 12,7 - 12,6 = 0,1 \text{ г/с}$$

Подобран рукавный фильтр РЦИ 40,8-48:

1. Площадь поверхности фильтрации $F = 40,8 \text{ м}^2$;

2. Гидравлическое сопротивление фильтра $P_\phi = 2891 \text{ Па}$;

3. Степень очистки фильтра $\eta = 99\%$;

4. Расход входящей пыли составляет $M_1 = 12,7 \text{ г/с}$, уловленной $M_2 = 12,6 \text{ г/с}$, выбрасываемой в окружающую среду $\Delta M = 0,1 \text{ г/с}$

8 ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

В условиях рыночной экономики решающее условие финансовой устойчивости предприятия – эффективность вложения капитала в тот или иной инвестиционный проект. Поскольку капитальные вложения всегда ограничены финансовыми возможностями предприятия, а достижение результата отдалено во времени, возникает необходимость планирования инвестиционных решений и оценки экономической эффективности в результате разработки инвестиционного проекта. Инвестиционный проект – это комплексный план создания производства с целью получения экономической выгоды[14].

В данной выпускной квалификационной работе осуществляется реконструкция котельной 101 квартала г.Благовещенск.2

Реконструкция предприятия – полное или частичное переоборудование производства, а также строительство новых энергетических объектов для замены ликвидируемых, дальнейшая эксплуатация которых признана нецелесообразной.

Целью реконструкции котельной является замена устаревшего тепломеханического оборудования.

Для достижения поставленной цели будут решены следующие задачи:

- 1) расчет капиталовложений в реконструируемый объект;3
- 2) расчет затрат на эксплуатацию объекта;
- 3) расчет окупаемости проекта;
- 4) определение жизненного цикла проекта и графика его реализации.

8.1 Капитальные вложения

Рассчитаем капитальные вложения и приведем сметную стоимость тепломеханического оборудования. В сметной стоимости приведены цены 2015 года. Сметная стоимость оборудования представлена в виде таблицы 19.

Таблица 19 - Сметная стоимость теплотехнического оборудования

| Элемент сети | Кол-во, шт | Стоимость, руб. | Кт, руб. |
|--------------|------------|-----------------|----------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| ДКВр 10-13 | 2 | 3913000 | 7826000 |
| Итого | | | 7826000 |

Капитальные вложения в теплотехническое оборудование определяются суммированием сметной стоимости оборудования, строительных и монтажных работ:

$$K_{\Sigma \text{ кот}} = K_{\text{обор.к}} + K_{\text{стр.к}} + K_{\text{мр.к}} \quad (40)$$

где $K_{\text{обор.к}}$ - сметная стоимость оборудования без учета строительно-монтажных работ, тыс. руб;

$K_{\text{стр.к}}$ - строительные работы, тыс. руб.

$K_{\text{мр.к}}$ - монтажные работы, тыс. руб.

По определенной ранее общей стоимости оборудования можно определить неизвестные слагаемые формулы и определить общую величину капитальных вложений теплотехническое оборудование:

$$K_{\Sigma \text{ кот}} = 3913000 + \frac{3913000 \cdot 35,5}{33} + \frac{3913000 \cdot 31,5}{33} = 11857575,8 \text{ руб.}$$

Капитальных вложений в тепловые сети определяется суммированием сметной стоимости оборудования, строительных и монтажных работ:

$$K_{\Sigma} = K_{\Sigma \text{ те}} \cdot k_{\text{тр}}, \quad (41)$$

где $k_{\text{тр}}$ - коэффициент учитывающий транспортировку и доставку оборудования (принимается $k_{\text{тр}} = 1,2$).

$$K_{\Sigma} = 11857575,8 \cdot 1,2 = 14\,229\,091 \text{ руб.}$$

8.2 Расчет амортизационных отчислений

Амортизационные отчисления – денежное выражение стоимости основных фондов в себестоимости продукции.

Цель амортизации – накопление финансовых средств для возмещения изношенных основных фондов.

Амортизационные отчисления определяется по формуле:

$$I_{ам} = \sum K_i \cdot \alpha_{ам.i}, \quad (42)$$

$$I_{ам} = 14229091 \cdot 0,04 = 569163,64$$

где $\alpha_{ам.i}$ - ежегодные нормы отчислений на амортизацию для i -го вида основных средств, о.е.

Ежегодные нормы отчислений на амортизацию определяются по формуле:

$$\alpha_i = \frac{1}{T_{сл}}, \quad (43)$$

$$\alpha_i = \frac{1}{25} = 0,04$$

где $T_{сл}$ - срок службы соответствующего оборудования, или амортизационный период .

Амортизационный период – срок полного погашения стоимости средств производства за счет амортизационных отчислений.

Далее приведем таблицу 20, в которой сведены амортизационные отчисления оборудования котельной.

Таблица 20 – Амортизационные отчисления оборудования котельной

| Наименования оборудования | Срок службы $T_{сл.}$ | Ежегодные нормы отчисления на амортизацию $\alpha_{iам}$ | Капитальные вложения оборудования K_i , руб. | Амортизационные отчисления I_i , руб. |
|---------------------------|--------------------------|---|--|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Котел | 25 | 0,04 | 7826000 | 569163,64 |

Определим суммарные амортизационные отчисления котельной:

$$I_{\Sigma ам} = 7826000 + 569163,64 = 8395163,64 \text{ руб.}$$

8.3 Расчет эксплуатационных затрат

В результате износа и старения деталей и элементов технических устройств возникают изменения в их параметрах и техническом состоянии, появляется вероятность их отказа. В отличие от других видов промышленного оборудования, авария и выход из строя электротехнического оборудования и передаточных устройств не только имеют важное самостоятельное значение, но и способны вызывать длительные перерывы в электроснабжении, что может привести к значительному экономическому и социальному ущербу у потребителей.

Виды ремонтного воздействия: техническое обслуживание, капитальный ремонт, текущий ремонт.

Ежегодные затраты на КР и ТР, а также ТО энергетического оборудования определяются по формуле:

$$I_{экс} = \sum K_i \cdot \alpha_{экс.i}, \quad (44)$$

$$I_{экс} = 14229091 \cdot 0,04 = 569163,64$$

где $\alpha_{\text{экс.}i}$ - норма ежегодных отчислений на эксплуатацию, ТР и ТО ;

K_i - капиталовложения или балансовая стоимость основных фондов.

Далее в таблицу 21 сведем эксплуатационные затраты на оборудования котельной.

Таблица 21 – Эксплуатационные затраты на оборудования котельной

| Наименования оборудования | норма ежегодных отчислений на эксплуатацию, ТР и ТО $\alpha_{i\text{экс}}$ | Капитальные вложения оборудования K_i , руб. | Эксплуатационные издержки $I_{i\text{экс}}$, руб. |
|---------------------------|--|--|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Котел | 0,04 | 7826000 | 569163,64 |

Определим суммарные эксплуатационные издержки котельной:

$$I_{\text{экс}} = 569163,64 \text{ руб.}$$

8.4 Расчет издержек на топливо

Затраты на топливо с учетом потерь при транспортировке определяются последующему выражению:

$$I_m = B_{\text{усл}} \cdot (1 + \alpha_n) \cdot T_m \quad (45)$$

$$I_m = 19,137 \cdot (1 + 2) \cdot 1250 = 71763,75$$

где $B_{\text{усл}}$ – годовой расход условного топлива, т у.т.;

α_n – коэффициент, учитывающий потери топлива при транспортировке в пределах норм естественной убыли (для котельных $\alpha_n = 2\%$);

T_m – цена топлива с учетом транспортных расходов ($T_m = 1250$ руб. за т.).

Расход условного топлива на регулируемый период определяется исходя из удельной нормы расхода условного топлива на выработку 1 Гкал и выработки тепловой энергии:

$$B_{\text{усл}} = Q_{\text{выр}} \cdot \nu \cdot 10^{-3}, \quad (46)$$

$$B_{\text{усл}} = 50,19 \cdot 0,189 \cdot 10^{-3} = 9,49 \cdot 10^{-3}$$

где $Q_{\text{выр}}$ – годовая выработка тепловой энергии, Гкал;

ϵ – удельная норма расхода условного топлива на выработку тепловой энергии, кг у.т./Гкал.

8.5 Расчет затрат на воду

Расчет затрат на воду производится исходя из общего количества потребляемой воды на выработку тепловой энергии и цены 1 м³ воды.

Общее количество воды на регулируемый период складывается из следующих расходов:

$$V = V_{\text{сет}} + V_{\text{подп}} + V_{\text{хоз.быт}} \quad (47)$$

$$V = 17,404 \text{ м}^3$$

где V – годовой расход воды, всего, м³;

$V_{\text{сет}}$ – расход воды на наполнение трубопроводов тепловых сетей, м³;

$V_{\text{подп}}$ – расход воды на подпитку системы теплоснабжения, м³;

$V_{\text{хоз.быт}}$ – расход воды на хозяйственно-бытовые нужды котельной, м³.

Количество подпиточной воды для восполнения потерь в системах и трубопроводах должно соответствовать величинам утечек. Норма утечки воды для закрытой системы теплоснабжения принимается равной 0,25 % в час от объема воды в трубопроводах тепловых сетей.

Годовой расход воды на подпитку составит:

$$V_{\text{подп}} = n_{\text{ут}} \cdot V_{\text{сет}} \cdot Z_{\text{подп}} \quad (48)$$

где $n_{\text{ут}}$ – норма утечки в один час;

$Z_{\text{подп}}$ – продолжительность периода подпитки, ч;

Расход воды на хозяйственно-бытовые нужды котельной определяют по формуле:

$$V_{\text{хоз.быт}} = (a_{\delta} \cdot N_{\delta} \cdot K_{\delta} \cdot a \cdot M) \cdot Z \quad (49)$$

где a_o – норма расхода воды на одну душевую сетку, м³/сут;

N_o – количество душевых сеток;

K_o – коэффициент использования душевых;

a – бытовые нужды котельной, м³/чел.сут;

M – численность работающих в сутки, чел.;

Z – продолжительность работы котельной в регулируемом периоде, сут.

$$V_{\text{хоз.быт}} = (0,5 \cdot 1 \cdot 0,4 \cdot 0,2 \cdot 4) \cdot 219 = 35 \text{ м}^3;$$

$$V_{\text{подн}} = 0,0025 \cdot 128,3 \cdot 5256 = 1686 \text{ м}^3;$$

$$V = 128 + 1686 + 35 = 1849 \text{ м}^3.$$

Затраты на воду определяются:

$$I_{\text{в}} = V \cdot T_{\text{в}} \quad (50)$$

где T_e – тариф на воду по данным ООО «Энергетик» (принимается равным $T_e = 48.30$ руб/м³).

$$I_{\text{в}} = 1849 \cdot 48.30 = 89307 \text{ руб.}$$

8.6 Расчет численности рабочих

Важнейшей задачей планирования численности работников является определение обоснованной потребности в кадрах для обеспечения ритмичного производственного процесса и выполнения производственных заданий.

При планировании численности работников на предприятии руководствуются следующими принципами:

- 1) соответствие численности и квалификации работников объему запланированных работ и их сложности;
- 2) обусловленность структуры персонала предприятия объективными факторами производства;
- 3) максимальная эффективность использования рабочего времени;

4) создание условий для повышения квалификации и расширения производственного профиля работников.

Штатная численность персонала на электростанции складывается из численности следующих работников: рабочие, инженерно-технические работники (ИТР).

К числу рабочих относят персонал занятый непосредственно ремонтом, эксплуатацией и обслуживанием теплотехнического и электротехнического оборудования.

Инженерно-технические работники – это работники, занимающиеся организацией проведения ремонтно-эксплуатационных работ, а также информационно-техническим обслуживанием предприятия.

Численность персонала котельной определяется по нормативам численности промышленно-производственного персонала котельных.

Произведем расчет численности персонала котельной, опираясь на нормативные значения численности рабочих, взятых со справочников, и отобразим все данные в таблице 22.

Таблица 22 – Штатная численность рабочих на предприятии

| Персонал | Численность персонала |
|--|-----------------------|
| 1 | 2 |
| Начальник | 1 |
| Инженер - энергетик | 1 |
| Оператор котельной | 8 |
| Инженер теплотехник | 1 |
| Мастер по эксплуатации и ремонту оборудования котельной и тепловых сетей | 1 |
| Бригадир | 1 |
| Мастер | 1 |

| 1 | 2 |
|---------------------------------|------------|
| Слесарь по ремонту оборудования | 4 |
| Электрик | 2 |
| Сантехник | 1 |
| Электросварщик | 1 |
| Золотудаление | 4 |
| Углеподачки | 3 |
| Грущики угля | 2 |
| Машинист котлоагрегата | 10 |
| Итого | 43 человек |

8.7 Расчет затрат на оплату труда персонала котельной

Поскольку реальные данные о заработной плате по предприятию отсутствуют, воспользуемся статистической отчетностью федеральных организаций статистики. В этом случае в целом по предприятию годовой фонд заработной платы может быть определен по формуле ниже:

$$\Phi ЗП_{год} = N_{раб} \cdot 12 \cdot ЗП_{ср.зн} \quad (51)$$

$$\Phi ЗП_{год} = 43 \cdot 12 \cdot 20313,4 = 10481714,4$$

где $ЗП_{ср.зн}$ - среднемесячная заработная плата, руб.;

$N_{раб}$ – численность работников предприятия, чел;

Из письма Амурстата на сентябрь 2014г. – «Среднемесячная номинально начисленная заработная плата работников организаций по видам экономической деятельности Российской Федерации за 2014-2015 гг.», принимаем $ЗП_{ср} = 20313,4$ руб.

8.8 Расчет налога на социальные нужды и медицинское страхование

Элемент «Налог на социальные нужды» отражает все обязательные отчисления по установленным законодательством нормам органам

государственного социального страхования, Пенсионного фонда и обязательного медицинского страхования. Они начисляются с сумм затрат организации на оплату труда работников, которые были включены в себестоимость продукции (работ, услуг) (по элементу «Затраты на оплату труда»). На отдельные виды оплаты труда страховые взносы не начисляются (такие виды выплат оговариваются в нормативных документах).

Для исчисления единого социального налога и взноса на обязательное пенсионное страхование объектом налогообложения для работодателей являются:

- выплаты по трудовым договорам;
- вознаграждения в пользу физических лиц по гражданско-правовым договорам, предметом которых является выполнение работ, оказание услуг, а также по авторским договорам.

Ставки налогов и их распределение определяются статьей 241 НК РФ.

Обычный размер ставки на 2015 составляет 20 %.

ЕСН вычисляется по следующему выражению:

$$CHuMC = 0.2 \cdot \PhiЗП_{год} \quad (52)$$

$$CHuMC = 0,2 \cdot 10481714,4 = 2096342,88 \text{ руб.}$$

8.9 Расчет прочих затрат

По найденным выше значениям издержек, годового фонда заработной платы и ЕСН определяются прочие затраты:

$$I_{np} = 0,3 \cdot (I_{ам} + I_{экс} + I_m + CHuMC + \PhiЗП_{год}) + 0,03 \cdot K_{\Sigma} \quad (53)$$

$$I_{np} = 0,3 \cdot (569163,64 + 569163,64 + 71763,75 + 2096342,88 + 10481714,4) + 0,03 \cdot 14229091 = 4563317,22$$

Суммарные издержки находятся по формуле:

$$I_{\Sigma} = I_{ам} + I_{экс} + I_m + \PhiЗП_{год} + CHuMC + I_{np} \quad (54)$$

Определим сумму всех затрат:

$$I_{\Sigma} = 569163,64 + 569163,64 + 71763,75 + 2096342,88 + 10481714,4 + \\ + 4563317,22 = 18\,351\,465,5$$

8.10 Оценка экономической эффективности проекта

Оценка экономической эффективности проекта предназначена для того, чтобы сделать вывод о целесообразности внедрения предложенного варианта или спроектированного объекта и т.п., т.е. дать экономическое обоснование выбранного варианта. Для этого проводят экономическую оценку по следующим методам:

Простая норма прибыли (ПНП) или простая норма рентабельности определяется по характерному году расчетного периода, когда достигнут проектный уровень производства, но еще продолжается возврат инвестиционного капитала.

Расчетный период – это период, в течение которого инвестор планирует отдачу от первоначального вложенного капитала, и обычно принимается равным сроку службы наиболее важной части основного капитала.

Простой срок окупаемости представляет собой период, в течение которого сумма чистых доходов покрывает инвестиции.

Определение срока окупаемости капитальных вложений производится последовательным суммированием величины чистого дохода в стабильных ценах (без учета инфляции) по годам расчетного периода до того момента, пока полученная сумма не сравняется с величиной суммарных капитальных вложений.

Чистый дисконтированный доход относится к интегральным (динамическим) критериям оценки экономической эффективности инвестиций и оперирует с показателями работы проектируемых объектов по годам расчетного периода с учетом фактора времени.

ЧДД рассчитывается дисконтированием чистого потока платежей, который определяется как разность между притоками и оттоками денежных средств (без учета источников финансирования).

Выручка с продажи тепловой энергии за год равна:

$$O_{pt} = Q_{\text{пол.отп}} \cdot T_{\kappa}^m \quad (55)$$

где T_{κ}^m – тариф на тепловую энергию, руб/Гкал.

$Q_{\text{пол.отп}}$ - полезный отпуск в сеть, Гкал.

$$O_{pt} = 19000 \cdot 1756,6 = 33\,375\,400 \text{ руб.}$$

Прибыль от реализации тепловой энергии:

$$П = O_{pt} - И_{\Sigma}, \quad (56)$$

$$П = 33375400 - 18351465,5 = 1\,502\,393,5 \text{ руб.}$$

Ставка налога на прибыль на 2015 год равен 20 % .

Налог на прибыль равен:

$$H_{\Pi} = П \cdot 0,2 \quad (57)$$

$$H_{\Pi} = 15023393,5 \cdot 0,2 = 3\,004\,786,9 \text{ руб.}$$

Чистая прибыль от реализации тепловой энергии равна:

$$П_{\text{чист}} = П - H_{\Pi}, \quad (58)$$

$$П_{\text{чист}} = 15023393,5 - 3004786,9 = 12\,018\,606,6 \text{ руб.}$$

8.11 Расчет и построение графика чистого дисконтированного дохода

Чистый дисконтированный доход рассчитывается дисконтированием чистого потока платежей \mathcal{E}_t , который определяется как разность между

притоками и оттоками денежных средств (без учета источников финансирования):

$$\mathcal{E}_t = O_p - I_\Sigma - H_{II} - K_\Sigma \quad (59)$$

Чистый дисконтированный доход определяется:

$$ЧДД = \sum_{t=0}^{T_p} \frac{\mathcal{E}_t}{(1+E)^t} = \sum_{t=0}^{T_p} \frac{O_p - I_\Sigma - H_{II} - K_\Sigma}{(1+E)^t} \quad (60)$$

$$ЧДД = \frac{\frac{1}{2} \cdot (-14\,229\,091) + (33\,375\,400 - 18\,351\,465,5 - 3\,004\,786,9)}{(1+0,125)^t} = 4\,360\,000 \text{ руб.}$$

где O_p – выручка от реализации проекта;

K_Σ – суммарные капиталовложения в проект;

I_Σ – полные эксплуатационные расходы;

H_{II} – отчисления налога на прибыль;

E – норма дисконтирования (обычно принимают ставку рефинансирования ЦБ, однако для энергетических ИП рекомендуется принимать в размере ставки рефинансирования ЦБ, т.е. $E = 12,5\%$), о.е.

T_p – расчетный период (для проектов в области теплоэнергетики составляет 30 лет).

Принимаем допущения:

1) строительство проекта осуществляется в течении двух лет, в неотопительный период;

2) получение прибыли осуществляется постепенно, равными долями и возможно с первого года.

9 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ

9.1 Безопасность

Основная цель безопасности - предотвращение и/или минимизация последствий аварий на опасных производственных объектах. Авария - разрушение сооружений и (или) технических устройств, применяемых на опасном производственном объекте, неконтролируемые взрыв и (или) выброс опасных веществ. Основная цель охраны труда - сохранение жизни и здоровья работников. Т.е. вполне возможны аварии, которые не причиняют вред жизни и здоровью работников, и, наоборот, вред жизни и здоровью работников может быть причинен без аварий [6].

Требования безопасности [6]:

1. Соблюдать положения Федерального закона N116-ФЗ, других федеральных законов и иных нормативных правовых актов Российской Федерации, а также нормативных технических документов в области промышленной безопасности;
2. Иметь лицензию на эксплуатацию опасного производственного объекта;
3. Обеспечивать укомплектованность штата работников опасного производственного объекта в соответствии с установленными требованиями;
4. Допускать к работе на опасном производственном объекте лиц, удовлетворяющих соответствующим квалификационным требованиям и не имеющих медицинских противопоказаний к указанной работе;
5. Обеспечивать проведение подготовки и аттестации работников в области промышленной безопасности. Подготовка может быть в форме самоподготовки.

Котельные установки относятся к опасным производственным объектам т.к. при их эксплуатации возможна реализация следующих потенциальных опасностей (основных):

Неконтролируемые взрывы газоздушных и аэрозольных горючих систем;

- физические взрывы систем, работающих под давлением;
- разрушение трубопроводов с паром и горячей водой за счёт температурных градиентов, обусловленных отложением солей жёсткости (накипи) из нагреваемой воды на нагретых поверхностях;
- генерирование вибрации и шума за счёт работы дробильных, размольных и транспортных агрегатов, а также тягодутьевых устройств;
- опасность термических ожогов при контакте работающих с нагретыми поверхностями и паром;
- загрязнение атмосферы, гидросферы и литосферы газообразными, аэрозольными, жидкими и твердыми отходами;
- загрязнение окружающей природной среды неиспользованной теплотой отходящих газов, охлаждающей воды и твердофазных отходов.

С целью безопасной эксплуатации котельных установок применяется следующая арматура безопасности [7]:

1. Манометры, для контроля давления среды (воды, пара и др.);
2. Предохранительные устройства для сброса избыточного давления рабочей среды (разрывные мембраны, предохранительные клапаны, и др.);
3. Парозапорные вентили для отключения котельной от паровой магистрали;
4. Водозапорные вентили (задвижки) для впуска воды в КУ и регулирование её количества;
5. Обратный питательный клапан, предотвращающий пропуск воды из котельной обратно в питательную магистраль при аварии на питательном трубопроводе;
6. Воздушные клапаны для удаления из котельной воздуха и др. газов.

Вся арматура должна иметь сертификаты (паспорта), где отражаются параметры эксплуатации, схемы включения в технологическую систему и др. сведения. Соединения трубопроводов котельных установок выполняются фланцевыми или сварными.

Котельные установки оборудуются также необходимой гарнитурой безопасности [7]:

Заслонки и шиберы для регулирования тяги и дутья;

1. Лазы в обмуровке для осмотра топочной камеры, газоходов и др. поверхностей нагрева и футеровки;
2. Предохранительные взрывные клапаны для защиты обмуровки и каркаса КУ от разрушений при взрывах горючей смеси в топке и газоходах;
3. Затворы на шлаковых и золовых бункерах для удаления шлака и золы из топки, газоходов и др. мест.

В целях предупреждения взрывов автоматически контролируется температура топочных газов, пара и воды, причём системы контроля блокируются с питательными системами (по топливу и воде), которые отключаются при превышении критических величин температур.

Для обеспечения безопасности процесса розжига предусматриваются автоматические системы контроля и регулирования подачи горючего на запальник и в топку [3].

Особое значение для безопасной эксплуатации являются, умягчение питательной воды с целью предупреждения образования накипи на нагретых поверхностях. При умягчении (обессоливании) воды из неё удаляют соли жесткости ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$; $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$; CaSO_4 ; MgSO_4 ; MgCl_2) обеспечивающие карбонатную и некарбонатную жёсткость воды.

Умягчение питательной воды производится при помощи ионообменных смол (катиониты и аниониты), а также реагентными методами (обработка кислотами с выпадением солей жёсткости в осадок).

9.2 Чрезвычайные ситуации

ЧС – это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде,

экономике, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей [5].

Источник ЧС – опасное природное явление, авария или опасное техногенное происшествие, широко распространенная инфекционная болезнь людей, сельскохозяйственных животных, растений, а так же применение средств поражений, в результате чего произошла или может произойти ЧС.

Наиболее часто возникающая ЧС в котельной – это пожар.

Так как технологический процесс связан со сжиганием топлива, то возможный источник пожара в котельной – аварийные режимы работы электрического оборудования: короткие замыкания, перегрузки аппаратов, искры и электродуги

Действующим нормативным документом является [6]:

Согласно ГОСТ 12.1.004. 91 "ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования", проектируемая котельная по пожарной безопасности относится к категории " Г ", по огнестойкости строительных конструкций степень огнестойкости здания котельной II, класса В – 1А.

Категория "Г" означает негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени, горючие вещества и жидкости, которые сжигаются в качестве топлива. Класс В – 1А – зоны, расположенные в помещениях, в которых при нормальной эксплуатации взрывоопасные смеси горючих газов или паров легко воспламеняющихся жидкостей с воздухом не образуется, а образование таких смесей возможно только в результате аварий и неисправностей.

Источниками пожара могут быть неисправности электрооборудования, осветительных приборов; выход из строя приборов автоматики. При нарушении целостности газопроводов уходящих газов, или при разрушении обшивки и обмуровки котла, уходящие газы, имеющие высокую температуру, могут послужить причиной пожара [6].6

Для предупреждения образования взрывоопасных газозвушных смесей большое значение имеет контроль воздушной среды производственного помещения. Наиболее прогрессивен контроль воздушной среды производственных помещений автоматическими сигнализаторами до взрывных концентраций. При включении предупредительной сигнализации и аварийной вентиляции предусматривается автоматическое или ручное отключение всего или части технологического оборудования. 7

Пожарный инвентарь котельной, первичные средства пожаротушения и щиты для их хранения должны находиться на видных местах и должны быть окрашены масляной краской вкрасный цвет. На пожарных щитах указывается номер телефона для вызова пожарной охраны. На случай возникновения пожара всегда должна быть в полной готовности огнетушители, ящики с песком, лопата, ведро [5].

В состав инвентаря входят:

- пенные химические огнетушители;
- порошковые огнетушители;
- гидранты;
- ящики с песком;
- лопаты;
- ведра.

Весь инвентарь расположен в доступном месте на входе в котельную.

Для быстрого вызова пожарной службы в котельной установленные извещатели и телефон.

Котельная оснащена пожарной сигнализацией, которая обнаруживает начальную стадию пожара, передает извещение о месте и времени его возникновения и, при необходимости включает автоматические водяные системы пожаротушения [5].

В качестве водисточника на территории электростанции проложен водопровод с гидрантом для возможности подключения пожарных машин.

Место установки гидранта обозначается соответствующим знаком, на котором указано место установки и расстояние до пожарного гидранта.

Помещение котельной выполнено железобитонным стеновым блоком. Покрытие пола котельной – бетонное. Котельная имеет непосредственные выходы наружу. В зданиях предусматриваются эвакуационные выходы, что соответствует требованиям СНиП 2.01.02-85 и ППБ 139 - 87. На путях эвакуации установлены указатели для выхода персонала, также имеется рабочее и аварийное освещение. Двери на путях эвакуации открываются по направлению выхода из здания. Эвакуация людей предусматривается через обособленные выходы из каждой части здания [5].

ЗАКЛЮЧЕНИ

На котельной 101 квартала г.Благовещенск необходимо решение очистки дымовых газов. Для этого в работе были решены следующие задачи:

1рассмотрел вариант замены котлов по сроку эксплуатации

2 произведен расчет циклона и рукавного фильтра

3произведен выбор и проверка оборудования

4произведен экономический расчет

В результате выполнения работы были заменены котлы в количестве 2 шт, на котлы такого же типа только другого года выпуска.

Как дополнительное средство очистки дымовых газов был предложен вариант дополнительного оборудования рукавный фильтр, позволив этим обеспечить требуемый уровень очистки вредных выбросов с объекта проектирования.

При этом реконструкция котельной выбрана таким образом, чтобы затраты на её модернизирование были минимальны, а окупаемость не превышала 5 лет.

