

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

Факультет Энергетический

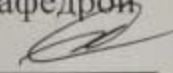
Кафедра Энергетики

Направление подготовки 13.03.01 – Теплотехника и теплоэнергетика

Направленность (профиль) образовательной программы: Энергообеспечение предприятий

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Зав. кафедрой

 Н.В. Савина

« 18 » 06 2018 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

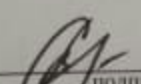
на тему: Реконструкция котельной микрорайона Сопка города Биробиджан  
Еврейской автономной области

Исполнитель  
студент группы 442- об1(2)

 19.06.18  
подпись, дата


А.В. Давыдов

Руководитель  
д-р техн. наук, профессор

 20.06.18  
подпись, дата

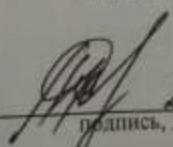
О.В. Скрипко

Консультант:  
по безопасности и  
экологичности  
канд. техн. наук, доцент

 11.06.18  
подпись, дата

А.Б. Булгаков

Нормоконтроль  
канд. техн. наук, доцент

 22.06.18  
подпись, дата

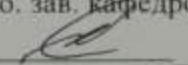
А.Г. Ротачева

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

« 07 » 05 2018 г.

**ЗАДАНИЕ**

К выпускной квалификационной работе студента Давурова Андрей  
Восильевич

1. Тема бакалаврской работы: Реконструкция котловой сепараторной  
Системы города Бурейского Еврейской автономной области  
(утверждено приказом от 12.05.18 № 513-уч)

2. Срок сдачи студентом законченной работы 13.06.18

3. Исходные данные к бакалаврской работе: схема котловой сепараторной  
системы котлов ис. по котельной, проект с проектом  
проектирования

4. Содержание бакалаврской работы (перечень подлежащих разработке вопросов):

проект: котельная котлов, котельная сепараторная,  
виды оборудования котельной

5. Перечень материалов приложения: (наличие чертежей, таблиц, графиков, схем, программ-  
ных продуктов, иллюстративного материала и т.п.) в штамп котельной  
котельной, 16 листов;

6. Консультанты по выпускной квалификационной работе (с указанием относящихся к ним  
разделов) доклад, спец. техн. науч. А.Б. Булашов

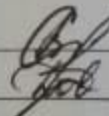
7. Дата выдачи задания 7.05.2018

Руководитель выпускной квалификационной работы: профессор, д-р техн. наук  
(фамилия, имя, отчество, должность, ученая степень, ученое звание)

О.В. Сурин

Задание принял к исполнению (дата): 7.05.2018

(подпись студента)



## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 80 стр., 16 таблиц, 15 источников.

ТЕПЛОВАЯ СЕТЬ, ТЕПЛОВАЯ НАГРУЗКА, ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ОТОПЛЕНИЕ, НАСОС, КОТЛОАГРЕГАТ, БЕЗОПАСНОСТЬ, ЭКОЛОГИЧНОСТЬ, ЭКОНОМИКА.

Целью выпускной квалификационной работы является реконструкция тепловой сети микрорайона Сопка города Биробиджан Еврейской автономной области, источником тепла которой являются две котельные. В ходе работы нужно изучить данный район, местность, климатические условия. Подробно изучить котельные. Произвести расчет нагрузок на отопление и горячее водоснабжение. Произвести гидравлический расчет. Выбрать новое оборудование для котельной, если необходимо. Предложить решение проблемам, выявленным в ходе выполнения работы. Определить эффективность вложения капитала и сроки его окупаемости.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	7
1 Характеристика района проектирования	8
1.1 Географическое положение	8
1.2 Климат	8
1.3 Производство	8
2 Характеристика объекта проектирования	10
3 Расчет тепловых нагрузок	12
3.1 Расчет нагрузок на отопление	12
3.2 Расчет нагрузок на горячее водоснабжение	13
4 Гидравлический расчет	19
4.1 Предварительный гидравлический расчет	19
4.2 Уточненный гидравлический расчет	20
5 Расчет потерь	26
6 Выбор оборудования	31
6.1 Выбор насосов	31
6.2 Выбор котлов	34
6.3 Выбор дополнительного оборудования	38
7 Бесканальная прокладка трубопроводов	45
8 Безопасность и экологичность	48
8.1 Безопасность	49
8.1.1 Характеристика опасных производственных факторов и мероприятий по обеспечению травмобезопасности оборудования	49
8.1.2 Гигиеническая оценка условий и характера труда	50
8.1.3 Выводы	51
8.2 Экологичность проекта	51
8.2.1 Расчет выброса в атмосферу частиц золы и недожога	52
8.2.2 Расчет выбросов в атмосферу окислов серы	53

8.2.3	Расчет выброса в атмосферу окисей	54
8.2.4	Расчет выброса в атмосферу оксидов азота	54
8.2.5	Расчет дымовой трубы	56
8.3	Чрезвычайные ситуации	58
9	Организационно-экономическая часть	61
9.1	Капитальные вложения	61
9.2	Расчет амортизационных отчислений	63
9.3	Расчет эксплуатационных затрат	65
9.4	Расчет издержек на топливо	66
9.5	Расчет затрат на воду	68
9.6	Расчет численности рабочих	69
9.7	Расчет затрат на оплату труда персонала котельной	71
9.8	Расчет налога на социальные нужды и медицинское страхование	72
9.9	Расчет прочих затрат	72
9.10	Оценка экономической эффективности проекта	73
9.11	Расчет и построение графика чистого дисконтированного дохода	75
	Заключение	77
	Библиографический список	78
	Приложение А	
	Приложение Б	
	Приложение В	

## НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящей выпускной квалификационной работе использованы ссылки на следующие стандарты и нормативные документы:

СНиП 23-02-2003	Тепловая защита зданий;
СНиП 23-01-99*	Строительная климатология;
СНиП 2.04.01-85*	Внутренний водопровод и канализация зданий;
СНиП 23-05-95	Естественное и искусственное освещение;
СНиП 23-03-2003	Защита от шума;
СНиП 2.09.03-85	Дымовые трубы;
СНБ 4.02.01-03	Отопление, вентиляция и кондиционирование.

## ВВЕДЕНИЕ

Россия занимает ведущую позицию в мире по масштабам развития централизованного теплоснабжения.

На данный момент в системе централизованного теплоснабжения преобладают ТЭЦ и различные виды котельных.