В ходе работы были использованы следующие программные продукты: AutoCAD, Mathcad, MSWord.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Ананичева, С.С. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования / С.С Ананичева. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2008. - 55 с.
- 2 Кострикин, Ю.М. Водоподготовка и водный режим энергообъектов низкого и среднего давления: Справочник/ Ю.М. Кострикин, Н.А. Мещерский, О.В. Коровина. - М.: Энергоатомиздат, 2010. - 254 с.
- 3 Панин В.Ф. Методические указания по курсу «Безопасность жизнедеятельности» / В.Ф.Панин [и др.] – Т.: Издательство ТПУ, 2013. – 48 с.
- 4 Правила устройств теплоустановок / Минэнерго СССР. – 6-е изд. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 648 с.
- 5 Булгаков А.Б. Безопасность жизнедеятельности: методические указания к практическим занятиям / А.Б. Булгаков – Бл.: Издательство АмГУ, 2014. – 101 с.
- 6 Долин, П.А. Техника безопасности в теплоэнергетических установках: Справочное пособие / ред. П.А. Долин. – М.: Энергоатомиздат, 2014. – 286 с.
- 7 Панин, В.Ф. Методические указания по курсу «Безопасность жизнедеятельности» / В.Ф.Панин [и др.] – Т.: Издательство ТПУ, 2013. – 48 с.
- 8 Ананичева, С.С. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования / С.С. Ананичева, А.Л. Мызин, С.Н. Шелюг. – Ек.: ГОУ ВПО УГТУ – УПИ, 2005. – 52 с.
- 9 Приказ Министерства энергетики РФ от 30 декабря 2008 г. № 325 «Об организации в Министерстве энергетики РФ работы по утверждению нормативов технологических потерь при передаче тепловой энергии»// Собр. Законодательства Российской Федерации. – 2015. №22. ст. 2577; №42. ст. 4825; №46. ст. 5337;
- 10 Соколов, Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: Учебник для вузов/ Е.Я. Соколов.- М.: Издательство МЭИ. 2014. - 445 с.

- 11 Ривкин, С.Л. Теплофизические свойства воды и водяного пара/ С.Л. Ривкин. А.А. Александров. – М: Энергия. 2014. – 424с.
- 12 Фатнева, Ю.В. Теплоснабжение жилого района. Уч–мет пособие./Ю.В. Фатнев – Бл.: Издательство АмГУ ,2015. – 35 с.
- 13 Ницкая, С.Г. Технология очистки воздуха и газов: учебное пособие / С. Г. Ницкая, А. В. Батист. – Челябинск: Изд – воЮУрГУ, 2012. – 60 с.
- 14 Рыжакина, Т.Г Экономика и управление производством. Расчет экономической части дипломного проекта: метод, указ, для студентов хим. спец. ИДО / Т.Г. Рыжакина. – Томский политехнический университет. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2007. – 22 с.;
- 15 Мунц В.А., Павлюк Е.Ю. Основы теории горения топлив. – М.: Учеб, пособие / ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2005. – 102 с.;
- 16 Деев Л.В., Балахничев Н.А. Котельные установки и их обслуживание. Пособие для ПТУ. – М.: Высшая школа, 2008. – 239 с.;
- 17 Русанов А.А., Урбах И. И., Анастасиади А.П. Очистка дымовых газов в промышленной энергетике/А.А. Русанова, И.И. Урбах, А.П. Анастасиади – М., «Энергия», 2009. – 456 с.;
- 18 Юдашкин М.Я., Карлов М.П. Механическое оборудование установок очистки газов./ М.Я. Юдашкин – М., «Металлургия», 2009. – 247 с.;
- 19 Кропп Л.Д и Бронштейн А.Ш, Эксплуатация батарейных циклонов./ Л.Д. Кропп, А.Ш. Бронштейн — М., «Энергия», 2010. – 152 с.;
- 20 Алиев Г. М. Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов/ Г.М. Алиев. – М.: «Металлургия», 2007. – 544 с.;
- 21 Бондалетова, Л.И., Новиков В.Т., Алексеев Н.А. Расчет выбросов загрязняющих веществ при сжигании топлива в котлоагрегатах котельных: Методическое пособие по выполнению практических заданий./ Л.И. Бондалетова, В.Т. Новиков, Н.А. Алексеев - Томск: Изд-во ТПУ, 2000. - 39 с.;
- 22 <http://nmzaltay.ru/page/page87.html> [Электронный ресурс] «Батарейные циклоны БЦ-2.»

g := 10

| | | |
|-----------|-----------|------------|
| L1 := 17 | L21 := 13 | fj1 := 20 |
| L2 := 39 | L22 := 10 | fj2 := 20 |
| L3 := 9 | L23 := 29 | fj3 := 20 |
| L4 := 90 | L24 := 32 | fj4 := 20 |
| L5 := 29 | L25 := 4 | fj5 := 20 |
| L6 := 23 | L26 := 57 | fj6 := 20 |
| L7 := 30 | L27 := 69 | fj7 := 20 |
| L8 := 69 | L28 := 55 | fj8 := 20 |
| L9 := 74 | L29 := 12 | fj9 := 20 |
| L10 := 7 | L30 := 11 | fj10 := 20 |
| L11 := 8 | L31 := 30 | fj11 := 20 |
| L12 := 17 | L32 := 46 | fj12 := 20 |
| L13 := 16 | L33 := 32 | fj13 := 20 |
| L14 := 47 | L34 := 45 | fj14 := 20 |
| L15 := 20 | L35 := 18 | fj15 := 20 |
| L16 := 23 | L36 := 32 | fj16 := 20 |
| L17 := 26 | L37 := 45 | fj17 := 20 |
| L18 := 45 | | fj18 := 20 |
| L19 := 16 | | fj19 := 16 |
| L20 := 75 | | fj20 := 20 |
| | | fj21 := 20 |

t0 := -29
w0 := 2.9

$$K_{np1} := 10^{-2} \cdot \sqrt[2]{2 \cdot g \cdot L \cdot 1} \cdot \left(1 - \frac{273 + t_0}{273 + t_1} \right) + \frac{w_0}{2} = 0.081$$
$$K_{np2} := 10^{-2} \cdot \sqrt[2]{2 \cdot g \cdot L \cdot 2} \cdot \left(1 - \frac{273 + t_0}{273 + t_2} \right) + \frac{w_0}{2} = 0.118$$
$$K_{np3} := 10^{-2} \cdot \sqrt[2]{2 \cdot g \cdot L \cdot 3} \cdot \left(1 - \frac{273 + t_0}{273 + t_3} \right) + \frac{w_0}{2} = 0.062$$
$$K_{np4} := 10^{-2} \cdot \sqrt[2]{2 \cdot g \cdot L \cdot 4} \cdot \left(1 - \frac{273 + t_0}{273 + t_4} \right) + \frac{w_0}{2} = 0.176$$

$$K_{\text{np}5} := 10^{-2} \cdot \sqrt{\left[2 \cdot g \cdot L_5 \cdot \left(1 - \frac{273 + t_o}{273 + t_{j5}} \right) + w_0^2 \right]} = 0.103$$

$$K_{\text{np}6} := 10^{-2} \cdot \sqrt{\left[2 \cdot g \cdot L_6 \cdot \left(1 - \frac{273 + t_o}{273 + t_{j6}} \right) + w_0^2 \right]} = 0.092$$

$$K_{\text{np}7} := 10^{-2} \cdot \sqrt{\left[2 \cdot g \cdot L_7 \cdot \left(1 - \frac{273 + t_o}{273 + t_{j7}} \right) + w_0^2 \right]} = 0.104$$

$$K_{\text{np}8} := 10^{-2} \cdot \sqrt{\left[2 \cdot g \cdot L_8 \cdot \left(1 - \frac{273 + t_o}{273 + t_{j8}} \right) + w_0^2 \right]} = 0.155$$

$$K_{\text{np}9} := 10^{-2} \cdot \sqrt{\left[2 \cdot g \cdot L_9 \cdot \left(1 - \frac{273 + t_o}{273 + t_{j9}} \right) + w_0^2 \right]} = 0.16$$

$$K_{\text{np}10} := 10^{-2} \cdot \sqrt{\left[2 \cdot g \cdot L_{10} \cdot \left(1 - \frac{273 + t_o}{273 + t_{j10}} \right) + w_0^2 \right]} = 0.056$$

$$K_{\text{np}11} := 10^{-2} \cdot \sqrt{\left[2 \cdot g \cdot L_{11} \cdot \left(1 - \frac{273 + t_o}{273 + t_{j11}} \right) + w_0^2 \right]} = 0.059$$

$$K_{\text{np}12} := 10^{-2} \cdot \sqrt{\left[2 \cdot g \cdot L_{12} \cdot \left(1 - \frac{273 + t_o}{273 + t_{j12}} \right) + w_0^2 \right]} = 0.081$$

$$K_{\text{np}13} := 10^{-2} \cdot \sqrt{\left[2 \cdot g \cdot L_{13} \cdot \left(1 - \frac{273 + t_o}{273 + t_{j13}} \right) + w_0^2 \right]} = 0.079$$

$$K_{\text{np}14} := 10^{-2} \cdot \sqrt{\left[2 \cdot g \cdot L_{14} \cdot \left(1 - \frac{273 + t_o}{273 + t_{j14}} \right) + w_0^2 \right]} = 0.129$$

$$K_{\text{np}15} := 10^{-2} \cdot \sqrt{\left[2 \cdot g \cdot L_{15} \cdot \left(1 - \frac{273 + t_o}{273 + t_{j15}} \right) + w_0^2 \right]} = 0.087$$

$$K_{\text{np}16} := 10^{-2} \cdot \sqrt{\left[2 \cdot g \cdot L_{16} \cdot \left(1 - \frac{273 + t_o}{273 + t_{j16}} \right) + w_0^2 \right]} = 0.092$$

$$K_{\text{np}17} := 10^{-2} \cdot \sqrt{\left[2 \cdot g \cdot L_{17} \cdot \left(1 - \frac{273 + t_o}{273 + t_{j17}} \right) + w_0^2 \right]} = 0.098$$

$$K_{\text{np}18} := 10^{-2} \cdot \sqrt{\left[2 \cdot g \cdot L_{18} \cdot \left(1 - \frac{273 + t_o}{273 + t_{j18}} \right) + w_0^2 \right]} = 0.126$$

$$K_{\text{ир}19} := 10^{-2} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot L_{19} \cdot \left(1 - \frac{273 + t_o}{273 + t_{j19}}\right) + w_0^2} = 0.076$$

$$K_{\text{ир}20} := 10^{-2} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot L_{20} \cdot \left(1 - \frac{273 + t_o}{273 + t_{j20}}\right) + w_0^2} = 0.161$$

$$K_{\text{ир}21} := 10^{-2} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot L_{21} \cdot \left(1 - \frac{273 + t_o}{273 + t_{j21}}\right) + w_0^2} = 0.072$$

$$K_{\text{ир}22} := 10^{-2} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot L_{22} \cdot \left(1 - \frac{273 + t_o}{273 + t_{j22}}\right) + w_0^2} = 0.064$$

$$K_{\text{ир}23} := 10^{-2} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot L_{23} \cdot \left(1 - \frac{273 + t_o}{273 + t_{j23}}\right) + w_0^2} = 0.103$$

$$K_{\text{ир}24} := 10^{-2} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot L_{24} \cdot \left(1 - \frac{273 + t_o}{273 + t_{j24}}\right) + w_0^2} = 0.107$$

$$K_{\text{ир}25} := 10^{-2} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot L_{25} \cdot \left(1 - \frac{273 + t_o}{273 + t_{j25}}\right) + w_0^2} = 0.047$$

$$K_{\text{ир}26} := 10^{-2} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot L_{26} \cdot \left(1 - \frac{273 + t_o}{273 + t_{j26}}\right) + w_0^2} = 0.141$$

$$K_{\text{ир}27} := 10^{-2} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot L_{27} \cdot \left(1 - \frac{273 + t_o}{273 + t_{j27}}\right) + w_0^2} = 0.155$$

$$K_{\text{ир}28} := 10^{-2} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot L_{28} \cdot \left(1 - \frac{273 + t_o}{273 + t_{j28}}\right) + w_0^2} = 0.139$$

$$K_{\text{ир}29} := 10^{-2} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot L_{29} \cdot \left(1 - \frac{273 + t_o}{273 + t_{j29}}\right) + w_0^2} = 0.07$$

$$K_{\text{ир}30} := 10^{-2} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot L_{30} \cdot \left(1 - \frac{273 + t_o}{273 + t_{j30}}\right) + w_0^2} = 0.067$$

$$K_{\text{ир}31} := 10^{-2} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot L_{31} \cdot \left(1 - \frac{273 + t_o}{273 + t_{j31}}\right) + w_0^2} = 0.104$$

$$K_{\text{ир}32} := 10^{-2} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot L_{32} \cdot \left(1 - \frac{273 + t_o}{273 + t_{j32}}\right) + w_0^2} = 0.127$$

$$K_{\text{ир}33} := 10^{-2} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot L_{33} \cdot \left(1 - \frac{273 + t_o}{273 + t_{j33}}\right) + w_0^2} = 0.107$$

$$K_{\text{ир}34} := 10^{-2} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot L_{34} \cdot \left(1 - \frac{273 + t_o}{273 + t_{j34}}\right) + w_0^2} = 0.126$$

$$K_{np35} := 10^{-2} \cdot \sqrt{\left[2 \cdot g \cdot L_{35} \cdot \left(1 - \frac{273 + t_o}{273 + t_{j35}} \right) + w_0^2 \right]} = 0.083$$

$$K_{np36} := 10^{-2} \cdot \sqrt{\left[2 \cdot g \cdot L_{36} \cdot \left(1 - \frac{273 + t_o}{273 + t_{j36}} \right) + w_0^2 \right]} = 0.107$$

$$K_{np37} := 10^{-2} \cdot \sqrt{\left[2 \cdot g \cdot L_{37} \cdot \left(1 - \frac{273 + t_o}{273 + t_{j37}} \right) + w_0^2 \right]} = 0.126$$

$$\alpha := 0.86$$

| | |
|-------------------|-------------------|
| $V_1 := 26155$ | $V_{21} := 1500$ |
| $V_2 := 22283$ | $V_{22} := 23986$ |
| $V_3 := 22341$ | $V_{23} := 20109$ |
| $V_4 := 12109$ | $V_{24} := 15535$ |
| $V_5 := 10168$ | $V_{25} := 24629$ |
| $V_6 := 6375$ | $V_{26} := 12940$ |
| $V_7 := 7385$ | $V_{27} := 2650$ |
| $V_8 := 19065$ | $V_{28} := 7325$ |
| $V_9 := 8419$ | $V_{29} := 16876$ |
| $V_{10} := 2977$ | $V_{30} := 12278$ |
| $V_{11} := 17816$ | $V_{31} := 6473$ |
| $V_{12} := 13595$ | $V_{32} := 13651$ |
| $V_{13} := 23589$ | $V_{33} := 14934$ |
| $V_{14} := 1059$ | $V_{34} := 8704$ |
| $V_{15} := 12869$ | $V_{35} := 15877$ |
| $V_{16} := 10150$ | $V_{36} := 16453$ |
| $V_{17} := 5192$ | $V_{37} := 5148$ |
| $V_{18} := 233$ | |
| $V_{19} := 15271$ | |
| $V_{20} := 9742$ | |

| | |
|--------------------|---------------------|
| $q_{01} := 0.372$ | $q_{021} := 0.57$ |
| $q_{02} := 0.373$ | $q_{022} := 0.372$ |
| $q_{03} := 0.373$ | $q_{023} := 0.379$ |
| $q_{04} := 0.388$ | $q_{024} := 0.374$ |
| $q_{05} := 0.398$ | $q_{025} := 0.373$ |
| $q_{06} := 0.435$ | $q_{026} := 0.371$ |
| $q_{07} := 0.422$ | $q_{027} := 0.519$ |
| $q_{08} := 0.374$ | $q_{028} := 0.519$ |
| $q_{09} := 0.414$ | $q_{029} := 0.376$ |
| $q_{010} := 0.511$ | $q_{030} := 0.387$ |
| $q_{011} := 0.373$ | $q_{031} := 0.436$ |
| $q_{012} := 0.372$ | $q_{032} := 0.375$ |
| $q_{013} := 0.373$ | $q_{033} := 0.371$ |
| $q_{014} := 0.649$ | $q_{034} := 0.412$ |
| $q_{015} := 0.554$ | $q_{035} := 0.373$ |
| $q_{016} := 0.398$ | $q_{036} := 0.374$ |
| $q_{017} := 0.455$ | $q_{037} := 0.4448$ |
| $q_{018} := 0.818$ | |
| $q_{019} := 0.561$ | |
| $q_{020} := 0.392$ | |

$$Q_{\text{omax1}} := 10^{-6} \cdot \alpha \cdot V_1 \cdot q_{01} \cdot (t_{j1} - t_o) \cdot (1 + K_{\text{np1}}) = 0.443$$

$$Q_{\text{omax2}} := 10^{-6} \cdot \alpha \cdot V_2 \cdot q_{02} \cdot (t_{j2} - t_o) \cdot (1 + K_{\text{np2}}) = 0.392$$

$$Q_{\text{omax3}} := 10^{-6} \cdot \alpha \cdot V_3 \cdot q_{03} \cdot (t_{j3} - t_o) \cdot (1 + K_{\text{np3}}) = 0.373$$

$$Q_{\text{omax4}} := 10^{-6} \cdot \alpha \cdot V_4 \cdot q_{04} \cdot (t_{j4} - t_o) \cdot (1 + K_{\text{np4}}) = 0.233$$

$$Q_{\text{omax5}} := 10^{-6} \cdot \alpha \cdot V_5 \cdot q_{05} \cdot (t_{j5} - t_o) \cdot (1 + K_{\text{np5}}) = 0.188$$

$$Q_{\text{omax6}} := 10^{-6} \cdot \alpha \cdot V_6 \cdot q_{06} \cdot (t_{j6} - t_o) \cdot (1 + K_{\text{np6}}) = 0.128$$

$$Q_{\text{omax7}} := 10^{-6} \cdot \alpha \cdot V_7 \cdot q_{07} \cdot (t_{j7} - t_o) \cdot (1 + K_{\text{np7}}) = 0.145$$

$$Q_{\text{omax8}} := 10^{-6} \cdot \alpha \cdot V_8 \cdot q_{08} \cdot (t_{j8} - t_o) \cdot (1 + K_{\text{np8}}) = 0.347$$

$$Q_{\text{omax9}} := 10^{-6} \cdot \alpha \cdot V_9 \cdot q_{09} \cdot (t_{j9} - t_o) \cdot (1 + K_{\text{np9}}) = 0.17$$

$$Q_{\text{omax10}} := 10^{-6} \cdot \alpha \cdot V_{10} \cdot q_{010} \cdot (t_{j10} - t_o) \cdot (1 + K_{\text{np10}}) = 0.068$$

$$Q_{\text{omax11}} := 10^{-6} \cdot \alpha \cdot V_{11} \cdot q_{011} \cdot (t_{j11} - t_o) \cdot (1 + K_{\text{np11}}) = 0.297$$

$$Q_{\text{omax}12} := 10^{-6} \cdot \alpha \cdot V_{12} \cdot q_{o12} \cdot (t_{j12} - t_o) \cdot (1 + K_{\text{ип}12}) = 0.23$$

$$Q_{\text{omax}13} := 10^{-6} \cdot \alpha \cdot V_{13} \cdot q_{o13} \cdot (t_{j13} - t_o) \cdot (1 + K_{\text{ип}13}) = 0.4$$

$$Q_{\text{omax}14} := 10^{-6} \cdot \alpha \cdot V_{14} \cdot q_{o14} \cdot (t_{j14} - t_o) \cdot (1 + K_{\text{ип}14}) = 0.033$$

$$Q_{\text{omax}15} := 10^{-6} \cdot \alpha \cdot V_{15} \cdot q_{o15} \cdot (t_{j15} - t_o) \cdot (1 + K_{\text{ип}15}) = 0.327$$

$$Q_{\text{omax}16} := 10^{-6} \cdot \alpha \cdot V_{16} \cdot q_{o16} \cdot (t_{j16} - t_o) \cdot (1 + K_{\text{ип}16}) = 0.186$$

$$Q_{\text{omax}17} := 10^{-6} \cdot \alpha \cdot V_{17} \cdot q_{o17} \cdot (t_{j17} - t_o) \cdot (1 + K_{\text{ип}17}) = 0.109$$

$$Q_{\text{omax}18} := 10^{-6} \cdot \alpha \cdot V_{18} \cdot q_{o18} \cdot (t_{j18} - t_o) \cdot (1 + K_{\text{ип}18}) = 9.044 \times 10^{-3}$$

$$Q_{\text{omax}19} := 10^{-6} \cdot \alpha \cdot V_{19} \cdot q_{o19} \cdot (t_{j19} - t_o) \cdot (1 + K_{\text{ип}19}) = 0.357$$

$$Q_{\text{omax}20} := 10^{-6} \cdot \alpha \cdot V_{20} \cdot q_{o20} \cdot (t_{j20} - t_o) \cdot (1 + K_{\text{ип}20}) = 0.187$$

$$Q_{\text{omax}21} := 10^{-6} \cdot \alpha \cdot V_{21} \cdot q_{o21} \cdot (t_{j21} - t_o) \cdot (1 + K_{\text{ип}21}) = 0.039$$

$$Q_{\text{omax}22} := 10^{-6} \cdot \alpha \cdot V_{22} \cdot q_{o22} \cdot (t_{j22} - t_o) \cdot (1 + K_{\text{ип}22}) = 0.392$$

$$Q_{\text{omax}23} := 10^{-6} \cdot \alpha \cdot V_{23} \cdot q_{o23} \cdot (t_{j23} - t_o) \cdot (1 + K_{\text{ип}23}) = 0.354$$

$$Q_{\text{omax}24} := 10^{-6} \cdot \alpha \cdot V_{24} \cdot q_{o24} \cdot (t_{j24} - t_o) \cdot (1 + K_{\text{ип}24}) = 0.271$$

$$Q_{\text{omax}25} := 10^{-6} \cdot \alpha \cdot V_{25} \cdot q_{o25} \cdot (t_{j25} - t_o) \cdot (1 + K_{\text{ип}25}) = 0.405$$

$$Q_{\text{omax}26} := 10^{-6} \cdot \alpha \cdot V_{26} \cdot q_{o26} \cdot (t_{j26} - t_o) \cdot (1 + K_{\text{ип}26}) = 0.231$$

$$Q_{\text{omax}27} := 10^{-6} \cdot \alpha \cdot V_{27} \cdot q_{o27} \cdot (t_{j27} - t_o) \cdot (1 + K_{\text{ип}27}) = 0.067$$

$$Q_{\text{omax}28} := 10^{-6} \cdot \alpha \cdot V_{28} \cdot q_{o28} \cdot (t_{j28} - t_o) \cdot (1 + K_{\text{ип}28}) = 0.182$$

$$Q_{\text{omax}29} := 10^{-6} \cdot \alpha \cdot V_{29} \cdot q_{o29} \cdot (t_{j29} - t_o) \cdot (1 + K_{\text{ип}29}) = 0.286$$

$$Q_{\text{omax}30} := 10^{-6} \cdot \alpha \cdot V_{30} \cdot q_{o30} \cdot (t_{j30} - t_o) \cdot (1 + K_{\text{ип}30}) = 0.214$$

$$Q_{\text{omax}31} := 10^{-6} \cdot \alpha \cdot V_{31} \cdot q_{o31} \cdot (t_{j31} - t_o) \cdot (1 + K_{\text{ип}31}) = 0.131$$

$$Q_{\text{omax}32} := 10^{-6} \cdot \alpha \cdot V_{32} \cdot q_{o32} \cdot (t_{j32} - t_o) \cdot (1 + K_{\text{ип}32}) = 0.243$$

$$Q_{\text{omax}33} := 10^{-6} \cdot \alpha \cdot V_{33} \cdot q_{o33} \cdot (t_{j33} - t_o) \cdot (1 + K_{\text{ип}33}) = 0.259$$

$$Q_{\text{omax}34} := 10^{-6} \cdot \alpha \cdot V_{34} \cdot q_{o20} \cdot (t_{j34} - t_o) \cdot (1 + K_{\text{ип}34}) = 0.162$$

$$Q_{\text{omax}35} := 10^{-6} \cdot \alpha \cdot V_{35} \cdot q_{035} \cdot (t_{j35} - t_o) \cdot (1 + K_{\text{np}35}) = 0.27$$

$$Q_{\text{omax}36} := 10^{-6} \cdot \alpha \cdot V_{36} \cdot q_{036} \cdot (t_{j36} - t_o) \cdot (1 + K_{\text{np}36}) = 0.281$$

$$Q_{\text{omax}37} := 10^{-6} \cdot \alpha \cdot V_{37} \cdot q_{037} \cdot (t_{j37} - t_o) \cdot (1 + K_{\text{np}37}) = 0.109$$

$$\tau_1 := 105 \quad \tau_2 := 70$$

$$G_{o1} := \frac{Q_{\text{omax}1} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 3.517$$

$$G_{o21} := \frac{Q_{\text{omax}21} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 0.307$$

$$G_{o2} := \frac{Q_{\text{omax}2} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 3.107$$

$$G_{o22} := \frac{Q_{\text{omax}22} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 3.111$$

$$G_{o3} := \frac{Q_{\text{omax}3} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 2.96$$

$$G_{o23} := \frac{Q_{\text{omax}23} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 2.811$$

$$G_{o4} := \frac{Q_{\text{omax}4} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 1.848$$

$$G_{o24} := \frac{Q_{\text{omax}24} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 2.152$$

$$G_{o5} := \frac{Q_{\text{omax}5} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 1.492$$

$$G_{o25} := \frac{Q_{\text{omax}25} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 3.216$$

$$G_{o6} := \frac{Q_{\text{omax}6} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 1.013$$

$$G_{o26} := \frac{Q_{\text{omax}26} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 1.832$$

$$G_{o7} := \frac{Q_{\text{omax}7} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 1.151$$

$$G_{o27} := \frac{Q_{\text{omax}27} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 0.531$$

$$G_{o8} := \frac{Q_{\text{omax}8} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 2.754$$

$$G_{o28} := \frac{Q_{\text{omax}28} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 1.448$$

$$G_{o9} := \frac{Q_{\text{omax}9} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 1.352$$

$$G_{o29} := \frac{Q_{\text{omax}29} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 2.27$$

$$G_{o10} := \frac{Q_{\text{omax}10} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 0.537$$

$$G_{o30} := \frac{Q_{\text{omax}30} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 1.696$$

$$G_{o11} := \frac{Q_{\text{omax}11} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 2.354$$

$$G_{o31} := \frac{Q_{\text{omax}31} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 1.042$$

$$G_{o12} := \frac{Q_{\text{omax}12} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 1.828$$

$$Q_{\text{omax}32} \cdot 10^6$$

$$G_{o13} := \frac{Q_{\text{Omax}13} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 3.174$$

$$G_{o14} := \frac{Q_{\text{Omax}14} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 0.259$$

$$G_{o15} := \frac{Q_{\text{Omax}15} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 2.591$$

$$G_{o16} := \frac{Q_{\text{Omax}16} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 1.476$$

$$G_{o17} := \frac{Q_{\text{Omax}17} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 0.867$$

$$G_{o18} := \frac{Q_{\text{Omax}18} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 0.072$$

$$G_{o19} := \frac{Q_{\text{Omax}19} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 2.832$$

$$G_{o20} := \frac{Q_{\text{Omax}20} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 1.483$$

$$G_{o32} := \frac{Q_{\text{Omax}32} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 1.93$$

$$G_{o33} := \frac{Q_{\text{Omax}33} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 2.052$$

$$G_{o34} := \frac{Q_{\text{Omax}34} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 1.285$$

$$G_{o35} := \frac{Q_{\text{Omax}35} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 2.145$$

$$G_{o36} := \frac{Q_{\text{Omax}36} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 2.231$$

$$G_{o37} := \frac{Q_{\text{Omax}37} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 0.862$$

$$F_{3д1} := \frac{V_1}{6} = 4.359 \times 10^3 \quad F_{3д21} := \frac{V_{21}}{5} = 300$$

$$\begin{aligned}
F_{3д2} &:= \frac{V_2}{5} = 4.457 \times 10^3 & F_{3д22} &:= \frac{V_{22}}{4} = 5.997 \times 10^3 \\
F_{3д3} &:= \frac{V_3}{5} = 4.468 \times 10^3 & F_{3д23} &:= \frac{V_{23}}{5} = 4.022 \times 10^3 \\
F_{3д4} &:= \frac{V_4}{5} = 2.422 \times 10^3 & F_{3д24} &:= \frac{V_{24}}{5} = 3.107 \times 10^3 \\
F_{3д5} &:= \frac{V_5}{5} = 2.034 \times 10^3 & F_{3д25} &:= \frac{V_{25}}{2} = 1.231 \times 10^4 \\
F_{3д6} &:= \frac{V_6}{6} = 1.063 \times 10^3 & F_{3д26} &:= \frac{V_{26}}{5} = 2.588 \times 10^3 \\
F_{3д7} &:= \frac{V_7}{4} = 1.846 \times 10^3 & F_{3д27} &:= \frac{V_{27}}{2} = 1.325 \times 10^3 \\
F_{3д8} &:= \frac{V_8}{5} = 3.813 \times 10^3 & F_{3д28} &:= \frac{V_{28}}{4} = 1.831 \times 10^3 \\
F_{3д9} &:= \frac{V_9}{5} = 1.684 \times 10^3 & F_{3д29} &:= \frac{V_{29}}{5} = 3.375 \times 10^3 \\
F_{3д10} &:= \frac{V_{10}}{2} = 1.488 \times 10^3 & F_{3д30} &:= \frac{V_{30}}{5} = 2.456 \times 10^3 \\
F_{3д11} &:= \frac{V_{11}}{5} = 3.563 \times 10^3 & F_{3д31} &:= \frac{V_{31}}{1} = 6.473 \times 10^3 \\
F_{3д12} &:= \frac{V_{12}}{5} = 2.719 \times 10^3 & F_{3д32} &:= \frac{V_{32}}{5} = 2.73 \times 10^3 \\
F_{3д13} &:= \frac{V_{13}}{5} = 4.718 \times 10^3 & F_{3д33} &:= \frac{V_{33}}{3} = 4.978 \times 10^3 \\
F_{3д14} &:= \frac{V_{14}}{5} = 211.8 & F_{3д34} &:= \frac{V_{34}}{5} = 1.741 \times 10^3 \\
F_{3д15} &:= \frac{V_{15}}{5} = 2.574 \times 10^3 & F_{3д35} &:= \frac{V_{35}}{5} = 3.175 \times 10^3 \\
F_{3д16} &:= \frac{V_{16}}{5} = 2.03 \times 10^3 & F_{3д36} &:= \frac{V_{36}}{3} = 5.484 \times 10^3 \\
F_{3д17} &:= \frac{V_{17}}{4} = 1.298 \times 10^3 & F_{3д37} &:= \frac{V_{37}}{2} = 2.574 \times 10^3 \\
F_{3д18} &:= \frac{V_{18}}{1} = 233 \\
F_{3д19} &:= \frac{V_{19}}{5} = 3.054 \times 10^3
\end{aligned}$$

$$F_{3\pi 20} := \frac{V_{20}}{5} = 1.948 \times 10^3$$

$$f := 30$$

$$N_1 := \frac{F_{3\pi 1}}{f} = 145.306$$

$$N_2 := \frac{F_{3\pi 2}}{f} = 148.553$$

$$N_3 := \frac{F_{3\pi 3}}{f} = 148.94$$

$$N_4 := \frac{F_{3\pi 4}}{f} = 80.727$$

$$N_5 := \frac{F_{3\pi 5}}{f} = 67.787$$

$$N_6 := \frac{F_{3\pi 5}}{f} = 67.787$$

$$N_7 := \frac{F_{3\pi 7}}{f} = 61.542$$

$$N_8 := \frac{F_{3\pi 8}}{f} = 127.1$$

$$N_9 := \frac{F_{3\pi 9}}{f} = 56.127$$

$$N_{10} := \frac{F_{3\pi 10}}{f} = 49.617$$

$$N_{11} := \frac{F_{3\pi 11}}{f} = 118.773$$

$$N_{12} := \frac{F_{3\pi 12}}{f} = 90.633$$

$$N_{13} := \frac{F_{3\pi 13}}{f} = 157.26$$

$$N_{14} := \frac{F_{3\pi 14}}{f} = 7.06$$

$$N_{15} := \frac{F_{3\pi 15}}{f} = 85.793$$

$$N_{16} := \frac{F_{3\pi 16}}{f} = 67.667$$

$$N_{21} := \frac{F_{3\pi 21}}{f} = 10$$

$$N_{22} := \frac{F_{3\pi 22}}{f} = 199.883$$

$$N_{23} := \frac{F_{3\pi 23}}{f} = 134.06$$

$$N_{24} := \frac{F_{3\pi 24}}{f} = 103.567$$

$$N_{25} := \frac{F_{3\pi 25}}{f} = 410.483$$

$$N_{26} := \frac{F_{3\pi 26}}{f} = 86.267$$

$$N_{27} := \frac{F_{3\pi 27}}{f} = 44.167$$

$$N_{28} := \frac{F_{3\pi 28}}{f} = 61.042$$

$$N_{29} := \frac{F_{3\pi 29}}{f} = 112.507$$

$$N_{30} := \frac{F_{3\pi 30}}{f} = 81.853$$

$$N_{31} := \frac{F_{3\pi 31}}{f} = 215.767$$

$$N_{32} := \frac{F_{3\pi 32}}{f} = 91.007$$

$$N_{33} := \frac{F_{3\pi 33}}{f} = 165.933$$

$$N_{34} := \frac{F_{3\pi 34}}{f} = 58.027$$

$$N_{35} := \frac{F_{3\pi 35}}{f} = 105.847$$

$$N_{36} := \frac{F_{3\pi 36}}{f} = 182.811$$

$$N_{37} := \frac{F_{3\pi 37}}{f} = 85.8$$

$$N_{17} := \frac{F_{3\pi 17}}{f} = 43.267$$

$$N_{18} := \frac{F_{3\pi 18}}{f} = 7.767$$

$$N_{19} := \frac{F_{3\pi 19}}{f} = 101.807$$

$$N_{20} := \frac{F_{3\pi 20}}{f} = 64.947$$

$$a_1 := 90 \quad a_{21} := 180$$

$$a_2 := 180 \quad a_{22} := 8$$

$$a_3 := 180 \quad a_{23} := 180$$

$$a_4 := 7 \quad a_{24} := 100$$

$$a_5 := 180 \quad a_{25} := 180$$

$$a_6 := 100 \quad a_{26} := 180$$

$$a_7 := 180 \quad a_{27} := 180$$

$$a_8 := 75 \quad a_{28} := 70$$

$$a_9 := 180 \quad a_{29} := 180$$

$$a_{10} := 180 \quad a_{30} := 180$$

$$a_{11} := 180 \quad a_{31} := 100$$

$$a_{12} := 180 \quad a_{32} := 180$$

$$a_{13} := 7 \quad a_{33} := 75$$

$$a_{14} := 180 \quad a_{34} := 180$$

$$a_{15} := 65 \quad a_{35} := 65$$

$$a_{16} := 90 \quad a_{36} := 7$$

$$a_{17} := 180 \quad a_{37} := 5$$

$$a_{18} := 16$$

$$a_{19} := 100$$

$$a_{20} := 70$$

$$t_c := 5 \quad T := 24$$

$$Q_{hm1} := \frac{a_1 \cdot N_1 \cdot (55 - t_c) \cdot 10^{-6}}{T} = 0.027$$

$$Q_{hm2} := \frac{a_2 \cdot N_2 \cdot (55 - t_c) \cdot 10^{-6}}{T} = 0.056$$

$$Q_{hm3} := \frac{a_3 \cdot N_3 \cdot (55 - t_c) \cdot 10^{-6}}{T} = 0.056$$

$$Q_{hm4} := \frac{a_4 \cdot N_4 \cdot (55 - t_c) \cdot 10^{-6}}{T} = 1.177 \times 10^{-3}$$

$$Q_{hm5} := \frac{a_5 \cdot N_5 \cdot (55 - t_c) \cdot 10^{-6}}{T} = 0.025$$

$$Q_{hm6} := \frac{a_6 \cdot N_6 \cdot (55 - t_c) \cdot 10^{-6}}{T} = 0.014$$

$$Q_{hm7} := \frac{a_7 \cdot N_7 \cdot (55 - t_c) \cdot 10^{-6}}{T} = 0.023$$

$$Q_{hm8} := \frac{a_8 \cdot N_8 \cdot (55 - t_c) \cdot 10^{-6}}{T} = 0.02$$

$$Q_{hm9} := \frac{a_9 \cdot N_9 \cdot (55 - t_c) \cdot 10^{-6}}{T} = 0.021$$

$$Q_{hm10} := \frac{a_{10} \cdot N_{10} \cdot (55 - t_c) \cdot 10^{-6}}{T} = 0.019$$

$$Q_{hm11} := \frac{a_{11} \cdot N_{11} \cdot (55 - t_c) \cdot 10^{-6}}{T} = 0.045$$

$$Q_{hm12} := \frac{a_{12} \cdot N_{12} \cdot (55 - t_c) \cdot 10^{-6}}{T} = 0.034$$

$$Q_{hm13} := \frac{a_{13} \cdot N_{13} \cdot (55 - t_c) \cdot 10^{-6}}{T} = 2.293 \times 10^{-3}$$

$$Q_{hm14} := \frac{a_{14} \cdot N_{14} \cdot (55 - t_c) \cdot 10^{-6}}{T} = 2.647 \times 10^{-3}$$

$$Q_{hm15} := \frac{a_{15} \cdot N_{15} \cdot (55 - t_c) \cdot 10^{-6}}{T} = 0.012$$

$$Q_{hm16} := \frac{a_{16} \cdot N_{16} \cdot (55 - t_c) \cdot 10^{-6}}{T} = 0.013$$

$$Q_{hm17} := \frac{a_{17} \cdot N_{17} \cdot (55 - t_c) \cdot 10^{-6}}{T} = 0.013$$

$$Q_{hm21} := \frac{a_{21} \cdot N_{21} \cdot (55 - t_c) \cdot 10^{-6}}{T} = 3.75 \times 10^{-3}$$

$$Q_{hm22} := \frac{a_{22} \cdot N_{22} \cdot (55 - t_c) \cdot 10^{-6}}{T} = 3.331 \times 10^{-3}$$

$$Q_{hm23} := \frac{a_{23} \cdot N_{23} \cdot (55 - t_c) \cdot 10^{-6}}{T} = 0.05$$

$$Q_{hm24} := \frac{a_{24} \cdot N_{24} \cdot (55 - t_c) \cdot 10^{-6}}{T} = 0.022$$

$$Q_{hm25} := \frac{a_{25} \cdot N_{25} \cdot (55 - t_c) \cdot 10^{-6}}{T} = 0.154$$

$$Q_{hm26} := \frac{a_{26} \cdot N_{26} \cdot (55 - t_c) \cdot 10^{-6}}{T} = 0.032$$

$$Q_{hm27} := \frac{a_{27} \cdot N_{27} \cdot (55 - t_c) \cdot 10^{-6}}{T} = 0.017$$

$$Q_{hm28} := \frac{a_{28} \cdot N_{28} \cdot (55 - t_c) \cdot 10^{-6}}{T} = 8.902 \times 10^{-3}$$

$$Q_{hm29} := \frac{a_{29} \cdot N_{29} \cdot (55 - t_c) \cdot 10^{-6}}{T} = 0.042$$

$$Q_{hm30} := \frac{a_{30} \cdot N_{30} \cdot (55 - t_c) \cdot 10^{-6}}{T} = 0.031$$

$$Q_{hm31} := \frac{a_{31} \cdot N_{31} \cdot (55 - t_c) \cdot 10^{-6}}{T} = 0.045$$

$$Q_{hm32} := \frac{a_{32} \cdot N_{32} \cdot (55 - t_c) \cdot 10^{-6}}{T} = 0.034$$

$$Q_{hm33} := \frac{a_{33} \cdot N_{33} \cdot (55 - t_c) \cdot 10^{-6}}{T} = 0.026$$

$$Q_{hm34} := \frac{a_{34} \cdot N_{34} \cdot (55 - t_c) \cdot 10^{-6}}{T} = 0.022$$

$$Q_{hm35} := \frac{a_{35} \cdot N_{35} \cdot (55 - t_c) \cdot 10^{-6}}{T} = 0.014$$

$$Q_{hm36} := \frac{a_{36} \cdot N_{36} \cdot (55 - t_c) \cdot 10^{-6}}{T} = 2.666 \times 10^{-3}$$

$$Q_{hm37} := \frac{a_{37} \cdot N_{37} \cdot (55 - t_c) \cdot 10^{-6}}{T} = 8.938 \times 10^{-3}$$

$$Q_{hm17} := \frac{\dots}{T} = 0.016$$

$$Q_{hm18} := \frac{a_{18} \cdot N_{18} \cdot (55 - t_c) \cdot 10^{-6}}{T} = 2.589 \times 10^{-4}$$

$$Q_{hm19} := \frac{a_{19} \cdot N_{19} \cdot (55 - t_c) \cdot 10^{-6}}{T} = 0.021$$

$$Q_{hm20} := \frac{a_{20} \cdot N_{20} \cdot (55 - t_c) \cdot 10^{-6}}{T} = 9.471 \times 10^{-3}$$

$$n := 8016$$

| | |
|---|---|
| $Q_{hm1r} := n \cdot Q_{hm1} = 218.394$ | $Q_{hm21r} := n \cdot Q_{hm21} = 30.06$ |
| $Q_{hm2r} := n \cdot Q_{hm2} = 446.551$ | $Q_{hm22r} := n \cdot Q_{hm22} = 26.704$ |
| $Q_{hm3r} := n \cdot Q_{hm3} = 447.714$ | $Q_{hm23r} := n \cdot Q_{hm23} = 402.984$ |
| $Q_{hm4r} := n \cdot Q_{hm4} = 9.437$ | $Q_{hm24r} := n \cdot Q_{hm24} = 172.956$ |
| $Q_{hm5r} := n \cdot Q_{hm5} = 203.767$ | $Q_{hm25r} := n \cdot Q_{hm25} = 1.234 \times 10^3$ |
| $Q_{hm6r} := n \cdot Q_{hm6} = 113.204$ | $Q_{hm26r} := n \cdot Q_{hm26} = 259.318$ |
| $Q_{hm7r} := n \cdot Q_{hm7} = 184.994$ | $Q_{hm27r} := n \cdot Q_{hm27} = 132.765$ |
| $Q_{hm8r} := n \cdot Q_{hm8} = 159.193$ | $Q_{hm28r} := n \cdot Q_{hm28} = 71.358$ |
| $Q_{hm9r} := n \cdot Q_{hm9} = 168.717$ | $Q_{hm29r} := n \cdot Q_{hm29} = 338.195$ |
| $Q_{hm10r} := n \cdot Q_{hm10} = 149.148$ | $Q_{hm30r} := n \cdot Q_{hm30} = 246.051$ |
| $Q_{hm11r} := n \cdot Q_{hm11} = 357.033$ | $Q_{hm31r} := n \cdot Q_{hm31} = 360.33$ |
| $Q_{hm12r} := n \cdot Q_{hm12} = 272.444$ | $Q_{hm32r} := n \cdot Q_{hm32} = 273.566$ |
| $Q_{hm13r} := n \cdot Q_{hm13} = 18.384$ | $Q_{hm33r} := n \cdot Q_{hm33} = 207.832$ |
| $Q_{hm14r} := n \cdot Q_{hm14} = 21.222$ | $Q_{hm34r} := n \cdot Q_{hm34} = 174.428$ |
| $Q_{hm15r} := n \cdot Q_{hm15} = 93.129$ | $Q_{hm35r} := n \cdot Q_{hm35} = 114.897$ |
| $Q_{hm16r} := n \cdot Q_{hm16} = 101.703$ | $Q_{hm36r} := n \cdot Q_{hm36} = 21.371$ |
| $Q_{hm17r} := n \cdot Q_{hm17} = 130.06$ | $Q_{hm37r} := n \cdot Q_{hm37} = 7.164$ |
| $Q_{hm18r} := n \cdot Q_{hm18} = 2.075$ | |
| $Q_{hm19r} := n \cdot Q_{hm19} = 170.017$ | |
| $Q_{hm20r} := n \cdot Q_{hm20} = 75.923$ | |

$$G_{hm1} := \frac{Q_{hm1} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 0.216$$

$$G_{hm21} := \frac{Q_{hm21} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 0.03$$

$$G_{hm2} := \frac{Q_{hm2} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 0.442$$

$$G_{hm3} := \frac{Q_{hm3} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 0.443$$

$$G_{hm4} := \frac{Q_{hm4} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 9.343 \times 10^{-3}$$

$$G_{hm5} := \frac{Q_{hm5} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 0.202$$

$$G_{hm6} := \frac{Q_{hm6} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 0.112$$

$$G_{hm7} := \frac{Q_{hm7} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 0.183$$

$$G_{hm8} := \frac{Q_{hm8} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 0.158$$

$$G_{hm9} := \frac{Q_{hm9} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 0.167$$

$$G_{hm10} := \frac{Q_{hm10} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 0.148$$

$$G_{hm11} := \frac{Q_{hm11} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 0.353$$

$$G_{hm12} := \frac{Q_{hm12} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 0.27$$

$$G_{hm13} := \frac{Q_{hm13} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 0.018$$

$$G_{hm14} := \frac{Q_{hm14} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 0.021$$

$$G_{hm22} := \frac{Q_{hm22} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 0.026$$

$$G_{hm23} := \frac{Q_{hm23} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 0.399$$

$$G_{hm24} := \frac{Q_{hm24} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 0.171$$

$$G_{hm25} := \frac{Q_{hm25} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 1.222$$

$$G_{hm26} := \frac{Q_{hm26} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 0.257$$

$$G_{hm27} := \frac{Q_{hm27} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 0.131$$

$$G_{hm28} := \frac{Q_{hm28} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 0.071$$

$$G_{hm29} := \frac{Q_{hm29} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 0.335$$

$$G_{hm30} := \frac{Q_{hm30} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 0.244$$

$$G_{hm31} := \frac{Q_{hm31} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 0.357$$

$$G_{hm32} := \frac{Q_{hm32} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 0.271$$

$$G_{hm33} := \frac{Q_{hm33} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 0.206$$

$$G_{hm34} := \frac{Q_{hm34} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 0.173$$

$$G_{hm35} := \frac{Q_{hm35} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 0.114$$

$$G_{hm36} := \frac{Q_{hm36} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 0.021$$

$$G_{hm15} := \frac{Q_{hm15} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 0.092$$

$$G_{hm37} := \frac{Q_{hm37} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 7.093 \times 10^{-3}$$

$$G_{hm16} := \frac{Q_{hm16} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 0.101$$

$$G_{hm17} := \frac{Q_{hm17} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 0.129$$

$$G_{hm18} := \frac{Q_{hm18} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 2.055 \times 10^{-3}$$

$$G_{hm19} := \frac{Q_{hm19} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 0.168$$

$$G_{hm20} := \frac{Q_{hm20} \cdot 10^6}{3600 \cdot (\tau_1 - \tau_2)} = 0.075$$

64-й участок

$$G_{\Sigma 64} := G_{o37} + G_{hm37} = 0.869$$

63-й участок

$$G_{\Sigma 63} := G_{o36} + G_{hm36} = 2.252$$

62-й участок

$$G_{\Sigma 62} := G_{o35} + G_{hm35} + G_{\Sigma 63} = 4.51$$

61-й участок

$$G_{\Sigma 61} := G_{\Sigma 63} + G_{\Sigma 62} = 6.762$$

60-й участок

$$G_{\Sigma 60} := G_{o34} + G_{hm34} = 1.458$$

59-й участок

$$G_{\Sigma 59} := G_{o33} + G_{hm33} = 2.258$$

58-й участок

$$G_{\Sigma 58} := G_{\Sigma 60} + G_{\Sigma 59} = 3.716$$

57-й участок

$$G_{\Sigma 57} := G_{o32} + G_{hm32} = 2.201$$

56-й участок

$$G_{\Sigma 56} := G_{\Sigma 57} + G_{\Sigma 58} = 5.917$$

55-й участок

$$G_{\Sigma 55} := G_{o31} + G_{hm31} = 1.399$$

54-й участок

$$G_{\Sigma 54} := G_{o29} + G_{hm29} = 2.605$$

53-й участок

$$G_{\Sigma 53} := G_{o28} + G_{hm28} = 1.518$$

52-й участок

$$G_{\Sigma 52} := G_{\Sigma 53} + G_{\Sigma 54} = 4.123$$

51-й участок

$$G_{\Sigma 51} := G_{o30} + G_{hm30} = 1.94$$

50-й участок

$$G_{\Sigma 50} := G_{\Sigma 51} + G_{\Sigma 52} = 6.063$$

49-й участок

$$G_{\Sigma 49} := G_{\Sigma 50} + G_{\Sigma 55} = 7.462$$

48-й участок

$$G_{\Sigma 48} := G_{o27} + G_{hm27} = 0.663$$

47-й участок

$$G_{\Sigma 47} := G_{\Sigma 49} + G_{\Sigma 48} = 8.125$$

46-й участок

$$G_{\Sigma 46} := G_{o26} + G_{hm26} = 2.089$$

45-й участок

$$G_{\Sigma 45} := G_{\Sigma 46} + G_{\Sigma 47} = 10.213$$

44-й участок

$$G_{\Sigma 44} := G_{o25} + G_{hm25} = 4.438$$

43-й участок

$$G_{\Sigma 43} := G_{\Sigma 44} + G_{\Sigma 45} = 14.651$$

42-й участок

$$G_{\Sigma 42} := G_{o24} + G_{hm24} = 2.323$$

41-й участок

$$G_{\Sigma 41} := G_{o23} + G_{hm23} = 3.21$$

40-й участок

$$G_{\Sigma 40} := G_{\Sigma 41} + G_{\Sigma 42} = 5.533$$

39-й участок

$$G_{\Sigma 39} := G_{o22} + G_{hm22} = 3.138$$

38-й участок

$$G_{\Sigma 38} := G_{o21} + G_{hm21} = 0.336$$

37-й участок

$$G_{\Sigma 37} := G_{o20} + G_{hm20} = 1.558$$

36-й участок

$$G_{\Sigma 36} := G_{o19} + G_{hm19} = 3$$

35-й участок

$$G_{\Sigma 35} := G_{\Sigma 36} + G_{\Sigma 37} = 4.558$$

34-й участок

$$G_{\Sigma 34} := G_{o18} + G_{hm18} + G_{\Sigma 35} = 4.632$$

33-й участок

$$G_{\Sigma 33} := G_{o17} + G_{hm17} = 0.996$$

32-й участок

$$G_{\Sigma 32} := G_{o16} + G_{hm16} = 1.577$$

31-й участок

$$G_{\Sigma 31} := G_{\Sigma 32} + G_{\Sigma 33} = 2.573$$

30-й участок

$$G_{\Sigma 30} := G_{\Sigma 31} + G_{\Sigma 34} = 7.205$$

29-й участок

$$G_{\Sigma 29} := G_{\Sigma 30} + G_{\Sigma 38} = 7.541$$

28-й участок

$$G_{\Sigma 28} := G_{\Sigma 29} + G_{\Sigma 39} = 10.679$$

27-й участок

$$G_{\Sigma 27} := G_{\Sigma 28} + G_{\Sigma 40} + G_{\Sigma 43} = 30.862$$

26-й участок

$$G_{\Sigma 26} := G_{\Sigma 27} + G_{\Sigma 56} = 36.779$$

25-й участок

$$G_{\Sigma 25} := G_{o14} + G_{hm14} = 0.28$$

24-й участок

$$G_{\Sigma 24} := G_{o13} + G_{hm13} = 3.192$$

23-й участок

$$G_{\Sigma 23} := G_{\Sigma 25} + G_{\Sigma 24} = 3.473$$

22-й участок

$$G_{\Sigma 22} := G_{o20} + G_{hm20} + G_{\Sigma 25} = 1.838$$

21-й участок

$$G_{\Sigma 21} := G_{o12} + G_{hm12} = 2.098$$

20-й участок

$$G_{\Sigma 20} := G_{o11} + G_{hm11} = 2.708$$

19-й участок

$$G_{\Sigma 19} := G_{\Sigma 20} + G_{\Sigma 21} = 4.806$$

18-й участок

$$G_{\Sigma 18} := G_{o10} + G_{hm10} = 0.685$$

17-й участок

$$G_{\Sigma 17} := G_{o9} + G_{hm9} = 1.519$$

16-й участок

$$G_{\Sigma 16} := G_{\Sigma 20} + G_{\Sigma 19} = 7.513$$

15-й участок

$$G_{\Sigma 15} := G_{\Sigma 18} + G_{\Sigma 19} = 5.491$$

14-й участок

$$G_{\Sigma 14} := G_{o8} + G_{hm8} = 2.911$$

13-й участок

$$G_{\Sigma 13} := G_{o7} + G_{hm7} = 1.334$$

12-й участок

$$G_{\Sigma 12} := G_{o6} + G_{hm6} = 1.125$$

11-й участок

$$G_{\Sigma 11} := G_{o3} + G_{hm3} = 3.403$$

10-й участок

$$G_{\Sigma 10} := G_{o4} + G_{hm4} + G_{\Sigma 11} = 5.26$$

9-й участок

$$G_{\Sigma 9} := G_{o5} + G_{hm5} = 1.694$$

8-й участок

$$G_{\Sigma 8} := G_{\Sigma 9} + G_{\Sigma 10} = 6.954$$

7-й участок

$$G_{\Sigma 7} := G_{\Sigma 8} + G_{\Sigma 12} + G_{\Sigma 13} = 9.414$$

6-й участок

$$G_{\Sigma 6} := G_{\Sigma 7} + G_{\Sigma 16} = 16.927$$

5-й участок

$$G_{\Sigma 5} := G_{\Sigma 6} + G_{\Sigma 17} = 18.446$$

4-й участок

$$G_{\Sigma 4} := G_{\Sigma 5} + G_{\Sigma 22} + G_{\Sigma 26} = 57.064$$

3-й участок

$$G_{\Sigma 3} := G_{o2} + G_{hm2} = 3.549$$

2-й участок

$$G_{\Sigma 2} := G_{\Sigma 3} + G_{\Sigma 4} = 60.613$$

1-й участок

$$G_{\Sigma 1} := G_{o1} + G_{hm1} = 3.733$$

Общий расход теплоносителя

$$G_{\Sigma} := G_{\Sigma 2} + G_{\Sigma 1} = 64.346$$

$$R_{уд1} := 78.48$$

$$R_{уд2} := 58.86$$

$$R_{уд3} := 49.05$$

$$R_{уд4} := 49.05$$

$$R_{уд5} := 68.67$$

$$R_{уд6} := 58.56$$

$$R_{уд7} := 58.86$$

$$R_{уд8} := 58.86$$

$$R_{уд9} := 68.67$$

$$R_{уд10} := 49.05$$

$$R_{уд11} := 49.05$$

$$R_{уд12} := 68.67$$

$$R_{уд13} := 49.05$$

$$R_{уд14} := 78.48$$

$$R_{уд21} := 49.05$$

$$R_{уд22} := 58.86$$

$$R_{уд23} := 49.05$$

$$R_{уд24} := 49.05$$

$$R_{уд25} := 49.05$$

$$R_{уд26} := 58.86$$

$$R_{уд27} := 78.48$$

$$R_{уд28} := 58.86$$

$$R_{уд29} := 58.86$$

$$R_{уд30} := 49.05$$

$$R_{уд31} := 49.05$$

$$R_{уд32} := 68.67$$

$$R_{уд33} := 58.86$$

$$R_{уд34} := 49.05$$

$$R_{уд41} := 49.05$$

$$R_{уд42} := 49.05$$

$$R_{уд43} := 58.86$$

$$R_{уд44} := 68.67$$

$$R_{уд45} := 58.86$$

$$R_{уд46} := 58.86$$

$$R_{уд47} := 58.86$$

$$R_{уд48} := 49.05$$

$$R_{уд49} := 49.05$$

$$R_{уд50} := 58.86$$

$$R_{уд51} := 49.05$$

$$R_{уд52} := 68.67$$

$$R_{уд53} := 58.86$$

$$R_{уд54} := 49.05$$

$$R_{уд61} := 68.67$$

$$R_{уд62} := 49.05$$

$$R_{уд63} := 49.05$$

$$R_{уд64} := 68.67$$

| | | |
|---------------------|---------------------|---------------------|
| $R_{yд15} := 58.86$ | $R_{yд35} := 49.05$ | $R_{yд55} := 78.48$ |
| $R_{yд16} := 49.05$ | $R_{yд36} := 58.86$ | $R_{yд56} := 58.86$ |
| $R_{yд17} := 49.05$ | $R_{yд37} := 49.05$ | $R_{yд57} := 58.86$ |
| $R_{yд18} := 49.05$ | $R_{yд38} := 49.05$ | $R_{yд58} := 68.67$ |
| $R_{yд19} := 49.05$ | $R_{yд39} := 49.05$ | $R_{yд59} := 58.86$ |
| $R_{yд20} := 49.05$ | $R_{yд40} := 68.67$ | $R_{yд60} := 58.86$ |