Из года в год к системам теплоснабжения предъявляют все более высокие требования по надежности, экономичности. Для повышения надежности вводят более современные схемы, устанавливают новое оборудование, совершенствуют способы прокладки тепловых сетей.

Для того чтобы обеспечить теплоснабжение микрорайона Сопка города Биробиджан в 1965 году была построена котельная №4, позже спроектировали и построили котельную №5 (1978 год).

За прошедшие полвека со строительства котельных технологии сделали большой шаг вперед, соответственно и требования к таким важным объектам тепловой сети стали гораздо строже, а глобальных изменений за это время в данных котельных сделано не было.

В своей выпускной квалификационной работе я постараюсь произвести реконструкцию тепловой сети микрорайона Сопка таким образом, чтобы она соответствовала всем текущим стандартам, то есть стала более надежной, более гибкой в перспективе дальнейшего развития и более экономичной. Произведу полную или частичную замену оборудования в котельных, рассмотрю возможность монтажа/демонтажа некоторых частей котельной или котельной в целом. Так же рассмотрю возможность проектного изменения тепловой сети, с целью улучшить качество тепловой энергии, приходящей к потребителю. Рассчитаю стоимость принятых мной проектных решений, а также сроки окупаемости предполагаемых капиталовложений.

## 1 ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Биробиджан — город на Дальнем Востоке России, административный центр Еврейской автономной области (с 1934). Город областного значения, образующий одноимённый городской округ (муниципальное образование «Город Биробиджан»).

### 1.1 Географическое положение

Биробиджан стоит на берегах Биры. Биджан протекает параллельно Бире к западу от города (порядка 100 км) и впадает в Амур, как и Бира. Станция на Транссибирской железнодорожной магистрали, в 75 км от границы с Китаем.

### 1.2 Климат

Город находится в умеренном муссонном климатическом поясе, с очень холодной и сухой зимой, жарким и влажным летом.

Среднегодовая температура воздуха — 1,9 °С.

Относительная влажность воздуха — 71,1 %.

Средняя скорость ветра — 1,7 м/с.

### 1.3 Промышленность

В городе в основном располагаются предприятия легкой и пищевой промышленности.

Лёгкая промышленность представлена обувными и швейными фабриками; в их числе: обувная фабрика «Восток-Холдинг», ПАО «Виктория».

Пищевая промышленность: Торговый дом «Бридер», молочный комбинат «Молли», большое количество различных пекарен.

В 1936 построен обозстроительный завод, в 1960 на его базе создан завод (впоследствии ПО) «Дальсельхозмаш» (зерно- и силосоуборочные комбайны на гусеничном ходу) — в 2006 года был признан банкротом и с тех пор не функционирует.

В 1947 году был построен радиотехнический завод. Закрыт в 1992 году. Помещения этого предприятия используются в настоящее время в качестве складов.



Кроме этого в городе есть следующие предприятия: АО «Биробиджанский завод силовых трансформаторов», ОАО «Биробиджанская мебельная фабрика», ОАО «Макаронная фабрика „Бетэвон“», ООО «Тайга-Восток», , мебельный комбинат «Foma».

Основным источником централизованного теплоснабжения города является Биробиджанская ТЭЦ.

## 2 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Объектом моего проектирования является система теплоснабжения микрорайона Сопка, включающая в себя детский сад, школу, более 15 пятиэтажных жилых домов, несколько домов старой планировки и военное общежитие. На обеспечение теплом этих объектов инфраструктуры планом предусмотрено две котельных: №5 и №4.

Котельная №4 является котельной старого образца и не может соответствовать многим современным стандартам, особенно это касается экологичности, так как с момента строительства увеличилась тепловая нагрузка, за чем последовало увеличение количества вредных выбросов, а реконструкцию системы очистки выходящих газов не проводили.

Котельная №5 представляет из себя котельную более новую, но все еще безнадежно устаревшую в современных реалиях. Она, как и котельная №4, имеет ряд проблем, которые при текущем оборудовании исправить не представляется возможным.

Данные котельные оборудованы старыми котлами марки КВР-1.0 Б(с) предназначенных для теплоснабжения зданий и сооружений различного назначения, работает на бурых и каменных углях.

Конструкцией котла предусмотрена возможность механического шлакозолоудаления.

Котел работает без дымососа.

Основные технические характеристики котла сведем в таблицу 1.

Таблица 1 – Основные технические характеристики котлоагрегата КВР-1.0 Б(с)

Наименование параметра	Значение
Теплопроизводительность номинальная, МВт	1,16
Вид топлива	Бурый уголь
Параметры теплоносителя	
- температура воды на входе, С	70
- температура воды на выходе	95

Продолжение таблицы 1

- рабочее давление, МПа, не более	0,7
- максимальное давление, МПа	1,0
Вид циркуляции теплоносителя	Принудительный
Гидравлическое сопротивление, МПа	0,05
Аэродинамическое сопротивление, кг/м <sup>2</sup>	2,5
Температура уходящих газов, С	150
Расход топлива (при Q <sub>p</sub> =2300ккал/кг), кг/час	580
КПД, %	75
Поверхность нагрева топки, м <sup>2</sup>	18
Поверхность нагрева конвективной части, м <sup>2</sup>	83,5
Расход воды через котел, т/час	40
Время растопки, час, не более	1,0
Удельный выброс оксида углерода, мг/кВт.ч (мг/м <sup>3</sup> ), не более	2000
Удельный выброс оксида азота, мг/кВт.ч (мг/м <sup>3</sup> ), не более	750,0
Габаритные размеры, мм	
- длина	2530
- ширина	2990
- высота	2300
Масса (без воды), кг	7080
Установленная безотказная наработка, час, не менее	4000
Срок службы, лет, не менее	10

### 3 РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫХ НАГРУЗОК

Тепловая нагрузка системы теплоснабжения – это суммарное количество тепла, получаемое от источников тепла, равное сумме теплопотреблений приемников тепла и потерь в тепловых сетях в единицу времени. Она состоит из тепловой нагрузки на отопление и тепловой нагрузки на горячее водоснабжение каждого подключенного к этой системе здания или сооружения.

Расчет тепловой нагрузки необходим для планирования и дальнейшего проектирования всей системы теплоснабжения.