$$d_{BH1} := 0.117 \cdot \frac{G_{\Sigma 1}^{0.38}}{R_{yд1}^{0.19}} = 0.084$$

$$d_{BH2} := 0.117 \cdot \frac{G_{\Sigma 2}^{0.38}}{R_{yд2}^{0.19}} = 0.257$$

$$d_{BH3} := 0.117 \cdot \frac{G_{\Sigma 3}^{0.38}}{R_{yд3}^{0.19}} = 0.09$$

$$d_{BH4} := 0.117 \cdot \frac{G_{\Sigma 4}^{0.38}}{R_{yд4}^{0.19}} = 0.26$$

$$d_{BH5} := 0.117 \cdot \frac{G_{\Sigma 5}^{0.38}}{R_{yд5}^{0.19}} = 0.159$$

$$d_{BH6} := 0.117 \cdot \frac{G_{\Sigma 6}^{0.38}}{R_{yд6}^{0.19}} = 0.158$$

$$d_{BH7} := 0.117 \cdot \frac{G_{\Sigma 7}^{0.38}}{R_{yд7}^{0.19}} = 0.126$$

$$d_{BH8} := 0.117 \cdot \frac{G_{\Sigma 8}^{0.38}}{R_{yд8}^{0.19}} = 0.113$$

$$d_{BH9} := 0.117 \cdot \frac{G_{\Sigma 9}^{0.38}}{R_{yд9}^{0.19}} = 0.064$$

$$d_{BH10} := 0.117 \cdot \frac{G_{\Sigma 10}^{0.38}}{R_{yд10}^{0.19}} = 0.105$$

$$d_{BH11} := 0.117 \cdot \frac{G_{\Sigma 11}^{0.38}}{R_{yд11}^{0.19}} = 0.089$$

$$d_{BH12} := 0.117 \cdot \frac{G_{\Sigma 12}^{0.38}}{R_{yд12}^{0.19}} = 0.055$$

$$d_{BH13} := 0.117 \cdot \frac{G_{\Sigma 13}^{0.38}}{R_{yд13}^{0.19}} = 0.062$$

$$d_{BH14} := 0.117 \cdot \frac{G_{\Sigma 14}^{0.38}}{R_{yд14}^{0.19}} = 0.077$$

$$d_{BH15} := 0.117 \cdot \frac{G_{\Sigma 15}^{0.38}}{R_{yд15}^{0.19}} = 0.103$$

$$d_{BH16} := 0.117 \cdot \frac{G_{\Sigma 16}^{0.38}}{R_{yд16}^{0.19}} = 0.12$$

$$d_{BH17} := 0.117 \cdot \frac{G_{\Sigma 17}^{0.38}}{R_{yд17}^{0.19}} = 0.065$$

$$d_{BH18} := 0.117 \cdot \frac{G_{\Sigma 18}^{0.38}}{R_{yд18}^{0.19}} = 0.048$$

$$d_{\text{BH19}} := 0.117 \cdot \frac{G_{\Sigma 19}^{0.38}}{R_{\text{yД19}}^{0.19}} = 0.101$$

$$d_{\text{BH20}} := 0.117 \cdot \frac{G_{\Sigma 20}^{0.38}}{R_{\text{yД20}}^{0.19}} = 0.082$$

$$d_{\text{BH21}} := 0.117 \cdot \frac{G_{\Sigma 21}^{0.38}}{R_{\text{yД21}}^{0.19}} = 0.074$$

$$d_{\text{BH22}} := 0.117 \cdot \frac{G_{\Sigma 22}^{0.38}}{R_{\text{yД22}}^{0.19}} = 0.068$$

$$d_{\text{BH23}} := 0.117 \cdot \frac{G_{\Sigma 23}^{0.38}}{R_{\text{yД23}}^{0.19}} = 0.09$$

$$d_{\text{BH24}} := 0.117 \cdot \frac{G_{\Sigma 24}^{0.38}}{R_{\text{yД24}}^{0.19}} = 0.087$$

$$d_{\text{BH25}} := 0.117 \cdot \frac{G_{\Sigma 25}^{0.38}}{R_{\text{yД25}}^{0.19}} = 0.034$$

$$d_{\text{BH26}} := 0.117 \cdot \frac{G_{\Sigma 26}^{0.38}}{R_{\text{yД26}}^{0.19}} = 0.212$$

$$d_{\text{BH27}} := 0.117 \cdot \frac{G_{\Sigma 27}^{0.38}}{R_{\text{yД27}}^{0.19}} = 0.188$$

$$d_{\text{BH28}} := 0.117 \cdot \frac{G_{\Sigma 28}^{0.38}}{R_{\text{yД28}}^{0.19}} = 0.133$$

$$d_{\text{BH29}} := 0.117 \cdot \frac{G_{\Sigma 29}^{0.38}}{R_{\text{yД29}}^{0.19}} = 0.116$$

$$d_{\text{BH30}} := 0.117 \cdot \frac{G_{\Sigma 30}^{0.38}}{R_{\text{yД30}}^{0.19}} = 0.118$$

$$d_{\text{BH31}} := 0.117 \cdot \frac{G_{\Sigma 31}^{0.38}}{R_{\text{yД31}}^{0.19}} = 0.08$$

$$d_{\text{BH32}} := 0.117 \cdot \frac{G_{\Sigma 32}^{0.38}}{R_{\text{yД32}}^{0.19}} = 0.062$$

$$d_{\text{BH33}} := 0.117 \cdot \frac{G_{\Sigma 33}^{0.38}}{R_{\text{yД33}}^{0.19}} = 0.054$$

$$d_{\text{BH34}} := 0.117 \cdot \frac{G_{\Sigma 34}^{0.38}}{R_{\text{yД34}}^{0.19}} = 0.1$$

$$d_{\text{BH35}} := 0.117 \cdot \frac{G_{\Sigma 35}^{0.38}}{R_{\text{yД35}}^{0.19}} = 0.099$$

$$d_{\text{BH36}} := 0.117 \cdot \frac{G_{\Sigma 36}^{0.38}}{R_{\text{yД36}}^{0.19}} = 0.082$$

$$d_{\text{BH37}} := 0.117 \cdot \frac{G_{\Sigma 37}^{0.38}}{R_{\text{yД37}}^{0.19}} = 0.066$$

$$d_{\text{BH38}} := 0.117 \cdot \frac{G_{\Sigma 38}^{0.38}}{R_{\text{yД38}}^{0.19}} = 0.037$$

$$d_{\text{BH39}} := 0.117 \cdot \frac{G_{\Sigma 39}^{0.38}}{R_{\text{yД39}}^{0.19}} = 0.086$$

$$d_{\text{BH40}} := 0.117 \cdot \frac{G_{\Sigma 40}^{0.38}}{R_{\text{yД40}}^{0.19}} = 0.1$$

$$d_{\text{BH41}} := 0.117 \cdot \frac{G_{\Sigma 41}^{0.38}}{R_{\text{уд41}}^{0.19}} = 0.087$$

$$d_{\text{BH43}} := 0.117 \cdot \frac{G_{\Sigma 43}^{0.38}}{R_{\text{уд43}}^{0.19}} = 0.15$$

$$d_{\text{BH45}} := 0.117 \cdot \frac{G_{\Sigma 45}^{0.38}}{R_{\text{уд45}}^{0.19}} = 0.13$$

$$d_{\text{BH47}} := 0.117 \cdot \frac{G_{\Sigma 47}^{0.38}}{R_{\text{уд47}}^{0.19}} = 0.12$$

$$d_{\text{BH49}} := 0.117 \cdot \frac{G_{\Sigma 49}^{0.38}}{R_{\text{уд49}}^{0.19}} = 0.12$$

$$d_{\text{BH51}} := 0.117 \cdot \frac{G_{\Sigma 51}^{0.38}}{R_{\text{уд51}}^{0.19}} = 0.072$$

$$d_{\text{BH53}} := 0.117 \cdot \frac{G_{\Sigma 53}^{0.38}}{R_{\text{уд53}}^{0.19}} = 0.063$$

$$d_{\text{BH55}} := 0.117 \cdot \frac{G_{\Sigma 55}^{0.38}}{R_{\text{уд55}}^{0.19}} = 0.058$$

$$d_{\text{BH57}} := 0.117 \cdot \frac{G_{\Sigma 57}^{0.38}}{R_{\text{уд57}}^{0.19}} = 0.073$$

$$d_{\text{BH59}} := 0.117 \cdot \frac{G_{\Sigma 59}^{0.38}}{R_{\text{уд59}}^{0.19}} = 0.074$$

$$d_{\text{BH61}} := 0.117 \cdot \frac{G_{\Sigma 61}^{0.38}}{R_{\text{уд61}}^{0.19}} = 0.108$$

$$d_{\text{BH63}} := 0.117 \cdot \frac{G_{\Sigma 63}^{0.38}}{R_{\text{уд63}}^{0.19}} = 0.076$$

$$d_{\text{BH42}} := 0.117 \cdot \frac{G_{\Sigma 42}^{0.38}}{R_{\text{уд42}}^{0.19}} = 0.077$$

$$d_{\text{BH44}} := 0.117 \cdot \frac{G_{\Sigma 44}^{0.38}}{R_{\text{уд44}}^{0.19}} = 0.092$$

$$d_{\text{BH46}} := 0.117 \cdot \frac{G_{\Sigma 46}^{0.38}}{R_{\text{уд46}}^{0.19}} = 0.071$$

$$d_{\text{BH48}} := 0.117 \cdot \frac{G_{\Sigma 48}^{0.38}}{R_{\text{уд48}}^{0.19}} = 0.048$$

$$d_{\text{BH50}} := 0.117 \cdot \frac{G_{\Sigma 50}^{0.38}}{R_{\text{уд50}}^{0.19}} = 0.107$$

$$d_{\text{BH52}} := 0.117 \cdot \frac{G_{\Sigma 52}^{0.38}}{R_{\text{уд52}}^{0.19}} = 0.09$$

$$d_{\text{BH54}} := 0.117 \cdot \frac{G_{\Sigma 54}^{0.38}}{R_{\text{уд54}}^{0.19}} = 0.08$$

$$d_{\text{BH56}} := 0.117 \cdot \frac{G_{\Sigma 56}^{0.38}}{R_{\text{уд56}}^{0.19}} = 0.106$$

$$d_{\text{BH58}} := 0.117 \cdot \frac{G_{\Sigma 58}^{0.38}}{R_{\text{уд58}}^{0.19}} = 0.086$$

$$d_{\text{BH60}} := 0.117 \cdot \frac{G_{\Sigma 60}^{0.38}}{R_{\text{уд60}}^{0.19}} = 0.062$$

$$d_{\text{BH62}} := 0.117 \cdot \frac{G_{\Sigma 62}^{0.38}}{R_{\text{уд62}}^{0.19}} = 0.099$$

$$d_{\text{BH64}} := 0.117 \cdot \frac{G_{\Sigma 64}^{0.38}}{R_{\text{уд64}}^{0.19}} = 0.05$$

| | | | |
|----------------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| $d_{CT1} := 0.09$ | $d_{CT21} := 0.08$ | $d_{CT41} := 0.09$ | $d_{CT61} := 0.65$ |
| $d_{CT2} := 0.30$ | $d_{CT22} := 0.08$ | $d_{CT42} := 0.09$ | $d_{CT62} := 0.1$ |
| $d_{CT3} := 0.09$ | $d_{CT23} := 0.09$ | $d_{CT43} := 0.125$ | $d_{CT63} := 0.08$ |
| $d_{CT4} := 0.30$ | $d_{CT24} := 0.09$ | $d_{CT44} := 0.1$ | $d_{CT64} := 0.05$ |
| $d_{CT5} := 0.30$ | $d_{CT25} := 0.04$ | $d_{CT45} := 0.125$ | |
| $d_{CT6} := 0.202$ | $d_{CT26} := 0.202$ | $d_{CT46} := 0.08$ | |
| $d_{CT7} := 0.202$ | $d_{CT27} := 0.202$ | $d_{CT47} := 0.125$ | |
| $d_{CT8} := 0.125$ | $d_{CT28} := 0.125$ | $d_{CT48} := 0.05$ | |
| $d_{CT9} := 0.065$ | $d_{CT29} := 0.125$ | $d_{CT49} := 0.125$ | |
| $d_{CT10} := 0.125$ | $d_{CT30} := 0.125$ | $d_{CT50} := 0.125$ | |
| $d_{CT11} := 0.09$ | $d_{CT31} := 0.08$ | $d_{CT51} := 0.08$ | |
| $d_{CT12} := 0.065$ | $d_{CT32} := 0.065$ | $d_{CT52} := 0.09$ | |
| $d_{CT13} := 0.0665$ | $d_{CT33} := 0.065$ | $d_{CT53} := 0.065$ | |
| $d_{CT14} := 0.09$ | $d_{CT34} := 0.1$ | $d_{CT54} := 0.08$ | |
| $d_{CT15} := 0.125$ | $d_{CT35} := 0.1$ | $d_{CT55} := 0.065$ | |
| $d_{CT16} := 0.065$ | $d_{CT36} := 0.09$ | $d_{CT56} := 0.125$ | |
| $d_{CT17} := 0.065$ | $d_{CT37} := 0.08$ | $d_{CT57} := 0.08$ | |
| $d_{CT18} := 0.05$ | $d_{CT38} := 0.04$ | $d_{CT58} := 0.09$ | |
| $d_{CT19} := 0.1$ | $d_{CT39} := 0.1$ | $d_{CT59} := 0.1$ | |
| $d_{CT20} := 0.125$ | $d_{CT40} := 0.1$ | $d_{CT60} := 0.1$ | |

$$R_{yД1y} := 13.62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 1}^2}{d_{CT1}^{5.25}} = 58.689 \quad R_{yД2y} := 13.62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 2}^2}{d_{CT2}^{5.25}} = 27.824$$

$$R_{yД3y} := 13.62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 3}^2}{d_{CT3}^{5.25}} = 53.054 \quad R_{yД4y} := 13.62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 4}^2}{d_{CT4}^{5.25}} = 24.661$$

$$R_{yД5y} := 13.62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 5}^2}{d_{CT5}^{5.25}} = 2.577 \quad R_{yД6y} := 13.62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 6}^2}{d_{CT6}^{5.25}} = 17.308$$

$$R_{yД7y} := 13.62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 7}^2}{d_{CT7}^{5.25}} = 5.353 \quad R_{yД8y} := 13.62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 8}^2}{d_{CT8}^{5.25}} = 36.301$$

$$R_{yД9y} := 13.62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 9}^2}{d_{CT9}^{5.25}} = 66.725 \quad R_{yД10y} := 13.62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 10}^2}{d_{CT10}^{5.25}} = 20.769$$

$$R_{y\text{д}11y} := 13.62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 11}^2}{d_{\text{сТ}11}^2} = 48.774 \quad R_{y\text{д}12y} := 13.62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 12}^2}{d_{\text{сТ}12}^2} = 29.434$$

$$R_{y\text{д}13y} := 13.62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 13}^2}{d_{\text{сТ}13}^2} = 36.708 \quad R_{y\text{д}14y} := 13.62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 14}^2}{d_{\text{сТ}14}^2} = 35.688$$

$$R_{y\text{д}15y} := 13.62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 15}^2}{d_{\text{сТ}15}^2} = 22.629 \quad R_{y\text{д}16y} := 13.62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 16}^2}{d_{\text{сТ}16}^2} = 1.312 \times 10^3$$

$$R_{y\text{д}17y} := 13.62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 17}^2}{d_{\text{сТ}17}^2} = 53.657 \quad R_{y\text{д}18y} := 13.62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 18}^2}{d_{\text{сТ}18}^2} = 43.266$$

$$R_{y\text{д}19y} := 13.62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 19}^2}{d_{\text{сТ}19}^2} = 55.933 \quad R_{y\text{д}20y} := 13.62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 20}^2}{d_{\text{сТ}20}^2} = 5.503$$

$$R_{y\text{д}21y} := 13.62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 21}^2}{d_{\text{сТ}21}^2} = 34.394 \quad R_{y\text{д}22y} := 13.62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 22}^2}{d_{\text{сТ}22}^2} = 26.416$$

$$R_{y\text{д}23y} := 13.62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 23}^2}{d_{\text{сТ}23}^2} = 50.791 \quad R_{y\text{д}24y} := 13.62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 24}^2}{d_{\text{сТ}24}^2} = 42.919$$

$$R_{y\text{д}25y} := 13.62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 25}^2}{d_{\text{сТ}25}^2} = 23.393 \quad R_{y\text{д}26y} := 13.62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 26}^2}{d_{\text{сТ}26}^2} = 81.711$$

$$R_{y\text{д}27y} := 13.62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 27}^2}{d_{\text{сТ}27}^2} = 57.536 \quad R_{y\text{д}28y} := 13.62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 28}^2}{d_{\text{сТ}28}^2} = 85.593$$

$$R_{y\text{д}29y} := 13.62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 29}^2}{d_{\text{сТ}29}^2} = 42.685 \quad R_{y\text{д}30y} := 13.62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 30}^2}{d_{\text{сТ}30}^2} = 38.963$$

$$R_{y\text{д}31y} := 13.62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 31}^2}{d_{\text{сТ}31}^2} = 51.723 \quad R_{y\text{д}32y} := 13.62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 32}^2}{d_{\text{сТ}32}^2} = 57.783$$

$$R_{y\text{д}33y} := 13.62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 33}^2}{d_{\text{сТ}33}^2} = 23.062 \quad R_{y\text{д}34y} := 13.62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 34}^2}{d_{\text{сТ}34}^2} = 51.972$$

$$R_{yд35y} := 13.62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 35}^2}{d_{ct35}^{5.25}} = 50.328 \quad R_{yд36y} := 13.62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 36}^2}{d_{ct36}^{5.25}} = 37.912$$

$$R_{yд37y} := 13.62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 37}^2}{d_{ct37}^{5.25}} = 18.971 \quad R_{yд38y} := 13.62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 38}^2}{d_{ct38}^{5.25}} = 33.639$$

$$R_{yд39y} := 13.62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 39}^2}{d_{ct39}^{5.25}} = 23.843 \quad R_{yд40y} := 13.62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 40}^2}{d_{ct40}^{5.25}} = 74.141$$

$$R_{yд41y} := 13.62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 41}^2}{d_{ct41}^{5.25}} = 43.381 \quad R_{yд42y} := 13.62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 42}^2}{d_{ct42}^{5.25}} = 22.728$$

$$R_{yд43y} := 13.62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 43}^2}{d_{ct43}^{5.25}} = 161.11 \quad R_{yд44y} := 13.62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 44}^2}{d_{ct44}^{5.25}} = 47.693$$

$$R_{yд45y} := 13.62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 45}^2}{d_{ct45}^{5.25}} = 78.296 \quad R_{yд46y} := 13.62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 46}^2}{d_{ct46}^{5.25}} = 34.101$$

$$R_{yд47y} := 13.62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 47}^2}{d_{ct47}^{5.25}} = 49.545 \quad R_{yд48y} := 13.62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 48}^2}{d_{ct48}^{5.25}} = 40.462$$

$$R_{yд49y} := 13.62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 49}^2}{d_{ct49}^{5.25}} = 41.793 \quad R_{yд50y} := 13.62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 50}^2}{d_{ct50}^{5.25}} = 27.591$$

$$R_{yд51y} := 13.62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 51}^2}{d_{ct51}^{5.25}} = 29.402 \quad R_{yд52y} := 13.62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 52}^2}{d_{ct52}^{5.25}} = 71.598$$

$$R_{yд53y} := 13.62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 53}^2}{d_{ct53}^{5.25}} = 53.602 \quad R_{yд54y} := 13.62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 54}^2}{d_{ct54}^{5.25}} = 53.031$$

$$R_{yд55y} := 13.62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 55}^2}{d_{ct55}^{5.25}} = 45.505 \quad R_{yд56y} := 13.62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 56}^2}{d_{ct56}^{5.25}} = 26.274$$

$$R_{yд57y} := 13.62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 57}^2}{d_{ct57}^{5.25}} = 37.861 \quad R_{yд58y} := 13.62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 58}^2}{d_{ct58}^{5.25}} = 58.136$$

$$R_{yд59y} := 13.62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 59}^2}{d_{ct59}^{5.25}} = 12.347 \quad R_{yд60y} := 13.62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 60}^2}{d_{ct60}^{5.25}} = 5.146$$

$$R_{yд61y} := 13.62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 61}^2}{d_{ct61}^{5.25}} = 5.979 > R_{yд62y} := 13.62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 62}^2}{d_{ct62}^{5.25}} = 49.274$$

$$R_{yд63y} := 13.62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 63}^2}{d_{ct63}^{5.25}} = 39.637 \quad R_{yд64y} := 13.62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 64}^2}{d_{ct64}^{5.25}} = 69.676$$

Тепловые потери

| | | | |
|-------------------|--------------------|-------------------|------------------|
| $l_1 := 213$ | $l_{21} := 26.3$ | $l_{40} := 144$ | $l_{59} := 78.8$ |
| $l_2 := 70$ | $l_{22} := 75$ | $l_{41} := 9$ | $l_{60} := 72$ |
| $l_3 := 13.1$ | $l_{23} := 32$ | $l_{42} := 32$ | $l_{61} := 124$ |
| $l_4 := 31$ | $l_{24} := 45$ | $l_{43} := 99$ | $l_{62} := 18$ |
| $l_5 := 133$ | $l_{25} := 16$ | $l_{44} := 153.5$ | $l_{63} := 10$ |
| $l_6 := 87.6$ | $l_{26} := 84$ | $l_{45} := 67$ | $l_{64} := 133$ |
| $l_7 := 98$ | $l_{27} := 245$ | $l_{46} := 57$ | |
| $l_8 := 104.8$ | $l_{28} := 90$ | $l_{47} := 51$ | |
| $l_9 := 106.5$ | $l_{29} := 92.5$ | $l_{48} := 46$ | |
| $l_{10} := 9$ | $l_{30} := 46.8$ | $l_{49} := 41.1$ | |
| $l_{11} := 39.2$ | $l_{31} := 33.51$ | $l_{50} := 70$ | |
| $l_{12} := 104$ | $l_{32} := 104.75$ | $l_{51} := 11.2$ | |
| $l_{13} := 23.4$ | $l_{33} := 69$ | $l_{52} := 126.5$ | |
| $l_{14} := 237.8$ | $l_{34} := 20$ | $l_{53} := 55.1$ | |
| $l_{15} := 98.8$ | $l_{35} := 71$ | $l_{54} := 11.8$ | |
| $l_{16} := 56$ | $l_{36} := 73.3$ | $l_{55} := 250$ | |
| $l_{17} := 47$ | $l_{37} := 8$ | $l_{56} := 95$ | |
| $l_{18} := 19.5$ | $l_{38} := 17.1$ | $l_{57} := 68.5$ | |
| $l_{19} := 11.6$ | $l_{39} := 16$ | $l_{58} := 184.5$ | |
| $l_{20} := 23.2$ | | | |

| | | | |
|---|--|---|--|
| $l_{1\text{э}} := l_1 \cdot 0.2 = 42.6$ | $l_{11\text{э}} := l_{11} \cdot 0.2 = 7.84$ | $l_{21\text{э}} := l_{21} \cdot 0.2 = 5.26$ | $l_{31\text{э}} := l_{31} \cdot 0.2 = 6.702$ |
| $l_{2\text{э}} := l_2 \cdot 0.2 = 14$ | $l_{12\text{э}} := l_{12} \cdot 0.2 = 20.8$ | $l_{22\text{э}} := l_{22} \cdot 0.2 = 15$ | $l_{32\text{э}} := l_{32} \cdot 0.2 = 20.95$ |
| $l_{3\text{э}} := l_3 \cdot 0.2 = 2.62$ | $l_{13\text{э}} := l_{13} \cdot 0.2 = 4.68$ | $l_{23\text{э}} := l_{23} \cdot 0.2 = 6.4$ | $l_{33\text{э}} := l_{33} \cdot 0.2 = 13.8$ |
| $l_{4\text{э}} := l_4 \cdot 0.2 = 6.2$ | $l_{14\text{э}} := l_{14} \cdot 0.2 = 47.56$ | $l_{24\text{э}} := l_{24} \cdot 0.2 = 9$ | $l_{34\text{э}} := l_{34} \cdot 0.2 = 4$ |
| $l_{5\text{э}} := l_5 \cdot 0.2 = 26.6$ | $l_{15\text{э}} := l_{15} \cdot 0.2 = 19.76$ | $l_{25\text{э}} := l_{25} \cdot 0.2 = 3.2$ | $l_{35\text{э}} := l_{35} \cdot 0.2 = 14.2$ |

$$\begin{array}{llll}
l_{6\textcircled{9}} := l_6 \cdot 0.2 = 17.52 & l_{16\textcircled{9}} := l_{16} \cdot 0.2 = 11.2 & l_{26\textcircled{9}} := l_{26} \cdot 0.2 = 16.8 & l_{36\textcircled{9}} := l_{36} \cdot 0.2 = 14.66 \\
l_{7\textcircled{9}} := l_7 \cdot 0.2 = 19.6 & l_{17\textcircled{9}} := l_{17} \cdot 0.2 = 9.4 & l_{27\textcircled{9}} := l_{27} \cdot 0.2 = 49 & l_{37\textcircled{9}} := l_{37} \cdot 0.2 = 1.6 \\
l_{8\textcircled{9}} := l_8 \cdot 0.2 = 20.96 & l_{18\textcircled{9}} := l_{18} \cdot 0.2 = 3.9 & l_{28\textcircled{9}} := l_{28} \cdot 0.2 = 18 & l_{38\textcircled{9}} := l_{38} \cdot 0.2 = 3.42 \\
l_{9\textcircled{9}} := l_9 \cdot 0.2 = 21.3 & l_{19\textcircled{9}} := l_{19} \cdot 0.2 = 2.32 & l_{29\textcircled{9}} := l_{29} \cdot 0.2 = 18.5 & l_{39\textcircled{9}} := l_{39} \cdot 0.2 = 3.2 \\
l_{10\textcircled{9}} := l_{10} \cdot 0.2 = 1.8 & l_{20\textcircled{9}} := l_{20} \cdot 0.2 = 4.64 & l_{30\textcircled{9}} := l_{30} \cdot 0.2 = 9.36 & l_{40\textcircled{9}} := l_{40} \cdot 0.2 = 28.8 \\
\\
l_{41\textcircled{9}} := l_{41} \cdot 0.2 = 1.8 & l_{48\textcircled{9}} := l_{48} \cdot 0.2 = 9.2 & l_{55\textcircled{9}} := l_{55} \cdot 0.2 = 50 & l_{62\textcircled{9}} := l_{62} \cdot 0.2 = 3.6 \\
l_{42\textcircled{9}} := l_{42} \cdot 0.2 = 6.4 & l_{49\textcircled{9}} := l_{49} \cdot 0.2 = 8.22 & l_{56\textcircled{9}} := l_{56} \cdot 0.2 = 19 & l_{63\textcircled{9}} := l_{63} \cdot 0.2 = 2 \\
l_{43\textcircled{9}} := l_{43} \cdot 0.2 = 19.8 & l_{50\textcircled{9}} := l_{50} \cdot 0.2 = 14 & l_{57\textcircled{9}} := l_{57} \cdot 0.2 = 13.7 & l_{64\textcircled{9}} := l_{64} \cdot 0.2 = 26.6 \\
l_{44\textcircled{9}} := l_{44} \cdot 0.2 = 30.7 & l_{51\textcircled{9}} := l_{51} \cdot 0.2 = 2.24 & l_{58\textcircled{9}} := l_{58} \cdot 0.2 = 36.9 & \\
l_{45\textcircled{9}} := l_{45} \cdot 0.2 = 13.4 & l_{52\textcircled{9}} := l_{52} \cdot 0.2 = 25.3 & l_{59\textcircled{9}} := l_{59} \cdot 0.2 = 15.76 & \\
l_{46\textcircled{9}} := l_{46} \cdot 0.2 = 11.4 & l_{53\textcircled{9}} := l_{53} \cdot 0.2 = 11.02 & l_{60\textcircled{9}} := l_{60} \cdot 0.2 = 14.4 & \\
l_{47\textcircled{9}} := l_{47} \cdot 0.2 = 10.2 & l_{54\textcircled{9}} := l_{54} \cdot 0.2 = 2.36 & l_{61\textcircled{9}} := l_{61} \cdot 0.2 = 24.8 &
\end{array}$$

$$\begin{array}{lll}
l_{1\Sigma} := l_1 + l_{1\textcircled{9}} = 255.6 & l_{21\Sigma} := l_{21} + l_{21\textcircled{9}} = 31.56 & l_{41\Sigma} := l_{41} + l_{41\textcircled{9}} = 10.8 \\
l_{2\Sigma} := l_2 + l_{2\textcircled{9}} = 84 & l_{22\Sigma} := l_{22} + l_{22\textcircled{9}} = 90 & l_{42\Sigma} := l_{42} + l_{42\textcircled{9}} = 38.4 \\
l_{3\Sigma} := l_3 + l_{3\textcircled{9}} = 15.72 & l_{23\Sigma} := l_{23} + l_{23\textcircled{9}} = 38.4 & l_{43\Sigma} := l_{43} + l_{43\textcircled{9}} = 118.8 \\
l_{4\Sigma} := l_4 + l_{4\textcircled{9}} = 37.2 & l_{24\Sigma} := l_{24} + l_{24\textcircled{9}} = 54 & l_{44\Sigma} := l_{44} + l_{44\textcircled{9}} = 184.2 \\
l_{5\Sigma} := l_5 + l_{5\textcircled{9}} = 159.6 & l_{25\Sigma} := l_{25} + l_{25\textcircled{9}} = 19.2 & l_{45\Sigma} := l_{45} + l_{45\textcircled{9}} = 80.4 \\
l_{6\Sigma} := l_6 + l_{6\textcircled{9}} = 105.12 & l_{26\Sigma} := l_{26} + l_{26\textcircled{9}} = 100.8 & l_{46\Sigma} := l_{46} + l_{46\textcircled{9}} = 68.4 \\
l_{7\Sigma} := l_7 + l_{7\textcircled{9}} = 117.6 & l_{27\Sigma} := l_{27} + l_{27\textcircled{9}} = 294 & l_{47\Sigma} := l_{47} + l_{47\textcircled{9}} = 61.2 \\
l_{8\Sigma} := l_8 + l_{8\textcircled{9}} = 125.76 & l_{28\Sigma} := l_{28} + l_{28\textcircled{9}} = 108 & l_{48\Sigma} := l_{48} + l_{48\textcircled{9}} = 55.2 \\
l_{9\Sigma} := l_9 + l_{9\textcircled{9}} = 127.8 & l_{29\Sigma} := l_{29} + l_{29\textcircled{9}} = 111 & l_{49\Sigma} := l_{49} + l_{49\textcircled{9}} = 49.32 \\
l_{10\Sigma} := l_{10} + l_{10\textcircled{9}} = 10.8 & l_{30\Sigma} := l_{30} + l_{30\textcircled{9}} = 56.16 & l_{50\Sigma} := l_{50} + l_{50\textcircled{9}} = 84 \\
l_{11\Sigma} := l_{11} + l_{11\textcircled{9}} = 47.04 & l_{31\Sigma} := l_{31} + l_{31\textcircled{9}} = 40.212 & l_{51\Sigma} := l_{51} + l_{51\textcircled{9}} = 13.44 \\
l_{12\Sigma} := l_{12} + l_{12\textcircled{9}} = 124.8 & l_{32\Sigma} := l_{32} + l_{32\textcircled{9}} = 125.7 & l_{52\Sigma} := l_{52} + l_{52\textcircled{9}} = 151.8 \\
l_{13\Sigma} := l_{13} + l_{13\textcircled{9}} = 28.08 & l_{33\Sigma} := l_{33} + l_{33\textcircled{9}} = 82.8 & l_{53\Sigma} := l_{53} + l_{53\textcircled{9}} = 66.12 \\
l_{14\Sigma} := l_{14} + l_{14\textcircled{9}} = 285.36 & l_{34\Sigma} := l_{34} + l_{34\textcircled{9}} = 24 & l_{54\Sigma} := l_{54} + l_{54\textcircled{9}} = 14.16 \\
l_{15\Sigma} := l_{15} + l_{15\textcircled{9}} = 118.56 & l_{35\Sigma} := l_{35} + l_{35\textcircled{9}} = 85.2 & l_{55\Sigma} := l_{55} + l_{55\textcircled{9}} = 300 \\
l_{16\Sigma} := l_{16} + l_{16\textcircled{9}} = 67.2 & l_{36\Sigma} := l_{36} + l_{36\textcircled{9}} = 87.96 & l_{56\Sigma} := l_{56} + l_{56\textcircled{9}} = 114 \\
l_{17\Sigma} := l_{17} + l_{17\textcircled{9}} = 56.4 & l_{37\Sigma} := l_{37} + l_{37\textcircled{9}} = 9.6 & l_{57\Sigma} := l_{57} + l_{57\textcircled{9}} = 82.2 \\
l_{18\Sigma} := l_{18} + l_{18\textcircled{9}} = 23.4 & l_{38\Sigma} := l_{38} + l_{38\textcircled{9}} = 20.52 & l_{58\Sigma} := l_{58} + l_{58\textcircled{9}} = 221.4 \\
l_{19\Sigma} := l_{19} + l_{19\textcircled{9}} = 13.92 & l_{39\Sigma} := l_{39} + l_{39\textcircled{9}} = 19.2 & l_{59\Sigma} := l_{59} + l_{59\textcircled{9}} = 94.56 \\
l_{20\Sigma} := l_{20} + l_{20\textcircled{9}} = 27.84 & l_{40\Sigma} := l_{40} + l_{40\textcircled{9}} = 172.8 & l_{60\Sigma} := l_{60} + l_{60\textcircled{9}} = 86.4 \\
& & l_{61\Sigma} := l_{61} + l_{61\textcircled{9}} = 148.8 \\
& & l_{62\Sigma} := l_{62} + l_{62\textcircled{9}} = 21.6 \\
& & l_{63\Sigma} := l_{63} + l_{63\textcircled{9}} = 12 \\
& & l_{64\Sigma} := l_{64} + l_{64\textcircled{9}} = 159.6
\end{array}$$

$$\Delta H_1 := \frac{R_{yд1y} \cdot 11 \Sigma}{9810} = 1.529$$

$$\Delta H_2 := \frac{R_{yд2y} \cdot 12 \Sigma}{9810} = 0.238$$

$$\Delta H_3 := \frac{R_{yд3y} \cdot 13 \Sigma}{9810} = 0.085$$

$$\Delta H_4 := \frac{R_{yд4y} \cdot 14 \Sigma}{9810} = 0.094$$

$$\Delta H_5 := \frac{R_{yд5y} \cdot 15 \Sigma}{9810} = 0.042$$

$$\Delta H_6 := \frac{R_{yд6y} \cdot 16 \Sigma}{9810} = 0.185$$

$$\Delta H_7 := \frac{R_{yд7y} \cdot 17 \Sigma}{9810} = 0.064$$

$$\Delta H_8 := \frac{R_{yд8y} \cdot 18 \Sigma}{9810} = 0.465$$

$$\Delta H_9 := \frac{R_{yд9y} \cdot 19 \Sigma}{9810} = 0.869$$

$$\Delta H_{10} := \frac{R_{yд10y} \cdot 10 \Sigma}{9810} = 0.023$$

$$\Delta H_{21} := \frac{R_{yд21y} \cdot 121 \Sigma}{9810} = 0.111$$

$$\Delta H_{22} := \frac{R_{yд22y} \cdot 122 \Sigma}{9810} = 0.242$$

$$\Delta H_{23} := \frac{R_{yд23y} \cdot 123 \Sigma}{9810} = 0.199$$

$$\Delta H_{24} := \frac{R_{yд24y} \cdot 124 \Sigma}{9810} = 0.236$$

$$\Delta H_{25} := \frac{R_{yд25y} \cdot 125 \Sigma}{9810} = 0.046$$

$$\Delta H_{26} := \frac{R_{yд26y} \cdot 126 \Sigma}{9810} = 0.84$$

$$\Delta H_{27} := \frac{R_{yд27y} \cdot 127 \Sigma}{9810} = 1.724$$

$$\Delta H_{11} := \frac{R_{yд11y} \cdot 111 \Sigma}{9810} = 0.234$$

$$\Delta H_{12} := \frac{R_{yд12y} \cdot 112 \Sigma}{9810} = 0.374$$

$$\Delta H_{13} := \frac{R_{yд13y} \cdot 113 \Sigma}{9810} = 0.105$$

$$\Delta H_{14} := \frac{R_{yд14y} \cdot 114 \Sigma}{9810} = 1.038$$

$$\Delta H_{15} := \frac{R_{yд15y} \cdot 115 \Sigma}{9810} = 0.273$$

$$\Delta H_{16} := \frac{R_{yд16y} \cdot 116 \Sigma}{9810} = 8.99$$

$$\Delta H_{17} := \frac{R_{yд17y} \cdot 117 \Sigma}{9810} = 0.308$$

$$\Delta H_{18} := \frac{R_{yд18y} \cdot 118 \Sigma}{9810} = 0.103$$

$$\Delta H_{19} := \frac{R_{yд19y} \cdot 119 \Sigma}{9810} = 0.079$$

$$\Delta H_{20} := \frac{R_{yд20y} \cdot 120 \Sigma}{9810} = 0.016$$

$$\Delta H_{31} := \frac{R_{yд31y} \cdot 131 \Sigma}{9810} = 0.212$$

$$\Delta H_{32} := \frac{R_{yд32y} \cdot 132 \Sigma}{9810} = 0.74$$

$$\Delta H_{33} := \frac{R_{yд33y} \cdot 133 \Sigma}{9810} = 0.195$$

$$\Delta H_{34} := \frac{R_{yд34y} \cdot 134 \Sigma}{9810} = 0.127$$

$$\Delta H_{35} := \frac{R_{yд35y} \cdot 135 \Sigma}{9810} = 0.437$$

$$\Delta H_{36} := \frac{R_{yд36y} \cdot 136 \Sigma}{9810} = 0.34$$

$$\Delta H_{37} := \frac{R_{yд37y} \cdot 137 \Sigma}{9810} = 0.019$$

$$\Delta H_{28} := \frac{R_{yд28y} \cdot 128 \Sigma}{9810} = 0.942$$

$$\Delta H_{29} := \frac{R_{yд29y} \cdot 129 \Sigma}{9810} = 0.483$$

$$\Delta H_{30} := \frac{R_{yд30y} \cdot 130 \Sigma}{9810} = 0.223$$

$$\Delta H_{41} := \frac{R_{yд41y} \cdot 141 \Sigma}{9810} = 0.048$$

$$\Delta H_{42} := \frac{R_{yд42y} \cdot 142 \Sigma}{9810} = 0.089$$

$$\Delta H_{43} := \frac{R_{yд43y} \cdot 143 \Sigma}{9810} = 1.951$$

$$\Delta H_{44} := \frac{R_{yд44y} \cdot 144 \Sigma}{9810} = 0.896$$

$$\Delta H_{45} := \frac{R_{yд45y} \cdot 145 \Sigma}{9810} = 0.642$$

$$\Delta H_{51} := \frac{R_{yд51y} \cdot 151 \Sigma}{9810} = 0.04$$

$$\Delta H_{52} := \frac{R_{yд52y} \cdot 152 \Sigma}{9810} = 1.108$$

$$\Delta H_{53} := \frac{R_{yд53y} \cdot 153 \Sigma}{9810} = 0.361$$

$$\Delta H_{54} := \frac{R_{yд54y} \cdot 154 \Sigma}{9810} = 0.077$$

$$\Delta H_{55} := \frac{R_{yд55y} \cdot 155 \Sigma}{9810} = 1.392$$

$$\Delta H_{38} := \frac{R_{yд38y} \cdot 138 \Sigma}{9810} = 0.07$$

$$\Delta H_{39} := \frac{R_{yд39y} \cdot 139 \Sigma}{9810} = 0.047$$

$$\Delta H_{40} := \frac{R_{yд40y} \cdot 140 \Sigma}{9810} = 1.306$$

$$\Delta H_{46} := \frac{R_{yд46y} \cdot 146 \Sigma}{9810} = 0.238$$

$$\Delta H_{47} := \frac{R_{yд47y} \cdot 147 \Sigma}{9810} = 0.309$$

$$\Delta H_{48} := \frac{R_{yд48y} \cdot 148 \Sigma}{9810} = 0.228$$

$$\Delta H_{49} := \frac{R_{yд49y} \cdot 149 \Sigma}{9810} = 0.21$$

$$\Delta H_{50} := \frac{R_{yд50y} \cdot 150 \Sigma}{9810} = 0.236$$

$$\Delta H_{56} := \frac{R_{yд56y} \cdot 156 \Sigma}{9810} = 0.305$$

$$\Delta H_{57} := \frac{R_{yд57y} \cdot 157 \Sigma}{9810} = 0.317$$

$$\Delta H_{58} := \frac{R_{yд58y} \cdot 158 \Sigma}{9810} = 1.312$$

$$\Delta H_{59} := \frac{R_{yд59y} \cdot 159 \Sigma}{9810} = 0.119$$

$$\Delta H_{60} := \frac{R_{yд60y} \cdot 160 \Sigma}{9810} = 0.045$$

$$\Delta H_{61} := \frac{R_{yд61y} \cdot 161 \Sigma}{9810} = 9.068 \times 10^{-5}$$

$$\Delta H_{62} := \frac{R_{yд62y} \cdot 162 \Sigma}{9810} = 0.108$$

$$\Delta H_{63} := \frac{R_{yд63y} \cdot 163 \Sigma}{9810} = 0.048$$

$$\Delta H_{64} := \frac{R_{yд64y} \cdot 164 \Sigma}{9810} = 1.134$$

| | | | | |
|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| $V_{уд1} := 6.65$ | $V_{уд21} := 5.3$ | $V_{уд41} := 6.65$ | $V_{уд61} := 5.15$ | $n_{год} := 8760$ |
| $V_{уд2} := 1.07$ | $V_{уд22} := 5.3$ | $V_{уд42} := 6.65$ | $V_{уд62} := 8$ | $n_{летн} := 2832$ |
| $V_{уд3} := 6.65$ | $V_{уд23} := 6.65$ | $V_{уд43} := 18$ | $V_{уд63} := 5.3$ | $n_{отоп} := 5592$ |
| $V_{уд4} := 1.07$ | $V_{уд24} := 6.65$ | $V_{уд44} := 8$ | $V_{уд64} := 1.4$ | $a := 0.25$ |
| $V_{уд5} := 52.24$ | $V_{уд25} := 1.3$ | $V_{уд45} := 5.3$ | | |
| $V_{уд6} := 52.24$ | $V_{уд26} := 52.24$ | $V_{уд46} := 5.3$ | | |
| $V_{уд7} := 52.24$ | $V_{уд27} := 12$ | $V_{уд47} := 12$ | | |
| $V_{уд8} := 12$ | $V_{уд28} := 12$ | $V_{уд48} := 1.4$ | | |
| $V_{уд9} := 5.15$ | $V_{уд29} := 12$ | $V_{уд49} := 12$ | | |
| $V_{уд10} := 12$ | $V_{уд30} := 12$ | $V_{уд50} := 12$ | | |
| $V_{уд11} := 6.65$ | $V_{уд31} := 5.3$ | $V_{уд51} := 5.3$ | | |
| $V_{уд12} := 5.15$ | $V_{уд32} := 5.15$ | $V_{уд52} := 6.65$ | | |
| $V_{уд13} := 5.15$ | $V_{уд33} := 5.15$ | $V_{уд53} := 5.15$ | | |
| $V_{уд14} := 6.65$ | $V_{уд34} := 8$ | $V_{уд54} := 5.3$ | | |
| $V_{уд15} := 12$ | $V_{уд35} := 8$ | $V_{уд55} := 5.15$ | | |
| $V_{уд16} := 5.15$ | $V_{уд36} := 6.65$ | $V_{уд56} := 12$ | | |
| $V_{уд17} := 5.15$ | $V_{уд37} := 5.3$ | $V_{уд57} := 5.3$ | | |
| $V_{уд18} := 1.4$ | $V_{уд38} := 1.3$ | $V_{уд58} := 6.65$ | | |
| $V_{уд19} := 12$ | $V_{уд39} := 6.65$ | $V_{уд59} := 5.3$ | | |
| $V_{уд20} := 6.65$ | $V_{уд40} := 8$ | $V_{уд60} := 5.15$ | | |