#### 3.1 Расчет нагрузок на отопление

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

$$Q_{от}^{максимальная} = \alpha V q_o (t_{внутри} - t_{снаружи}) (1 + K_{инфильтрации}) 10^{-6}, \quad (1)$$

где  $\alpha$  – поправочный коэффициент, учитывающий отличие температуры наружного воздуха  $t_{снаружи}$  от  $t = -30$  °С. Для данного населенного пункта  $\alpha = 0,95$ ;

$V$  – объем здания по наружному обмеру, м<sup>3</sup>;

$q_o$  – удельная отопительная характеристика при  $t_{снаружи} = -30$  °С; [1]

$K_{инфильтрации}$  – 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.

$$K_{инфильтрации} = 10^{-2} \sqrt{2gh \left( 1 - \frac{273 + t_{снаружи}}{273 + t_{внутри}} \right) + w_0^2}, \quad (2)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения, принимается равным 9,807 м/с<sup>2</sup>;

$h$  – свободная высота зданий, м;

$t_{\text{снаружи}}$  – температура воздуха наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,98 дня данного населенного пункта равна минус 35 °С; [2]

$t_{\text{внутри}}$  – температура воздуха внутри помещения;

$w_0$  – расчетная для данной местности скорость ветра в отопительный период – 2 м/с. [2]

Средняя тепловая нагрузка отопления рассчитывается по формуле:

$$Q_{\text{от}}^{\text{средняя}} = Q_{\text{от}}^{\text{максимальная}} \frac{t_{\text{внутри}} - t_{\text{снаружи}}^{\text{средняя}}}{t_{\text{внутри}} - t_{\text{снаружи}}}, \quad (3)$$

где  $t_{\text{снаружи}}^{\text{средняя}}$  – средняя температура наружного воздуха за отопительный период, принимается равной минус 28 °С. [2]

Годовой расход теплоты на отопление:

$$Q_{\text{от}}^{\text{г}} = Q_{\text{от}}^{\text{средняя}} \cdot h_o, \quad (4)$$

где  $h_o$  – длительность отопительного периода, ч.

$$h_o = n_{\text{с.от.п}} \cdot T, \quad (5)$$

где  $n_{\text{с.от.п}}$  – количество суток среднего отопительного периода для этого населенного пункта принимается равным 219; [2]

$T$  – количество часов в сутках.

По формуле (5) найдем длительность отопительного периода:

$$h_o = 219 \cdot 24 = 5256 \text{ ч.}$$

### 3.2 Расчет нагрузок на горячее водоснабжение

Средняя часовая тепловая нагрузка горячего водоснабжения потребителя тепловой энергии в отопительный период определяется по формуле:

$$Q_{гвс}^{средняя} = \frac{\beta N (55 - t_{вод.в.}) 10^{-6}}{T}, \quad (6)$$

где  $\beta$  – норма затрат на горячее водоснабжение абонента, л/сутки; [3]

$t_{вод.в.}$  – температура водопроводной воды, при отсутствии данных принимается равной  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

$T$  – продолжительность функционирования системы горячего водоснабжения абонента в сутки. Так как система функционирует круглосуточно, то принимаем, что  $T = 24\text{ ч}$ ;

$N$  – количество жителей, учащихся и т. д., т.е. абонентов, потребляющих горячую воду.

Количество жителей для жилого дома рассчитывается по формуле:

$$N = F \cdot n_{\text{э}} / f, \quad (7)$$

где  $F$  – площадь основания здания,  $\text{м}^2$ ;

$n_{\text{э}}$  – количество этажей в жилом доме;

$f$  – среднее количество квадратных метров, приходящихся на 1 человека в жилом доме, с учетом несущих стен и перегородок.

Среднее число жителей в одной секции стандартного пятиэтажного дома принято считать равным 45. Пятиэтажный дом с шестью секциями в среднем занимает  $1120\text{ м}^2$  и вмещает в себя 270 жильцов, при равномерном распределении на 1 этаж приходится 54 человека.

Исходя из этого, найдем  $f$ :

$$f = \frac{1120}{54} = 20,74\text{ м}^2 / \text{ч.}$$

Годовой расход теплоты на горячее водоснабжение:

$$Q_{гвс}^{\text{г}} = Q_{гвс}^{\text{средняя}} \cdot h_{гвс}, \quad (8)$$

где  $h_{звс}$  – длительность горячего водоснабжения, ч.

Длительность горячего водоснабжения найдем по формуле:

$$h_{звс} = (365 - p) \cdot T, \quad (9)$$

где  $p$  – длительность планового отключения горячего водоснабжения для жилого дома.

Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения, утвержденные Постановлением федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (главного санитарного врача РФ) №20 от 07.04.2009г.: В период ежегодных профилактических ремонтов отключение систем горячего водоснабжения не должно превышать 14 суток.

$$h_{звс} = (365 - 14) \cdot 24 = 8424 \text{ ч.}$$

Приведем подробный расчет на примере жилого здания в схеме обозначенного под №3. Все данные, необходимые для расчета возьмем из таблицы 2.

Таблица 2 – Параметры зданий проектируемого района

№ в схеме	V, м <sup>3</sup>	F, м <sup>2</sup>	nэ	h, м	N	q <sub>0</sub> , ккал/м <sup>3</sup> ·ч·°C	β, л/сутки	t <sub>вн</sub> , °C
1	8400	840	3	10	400	0,35	3,4	22
2	21000	1400	5	15	–	0,37	105	22
3	14700	980	5	15	–	0,37	105	22
4	14700	980	5	15	–	0,37	105	22
5	14700	980	5	5	–	0,37	105	22
6	3100	443	2	7	–	0,50	–	22
7	14400	960	5	15	–	0,37	105	22
8	720	120	2	6	–	0,38	–	18

№ в схеме	V, м <sup>3</sup>	F, м <sup>2</sup>	n <sub>э</sub>	h, м	N	q <sub>0</sub> , ккал/м <sup>3</sup> ·ч·°С	β, л/сутки	t <sub>вн</sub> , °С
9	1500	375	1	4	–	0,38	–	18
10	15100	1007	5	15	–	0,37	105	22
11	21920	1461	5	15	–	0,37	105	22
12	15100	1007	5	15	–	0,37	105	22
13	5760	640	3	9	–	0,44	–	22
14	7560	504	5	15	–	0,42	105	22
15	15100	1007	5	15	–	0,37	105	22
16	8060	896	3	9	–	0,41	105	22
17	12240	816	5	15	–	0,38	105	22
18	12240	816	5	15	–	0,38	105	22
19	14400	960	5	15	–	0,37	105	22
20	15700	1047	5	15	–	0,37	–	22
21	14400	960	5	15	–	0,37	105	22
22	14400	960	5	15	–	0,37	105	22
23	18900	1260	5	15	–	0,37	105	22
24	4000	800	1	5	200	0,38	11,5	22

Найдем коэффициент инфильтрации для здания №3 по формуле (2):

$$K_{уз} = 10^{-2} \sqrt{\left[ 2 \cdot 9,807 \cdot 15 \cdot \left( 1 - \frac{273-35}{273+22} \right) + 4 \right]} = 0,078.$$

Найдем расчетную тепловую нагрузку на отопления по укрупненным показателям для здания №3 по формуле (1):

$$Q_{от3}^{максимальная} = 0,95 \cdot 14700 \cdot 0,37 \cdot (22 - (-35)) \cdot (1 + 0,078) \cdot 10^{-6} = 0,317 \text{ Гкал/ч.}$$



Найдем среднюю тепловую нагрузку на отопление для здания №3 по формуле (3):

$$Q_{от3}^{средняя} = 0,391 \cdot \frac{22 - (-28)}{22 - (-35)} = 0,279 \text{ Гкал/ч.}$$

Найдем годовой расход теплоты на отопление здания №3, пользуясь формулой (4):

$$Q_{от3}^e = 0,279 \cdot 5256 = 1463,82 \text{ Гкал.}$$

Найдем среднюю часовую нагрузку на горячее водоснабжение здания №3. Для этого, в первую очередь, необходимо найти количество абонентов, потребляющих горячую воду по формуле (7):

$$N_3 = 980 \cdot 5 / 20,74 = 236,26.$$

Округлив в большую сторону, получаем приблизительное количество абонентов, проживающих в здании №3:

$$N_3 = 237.$$

Средняя часовая нагрузка на горячее водоснабжение рассчитывается по формуле (6):

$$Q_{гвс3}^{средняя} = \frac{105 \cdot 237 \cdot (55 - 5) \cdot 10^{-6}}{24} = 0,052 \text{ Гкал/ч.}$$

Найдем годовой расход теплоты на горячее водоснабжение здания №3 по формуле (8):

$$Q_{гвс3}^e = 0,052 \cdot 8424 = 438,05 \text{ Гкал.}$$

Расчет тепловой нагрузки оставшихся зданий произведен в программе Mathcad (приложение А). Полученные значения сведем в таблицу 3.

Таблица 3 – Тепловая нагрузка

№ в схеме	$K_{инф}$	$Q_{макс.от},$ Гкал/ч	$Q_{ср.от},$ Гкал/ч	$Q_{г.от},$ Гкал	$Q_{ср.гвс},$ Гкал/ч	$Q_{г.гвс},$ Гкал
1	0,065	0,170	0,149	782,451	0,003	25,27
2	0,078	0,454	0,398	2092,777	0,074	623,38
3	0,078	0,317	0,279	1463,820	0,052	438,05
4	0,078	0,317	0,279	1463,820	0,052	438,05
5	0,078	0,317	0,279	1463,820	0,052	438,05
6	0,055	0,089	0,078	408,070	–	–
7	0,078	0,311	0,273	1433,867	0,051	429,62
8	0,050	0,015	0,013	67,385	–	–
9	0,043	0,030	0,026	138,521	–	–
10	0,078	0,326	0,287	1505,003	0,053	446,47
11	0,078	0,473	0,415	2182,621	0,077	648,65
12	0,078	0,326	0,287	1505,003	0,053	446,47
13	0,062	0,145	0,127	670,140	–	–
14	0,078	0,185	0,162	853,579	0,027	227,45
15	0,078	0,326	0,287	1505,003	0,053	446,47
16	0,062	0,190	0,166	876,046	0,028	235,87
17	0,078	0,271	0,238	1250,419	0,043	362,23
18	0,078	0,271	0,238	1250,419	0,043	362,23
19	0,078	0,311	0,273	1433,867	0,051	429,62
20	0,078	0,339	0,298	1564,902	–	–
21	0,078	0,311	0,273	1433,867	0,051	429,62
22	0,078	0,311	0,273	1433,867	0,051	429,62
23	0,078	0,408	0,358	1883,119	0,067	564,41
24	0,048	0,086	0,076	396,840	0,005	42,12

## 4 ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

Основной задачей гидравлического расчета является выбор диаметров трубопровода, а также нахождение потерь напора в теплосети.

Для проведения гидравлического расчета необходимо разбить тепловую сеть на участки, а затем для каждого из них определить тепловые нагрузки на отопление и горячее водоснабжение.

Расход теплоносителя на отопление, кг/с:

$$G_{от} = \frac{Q_{от}^{максимальная}}{c(\tau_1' - \tau_2')}, \quad (10)$$

где  $c$  – удельная теплоемкость теплоносителя, ккал/кг·°С;

$\tau_1'$  – температура в подающем трубопроводе тепловой сети, в рассматриваемой сети  $\tau_1' = 95$  °С;

$\tau_2'$  – температура в обратном трубопроводе после системы отопления, в рассматриваемой сети  $\tau_2' = 70$  °С.

Расход теплоносителя на горячее водоснабжение, кг/с:

$$G_{гвс} = \frac{Q_{гвс}}{c(\tau_1' - \tau_2')}. \quad (11)$$

### 4.1 Предварительный гидравлический расчет

Предварительный гидравлический расчет выполняется без учета потерь в местных сопротивлениях.

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

$$d_{вн} = \frac{0,117 \cdot G_{сум}^{0,38}}{R_{уд}^{0,19}}, \quad (12)$$

где  $G_{\text{сум}}$  – суммарный расход теплоносителя на участке, кг/с;

$R_{\text{уд}}$  – удельные потери напора в трубопроводе, Па/м, предварительно принимаются по длине трубопровода.