$$V_{отоп1} := V_{уд1} \cdot 11 \cdot 10^{-3} = 1.416$$

$$V_{отоп2} := V_{уд2} \cdot 12 \cdot 10^{-3} = 0.075$$

$$V_{отоп3} := V_{уд3} \cdot 13 \cdot 10^{-3} = 0.087$$

$$V_{отоп4} := V_{уд4} \cdot 14 \cdot 10^{-3} = 0.033$$

$$V_{отоп5} := V_{уд5} \cdot 15 \cdot 10^{-3} = 6.948$$

$$V_{отоп6} := V_{уд6} \cdot 16 \cdot 10^{-3} = 4.576$$

$$V_{отоп7} := V_{уд7} \cdot 17 \cdot 10^{-3} = 5.12$$

$$V_{отоп8} := V_{уд8} \cdot 18 \cdot 10^{-3} = 1.258$$

$$V_{отоп9} := V_{уд9} \cdot 19 \cdot 10^{-3} = 0.548$$

$$V_{отоп10} := V_{уд10} \cdot 110 \cdot 10^{-3} = 0.108$$

$$V_{отоп11} := V_{уд11} \cdot 111 \cdot 10^{-3} = 0.261$$

$$V_{летн1} := V_{уд1} \cdot 11 \cdot 10^{-3} = 1.416$$

$$V_{летн2} := V_{уд2} \cdot 12 \cdot 10^{-3} = 0.075$$

$$V_{летн3} := V_{уд3} \cdot 13 \cdot 10^{-3} = 0.087$$

$$V_{летн4} := V_{уд4} \cdot 14 \cdot 10^{-3} = 0.033$$

$$V_{летн5} := V_{уд5} \cdot 15 \cdot 10^{-3} = 6.948$$

$$V_{летн6} := V_{уд6} \cdot 16 \cdot 10^{-3} = 4.576$$

$$V_{летн7} := V_{уд7} \cdot 17 \cdot 10^{-3} = 5.12$$

$$V_{летн8} := V_{уд8} \cdot 18 \cdot 10^{-3} = 1.258$$

$$V_{летн9} := V_{уд9} \cdot 19 \cdot 10^{-3} = 0.548$$

$$V_{летн10} := V_{уд10} \cdot 110 \cdot 10^{-3} = 0.108$$

$$V_{летн11} := V_{уд11} \cdot 111 \cdot 10^{-3} = 0.261$$

$$V_{\text{отоп}12} := V_{\text{уд}12} \cdot l_{12} \cdot 10^{-3} = 0.536$$

$$V_{\text{отоп}13} := V_{\text{уд}13} \cdot l_{13} \cdot 10^{-3} = 0.121$$

$$V_{\text{отоп}14} := V_{\text{уд}14} \cdot l_{14} \cdot 10^{-3} = 1.581$$

$$V_{\text{отоп}15} := V_{\text{уд}15} \cdot l_{15} \cdot 10^{-3} = 1.186$$

$$V_{\text{отоп}16} := V_{\text{уд}16} \cdot l_{16} \cdot 10^{-3} = 0.288$$

$$V_{\text{отоп}17} := V_{\text{уд}17} \cdot l_{17} \cdot 10^{-3} = 0.242$$

$$V_{\text{отоп}18} := V_{\text{уд}18} \cdot l_{18} \cdot 10^{-3} = 0.027$$

$$V_{\text{отоп}19} := V_{\text{уд}19} \cdot l_{19} \cdot 10^{-3} = 0.139$$

$$V_{\text{отоп}20} := V_{\text{уд}20} \cdot l_{20} \cdot 10^{-3} = 0.154$$

$$V_{\text{отоп}21} := V_{\text{уд}21} \cdot l_{21} \cdot 10^{-3} = 0.139$$

$$V_{\text{отоп}22} := V_{\text{уд}22} \cdot l_{22} \cdot 10^{-3} = 0.398$$

$$V_{\text{отоп}23} := V_{\text{уд}23} \cdot l_{23} \cdot 10^{-3} = 0.213$$

$$V_{\text{отоп}24} := V_{\text{уд}24} \cdot l_{24} \cdot 10^{-3} = 0.299$$

$$V_{\text{отоп}25} := V_{\text{уд}25} \cdot l_{25} \cdot 10^{-3} = 0.021$$

$$V_{\text{отоп}26} := V_{\text{уд}26} \cdot l_{26} \cdot 10^{-3} = 4.388$$

$$V_{\text{отоп}27} := V_{\text{уд}27} \cdot l_{27} \cdot 10^{-3} = 2.94$$

$$V_{\text{отоп}28} := V_{\text{уд}28} \cdot l_{28} \cdot 10^{-3} = 1.08$$

$$V_{\text{отоп}29} := V_{\text{уд}29} \cdot l_{29} \cdot 10^{-3} = 1.11$$

$$V_{\text{отоп}30} := V_{\text{уд}30} \cdot l_{30} \cdot 10^{-3} = 0.562$$

$$V_{\text{отоп}31} := V_{\text{уд}31} \cdot l_{31} \cdot 10^{-3} = 0.178$$

$$V_{\text{отоп}32} := V_{\text{уд}32} \cdot l_{32} \cdot 10^{-3} = 0.539$$

$$V_{\text{отоп}33} := V_{\text{уд}33} \cdot l_{33} \cdot 10^{-3} = 0.355$$

$$V_{\text{отоп}34} := V_{\text{уд}34} \cdot l_{34} \cdot 10^{-3} = 0.16$$

$$V_{\text{отоп}35} := V_{\text{уд}35} \cdot l_{35} \cdot 10^{-3} = 0.568$$

$$V_{\text{отоп}36} := V_{\text{уд}36} \cdot l_{36} \cdot 10^{-3} = 0.487$$

$$V_{\text{отоп}37} := V_{\text{уд}37} \cdot l_{37} \cdot 10^{-3} = 0.042$$

$$V_{\text{отоп}38} := V_{\text{уд}38} \cdot l_{38} \cdot 10^{-3} = 0.022$$

$$V_{\text{летн}12} := V_{\text{уд}12} \cdot l_{12} \cdot 10^{-3} = 0.536$$

$$V_{\text{летн}13} := V_{\text{уд}13} \cdot l_{13} \cdot 10^{-3} = 0.121$$

$$V_{\text{летн}14} := V_{\text{уд}14} \cdot l_{14} \cdot 10^{-3} = 1.581$$

$$V_{\text{летн}15} := V_{\text{уд}15} \cdot l_{15} \cdot 10^{-3} = 1.186$$

$$V_{\text{летн}16} := V_{\text{уд}16} \cdot l_{16} \cdot 10^{-3} = 0.288$$

$$V_{\text{летн}17} := V_{\text{уд}17} \cdot l_{17} \cdot 10^{-3} = 0.242$$

$$V_{\text{летн}18} := V_{\text{уд}18} \cdot l_{18} \cdot 10^{-3} = 0.027$$

$$V_{\text{летн}19} := V_{\text{уд}19} \cdot l_{19} \cdot 10^{-3} = 0.139$$

$$V_{\text{летн}20} := V_{\text{уд}20} \cdot l_{20} \cdot 10^{-3} = 0.154$$

$$V_{\text{летн}21} := V_{\text{уд}21} \cdot l_{21} \cdot 10^{-3} = 0.139$$

$$V_{\text{летн}22} := V_{\text{уд}22} \cdot l_{22} \cdot 10^{-3} = 0.398$$

$$V_{\text{летн}23} := V_{\text{уд}23} \cdot l_{23} \cdot 10^{-3} = 0.213$$

$$V_{\text{летн}24} := V_{\text{уд}24} \cdot l_{24} \cdot 10^{-3} = 0.299$$

$$V_{\text{летн}25} := V_{\text{уд}25} \cdot l_{25} \cdot 10^{-3} = 0.021$$

$$V_{\text{летн}26} := V_{\text{уд}26} \cdot l_{26} \cdot 10^{-3} = 4.388$$

$$V_{\text{летн}27} := V_{\text{уд}27} \cdot l_{27} \cdot 10^{-3} = 2.94$$

$$V_{\text{летн}28} := V_{\text{уд}28} \cdot l_{28} \cdot 10^{-3} = 1.08$$

$$V_{\text{летн}29} := V_{\text{уд}29} \cdot l_{29} \cdot 10^{-3} = 1.11$$

$$V_{\text{летн}30} := V_{\text{уд}30} \cdot l_{30} \cdot 10^{-3} = 0.562$$

$$V_{\text{летн}31} := V_{\text{уд}31} \cdot l_{31} \cdot 10^{-3} = 0.178$$

$$V_{\text{летн}32} := V_{\text{уд}32} \cdot l_{32} \cdot 10^{-3} = 0.539$$

$$V_{\text{летн}33} := V_{\text{уд}33} \cdot l_{33} \cdot 10^{-3} = 0.355$$

$$V_{\text{летн}34} := V_{\text{уд}34} \cdot l_{34} \cdot 10^{-3} = 0.16$$

$$V_{\text{летн}35} := V_{\text{уд}35} \cdot l_{35} \cdot 10^{-3} = 0.568$$

$$V_{\text{летн}36} := V_{\text{уд}36} \cdot l_{36} \cdot 10^{-3} = 0.487$$

$$V_{\text{летн}37} := V_{\text{уд}37} \cdot l_{37} \cdot 10^{-3} = 0.042$$

$$V_{\text{летн}38} := V_{\text{уд}38} \cdot l_{38} \cdot 10^{-3} = 0.022$$

$$V_{\text{летн}39} := V_{\text{уд}39} \cdot l_{39} \cdot 10^{-3} = 0.106$$

$$\begin{aligned}
V_{\text{отоп}39} &:= V_{\text{уд}39} \cdot 139 \cdot 10^{-3} = 0.106 \\
V_{\text{отоп}40} &:= V_{\text{уд}40} \cdot 140 \cdot 10^{-3} = 1.152 \\
V_{\text{отоп}41} &:= V_{\text{уд}41} \cdot 141 \cdot 10^{-3} = 0.06 \\
V_{\text{отоп}42} &:= V_{\text{уд}42} \cdot 142 \cdot 10^{-3} = 0.213 \\
V_{\text{отоп}43} &:= V_{\text{уд}43} \cdot 143 \cdot 10^{-3} = 1.782 \\
V_{\text{отоп}44} &:= V_{\text{уд}44} \cdot 144 \cdot 10^{-3} = 1.228 \\
V_{\text{отоп}45} &:= V_{\text{уд}45} \cdot 145 \cdot 10^{-3} = 0.355 \\
V_{\text{отоп}46} &:= V_{\text{уд}46} \cdot 146 \cdot 10^{-3} = 0.302 \\
V_{\text{отоп}47} &:= V_{\text{уд}47} \cdot 147 \cdot 10^{-3} = 0.612 \\
V_{\text{отоп}48} &:= V_{\text{уд}48} \cdot 148 \cdot 10^{-3} = 0.064 \\
V_{\text{отоп}49} &:= V_{\text{уд}49} \cdot 149 \cdot 10^{-3} = 0.493 \\
V_{\text{отоп}50} &:= V_{\text{уд}50} \cdot 150 \cdot 10^{-3} = 0.84 \\
V_{\text{отоп}51} &:= V_{\text{уд}51} \cdot 151 \cdot 10^{-3} = 0.059 \\
V_{\text{отоп}52} &:= V_{\text{уд}52} \cdot 152 \cdot 10^{-3} = 0.841 \\
V_{\text{отоп}53} &:= V_{\text{уд}53} \cdot 153 \cdot 10^{-3} = 0.284 \\
V_{\text{отоп}54} &:= V_{\text{уд}54} \cdot 154 \cdot 10^{-3} = 0.063 \\
V_{\text{отоп}55} &:= V_{\text{уд}55} \cdot 155 \cdot 10^{-3} = 1.288 \\
V_{\text{отоп}56} &:= V_{\text{уд}56} \cdot 156 \cdot 10^{-3} = 1.14 \\
V_{\text{отоп}57} &:= V_{\text{уд}57} \cdot 157 \cdot 10^{-3} = 0.363 \\
V_{\text{отоп}58} &:= V_{\text{уд}58} \cdot 158 \cdot 10^{-3} = 1.227 \\
V_{\text{отоп}59} &:= V_{\text{уд}59} \cdot 159 \cdot 10^{-3} = 0.418 \\
V_{\text{отоп}60} &:= V_{\text{уд}60} \cdot 160 \cdot 10^{-3} = 0.371 \\
V_{\text{отоп}61} &:= V_{\text{уд}61} \cdot 161 \cdot 10^{-3} = 0.639 \\
V_{\text{отоп}62} &:= V_{\text{уд}62} \cdot 162 \cdot 10^{-3} = 0.144 \\
V_{\text{отоп}63} &:= V_{\text{уд}63} \cdot 163 \cdot 10^{-3} = 0.053 \\
V_{\text{отоп}64} &:= V_{\text{уд}64} \cdot 164 \cdot 10^{-3} = 0.186
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
V_{\text{летн}40} &:= V_{\text{уд}40} \cdot 140 \cdot 10^{-3} = 1.152 \\
V_{\text{летн}41} &:= V_{\text{уд}41} \cdot 141 \cdot 10^{-3} = 0.06 \\
V_{\text{летн}42} &:= V_{\text{уд}42} \cdot 142 \cdot 10^{-3} = 0.213 \\
V_{\text{летн}43} &:= V_{\text{уд}43} \cdot 143 \cdot 10^{-3} = 1.782 \\
V_{\text{летн}44} &:= V_{\text{уд}44} \cdot 144 \cdot 10^{-3} = 1.228 \\
V_{\text{летн}45} &:= V_{\text{уд}45} \cdot 145 \cdot 10^{-3} = 0.355 \\
V_{\text{летн}46} &:= V_{\text{уд}46} \cdot 146 \cdot 10^{-3} = 0.302 \\
V_{\text{летн}47} &:= V_{\text{уд}47} \cdot 147 \cdot 10^{-3} = 0.612 \\
V_{\text{летн}48} &:= V_{\text{уд}48} \cdot 148 \cdot 10^{-3} = 0.064 \\
V_{\text{летн}49} &:= V_{\text{уд}49} \cdot 149 \cdot 10^{-3} = 0.493 \\
V_{\text{летн}50} &:= V_{\text{уд}50} \cdot 150 \cdot 10^{-3} = 0.84 \\
V_{\text{летн}51} &:= V_{\text{уд}51} \cdot 151 \cdot 10^{-3} = 0.059 \\
V_{\text{летн}52} &:= V_{\text{уд}52} \cdot 152 \cdot 10^{-3} = 0.841 \\
V_{\text{летн}53} &:= V_{\text{уд}53} \cdot 153 \cdot 10^{-3} = 0.284 \\
V_{\text{летн}54} &:= V_{\text{уд}54} \cdot 154 \cdot 10^{-3} = 0.063 \\
V_{\text{летн}55} &:= V_{\text{уд}55} \cdot 155 \cdot 10^{-3} = 1.288 \\
V_{\text{летн}56} &:= V_{\text{уд}56} \cdot 156 \cdot 10^{-3} = 1.14 \\
V_{\text{летн}57} &:= V_{\text{уд}57} \cdot 157 \cdot 10^{-3} = 0.363 \\
V_{\text{летн}58} &:= V_{\text{уд}58} \cdot 158 \cdot 10^{-3} = 1.227 \\
V_{\text{летн}59} &:= V_{\text{уд}59} \cdot 159 \cdot 10^{-3} = 0.418 \\
V_{\text{летн}60} &:= V_{\text{уд}60} \cdot 160 \cdot 10^{-3} = 0.371 \\
V_{\text{летн}61} &:= V_{\text{уд}61} \cdot 161 \cdot 10^{-3} = 0.639 \\
V_{\text{летн}62} &:= V_{\text{уд}62} \cdot 162 \cdot 10^{-3} = 0.144 \\
V_{\text{летн}63} &:= V_{\text{уд}63} \cdot 163 \cdot 10^{-3} = 0.053 \\
V_{\text{летн}64} &:= V_{\text{уд}64} \cdot 164 \cdot 10^{-3} = 0.186
\end{aligned}$$

$$V_{\text{Год1}} := \frac{2 \cdot (V_{\text{отоп1}} \cdot n_{\text{отоп}} + V_{\text{летн1}} \cdot n_{\text{летн}})}{n_{\text{год}}} = 2.724$$

$$V_{\text{Год2}} := \frac{2 \cdot (V_{\text{отоп2}} \cdot n_{\text{отоп}} + V_{\text{летн2}} \cdot n_{\text{летн}})}{n_{\text{год}}} = 0.144$$

$$V_{\text{Год3}} := \frac{2 \cdot (V_{\text{отоп3}} \cdot n_{\text{отоп}} + V_{\text{летн3}} \cdot n_{\text{летн}})}{n_{\text{год}}} = 0.168$$

$$V_{\text{Год4}} := \frac{2 \cdot (V_{\text{отоп4}} \cdot n_{\text{отоп}} + V_{\text{летн4}} \cdot n_{\text{летн}})}{n_{\text{год}}} = 0.064$$

$$V_{\text{Год5}} := \frac{2 \cdot (V_{\text{отоп5}} \cdot n_{\text{отоп}} + V_{\text{летн5}} \cdot n_{\text{летн}})}{n_{\text{год}}} = 13.363$$

$$V_{\text{Год6}} := \frac{2 \cdot (V_{\text{отоп6}} \cdot n_{\text{отоп}} + V_{\text{летн6}} \cdot n_{\text{летн}})}{n_{\text{год}}} = 8.801$$

$$V_{\text{Год7}} := \frac{2 \cdot (V_{\text{отоп7}} \cdot n_{\text{отоп}} + V_{\text{летн7}} \cdot n_{\text{летн}})}{n_{\text{год}}} = 9.846$$

$$V_{\text{Год8}} := \frac{2 \cdot (V_{\text{отоп8}} \cdot n_{\text{отоп}} + V_{\text{летн8}} \cdot n_{\text{летн}})}{n_{\text{год}}} = 2.419$$

$$V_{\text{Год9}} := \frac{2 \cdot (V_{\text{отоп9}} \cdot n_{\text{отоп}} + V_{\text{летн9}} \cdot n_{\text{летн}})}{n_{\text{год}}} = 1.055$$

$$V_{\text{Год10}} := \frac{2 \cdot (V_{\text{отоп10}} \cdot n_{\text{отоп}} + V_{\text{летн10}} \cdot n_{\text{летн}})}{n_{\text{год}}} = 0.208$$

$$V_{\text{Год11}} := \frac{2 \cdot (V_{\text{отоп11}} \cdot n_{\text{отоп}} + V_{\text{летн11}} \cdot n_{\text{летн}})}{n_{\text{год}}} = 0.501$$

$$V_{\text{Год12}} := \frac{2 \cdot (V_{\text{отоп12}} \cdot n_{\text{отоп}} + V_{\text{летн12}} \cdot n_{\text{летн}})}{n_{\text{год}}} = 1.03$$

$$V_{\text{Год13}} := \frac{2 \cdot (V_{\text{отоп13}} \cdot n_{\text{отоп}} + V_{\text{летн13}} \cdot n_{\text{летн}})}{n_{\text{год}}} = 0.232$$

$$V_{\text{Год14}} := \frac{2 \cdot (V_{\text{отоп14}} \cdot n_{\text{отоп}} + V_{\text{летн14}} \cdot n_{\text{летн}})}{n_{\text{год}}} = 3.041$$

$$V_{\text{Год15}} := \frac{2 \cdot (V_{\text{отоп15}} \cdot n_{\text{отоп}} + V_{\text{летн15}} \cdot n_{\text{летн}})}{n_{\text{год}}} = 2.28$$

$$V_{\text{Год16}} := \frac{2 \cdot (V_{\text{отоп16}} \cdot n_{\text{отоп}} + V_{\text{летн16}} \cdot n_{\text{летн}})}{n_{\text{год}}} = 0.555$$

$$V_{\text{год17}} := \frac{2 \cdot (V_{\text{отоп17}} \cdot n_{\text{отоп}} + V_{\text{летн17}} \cdot n_{\text{летн}})}{n_{\text{год}}} = 0.466$$

$$V_{\text{год18}} := \frac{2 \cdot (V_{\text{отоп18}} \cdot n_{\text{отоп}} + V_{\text{летн18}} \cdot n_{\text{летн}})}{n_{\text{год}}} = 0.053$$

$$V_{\text{год19}} := \frac{2 \cdot (V_{\text{отоп19}} \cdot n_{\text{отоп}} + V_{\text{летн19}} \cdot n_{\text{летн}})}{n_{\text{год}}} = 0.268$$

$$V_{\text{год20}} := \frac{2 \cdot (V_{\text{отоп20}} \cdot n_{\text{отоп}} + V_{\text{летн20}} \cdot n_{\text{летн}})}{n_{\text{год}}} = 0.297$$

$$V_{\text{год21}} := \frac{2 \cdot (V_{\text{отоп21}} \cdot n_{\text{отоп}} + V_{\text{летн21}} \cdot n_{\text{летн}})}{n_{\text{год}}} = 0.268$$

$$V_{\text{год22}} := \frac{2 \cdot (V_{\text{отоп22}} \cdot n_{\text{отоп}} + V_{\text{летн22}} \cdot n_{\text{летн}})}{n_{\text{год}}} = 0.765$$

$$V_{\text{год23}} := \frac{2 \cdot (V_{\text{отоп23}} \cdot n_{\text{отоп}} + V_{\text{летн23}} \cdot n_{\text{летн}})}{n_{\text{год}}} = 0.409$$

$$V_{\text{год24}} := \frac{2 \cdot (V_{\text{отоп24}} \cdot n_{\text{отоп}} + V_{\text{летн24}} \cdot n_{\text{летн}})}{n_{\text{год}}} = 0.576$$

$$V_{\text{год25}} := \frac{2 \cdot (V_{\text{отоп25}} \cdot n_{\text{отоп}} + V_{\text{летн25}} \cdot n_{\text{летн}})}{n_{\text{год}}} = 0.04$$

$$V_{\text{год26}} := \frac{2 \cdot (V_{\text{отоп26}} \cdot n_{\text{отоп}} + V_{\text{летн26}} \cdot n_{\text{летн}})}{n_{\text{год}}} = 8.44$$

$$V_{\text{год27}} := \frac{2 \cdot (V_{\text{отоп27}} \cdot n_{\text{отоп}} + V_{\text{летн27}} \cdot n_{\text{летн}})}{n_{\text{год}}} = 5.654$$

$$V_{\text{год28}} := \frac{2 \cdot (V_{\text{отоп28}} \cdot n_{\text{отоп}} + V_{\text{летн28}} \cdot n_{\text{летн}})}{n_{\text{год}}} = 2.077$$

$$V_{\text{год29}} := \frac{2 \cdot (V_{\text{отоп29}} \cdot n_{\text{отоп}} + V_{\text{летн29}} \cdot n_{\text{летн}})}{n_{\text{год}}} = 2.135$$

$$V_{\text{год30}} := \frac{2 \cdot (V_{\text{отоп30}} \cdot n_{\text{отоп}} + V_{\text{летн30}} \cdot n_{\text{летн}})}{n_{\text{год}}} = 1.08$$

$$V_{\text{год31}} := \frac{2 \cdot (V_{\text{отоп31}} \cdot n_{\text{отоп}} + V_{\text{летн31}} \cdot n_{\text{летн}})}{n_{\text{год}}} = 0.342$$

$$V_{\text{Год}32} := \frac{2 \cdot (V_{\text{отоп}32} \cdot n_{\text{отоп}} + V_{\text{летн}32} \cdot n_{\text{летн}})}{n_{\text{Год}}} = 1.038$$

$$V_{\text{Год}33} := \frac{2 \cdot (V_{\text{отоп}33} \cdot n_{\text{отоп}} + V_{\text{летн}33} \cdot n_{\text{летн}})}{n_{\text{Год}}} = 0.683$$

$$V_{\text{Год}34} := \frac{2 \cdot (V_{\text{отоп}34} \cdot n_{\text{отоп}} + V_{\text{летн}34} \cdot n_{\text{летн}})}{n_{\text{Год}}} = 0.308$$

$$V_{\text{Год}35} := \frac{2 \cdot (V_{\text{отоп}35} \cdot n_{\text{отоп}} + V_{\text{летн}35} \cdot n_{\text{летн}})}{n_{\text{Год}}} = 1.092$$

$$V_{\text{Год}36} := \frac{2 \cdot (V_{\text{отоп}36} \cdot n_{\text{отоп}} + V_{\text{летн}36} \cdot n_{\text{летн}})}{n_{\text{Год}}} = 0.937$$

$$V_{\text{Год}37} := \frac{2 \cdot (V_{\text{отоп}37} \cdot n_{\text{отоп}} + V_{\text{летн}37} \cdot n_{\text{летн}})}{n_{\text{Год}}} = 0.082$$

$$V_{\text{Год}38} := \frac{2 \cdot (V_{\text{отоп}38} \cdot n_{\text{отоп}} + V_{\text{летн}38} \cdot n_{\text{летн}})}{n_{\text{Год}}} = 0.043$$

$$V_{\text{Год}39} := \frac{2 \cdot (V_{\text{отоп}39} \cdot n_{\text{отоп}} + V_{\text{летн}39} \cdot n_{\text{летн}})}{n_{\text{Год}}} = 0.205$$

$$V_{\text{Год}40} := \frac{2 \cdot (V_{\text{отоп}40} \cdot n_{\text{отоп}} + V_{\text{летн}40} \cdot n_{\text{летн}})}{n_{\text{Год}}} = 2.216$$

$$V_{\text{Год}41} := \frac{2 \cdot (V_{\text{отоп}41} \cdot n_{\text{отоп}} + V_{\text{летн}41} \cdot n_{\text{летн}})}{n_{\text{Год}}} = 0.115$$

$$V_{\text{Год}42} := \frac{2 \cdot (V_{\text{отоп}42} \cdot n_{\text{отоп}} + V_{\text{летн}42} \cdot n_{\text{летн}})}{n_{\text{Год}}} = 0.409$$

$$V_{\text{Год}43} := \frac{2 \cdot (V_{\text{отоп}43} \cdot n_{\text{отоп}} + V_{\text{летн}43} \cdot n_{\text{летн}})}{n_{\text{Год}}} = 3.427$$

$$V_{\text{Год}44} := \frac{2 \cdot (V_{\text{отоп}44} \cdot n_{\text{отоп}} + V_{\text{летн}44} \cdot n_{\text{летн}})}{n_{\text{Год}}} = 2.362$$

$$V_{\text{Год}45} := \frac{2 \cdot (V_{\text{отоп}45} \cdot n_{\text{отоп}} + V_{\text{летн}45} \cdot n_{\text{летн}})}{n_{\text{Год}}} = 0.683$$

$$V_{\text{Год}46} := \frac{2 \cdot (V_{\text{отоп}46} \cdot n_{\text{отоп}} + V_{\text{летн}46} \cdot n_{\text{летн}})}{n_{\text{Год}}} = 0.581$$

$$V_{\text{Год}47} := \frac{2 \cdot (V_{\text{отоп}47} \cdot n_{\text{отоп}} + V_{\text{летн}47} \cdot n_{\text{летн}})}{n_{\text{Год}}} = 1.177$$

$$V_{\text{Год}48} := \frac{2 \cdot (V_{\text{Отоп}48} \cdot n_{\text{Отоп}} + V_{\text{Летн}48} \cdot n_{\text{Летн}})}{n_{\text{Год}}} = 0.124$$

$$V_{\text{Год}49} := \frac{2 \cdot (V_{\text{Отоп}49} \cdot n_{\text{Отоп}} + V_{\text{Летн}49} \cdot n_{\text{Летн}})}{n_{\text{Год}}} = 0.949$$

$$V_{\text{Год}50} := \frac{2 \cdot (V_{\text{Отоп}50} \cdot n_{\text{Отоп}} + V_{\text{Летн}50} \cdot n_{\text{Летн}})}{n_{\text{Год}}} = 1.616$$

$$V_{\text{Год}51} := \frac{2 \cdot (V_{\text{Отоп}51} \cdot n_{\text{Отоп}} + V_{\text{Летн}51} \cdot n_{\text{Летн}})}{n_{\text{Год}}} = 0.114$$

$$V_{\text{Год}52} := \frac{2 \cdot (V_{\text{Отоп}52} \cdot n_{\text{Отоп}} + V_{\text{Летн}52} \cdot n_{\text{Летн}})}{n_{\text{Год}}} = 1.618$$

$$V_{\text{Год}53} := \frac{2 \cdot (V_{\text{Отоп}53} \cdot n_{\text{Отоп}} + V_{\text{Летн}53} \cdot n_{\text{Летн}})}{n_{\text{Год}}} = 0.546$$

$$V_{\text{Год}54} := \frac{2 \cdot (V_{\text{Отоп}54} \cdot n_{\text{Отоп}} + V_{\text{Летн}54} \cdot n_{\text{Летн}})}{n_{\text{Год}}} = 0.12$$

$$V_{\text{Год}55} := \frac{2 \cdot (V_{\text{Отоп}55} \cdot n_{\text{Отоп}} + V_{\text{Летн}55} \cdot n_{\text{Летн}})}{n_{\text{Год}}} = 2.476$$

$$V_{\text{Год}56} := \frac{2 \cdot (V_{\text{Отоп}56} \cdot n_{\text{Отоп}} + V_{\text{Летн}56} \cdot n_{\text{Летн}})}{n_{\text{Год}}} = 2.193$$

$$V_{\text{Год}57} := \frac{2 \cdot (V_{\text{Отоп}57} \cdot n_{\text{Отоп}} + V_{\text{Летн}57} \cdot n_{\text{Летн}})}{n_{\text{Год}}} = 0.698$$

$$V_{\text{Год}58} := \frac{2 \cdot (V_{\text{Отоп}58} \cdot n_{\text{Отоп}} + V_{\text{Летн}58} \cdot n_{\text{Летн}})}{n_{\text{Год}}} = 2.36$$

$$V_{\text{Год}59} := \frac{2 \cdot (V_{\text{Отоп}59} \cdot n_{\text{Отоп}} + V_{\text{Летн}59} \cdot n_{\text{Летн}})}{n_{\text{Год}}} = 0.803$$

$$V_{\text{Год}60} := \frac{2 \cdot (V_{\text{Отоп}60} \cdot n_{\text{Отоп}} + V_{\text{Летн}60} \cdot n_{\text{Летн}})}{n_{\text{Год}}} = 0.713$$

$$V_{\text{Год}61} := \frac{2 \cdot (V_{\text{Отоп}61} \cdot n_{\text{Отоп}} + V_{\text{Летн}61} \cdot n_{\text{Летн}})}{n_{\text{Год}}} = 1.228$$

$$V_{\text{Год}62} := \frac{2 \cdot (V_{\text{Отоп}62} \cdot n_{\text{Отоп}} + V_{\text{Летн}62} \cdot n_{\text{Летн}})}{n_{\text{Год}}} = 0.277$$

$$V_{\text{ГОД63}} := \frac{2 \cdot (V_{\text{ОТОП63}} \cdot n_{\text{ОТОП}} + V_{\text{ЛЕТН63}} \cdot n_{\text{ЛЕТН}})}{n_{\text{ГОД}}} = 0.102$$

$$V_{\text{ГОД64}} := \frac{2 \cdot (V_{\text{ОТОП64}} \cdot n_{\text{ОТОП}} + V_{\text{ЛЕТН64}} \cdot n_{\text{ЛЕТН}})}{n_{\text{ГОД}}} = 0.358$$

$$G_{\text{УТ.Н1}} := a \cdot V_{\text{ГОД1}} \cdot n_{\text{ОТОП}} \cdot 10^{-2} = 38.085$$

$$G_{\text{УТ.Н20}} := a \cdot V_{\text{ГОД20}} \cdot n_{\text{ОТОП}} \cdot 10^{-2} = 4.148$$

$$G_{\text{УТ.Н2}} := a \cdot V_{\text{ГОД2}} \cdot n_{\text{ОТОП}} \cdot 10^{-2} = 2.014$$

$$G_{\text{УТ.Н21}} := a \cdot V_{\text{ГОД21}} \cdot n_{\text{ОТОП}} \cdot 10^{-2} = 3.748$$

$$G_{\text{УТ.Н3}} := a \cdot V_{\text{ГОД3}} \cdot n_{\text{ОТОП}} \cdot 10^{-2} = 2.342$$

$$G_{\text{УТ.Н22}} := a \cdot V_{\text{ГОД22}} \cdot n_{\text{ОТОП}} \cdot 10^{-2} = 10.688$$

$$G_{\text{УТ.Н4}} := a \cdot V_{\text{ГОД4}} \cdot n_{\text{ОТОП}} \cdot 10^{-2} = 0.892$$

$$G_{\text{УТ.Н23}} := a \cdot V_{\text{ГОД23}} \cdot n_{\text{ОТОП}} \cdot 10^{-2} = 5.722$$

$$G_{\text{УТ.Н5}} := a \cdot V_{\text{ГОД5}} \cdot n_{\text{ОТОП}} \cdot 10^{-2} = 186.813$$

$$G_{\text{УТ.Н24}} := a \cdot V_{\text{ГОД24}} \cdot n_{\text{ОТОП}} \cdot 10^{-2} = 8.046$$

$$G_{\text{УТ.Н6}} := a \cdot V_{\text{ГОД6}} \cdot n_{\text{ОТОП}} \cdot 10^{-2} = 123.044$$

$$G_{\text{УТ.Н25}} := a \cdot V_{\text{ГОД25}} \cdot n_{\text{ОТОП}} \cdot 10^{-2} = 0.559$$

$$G_{\text{УТ.Н7}} := a \cdot V_{\text{ГОД7}} \cdot n_{\text{ОТОП}} \cdot 10^{-2} = 137.651$$

$$G_{\text{УТ.Н26}} := a \cdot V_{\text{ГОД26}} \cdot n_{\text{ОТОП}} \cdot 10^{-2} = 117.987$$

$$G_{\text{УТ.Н8}} := a \cdot V_{\text{ГОД8}} \cdot n_{\text{ОТОП}} \cdot 10^{-2} = 33.814$$

$$G_{\text{УТ.Н27}} := a \cdot V_{\text{ГОД27}} \cdot n_{\text{ОТОП}} \cdot 10^{-2} = 79.049$$

$$G_{\text{УТ.Н9}} := a \cdot V_{\text{ГОД9}} \cdot n_{\text{ОТОП}} \cdot 10^{-2} = 14.747$$

$$G_{\text{УТ.Н28}} := a \cdot V_{\text{ГОД28}} \cdot n_{\text{ОТОП}} \cdot 10^{-2} = 29.039$$

$$G_{\text{УТ.Н10}} := a \cdot V_{\text{ГОД10}} \cdot n_{\text{ОТОП}} \cdot 10^{-2} = 2.904$$

$$G_{\text{УТ.Н29}} := a \cdot V_{\text{ГОД29}} \cdot n_{\text{ОТОП}} \cdot 10^{-2} = 29.845$$

$$G_{\text{УТ.Н11}} := a \cdot V_{\text{ГОД11}} \cdot n_{\text{ОТОП}} \cdot 10^{-2} = 7.009$$

$$G_{\text{УТ.Н30}} := a \cdot V_{\text{ГОД30}} \cdot n_{\text{ОТОП}} \cdot 10^{-2} = 15.1$$

$$G_{\text{УТ.Н12}} := a \cdot V_{\text{ГОД12}} \cdot n_{\text{ОТОП}} \cdot 10^{-2} = 14.401$$

$$G_{\text{УТ.Н31}} := a \cdot V_{\text{ГОД31}} \cdot n_{\text{ОТОП}} \cdot 10^{-2} = 4.775$$

$$G_{\text{УТ.Н13}} := a \cdot V_{\text{ГОД13}} \cdot n_{\text{ОТОП}} \cdot 10^{-2} = 3.24$$

$$G_{\text{УТ.Н32}} := a \cdot V_{\text{ГОД32}} \cdot n_{\text{ОТОП}} \cdot 10^{-2} = 14.505$$

$$G_{\text{УТ.Н14}} := a \cdot V_{\text{ГОД14}} \cdot n_{\text{ОТОП}} \cdot 10^{-2} = 42.519$$

$$G_{\text{УТ.Н33}} := a \cdot V_{\text{ГОД33}} \cdot n_{\text{ОТОП}} \cdot 10^{-2} = 9.554$$

$$G_{\text{УТ.Н15}} := a \cdot V_{\text{ГОД15}} \cdot n_{\text{ОТОП}} \cdot 10^{-2} = 31.878$$

$$G_{\text{УТ.Н34}} := a \cdot V_{\text{ГОД34}} \cdot n_{\text{ОТОП}} \cdot 10^{-2} = 4.302$$

$$G_{\text{УТ.Н16}} := a \cdot V_{\text{ГОД16}} \cdot n_{\text{ОТОП}} \cdot 10^{-2} = 7.754$$

$$G_{\text{УТ.Н35}} := a \cdot V_{\text{ГОД35}} \cdot n_{\text{ОТОП}} \cdot 10^{-2} = 15.272$$

$$G_{\text{УТ.Н17}} := a \cdot V_{\text{ГОД17}} \cdot n_{\text{ОТОП}} \cdot 10^{-2} = 6.508$$

$$G_{\text{УТ.Н36}} := a \cdot V_{\text{ГОД36}} \cdot n_{\text{ОТОП}} \cdot 10^{-2} = 13.106$$

$$G_{\text{УТ.Н18}} := a \cdot V_{\text{ГОД18}} \cdot n_{\text{ОТОП}} \cdot 10^{-2} = 0.734$$

$$G_{\text{УТ.Н37}} := a \cdot V_{\text{ГОД37}} \cdot n_{\text{ОТОП}} \cdot 10^{-2} = 1.14$$

$$G_{\text{УТ.Н19}} := a \cdot V_{\text{ГОД19}} \cdot n_{\text{ОТОП}} \cdot 10^{-2} = 3.743$$

$$G_{\text{УТ.Н38}} := a \cdot V_{\text{ГОД38}} \cdot n_{\text{ОТОП}} \cdot 10^{-2} = 0.598$$

$$G_{\text{УТ.Н39}} := a \cdot V_{\text{ГОД39}} \cdot n_{\text{ОТОП}} \cdot 10^{-2} = 2.861$$

$$G_{\text{УТ.Н56}} := a \cdot V_{\text{ГОД56}} \cdot n_{\text{ОТОП}} \cdot 10^{-2} = 30.652$$

$$G_{\text{УТ.Н40}} := a \cdot V_{\text{ГОД40}} \cdot n_{\text{ОТОП}} \cdot 10^{-2} = 30.974$$

$$G_{\text{УТ.Н57}} := a \cdot V_{\text{ГОД57}} \cdot n_{\text{ОТОП}} \cdot 10^{-2} = 9.762$$