По вычисленному значению  $d_{\text{вн}}$  подбирается стандартный диаметр (исходя из соотношения  $d_{\text{вн}} \leq d_{\text{см}}$ ) по которому уточняется  $R_{\text{уд}}$ :

$$R_{\text{уд.ут.}} = \frac{13,62 \cdot 10^{-6} \cdot G_{\text{сум}}^2}{d_{\text{см}}^{5,25}}. \quad (13)$$

#### 4.2 Уточненный гидравлический расчет

Долю потерь давления в местных сопротивлениях рекомендуют определять по формуле Б. Л. Шифринсона:

$$\gamma = \zeta \sqrt{G_{\text{сум}}}, \quad (14)$$

где  $\zeta$  – коэффициент, принимаемый для водяных сетей 0,01.

$$l_{\text{экв}} = \gamma l, \quad (15)$$

где  $l$  – длина участка трубопровода, м.

Суммарные потери напора, учитывающие местные сопротивления находим по формуле:

$$\Delta H = \frac{R_{\text{уд.ут.}} (l + l_{\text{экв}})}{9810}. \quad (16)$$

Приведем подробный расчет на примере участка 2. Этот участок подходит к зданию, обозначенному на схеме номером 1. Все данные, необходимые для расчета возьмем из таблицы 4 и таблицы 3.

Таблица 4 – Характеристика тепловой сети

Участок	Длина участка l, м	Удельные потери напора $R_{уд}$ , Па/м
1	255	78,48
2	97	78,48
3	97	78,48
4	122	78,48
5	13	58,86
6	63	78,48
7	48	68,67
8	63	78,48
9	10	58,86
10	54	78,48
11	32	68,67
12	32	68,67
13	16	58,86
14	18	58,86
15	8	49,05
16	58	78,48
17	8	49,05
18	214	78,48
19	5	49,05
20	82	78,48
21	15	58,86
22	70	78,48
23	48	68,67
24	9	49,05
25	25	58,86
26	4	49,05
27	36	68,67

Участок	Длина участка l, м	Удельные потери напора $R_{уд}$ , Па/м
28	135	58,86
29	3,5	49,05
30	52	78,48
31	10	58,86
32	80	78,48
33	10	58,86
34	50	78,48
35	55	78,48
36	5,5	49,05
37	22	58,86
38	37,5	68,67
39	7	49,05
40	60	78,48
41	10,5	49,05
42	175,5	78,48

Расход теплоносителя на участке 2 включает в себя расход на отопление здания №1 и расход на горячее водоснабжение здания №1:

$$G_{\Sigma 2} = G_{om1} + G_{zsc1}.$$

По формуле (10) найдем расход теплоносителя на отопление здания №1:

$$G_{om1} = \frac{0,170 \cdot 10^6}{3600 \cdot (95 - 70)} = 1,889 \text{ кг/с}.$$

По формуле (11) найдем расход теплоносителя на горячее водоснабжение здания №1:

$$G_{\text{вс1}} = \frac{0,003 \cdot 10^6}{3600(95 - 70)} = 0,031 \text{ кг / с.}$$

Теперь найдем расход на участке 2, сложив все составляющие:

$$G_{\Sigma 2} = 1,889 + 0,031 = 1,922 \text{ кг / с.}$$

Зная расход теплоносителя, найдем внутренний диаметр трубопровода на участке 2 по формуле (12):

$$d_{\text{вн2}} = \frac{0,117 \cdot 1,922^{0,38}}{78,48^{0,19}} = 0,065 \text{ м.}$$

Подберем ближайший стандартный диаметр из ряда стандартных диаметров, удовлетворяющий условию  $d_{\text{вн}} \leq d_{\text{см}}$ :

$$d_{\text{см2}} = 80 \text{ мм.}$$

По выбранному диаметру трубопровода для участка 2 уточним удельное сопротивление трубопровода, пользуясь формулой (13):

$$R_{\text{уд.ум.2}} = \frac{13,62 \cdot 10^{-6} \cdot 1,922^2}{0,08^{5,25}} = 28,66 \text{ Па / м.}$$

Определим долю потерь давления в местных сопротивлениях на участке 2 по формуле (14):

$$\gamma_2 = 0,01 \sqrt{1,922} = 0,014.$$

Найдем длину трубопровода эквивалентную местным сопротивлениям на участке 2 по формуле (15):

$$l_{\text{экв}} = 0,014 \cdot 97 = 1,36 \text{ м.}$$

Найдем суммарные потери напора, учитывая местные сопротивления, для участка 2 по формуле (16):

$$\Delta H = \frac{28,66 \cdot (97 + 1,34)}{9810} = 0,287 \text{ м.}$$

Гидравлический расчет остальных участков теплосети произведен в программе Mathcad (приложение Б). Полученные результаты сведем в таблицу 5.

Таблица 5 – Гидравлический расчет

Уч-к	G <sub>Σ</sub> , кг/с	G <sub>от</sub> , кг/с	G <sub>ГВС</sub> , кг/с	d <sub>вн</sub> , м	d <sub>ст</sub> , м	R <sub>уд.у</sub> , Па/м	γ	l <sub>экв</sub> , м	ΔH, м
1	79,85	70,019	9,831	0,27	0,3	48,29	0,089	22,79	1,367
2	1,92	1,889	0,031	0,065	0,08	28,66	0,014	1,34	0,287
3	31,53	27,772	3,758	0,19	0,2	63,28	0,056	5,45	0,661
4	46,41	40,368	6,042	0,22	0,25	42,48	0,068	8,31	0,564
5	5,86	5,038	0,822	0,106	0,125	25,79	0,024	0,32	0,035
6	12,31	10,582	1,728	0,133	0,150	43,68	0,035	2,21	0,29
7	4,10	3,524	0,576	0,09	0,1	40,80	0,020	0,97	0,204
8	4,10	3,524	0,576	0,087	0,1	40,80	0,020	1,28	0,267
9	4,10	3,524	0,576	0,092	0,1	40,80	0,053	0,20	0,042
10	28,23	24,738	3,492	0,182	0,2	50,73	0,010	2,87	0,294
11	0,98	0,98	0	0,052	0,065	22,52	0,052	0,32	0,074
12	27,25	23,758	3,492	0,184	0,2	47,26	0,020	1,67	0,162
13	4,02	3,456	0,564	0,092	0,1	39,13	0,020	0,32	0,065
14	23,23	20,302	2,928	0,178	0,2	34,34	0,048	0,87	0,066
15	0,16	0,16	0	0,028	0,032	24,81	0,004	0,03	0,02
16	23,07	20,142	2,928	0,168	0,175	68,28	0,048	2,77	0,423
17	0,33	0,33	0	0,037	0,04	32,89	0,006	0,05	0,027



Продолжение таблицы 5

УЧ-К	$G_{\Sigma}$ , кг/с	$G_{от}$ , кг/с	$G_{гвс}$ , кг/с	$d_{вн}$ , М	$d_{ст}$ , М	$R_{уд.у}$ , Па/м	$\gamma$	$l_{экв}$ , М	$\Delta H$ , М
18	22,71	19,782	2,928	0,167	0,175	66,32	0,048	10,20	1,516
19	4,21	3,619	0,591	0,096	0,1	43,02	0,021	0,10	0,022
20	10,33	8,881	1,449	0,124	0,125	80,14	0,032	2,64	0,691
21	6,12	5,262	0,858	0,107	0,125	28,10	0,025	0,37	0,044
22	4,21	3,619	0,591	0,088	0,1	43,02	0,021	1,44	0,313
23	8,19	7,302	0,888	0,106	0,125	50,34	0,029	1,37	0,253
24	1,62	1,62	0	0,067	0,08	20,49	0,013	0,12	0,019
25	6,57	5,682	0,888	0,11	0,125	32,40	0,026	0,64	0,085
26	2,36	2,063	0,297	0,077	0,08	43,38	0,015	0,06	0,018
27	4,21	3,619	0,591	0,09	0,1	43,02	0,021	0,74	0,161
28	31,53	27,772	3,758	0,2	0,2	63,28	0,056	7,58	0,92
29	2,42	2,104	0,316	0,078	0,08	46,04	0,016	0,06	0,017
30	29,10	25,658	3,442	0,184	0,2	53,91	0,054	2,81	0,301
31	3,50	3,021	0,479	0,087	0,1	29,60	0,019	0,19	0,031
32	7,52	6,477	1,043	0,11	0,125	42,39	0,027	2,19	0,355
33	3,50	3,021	0,479	0,087	0,1	29,60	0,019	0,19	0,031
34	4,02	3,456	0,564	0,087	0,1	39,13	0,020	1,00	0,203
35	18,09	16,17	1,920	0,153	0,175	42	0,043	2,34	0,245
36	9,77	9,77	0	0,092	0,1	34,38	0,019	0,11	0,02
37	14,33	12,41	1,920	0,148	0,150	59,14	0,038	0,83	0,138
38	8,04	6,912	1,128	0,116	0,125	48,51	0,028	1,06	0,191
39	4,02	3,456	0,564	0,095	0,1	39,13	0,020	0,14	0,028
40	4,02	3,456	0,564	0,087	0,1	39,13	0,020	1,20	0,244
41	5,28	4,541	0,739	0,105	0,125	20,88	0,023	0,24	0,023
42	1,01	0,957	0,053	0,051	0,065	23,79	0,010	1,77	0,43

## 5 РАСЧЕТ 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.

Нормативные технологические потери состоят из:

- потери на утечку теплоносителя ( $Q_{ум}$ , ккал/ч);
- потери на заполнение участков трубопровода ( $Q_{зан}$ , Гкал);
- часовые тепловые потери ( $Q_{из}$ , Гкал/ч).

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

$$Q_{ум} = m_{ум.н} \rho_{ср} c [b\tau_1 + (1-b)\tau_2 - t_c], \quad (17)$$

где  $m_{ум.н}$  – среднегодовая норма потерь теплоносителя, обусловленная утечкой, м<sup>3</sup>/ч;

$\rho_{ср}$  – средняя плотность теплоносителя, для средней температуры теплоносителя, протекающего в трубопроводе, принимаем равным 970 кг/м<sup>3</sup>;

$b$  – доля массового расхода теплоносителя, теряемого подающим трубопроводом тепловой сети, принимаем 0,6.

Среднегодовая норма потерь теплоносителя определяется по формуле:

$$m_{ум.н} = a_n V_{ср}, \quad (18)$$

где  $a_n$  – норма среднегодовой утечки теплоносителя, м<sup>3</sup>/ч·м<sup>3</sup>, 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;

$V_{cp}$  – среднегодовая емкость трубопроводов тепловых сетей, м<sup>3</sup>.

$$V_{cp} = V_{y\partial} \cdot l, \quad (19)$$

где –  $V_{y\partial}$  удельный объем трубопровода, м<sup>3</sup>/м.

$$V_{y\partial} = \frac{\pi \cdot d_{cm}^2}{4}. \quad (20)$$

Нормативные технологические затраты тепловой энергии на заполнение новых участков трубопроводов, Гкал, определяются:

$$Q_{зан} = 1,5V_{cp}\rho_{cp}c(\tau_1 - t_c) \cdot 10^{-6}, \quad (21)$$

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

$$Q_{из} = q_n l \beta \cdot 10^{-6}, \quad (22)$$

где  $\beta$  – коэффициент, учитывающий тип прокладки, для канальной принимаем 1,15;

$q_n$  – количество тепла, теряемого трубопроводом на 1 метр длины, в зависимости от типа изоляции, принимаем равным 45,33 ккал/м·ч.

Приведем подробный расчет потерь на примере участка 2. Все данные необходимы для расчета возьмем из таблицы 4 и таблицы 5.

Найдем нормативные потери, обусловленные утечкой, на участке 2. Для этого по формуле (20) найдем удельный объем трубопровода:

$$V_{y\partial 2} = \frac{\pi \cdot 0,08^2}{4} = 0,005 \text{ м}^3 / \text{м}.$$

Теперь определим среднегодовой объем теплоносителя, заполняющего участок 2, по формуле (19):

$$V_{cp2} = 0,005 \cdot 97 = 0,487 \text{ м}^3.$$

Зная среднегодовой объем, можем найти норму потерь теплоносителя для участка 2 по формуле (18):

$$m_{ут.н2} = \frac{0,25}{100} \cdot 0,487 = 1,22 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 / \text{ч}.$$

Теперь по формуле (17) найдем потери тепла, обусловленные утечкой теплоносителя:

$$Q_{ут2} = 0,00122 \cdot 970 \cdot [0,6 \cdot 95 + (1 - 0,6) \cdot 70 - 5] = 94,54 \text{ ккал} / \text{ч}.$$

Найдем потери тепла, обусловленный заполнением новых участков или участков после планового ремонта, по формуле (21)

$$Q_{зан2} = 1,5 \cdot 0,487 \cdot 970 \cdot (90 - 5) \cdot 10^{-6} = 0,064 \text{ Гкал}.$$

Найдем потери тепла через изоляцию для участка 2 по формуле (22):

$$Q_{из2} = 45,33 \cdot 97 \cdot 1,15 \cdot 10^{-6} = 0,005 \text{ Гкал} / \text{ч}.$$

Расчет тепловых потерь оставшихся участков произведен в программе Mathcad (приложение В). Полученные значения сведем в таблицу 6.