$$G_{\text{УТ.Н41}} := a \cdot V_{\text{ГОД41}} \cdot n_{\text{ОТОП}} \cdot 10^{-2} = 1.609$$

$$G_{\text{УТ.Н58}} := a \cdot V_{\text{ГОД58}} \cdot n_{\text{ОТОП}} \cdot 10^{-2} = 32.989$$

$$G_{\text{УТ.Н42}} := a \cdot V_{\text{ГОД42}} \cdot n_{\text{ОТОП}} \cdot 10^{-2} = 5.722$$

$$G_{\text{УТ.Н59}} := a \cdot V_{\text{ГОД59}} \cdot n_{\text{ОТОП}} \cdot 10^{-2} = 11.229$$

$$G_{\text{УТ.Н43}} := a \cdot V_{\text{ГОД43}} \cdot n_{\text{ОТОП}} \cdot 10^{-2} = 47.914$$

$$G_{\text{УТ.Н60}} := a \cdot V_{\text{ГОД60}} \cdot n_{\text{ОТОП}} \cdot 10^{-2} = 9.97$$

$$\begin{aligned}
G_{\text{yT.H44}} &:= a \cdot V_{\text{год44}} \cdot n_{\text{отоп}} \cdot 10^{-2} = 33.018 & G_{\text{yT.H61}} &:= a \cdot V_{\text{год61}} \cdot n_{\text{отоп}} \cdot 10^{-2} = 17.17 \\
G_{\text{yT.H45}} &:= a \cdot V_{\text{год45}} \cdot n_{\text{отоп}} \cdot 10^{-2} = 9.548 & G_{\text{yT.H62}} &:= a \cdot V_{\text{год62}} \cdot n_{\text{отоп}} \cdot 10^{-2} = 3.872 \\
G_{\text{yT.H46}} &:= a \cdot V_{\text{год46}} \cdot n_{\text{отоп}} \cdot 10^{-2} = 8.123 & G_{\text{yT.H63}} &:= a \cdot V_{\text{год63}} \cdot n_{\text{отоп}} \cdot 10^{-2} = 1.425 \\
G_{\text{yT.H47}} &:= a \cdot V_{\text{год47}} \cdot n_{\text{отоп}} \cdot 10^{-2} = 16.455 & G_{\text{yT.H64}} &:= a \cdot V_{\text{год64}} \cdot n_{\text{отоп}} \cdot 10^{-2} = 5.006 \\
G_{\text{yT.H48}} &:= a \cdot V_{\text{год48}} \cdot n_{\text{отоп}} \cdot 10^{-2} = 1.732 \\
G_{\text{yT.H49}} &:= a \cdot V_{\text{год49}} \cdot n_{\text{отоп}} \cdot 10^{-2} = 13.261 \\
G_{\text{yT.H50}} &:= a \cdot V_{\text{год50}} \cdot n_{\text{отоп}} \cdot 10^{-2} = 22.586 \\
G_{\text{yT.H51}} &:= a \cdot V_{\text{год51}} \cdot n_{\text{отоп}} \cdot 10^{-2} = 1.596 \\
G_{\text{yT.H52}} &:= a \cdot V_{\text{год52}} \cdot n_{\text{отоп}} \cdot 10^{-2} = 22.618 \\
G_{\text{yT.H53}} &:= a \cdot V_{\text{год53}} \cdot n_{\text{отоп}} \cdot 10^{-2} = 7.63 \\
G_{\text{yT.H54}} &:= a \cdot V_{\text{год54}} \cdot n_{\text{отоп}} \cdot 10^{-2} = 1.682 \\
G_{\text{yT.H55}} &:= a \cdot V_{\text{год55}} \cdot n_{\text{отоп}} \cdot 10^{-2} = 34.618
\end{aligned}$$

$$C := 1 \quad \tau_{1\text{год}} := 105 \quad \tau_{2\text{год}} := 70$$

$$\begin{aligned}
m_{\text{y.год.H1}} &:= 0.25 \cdot V_{\text{год1}} \cdot 10^{-2} = 6.811 \times 10^{-3} \\
m_{\text{y.год.H2}} &:= 0.25 \cdot V_{\text{год2}} \cdot 10^{-2} = 3.601 \times 10^{-4} \\
m_{\text{y.год.H3}} &:= 0.25 \cdot V_{\text{год3}} \cdot 10^{-2} = 4.189 \times 10^{-4} \\
m_{\text{y.год.H4}} &:= 0.25 \cdot V_{\text{год4}} \cdot 10^{-2} = 1.595 \times 10^{-4} \\
m_{\text{y.год.H5}} &:= 0.25 \cdot V_{\text{год5}} \cdot 10^{-2} = 0.033 \\
m_{\text{y.год.H6}} &:= 0.25 \cdot V_{\text{год6}} \cdot 10^{-2} = 0.022 \\
m_{\text{y.год.H7}} &:= 0.25 \cdot V_{\text{год7}} \cdot 10^{-2} = 0.025 \\
m_{\text{y.год.H8}} &:= 0.25 \cdot V_{\text{год8}} \cdot 10^{-2} = 6.047 \times 10^{-3} \\
m_{\text{y.год.H9}} &:= 0.25 \cdot V_{\text{год9}} \cdot 10^{-2} = 2.637 \times 10^{-3} \\
m_{\text{y.год.H10}} &:= 0.25 \cdot V_{\text{год10}} \cdot 10^{-2} = 5.193 \times 10^{-4} \\
m_{\text{y.год.H11}} &:= 0.25 \cdot V_{\text{год11}} \cdot 10^{-2} = 1.253 \times 10^{-3} \\
m_{\text{y.год.H12}} &:= 0.25 \cdot V_{\text{год12}} \cdot 10^{-2} = 2.575 \times 10^{-3} \\
m_{\text{y.год.H13}} &:= 0.25 \cdot V_{\text{год13}} \cdot 10^{-2} = 5.794 \times 10^{-4} \\
m_{\text{y.год.H14}} &:= 0.25 \cdot V_{\text{год14}} \cdot 10^{-2} = 7.604 \times 10^{-3}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
m_{y,\text{год.н15}} &:= 0.25 \cdot V_{\text{год15}} \cdot 10^{-2} = 5.701 \times 10^{-3} \\
m_{y,\text{год.н16}} &:= 0.25 \cdot V_{\text{год16}} \cdot 10^{-2} = 1.387 \times 10^{-3} \\
m_{y,\text{год.н17}} &:= 0.25 \cdot V_{\text{год17}} \cdot 10^{-2} = 1.164 \times 10^{-3} \\
m_{y,\text{год.н18}} &:= 0.25 \cdot V_{\text{год18}} \cdot 10^{-2} = 1.313 \times 10^{-4} \\
m_{y,\text{год.н19}} &:= 0.25 \cdot V_{\text{год19}} \cdot 10^{-2} = 6.693 \times 10^{-4} \\
m_{y,\text{год.н20}} &:= 0.25 \cdot V_{\text{год20}} \cdot 10^{-2} = 7.418 \times 10^{-4} \\
m_{y,\text{год.н21}} &:= 0.25 \cdot V_{\text{год21}} \cdot 10^{-2} = 6.702 \times 10^{-4} \\
m_{y,\text{год.н22}} &:= 0.25 \cdot V_{\text{год22}} \cdot 10^{-2} = 1.911 \times 10^{-3} \\
m_{y,\text{год.н23}} &:= 0.25 \cdot V_{\text{год23}} \cdot 10^{-2} = 1.023 \times 10^{-3} \\
m_{y,\text{год.н24}} &:= 0.25 \cdot V_{\text{год24}} \cdot 10^{-2} = 1.439 \times 10^{-3} \\
m_{y,\text{год.н25}} &:= 0.25 \cdot V_{\text{год25}} \cdot 10^{-2} = 1 \times 10^{-4} \\
m_{y,\text{год.н26}} &:= 0.25 \cdot V_{\text{год26}} \cdot 10^{-2} = 0.021 \\
m_{y,\text{год.н27}} &:= 0.25 \cdot V_{\text{год27}} \cdot 10^{-2} = 0.014 \\
m_{y,\text{год.н28}} &:= 0.25 \cdot V_{\text{год28}} \cdot 10^{-2} = 5.193 \times 10^{-3} \\
m_{y,\text{год.н29}} &:= 0.25 \cdot V_{\text{год29}} \cdot 10^{-2} = 5.337 \times 10^{-3} \\
m_{y,\text{год.н30}} &:= 0.25 \cdot V_{\text{год30}} \cdot 10^{-2} = 2.7 \times 10^{-3} \\
m_{y,\text{год.н31}} &:= 0.25 \cdot V_{\text{год31}} \cdot 10^{-2} = 8.54 \times 10^{-4} \\
m_{y,\text{год.н32}} &:= 0.25 \cdot V_{\text{год32}} \cdot 10^{-2} = 2.594 \times 10^{-3} \\
m_{y,\text{год.н33}} &:= 0.25 \cdot V_{\text{год33}} \cdot 10^{-2} = 1.709 \times 10^{-3} \\
m_{y,\text{год.н34}} &:= 0.25 \cdot V_{\text{год34}} \cdot 10^{-2} = 7.693 \times 10^{-4} \\
m_{y,\text{год.н35}} &:= 0.25 \cdot V_{\text{год35}} \cdot 10^{-2} = 2.731 \times 10^{-3} \\
m_{y,\text{год.н36}} &:= 0.25 \cdot V_{\text{год36}} \cdot 10^{-2} = 2.344 \times 10^{-3} \\
m_{y,\text{год.н37}} &:= 0.25 \cdot V_{\text{год37}} \cdot 10^{-2} = 2.039 \times 10^{-4} \\
m_{y,\text{год.н38}} &:= 0.25 \cdot V_{\text{год38}} \cdot 10^{-2} = 1.069 \times 10^{-4} \\
m_{y,\text{год.н39}} &:= 0.25 \cdot V_{\text{год39}} \cdot 10^{-2} = 5.116 \times 10^{-4} \\
m_{y,\text{год.н40}} &:= 0.25 \cdot V_{\text{год40}} \cdot 10^{-2} = 5.539 \times 10^{-3} \\
m_{y,\text{год.н41}} &:= 0.25 \cdot V_{\text{год41}} \cdot 10^{-2} = 2.878 \times 10^{-4}
\end{aligned}$$

$$m_{y, \text{год.н42}} := 0.25 \cdot V_{\text{год42}} \cdot 10^{-2} = 1.023 \times 10^{-3}$$

$$m_{y, \text{год.н43}} := 0.25 \cdot V_{\text{год43}} \cdot 10^{-2} = 8.568 \times 10^{-3}$$

$$m_{y, \text{год.н44}} := 0.25 \cdot V_{\text{год44}} \cdot 10^{-2} = 5.904 \times 10^{-3}$$

$$m_{y, \text{год.н45}} := 0.25 \cdot V_{\text{год45}} \cdot 10^{-2} = 1.707 \times 10^{-3}$$

$$m_{y, \text{год.н46}} := 0.25 \cdot V_{\text{год46}} \cdot 10^{-2} = 1.453 \times 10^{-3}$$

$$m_{y, \text{год.н47}} := 0.25 \cdot V_{\text{год47}} \cdot 10^{-2} = 2.943 \times 10^{-3}$$

$$m_{y, \text{год.н48}} := 0.25 \cdot V_{\text{год48}} \cdot 10^{-2} = 3.096 \times 10^{-4}$$

$$m_{y, \text{год.н49}} := 0.25 \cdot V_{\text{год49}} \cdot 10^{-2} = 2.371 \times 10^{-3}$$

$$m_{y, \text{год.н50}} := 0.25 \cdot V_{\text{год50}} \cdot 10^{-2} = 4.039 \times 10^{-3}$$

$$m_{y, \text{год.н51}} := 0.25 \cdot V_{\text{год51}} \cdot 10^{-2} = 2.854 \times 10^{-4}$$

$$m_{y, \text{год.н52}} := 0.25 \cdot V_{\text{год52}} \cdot 10^{-2} = 4.045 \times 10^{-3}$$

$$m_{y, \text{год.н53}} := 0.25 \cdot V_{\text{год53}} \cdot 10^{-2} = 1.364 \times 10^{-3}$$

$$m_{y, \text{год.н54}} := 0.25 \cdot V_{\text{год54}} \cdot 10^{-2} = 3.007 \times 10^{-4}$$

$$m_{y, \text{год.н55}} := 0.25 \cdot V_{\text{год55}} \cdot 10^{-2} = 6.191 \times 10^{-3}$$

$$m_{y, \text{год.н56}} := 0.25 \cdot V_{\text{год56}} \cdot 10^{-2} = 5.481 \times 10^{-3}$$

$$m_{y, \text{год.н57}} := 0.25 \cdot V_{\text{год57}} \cdot 10^{-2} = 1.746 \times 10^{-3}$$

$$m_{y, \text{год.н58}} := 0.25 \cdot V_{\text{год58}} \cdot 10^{-2} = 5.899 \times 10^{-3}$$

$$m_{y, \text{год.н59}} := 0.25 \cdot V_{\text{год59}} \cdot 10^{-2} = 2.008 \times 10^{-3}$$

$$m_{y, \text{год.н60}} := 0.25 \cdot V_{\text{год60}} \cdot 10^{-2} = 1.783 \times 10^{-3}$$

$$m_{y, \text{год.н61}} := 0.25 \cdot V_{\text{год61}} \cdot 10^{-2} = 3.071 \times 10^{-3}$$

$$m_{y, \text{год.н62}} := 0.25 \cdot V_{\text{год62}} \cdot 10^{-2} = 6.924 \times 10^{-4}$$

$$m_{y, \text{год.н63}} := 0.25 \cdot V_{\text{год63}} \cdot 10^{-2} = 2.548 \times 10^{-4}$$

$$m_{y, \text{год.н64}} := 0.25 \cdot V_{\text{год64}} \cdot 10^{-2} = 8.953 \times 10^{-4}$$

$$\rho_{\text{год}} := 978 \quad b := 0.6 \quad \tau_x := 5$$

$$Q_{y, \text{н1}} := m_{y, \text{год.н1}} \cdot \rho_{\text{год}} \cdot C \cdot [b \cdot \tau_{1\text{год}} + (1 - b) \cdot \tau_{2\text{год}} - \tau_x] \cdot n_{\text{год}} \cdot 10^{-6} = 5.018$$

$$Q_{y, \text{н2}} := m_{y, \text{год.н2}} \cdot \rho_{\text{год}} \cdot C \cdot [b \cdot \tau_{1\text{год}} + (1 - b) \cdot \tau_{2\text{год}} - \tau_x] \cdot n_{\text{год}} \cdot 10^{-6} = 0.265$$

$$Q_{y, \text{н3}} := m_{y, \text{год.н3}} \cdot \rho_{\text{год}} \cdot C \cdot [b \cdot \tau_{1\text{год}} + (1 - b) \cdot \tau_{2\text{год}} - \tau_x] \cdot n_{\text{год}} \cdot 10^{-6} = 0.309$$

$$Q_{y.н58} := m_{y.год.н58} \cdot \rho_{год} \cdot C \cdot [b \cdot \tau_{1год} + (1 - b) \cdot \tau_{2год} - \tau_x] \cdot n_{год} \cdot 10^{-6} = 4.347$$

$$Q_{y.н59} := m_{y.год.н59} \cdot \rho_{год} \cdot C \cdot [b \cdot \tau_{1год} + (1 - b) \cdot \tau_{2год} - \tau_x] \cdot n_{год} \cdot 10^{-6} = 1.48$$

$$Q_{y.н60} := m_{y.год.н60} \cdot \rho_{год} \cdot C \cdot [b \cdot \tau_{1год} + (1 - b) \cdot \tau_{2год} - \tau_x] \cdot n_{год} \cdot 10^{-6} = 1.314$$

$$Q_{y.н61} := m_{y.год.н60} \cdot \rho_{год} \cdot C \cdot [b \cdot \tau_{1год} + (1 - b) \cdot \tau_{2год} - \tau_x] \cdot n_{год} \cdot 10^{-6} = 1.314$$

$$Q_{y.н62} := m_{y.год.н62} \cdot \rho_{год} \cdot C \cdot [b \cdot \tau_{1год} + (1 - b) \cdot \tau_{2год} - \tau_x] \cdot n_{год} \cdot 10^{-6} = 0.51$$

$$Q_{y.н63} := m_{y.год.н63} \cdot \rho_{год} \cdot C \cdot [b \cdot \tau_{1год} + (1 - b) \cdot \tau_{2год} - \tau_x] \cdot n_{год} \cdot 10^{-6} = 0.188$$

$$Q_{y.н64} := m_{y.год.н64} \cdot \rho_{год} \cdot C \cdot [b \cdot \tau_{1год} + (1 - b) \cdot \tau_{2год} - \tau_x] \cdot n_{год} \cdot 10^{-6} = 0.66$$

$$\tau_{3ап} := 40$$

$$\rho_{3ап} := 992.18$$

$$Q_{3ап1} := 1.5 \cdot V_{год1} \cdot \rho_{3ап} \cdot C \cdot (\tau_{3ап} - \tau_x) \cdot 10^{-6} = 0.142$$

$$Q_{3ап2} := 1.5 \cdot V_{год2} \cdot \rho_{3ап} \cdot C \cdot (\tau_{3ап} - \tau_x) \cdot 10^{-6} = 7.504 \times 10^{-3}$$

$$Q_{3ап3} := 1.5 \cdot V_{год3} \cdot \rho_{3ап} \cdot C \cdot (\tau_{3ап} - \tau_x) \cdot 10^{-6} = 8.727 \times 10^{-3}$$

$$Q_{3ап4} := 1.5 \cdot V_{год4} \cdot \rho_{3ап} \cdot C \cdot (\tau_{3ап} - \tau_x) \cdot 10^{-6} = 3.323 \times 10^{-3}$$

$$Q_{3ап5} := 1.5 \cdot V_{год5} \cdot \rho_{3ап} \cdot C \cdot (\tau_{3ап} - \tau_x) \cdot 10^{-6} = 0.696$$

$$Q_{3ап6} := 1.5 \cdot V_{год6} \cdot \rho_{3ап} \cdot C \cdot (\tau_{3ап} - \tau_x) \cdot 10^{-6} = 0.458$$

$$Q_{3ап7} := 1.5 \cdot V_{год7} \cdot \rho_{3ап} \cdot C \cdot (\tau_{3ап} - \tau_x) \cdot 10^{-6} = 0.513$$

$$Q_{3ап8} := 1.5 \cdot V_{год8} \cdot \rho_{3ап} \cdot C \cdot (\tau_{3ап} - \tau_x) \cdot 10^{-6} = 0.126$$

$$Q_{3ап9} := 1.5 \cdot V_{год9} \cdot \rho_{3ап} \cdot C \cdot (\tau_{3ап} - \tau_x) \cdot 10^{-6} = 0.055$$

$$Q_{3ап10} := 1.5 \cdot V_{год10} \cdot \rho_{3ап} \cdot C \cdot (\tau_{3ап} - \tau_x) \cdot 10^{-6} = 0.011$$

$$Q_{3ап11} := 1.5 \cdot V_{год11} \cdot \rho_{3ап} \cdot C \cdot (\tau_{3ап} - \tau_x) \cdot 10^{-6} = 0.026$$

$$Q_{3ап12} := 1.5 \cdot V_{год12} \cdot \rho_{3ап} \cdot C \cdot (\tau_{3ап} - \tau_x) \cdot 10^{-6} = 0.054$$

$$Q_{3ап13} := 1.5 \cdot V_{год13} \cdot \rho_{3ап} \cdot C \cdot (\tau_{3ап} - \tau_x) \cdot 10^{-6} = 0.012$$

$$Q_{3ап14} := 1.5 \cdot V_{год14} \cdot \rho_{3ап} \cdot C \cdot (\tau_{3ап} - \tau_x) \cdot 10^{-6} = 0.158$$

$$Q_{3ап15} := 1.5 \cdot V_{год15} \cdot \rho_{3ап} \cdot C \cdot (\tau_{3ап} - \tau_x) \cdot 10^{-6} = 0.119$$

$$Q_{3ап16} := 1.5 \cdot V_{год16} \cdot \rho_{3ап} \cdot C \cdot (\tau_{3ап} - \tau_x) \cdot 10^{-6} = 0.029$$

$$Q_{3ап17} := 1.5 \cdot V_{год17} \cdot \rho_{3ап} \cdot C \cdot (\tau_{3ап} - \tau_x) \cdot 10^{-6} = 0.024$$

$$Q_{3ап18} := 1.5 \cdot V_{год18} \cdot \rho_{3ап} \cdot C \cdot (\tau_{3ап} - \tau_x) \cdot 10^{-6} = 2.735 \times 10^{-3}$$

$$Q_{3ап19} := 1.5 \cdot V_{год19} \cdot \rho_{3ап} \cdot C \cdot (\tau_{3ап} - \tau_x) \cdot 10^{-6} = 0.014$$

$$Q_{3ап20} := 1.5 \cdot V_{год20} \cdot \rho_{3ап} \cdot C \cdot (\tau_{3ап} - \tau_x) \cdot 10^{-6} = 0.015$$

$$Q_{3ап21} := 1.5 \cdot V_{год21} \cdot \rho_{3ап} \cdot C \cdot (\tau_{3ап} - \tau_x) \cdot 10^{-6} = 0.014$$

$$Q_{3ап22} := 1.5 \cdot V_{год22} \cdot \rho_{3ап} \cdot C \cdot (\tau_{3ап} - \tau_x) \cdot 10^{-6} = 0.04$$

$$Q_{3ап23} := 1.5 \cdot V_{год23} \cdot \rho_{3ап} \cdot C \cdot (\tau_{3ап} - \tau_x) \cdot 10^{-6} = 0.021$$

$$Q_{3ап24} := 1.5 \cdot V_{год24} \cdot \rho_{3ап} \cdot C \cdot (\tau_{3ап} - \tau_x) \cdot 10^{-6} = 0.03$$

$$Q_{3ап25} := 1.5 \cdot V_{год25} \cdot \rho_{3ап} \cdot C \cdot (\tau_{3ап} - \tau_x) \cdot 10^{-6} = 2.084 \times 10^{-3}$$

$$Q_{3ап26} := 1.5 \cdot V_{год26} \cdot \rho_{3ап} \cdot C \cdot (\tau_{3ап} - \tau_x) \cdot 10^{-6} = 0.44$$

$$Q_{3ап27} := 1.5 \cdot V_{год27} \cdot \rho_{3ап} \cdot C \cdot (\tau_{3ап} - \tau_x) \cdot 10^{-6} = 0.295$$

$$Q_{3ап28} := 1.5 \cdot V_{год28} \cdot \rho_{3ап} \cdot C \cdot (\tau_{3ап} - \tau_x) \cdot 10^{-6} = 0.108$$

$$Q_{3ап29} := 1.5 \cdot V_{год29} \cdot \rho_{3ап} \cdot C \cdot (\tau_{3ап} - \tau_x) \cdot 10^{-6} = 0.111$$

$$Q_{3ап30} := 1.5 \cdot V_{год30} \cdot \rho_{3ап} \cdot C \cdot (\tau_{3ап} - \tau_x) \cdot 10^{-6} = 0.056$$

$$Q_{3ап31} := 1.5 \cdot V_{год31} \cdot \rho_{3ап} \cdot C \cdot (\tau_{3ап} - \tau_x) \cdot 10^{-6} = 0.018$$

$$Q_{3ап32} := 1.5 \cdot V_{год32} \cdot \rho_{3ап} \cdot C \cdot (\tau_{3ап} - \tau_x) \cdot 10^{-6} = 0.054$$

$$Q_{3ап33} := 1.5 \cdot V_{год33} \cdot \rho_{3ап} \cdot C \cdot (\tau_{3ап} - \tau_x) \cdot 10^{-6} = 0.036$$

$$Q_{3ап34} := 1.5 \cdot V_{год34} \cdot \rho_{3ап} \cdot C \cdot (\tau_{3ап} - \tau_x) \cdot 10^{-6} = 0.016$$

$$Q_{3ап35} := 1.5 \cdot V_{год35} \cdot \rho_{3ап} \cdot C \cdot (\tau_{3ап} - \tau_x) \cdot 10^{-6} = 0.057$$

$$Q_{3ап36} := 1.5 \cdot V_{год36} \cdot \rho_{3ап} \cdot C \cdot (\tau_{3ап} - \tau_x) \cdot 10^{-6} = 0.049$$

$$Q_{3ап37} := 1.5 \cdot V_{год37} \cdot \rho_{3ап} \cdot C \cdot (\tau_{3ап} - \tau_x) \cdot 10^{-6} = 4.248 \times 10^{-3}$$

$$Q_{3ап38} := 1.5 \cdot V_{год38} \cdot \rho_{3ап} \cdot C \cdot (\tau_{3ап} - \tau_x) \cdot 10^{-6} = 2.227 \times 10^{-3}$$

$$Q_{3ап39} := 1.5 \cdot V_{год39} \cdot \rho_{3ап} \cdot C \cdot (\tau_{3ап} - \tau_x) \cdot 10^{-6} = 0.011$$

$$Q_{3ап40} := 1.5 \cdot V_{год40} \cdot \rho_{3ап} \cdot C \cdot (\tau_{3ап} - \tau_x) \cdot 10^{-6} = 0.115$$

$$Q_{3ап41} := 1.5 \cdot V_{год41} \cdot \rho_{3ап} \cdot C \cdot (\tau_{3ап} - \tau_x) \cdot 10^{-6} = 5.996 \times 10^{-3}$$

$$Q_{3ап42} := 1.5 \cdot V_{год42} \cdot \rho_{3ап} \cdot C \cdot (\tau_{3ап} - \tau_x) \cdot 10^{-6} = 0.021$$

$$Q_{3ап43} := 1.5 \cdot V_{год43} \cdot \rho_{3ап} \cdot C \cdot (\tau_{3ап} - \tau_x) \cdot 10^{-6} = 0.179$$

$$Q_{3ап44} := 1.5 \cdot V_{год44} \cdot \rho_{3ап} \cdot C \cdot (\tau_{3ап} - \tau_x) \cdot 10^{-6} = 0.123$$

$$Q_{3ап45} := 1.5 \cdot V_{год45} \cdot \rho_{3ап} \cdot C \cdot (\tau_{3ап} - \tau_x) \cdot 10^{-6} = 0.036$$

$$Q_{3\text{ап}46} := 1.5 \cdot V_{\text{год}46} \cdot \rho_{3\text{ап}} \cdot C \cdot (\tau_{3\text{ап}} - \tau_x) \cdot 10^{-6} = 0.03$$

$$Q_{3\text{ап}47} := 1.5 \cdot V_{\text{год}47} \cdot \rho_{3\text{ап}} \cdot C \cdot (\tau_{3\text{ап}} - \tau_x) \cdot 10^{-6} = 0.061$$

$$Q_{3\text{ап}48} := 1.5 \cdot V_{\text{год}48} \cdot \rho_{3\text{ап}} \cdot C \cdot (\tau_{3\text{ап}} - \tau_x) \cdot 10^{-6} = 6.452 \times 10^{-3}$$

$$Q_{3\text{ап}49} := 1.5 \cdot V_{\text{год}49} \cdot \rho_{3\text{ап}} \cdot C \cdot (\tau_{3\text{ап}} - \tau_x) \cdot 10^{-6} = 0.049$$

$$Q_{3\text{ап}50} := 1.5 \cdot V_{\text{год}50} \cdot \rho_{3\text{ап}} \cdot C \cdot (\tau_{3\text{ап}} - \tau_x) \cdot 10^{-6} = 0.084$$

$$Q_{3\text{ап}51} := 1.5 \cdot V_{\text{год}51} \cdot \rho_{3\text{ап}} \cdot C \cdot (\tau_{3\text{ап}} - \tau_x) \cdot 10^{-6} = 5.947 \times 10^{-3}$$

$$Q_{3\text{ап}52} := 1.5 \cdot V_{\text{год}52} \cdot \rho_{3\text{ап}} \cdot C \cdot (\tau_{3\text{ап}} - \tau_x) \cdot 10^{-6} = 0.084$$

$$Q_{3\text{ап}53} := 1.5 \cdot V_{\text{год}53} \cdot \rho_{3\text{ап}} \cdot C \cdot (\tau_{3\text{ап}} - \tau_x) \cdot 10^{-6} = 0.028$$

$$Q_{3\text{ап}54} := 1.5 \cdot V_{\text{год}54} \cdot \rho_{3\text{ап}} \cdot C \cdot (\tau_{3\text{ап}} - \tau_x) \cdot 10^{-6} = 6.265 \times 10^{-3}$$

$$Q_{3\text{ап}55} := 1.5 \cdot V_{\text{год}55} \cdot \rho_{3\text{ап}} \cdot C \cdot (\tau_{3\text{ап}} - \tau_x) \cdot 10^{-6} = 0.129$$

$$Q_{3\text{ап}56} := 1.5 \cdot V_{\text{год}56} \cdot \rho_{3\text{ап}} \cdot C \cdot (\tau_{3\text{ап}} - \tau_x) \cdot 10^{-6} = 0.114$$

$$Q_{3\text{ап}57} := 1.5 \cdot V_{\text{год}57} \cdot \rho_{3\text{ап}} \cdot C \cdot (\tau_{3\text{ап}} - \tau_x) \cdot 10^{-6} = 0.036$$

$$Q_{3\text{ап}58} := 1.5 \cdot V_{\text{год}58} \cdot \rho_{3\text{ап}} \cdot C \cdot (\tau_{3\text{ап}} - \tau_x) \cdot 10^{-6} = 0.123$$

$$Q_{3\text{ап}59} := 1.5 \cdot V_{\text{год}59} \cdot \rho_{3\text{ап}} \cdot C \cdot (\tau_{3\text{ап}} - \tau_x) \cdot 10^{-6} = 0.042$$

$$Q_{3\text{ап}60} := 1.5 \cdot V_{\text{год}60} \cdot \rho_{3\text{ап}} \cdot C \cdot (\tau_{3\text{ап}} - \tau_x) \cdot 10^{-6} = 0.037$$

$$Q_{3\text{ап}61} := 1.5 \cdot V_{\text{год}61} \cdot \rho_{3\text{ап}} \cdot C \cdot (\tau_{3\text{ап}} - \tau_x) \cdot 10^{-6} = 0.064$$

$$Q_{3\text{ап}62} := 1.5 \cdot V_{\text{год}62} \cdot \rho_{3\text{ап}} \cdot C \cdot (\tau_{3\text{ап}} - \tau_x) \cdot 10^{-6} = 0.014$$

$$Q_{3\text{ап}63} := 1.5 \cdot V_{\text{год}63} \cdot \rho_{3\text{ап}} \cdot C \cdot (\tau_{3\text{ап}} - \tau_x) \cdot 10^{-6} = 5.31 \times 10^{-3}$$

$$Q_{3\text{ап}64} := 1.5 \cdot V_{\text{год}64} \cdot \rho_{3\text{ап}} \cdot C \cdot (\tau_{3\text{ап}} - \tau_x) \cdot 10^{-6} = 0.019$$

| | | | |
|----------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| $q_{\text{II}1} := 45$ | $q_{\text{II}11} := 57$ | $q_{\text{II}21} := 57$ | $q_{\text{II}31} := 45$ |
| $q_{\text{II}2} := 45$ | $q_{\text{II}12} := 57$ | $q_{\text{II}22} := 32$ | $q_{\text{II}32} := 45$ |
| $q_{\text{II}3} := 45$ | $q_{\text{II}13} := 57$ | $q_{\text{II}23} := 45$ | $q_{\text{II}33} := 50$ |
| $q_{\text{II}4} := 45$ | $q_{\text{II}14} := 57$ | $q_{\text{II}24} := 30$ | $q_{\text{II}34} := 23$ |
| $q_{\text{II}5} := 35$ | $q_{\text{II}15} := 50$ | $q_{\text{II}25} := 32$ | $q_{\text{II}35} := 45$ |
| $q_{\text{II}6} := 32$ | $q_{\text{II}16} := 50$ | $q_{\text{II}26} := 63$ | $q_{\text{II}36} := 45$ |
| $q_{\text{II}7} := 45$ | $q_{\text{II}17} := 57$ | $q_{\text{II}27} := 36$ | $q_{\text{II}37} := 45$ |
| $q_{\text{II}8} := 16, 52$ | $q_{\text{II}18} := 45$ | $q_{\text{II}28} := 28$ | $\beta := 1.15$ |
| $q_{\text{II}9} := 45$ | $q_{\text{II}19} := 57$ | $q_{\text{II}29} := 45$ | |
| $q_{\text{II}10} := 50$ | $q_{\text{II}20} := 32$ | $q_{\text{II}30} := 57$ | |

Подземная прокладка

$$\begin{aligned} Q_{из1} &:= q_{п1} \cdot l_1 \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 0.011 & Q_{из10} &:= q_{п10} \cdot l_{10} \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 5.175 \times 10^{-4} \\ Q_{из2} &:= q_{п2} \cdot l_2 \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 3.622 \times 10^{-3} & Q_{из11} &:= q_{п11} \cdot l_{11} \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 2.57 \times 10^{-3} \\ Q_{из3} &:= q_{п3} \cdot l_3 \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 6.779 \times 10^{-4} & Q_{из12} &:= q_{п12} \cdot l_{12} \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 6.817 \times 10^{-3} \\ Q_{из4} &:= q_{п4} \cdot l_4 \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 1.604 \times 10^{-3} & Q_{из14} &:= q_{п14} \cdot l_{14} \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 0.016 \\ Q_{из5} &:= q_{п5} \cdot l_5 \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 5.353 \times 10^{-3} & Q_{из15} &:= q_{п15} \cdot l_{15} \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 5.681 \times 10^{-3} \\ Q_{из6} &:= q_{п6} \cdot l_6 \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 3.224 \times 10^{-3} & Q_{из16} &:= q_{п16} \cdot l_{16} \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 3.22 \times 10^{-3} \\ Q_{из7} &:= q_{п7} \cdot l_7 \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 5.071 \times 10^{-3} & Q_{из17} &:= q_{п17} \cdot l_{17} \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 3.081 \times 10^{-3} \\ Q_{из9} &:= q_{п9} \cdot l_9 \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 5.511 \times 10^{-3} & Q_{из18} &:= q_{п18} \cdot l_{18} \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 1.009 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{из19} &:= q_{п19} \cdot l_{19} \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 7.604 \times 10^{-4} & Q_{из29} &:= q_{п29} \cdot l_{29} \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 4.787 \times 10^{-3} \\ Q_{из20} &:= q_{п20} \cdot l_{20} \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 8.538 \times 10^{-4} & Q_{из31} &:= q_{п31} \cdot l_{31} \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 1.734 \times 10^{-3} \\ Q_{из21} &:= q_{п21} \cdot l_{21} \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 1.724 \times 10^{-3} & Q_{из32} &:= q_{п32} \cdot l_{32} \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 5.421 \times 10^{-3} \\ Q_{из22} &:= q_{п22} \cdot l_{22} \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 2.76 \times 10^{-3} & Q_{из33} &:= q_{п33} \cdot l_{33} \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 3.967 \times 10^{-3} \\ Q_{из23} &:= q_{п23} \cdot l_{23} \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 1.656 \times 10^{-3} & Q_{из34} &:= q_{п34} \cdot l_{34} \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 5.29 \times 10^{-4} \\ Q_{из24} &:= q_{п24} \cdot l_{24} \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 1.552 \times 10^{-3} & Q_{из35} &:= q_{п35} \cdot l_{35} \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 3.674 \times 10^{-3} \\ Q_{из25} &:= q_{п25} \cdot l_{25} \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 5.888 \times 10^{-4} & Q_{из36} &:= q_{п36} \cdot l_{36} \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 3.793 \times 10^{-3} \\ Q_{из28} &:= q_{п28} \cdot l_{28} \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 2.898 \times 10^{-3} & Q_{из37} &:= q_{п37} \cdot l_{37} \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 4.14 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{зап1} &:= 1.5 \cdot V_{год1} = 4.086 & V_{зап11} &:= 1.5 \cdot V_{год11} = 0.752 \\ V_{зап2} &:= 1.5 \cdot V_{год2} = 0.216 & V_{зап12} &:= 1.5 \cdot V_{год12} = 1.545 \\ V_{зап3} &:= 1.5 \cdot V_{год3} = 0.251 & V_{зап13} &:= 1.5 \cdot V_{год13} = 0.348 \\ V_{зап4} &:= 1.5 \cdot V_{год4} = 0.096 & V_{зап14} &:= 1.5 \cdot V_{год14} = 4.562 \\ V_{зап5} &:= 1.5 \cdot V_{год5} = 20.044 & V_{зап15} &:= 1.5 \cdot V_{год15} = 3.42 \\ V_{зап6} &:= 1.5 \cdot V_{год6} = 13.202 & V_{зап16} &:= 1.5 \cdot V_{год16} = 0.832 \\ V_{зап7} &:= 1.5 \cdot V_{год7} = 14.769 & V_{зап17} &:= 1.5 \cdot V_{год17} = 0.698 \\ V_{зап8} &:= 1.5 \cdot V_{год8} = 3.628 & V_{зап18} &:= 1.5 \cdot V_{год18} = 0.079 \\ V_{зап9} &:= 1.5 \cdot V_{год9} = 1.582 & V_{зап19} &:= 1.5 \cdot V_{год19} = 0.402 \end{aligned}$$

$$V_{\text{зап10}} := 1.5 \cdot V_{\text{год10}} = 0.312 \quad V_{\text{зап20}} := 1.5 \cdot V_{\text{год20}} = 0.445$$

$$V_{\text{зап21}} := 1.5 \cdot V_{\text{год21}} = 0.402 \quad V_{\text{зап31}} := 1.5 \cdot V_{\text{год31}} = 0.512$$

$$V_{\text{зап22}} := 1.5 \cdot V_{\text{год22}} = 1.147 \quad V_{\text{зап32}} := 1.5 \cdot V_{\text{год32}} = 1.556$$

$$V_{\text{зап23}} := 1.5 \cdot V_{\text{год23}} = 0.614 \quad V_{\text{зап33}} := 1.5 \cdot V_{\text{год33}} = 1.025$$

$$V_{\text{зап24}} := 1.5 \cdot V_{\text{год24}} = 0.863 \quad V_{\text{зап34}} := 1.5 \cdot V_{\text{год34}} = 0.462$$

$$V_{\text{зап25}} := 1.5 \cdot V_{\text{год25}} = 0.06 \quad V_{\text{зап35}} := 1.5 \cdot V_{\text{год35}} = 1.639$$

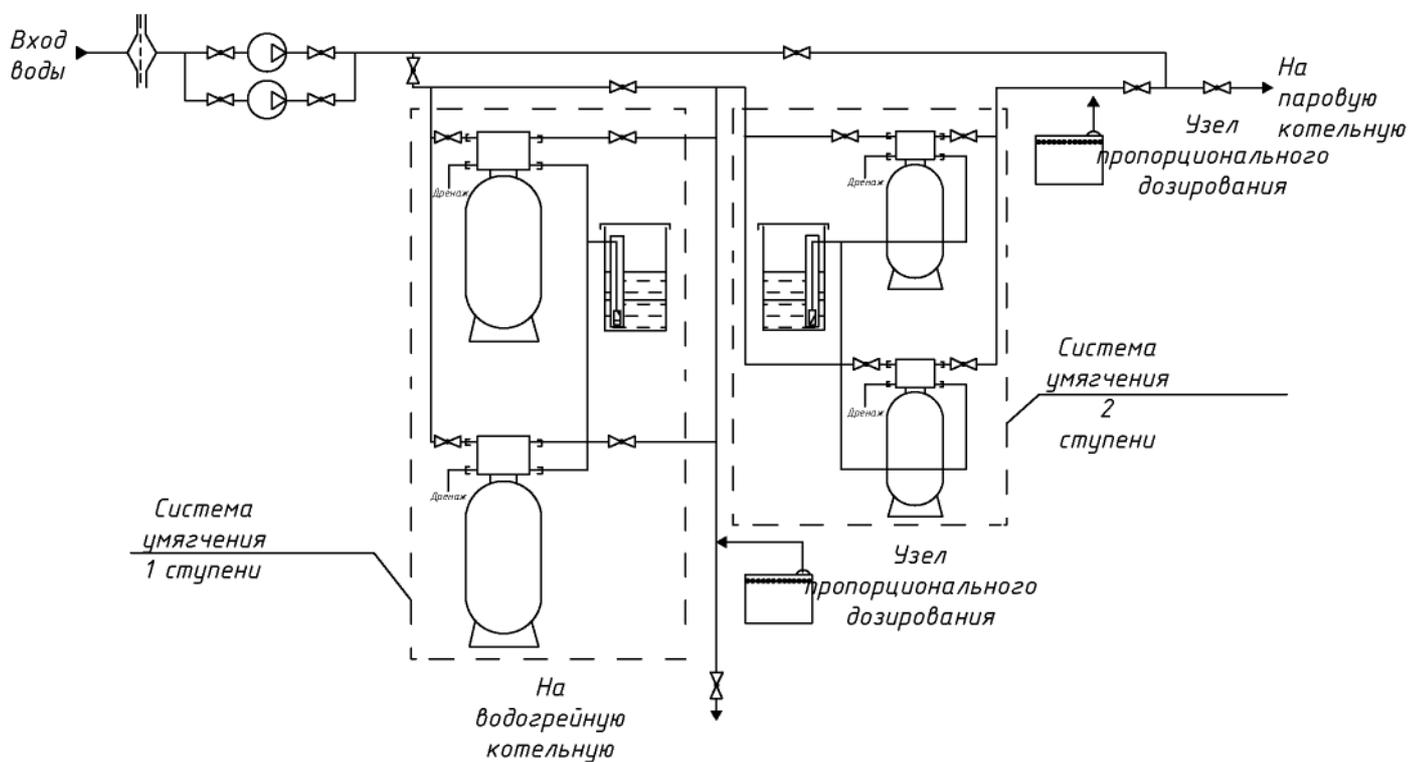
$$V_{\text{зап26}} := 1.5 \cdot V_{\text{год26}} = 12.66 \quad V_{\text{зап36}} := 1.5 \cdot V_{\text{год36}} = 1.406$$

$$V_{\text{зап27}} := 1.5 \cdot V_{\text{год27}} = 8.482 \quad V_{\text{зап37}} := 1.5 \cdot V_{\text{год37}} = 0.122$$

$$V_{\text{зап28}} := 1.5 \cdot V_{\text{год28}} = 3.116$$

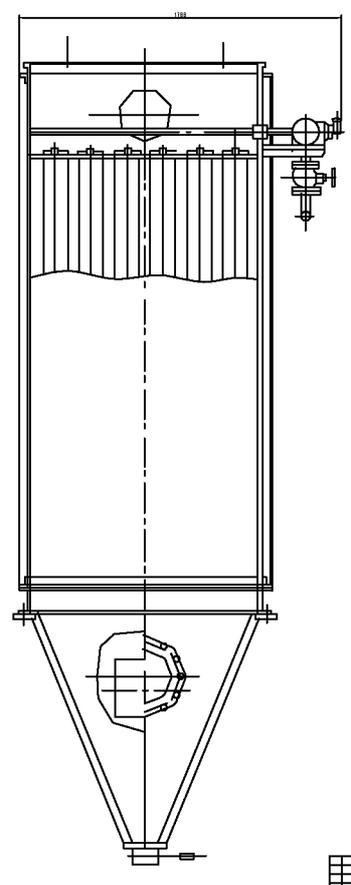
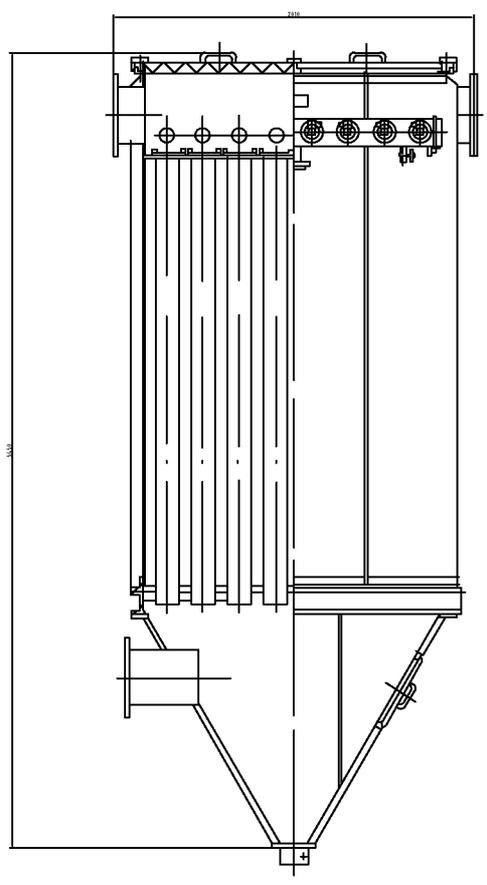
$$V_{\text{зап29}} := 1.5 \cdot V_{\text{год29}} = 3.202$$

$$V_{\text{зап30}} := 1.5 \cdot V_{\text{год30}} = 1.62$$

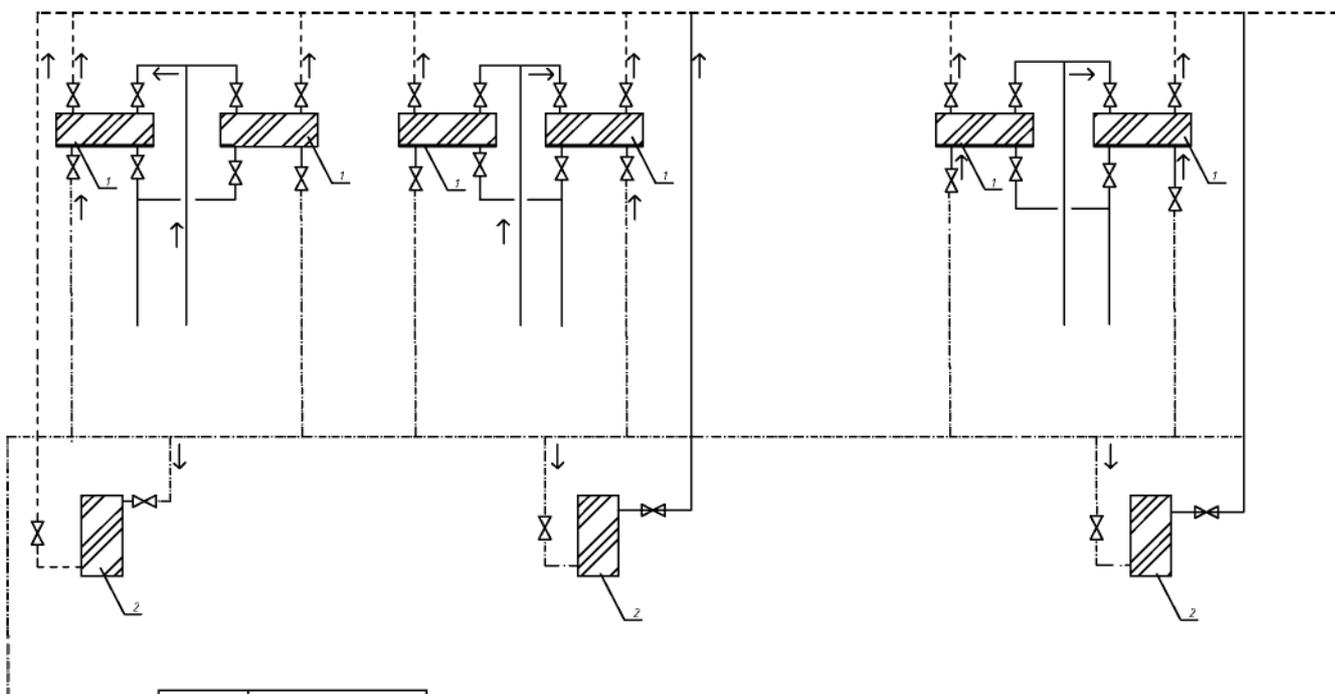


| | | | |
|--|------------|----------------------|-------------|
| ИП 44.135.13.03.01 СК | | | |
| № | Дата | Изменения | Исполнитель |
| 1 | 2013.03.01 | Принципиальная схема | А.С.И. |
| 2 | | Водоподготовка | А.С.И. |
| Проект: А.С.И. 2013.03.01 Автор: А.С.И. Проверен: А.С.И. | | | |

ВКР. №4.135.13.03.01 Сх.



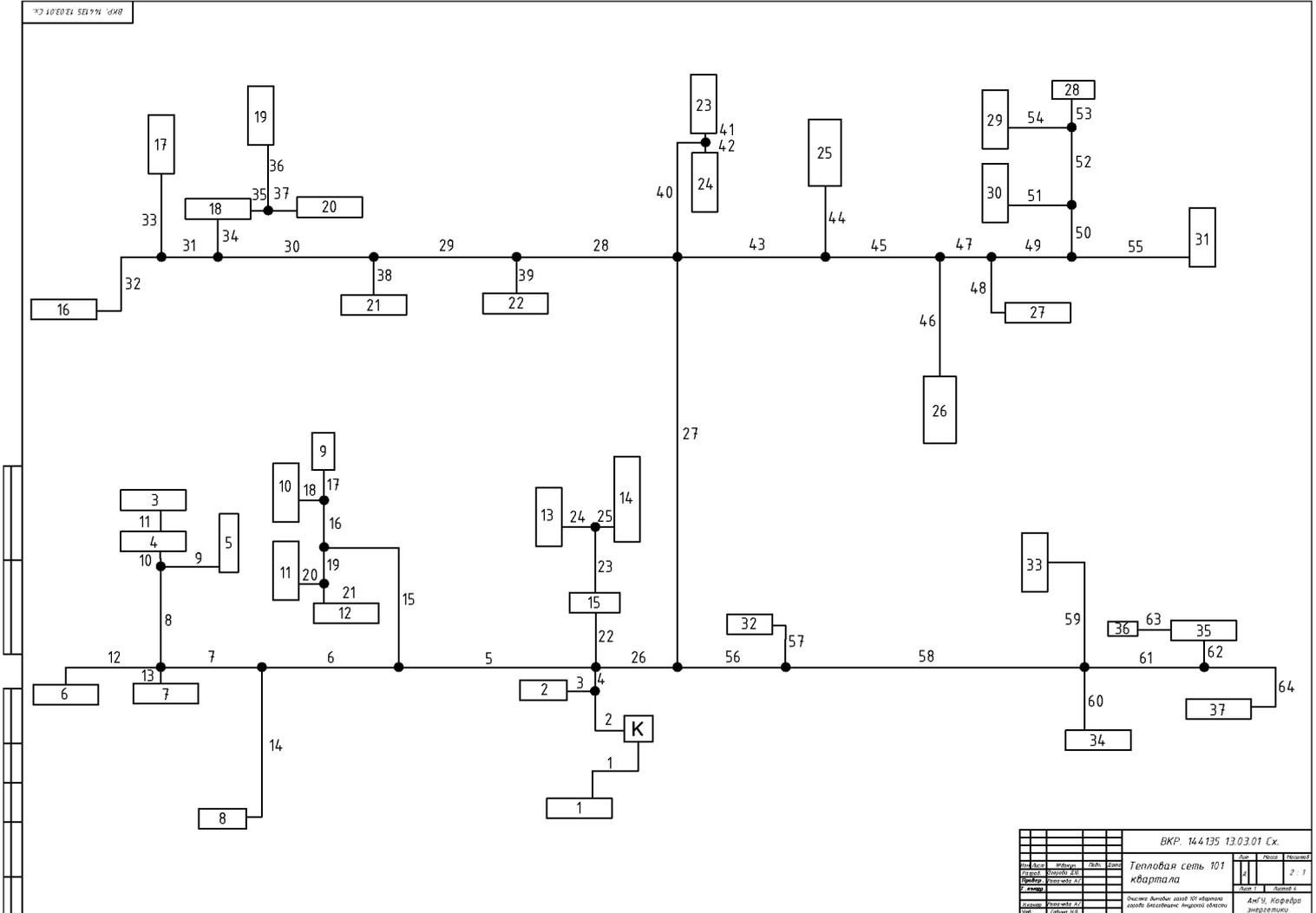
| | | | | | | |
|--|--|--|---|---------------------------|---|---------|
| ВКР. 44.135.13.03.01 Сх. | | | | Лист | № | Изменен |
| Ручной фильтр РЦН 40В-4В | | | | 1 | 1 | 2.1 |
| | | | | Изменен Дата: | | |
| Разработчик Проверен Утвержден Дата | Проектировщик Проверен Утвержден Дата | Конструктор Проверен Утвержден Дата | Технолог Проверен Утвержден Дата | Инв. №: КИФ-40В 40В-4В | | |



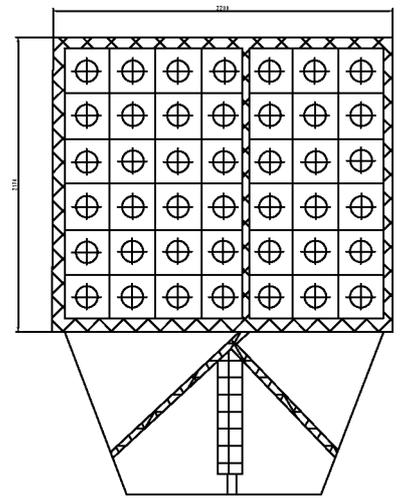
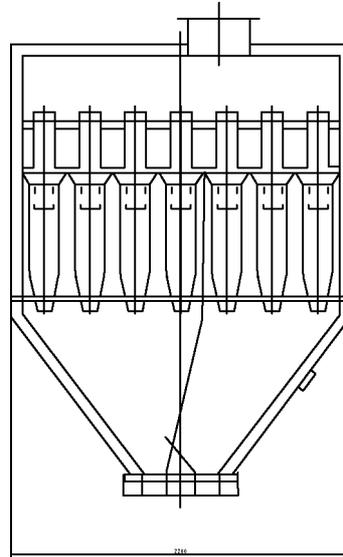
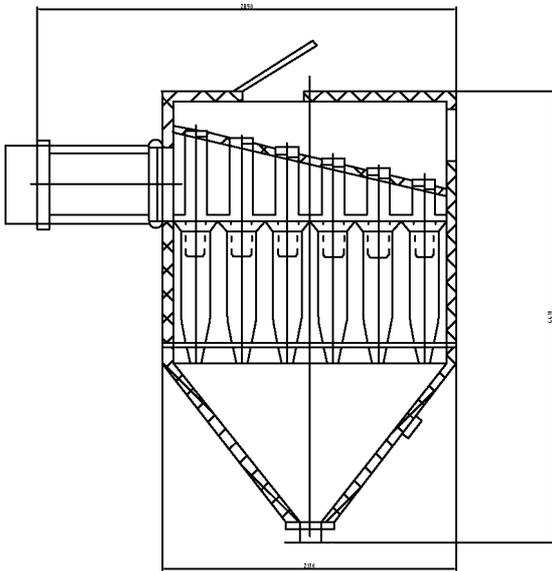
| Обозн. | Наименование |
|--------|---------------------------|
| 1 | Пароводяной подогреватель |
| 2 | Экономайзер |

| ВКР 144.135.13.03.01 СК | | | | Лист | Кол-во листов |
|--|---------|---------|------|---|---------------|
| № п/п | Исполн. | Провер. | Дата | Система отопления пароводяной подогреватель | 2 / 1 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | | |
| Система отопления пароводяной подогреватель экономайзерной сетевой воды | | | | | |
| Проект выполнен в соответствии с требованиями СНиП 41-01-2003 | | | | Ин-т: ИСЭН-2000 г. Москва | |

ТЭЦ КОСОВОГО РАЙОНА



БМР. НАЗВЕТИ СЕРИЈИ. ДИМ



| | | | | | | | |
|---|----------|-----------|------|--------------------------------|----------|-----------|------|
| БМР. 444.135.13.03.01 Сх. | | | | Лист | | Издание | |
| Циклон ЕЦ 2-6х(4+3) | | | | 2 | | 1 | |
| Исполн. | Проверен | Утвержден | Дата | Исполн. | Проверен | Утвержден | Дата |
| | | | | | | | |
| Проект: Аварийный запас 10% от объема емкости без учета объема испарения | | | | Акт 'S' Испытания завершено | | | |