Таблица 6 – Тепловые потери

Участок	Q <sub>ут</sub> , ккал/ч	Q <sub>зан</sub> , Гкал	Q <sub>из</sub> , Гкал/ч
1	3495,055	2,359	0,013
2	94,542	0,064	0,005
3	590,885	0,399	0,005

Продолжение таблицы 6

Участок	Q <sub>ут</sub> , ккал/ч	Q <sub>зап</sub> , Гкал	Q <sub>из</sub> , Гкал/ч
4	1161,211	0,784	0,006
5	30,934	0,021	0,001
6	215,871	0,146	0,003
7	73,099	0,049	0,003
8	95,943	0,065	0,003
9	15,229	0,01	0,001
10	328,946	0,222	0,003
11	20,59	0,014	0,002
12	194,931	0,132	0,002
13	24,366	0,016	0,001
14	109,649	0,074	0,001
15	1,248	0,001	0
16	270,505	0,183	0,003
17	1,949	0,001	0
18	998,071	0,674	0,011
19	7,615	0,005	0
20	195,122	0,132	0,004
21	35,693	0,024	0,001
22	106,603	0,072	0,004
23	114,218	0,077	0,003
24	8,772	0,006	0
25	59,488	0,04	0,001
26	3,899	0,003	0
27	54,824	0,037	0,002
28	822,366	0,555	0,007
29	3,411	0,002	0
30	316,763	0,214	0,003

## Продолжение таблицы 6

Участок	Q <sub>ут</sub> , ккал/ч	Q <sub>зап</sub> , Гкал	Q <sub>из</sub> , Гкал/ч
31	15,229	0,01	0,001
32	190,362	0,128	0,004
33	15,229	0,01	0,001
34	76,145	0,051	0,003
35	256,513	0,173	0,003
36	8,376	0,006	0
37	75,384	0,051	0,001
38	89,232	0,06	0,002
39	10,66	0,007	0
40	91,374	0,062	0,003
41	24,985	0,017	0,001
42	112,921	0,076	0,001

## 6 ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ

После проведенных расчетов я пришел к выводу, что для обеспечения тепловой энергией данного района достаточно одной котельной на которой будет установлено современное оборудование. То есть, в своей работе я предлагаю для увеличения эффективности и надежности эксплуатируемой тепловой системы произвести полный демонтаж устаревшей котельной №4.

Данное проектное решение влечет за собой ряд изменений в тепловой сети, а именно:

- участок №3, который ранее использовался как резервный, то есть распределял нагрузку между котельными в аварийных ситуациях, теперь является основным, это значит, что он непосредственно и постоянно участвует в передаче теплоносителя абонентам;
- общая длина тепловой сети сократилась более чем на 30 метров, что благоприятно влияет на эффективность передачи теплоносителя от котельной до потребителя, уменьшая потери тепла и напора;
- участок №3 сольется с участком №28, но так как диаметры у них одинаковые это не повлечет за собой практически никаких серьезных материальных и физических затрат;
- для слияния участков №3 и №28 придется проложить участок трубопровода длиной 97 м, что по текущей рыночной стоимости для стальной трубы 200х6 менее чем 30 т.руб.

Произведем выбор оборудования для котельной №5. Теперь на эту котельную приходится тепловая нагрузка всего района, следовательно, оборудование частично или полностью должно быть заменено.

### 6.1 Выбор насосов

Зимние сетевые насосы.

Подача равна расчетному расходу теплоносителя на магистральном участке тепловой сети. Рабочий напор насосов определяют по пьезометрическому графику.

$$G_{\Sigma \text{зима}} = 79,85 \text{ кг/с} = 287,46 \text{ м}^3 / \text{ч};$$

$$H = \Delta H + H_{\text{норм}} + h, \quad (23)$$

где  $\Delta H$  – потери напора на самом длинном участке;

$H_{\text{норм}}$  – нормированное значение напора, которое должно приходиться самому отдаленному абоненту;

$h$  – свободная высота здания, наиболее удаленного от котельной.

Найдем напор для выбора зимнего сетевого насоса по формуле (23):

$$H = 9,396 + 15 + 15 = 39,396 \text{ м.}$$

Зимний сетевой насос выбираем исходя из параметров расхода (>290 м<sup>3</sup>/ч) и напора (>39,4 м).

Выберем насос марки 1Д315-50 мощностью 75 кВт.

Для экономии энергии можно выбрать специальную версию этого насоса с первой обточкой рабочего колеса (1Д315-50а), он имеет немного меньшие параметры напора (42), но потребляет 55 кВт вместо 75. Показатели модификации а внесу в таблицу 7.

Таблица 7 – Технические характеристики 1Д315-50а

Наименование	Значение
Подача, м <sup>3</sup> /час	300
Напор, м	42
Мощность электродвигателя, кВт	55
Марка электродвигателя	A225M2
Диаметр рабочего колеса, мм	200
Масса, кг	190



Летние сетевые насосы.

$$G_{\text{Лето}} = 9,831 \text{ кг/с} = 35,392 \text{ м}^3/\text{ч};$$

Летний сетевой насос выбираем исходя из параметров расхода ( $>36 \text{ м}^3/\text{ч}$ ) и напора ( $>39,4 \text{ м}$ ).

Выберем насос марки 1К80-50-200-СД мощностью 18,5 кВт.

Для экономии энергии можно выбрать специальную версию этого насоса с первой обточкой рабочего колеса (1К80-50-200а), он имеет немного меньшие параметры напора (45), но потребляет 15 кВт вместо 18,5.

Применение насосов 1К80-50-200-СД:

- для перекачивания чистой (холодной/горячей) воды в системах водоснабжения структур ЖКХ, муниципальных водоканалов

- для обеспечения дополнительной циркуляции в системах водо- и тепло-снабжения жилых и хозяйственных объектов

- в системах подачи технической воды, для обеспечения технологических процессов промышленных предприятий включая нефтеперерабатывающие и металлургические отрасли

- для обеспечения водой садоводческих и дачных посёлков

- в системах пожаротушения жилых и гражданских объектов

- на объектах теплоэнергетики – ТЭС, АЭС, для обеспечения работы основных и вспомогательных систем станций связанных с использованием чистой и технической воды.

Особенности и преимущества:

- корпуса насосов имеют собственные опорные лапы, что позволяет производить разборку насоса без отсоединения трубопроводов (за исключения насосов 1К8/18, 1К20/30, К45/30, К160/30, К290/30);

- различные исполнения по диаметру рабочих колес, в том числе по требованию Заказчика, позволяет оптимально подобрать параметры насоса в зависимости от требуемых характеристик на месте эксплуатации;

- применение сальниковой набивки из современных материалов на основе терморасширенного графита значительно сокращает время на обслуживание и ремонт насоса;

- использование одинарных торцовых уплотнений расширяет область применения насосов и позволяет использовать их во взрывоопасных и пожароопасных помещениях.

Характеристики насоса 1К-80-50-200а внесем в таблицу 8.

Таблица 8 – Характеристики насоса 1К-80-50-200а

Наименование	Значение
Насос	1К80-50-200а
Подача	45 м <sup>3</sup> /час
Напор	50.00 м
Частота вращения	2900 (48) об/мин (сек-1)
Максимальная потребляемая мощность	12.00 кВт
Допускаемый кавитационный запас	3.50 м, не менее
Масса насоса	58 кг

Подпиточные насосы.

Подачу подпиточных насосов принимают равной расходу воды на компенсацию утечки из тепловой сети:

$$G_{\text{подпит}} = 0,01 \cdot G_{\Sigma} = 2,875 \text{ м}^3 / \text{ч}.$$

Выберем насос марки 1НСУ-2 мощностью 0,55 кВт.

Подача 4,5 м<sup>3</sup>/ч, напор 20 м, что вполне достаточно для подпитки тепловой сети.

## 6.2 Выбор котлоагрегатов

Выбор котлов основывается на тепловой нагрузке, а суммарную часовую тепловую нагрузку, Гкал/ч, мы можем рассчитать по формуле:

$$Q_{\text{котельная}} = Q_{\text{отопление}}^{\text{максимальная}} + Q_{\text{гвс}} + Q_{\text{потери}}, \quad (24)$$

где  $Q_{\text{отопление}}^{\text{максимальная}}$  – сумма всех нагрузок на отопление, Гкал/ч;

$Q_{\text{гвс}}$  – сумма всех нагрузок на горячее водоснабжение, Гкал/ч;

$Q_{\text{потери}}$  – сумма всех потерь тепла, Гкал/ч.

Рассчитаем тепловую нагрузку на котельную №5 по формуле (23):

$$Q_{\text{котельная}} = 6,299 + 0,886 + 0,119 = 7,304 \text{ Гкал/ч.}$$

Котельная №5 рассчитана на установку 4 котлов, выберем 4 котла приближенных по габаритам к текущим, для уменьшения затрат, которые могли бы возникнуть, если бы понадобилось расширять здание.

Выберем 4 котла марки КВм-2,5КБ. Суммарная номинальная мощность 8,6 Гкал/ч. То есть в максимальной загрузке при температуре самой холодной пятидневки котлы будут загружены не более чем на 85%.

Приведу характеристики выбранного котла в таблице 9.

Таблица 9 – Основные технические характеристики котлоагрегата КВм-2,5КБ

Наименование	Значение
Теплопроизводительность, МВт	2,5
Теплопроизводительность, Гкал/ч	2,15
Температурный график воды, °С	70-95
Рабочее (избыточное) давление теплоносителя на выходе, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	0,6(6,0)
Расчетный КПД (топливо №1), %	82
Расход расчетного топлива (топливо №1), кг/ч (м <sup>3</sup> /ч - для газа и жидкого топлива)	470
Расход расчетного топлива (топливо №2), кг/ч (м <sup>3</sup> /ч - для газа и жидкого топлива)	685
Габариты транспортабельного блока, LxВxН, мм	4335x2200x2655

Продолжение таблицы 9

Наименование	Значение
Габариты компоновки, LxVxH, мм	7120x3610x3310
Масса котла без топки (транспортабельного блока котла), кг	4880
Масса котла без топки (в объеме заводской поставки), кг	13110(12630)
Базовая комплектация в сборе	Блок котла в обшивке и изоляции  Топка ТЛПХ-1,1/3,5  Вентилятор ВДН-6,3-1500
Вид расчетного топлива	1 - Каменный уголь; 2 - Бурый уголь

Котёл Гефест-2,5-95ТЛПХ (КВм-2,5КБ) представляет собой конструкцию, основными элементами которой являются блок котла и механическая топка. Котлы работают с уравновешенной тягой, которую обеспечивает дутьевой вентилятор ВДН, вентилятор К3G-280-АК54-02 и дымосос.

Блок котла Гефест-2,5-95ТЛПХ (КВм-2,5КБ), собранный на опорной раме, представляет собой газоплотную сварную конструкцию, состоящую из трубной системы с конвективной поверхностью нагрева, и имеет каркас с теплоизоляцией и съёмной декоративной обшивкой.

Топочная камера котла Гефест-2,5-95ТЛПХ (КВм-2,5КБ) (за исключением пода) полностью экранирована газоплотными панелями, сваренными из труб диаметром 51x2,5мм с шагом 80мм и проставок (плавников).

Конвективная поверхность нагрева (КП) состоит из пакетов, которые при необходимости легко демонтируются. В нижней части конвективного блока

находится зольный бункер с лазом для очистки от зольных отложений и осмотра труб конвективного пучка.

Отвод газов производится через газоход в верхней части задней стенки котла.

Для управления работой котла Гефест-2,5-95ТЛПХ (КВм-2,5КБ), обеспечения расчётных режимов работы и безопасных условий эксплуатации котёл оснащается необходимой предохранительной и запорной арматурой, контрольно-измерительными приборами и приборами безопасности, которые устанавливаются согласно схеме расположения арматуры.

Запорная арматура служит для отвода воды из котла Гефест-2,5-95ТЛПХ (КВм-2,5КБ) в тепловую сеть, подвода обратной воды в котёл, слива воды из котла, для периодической продувки и удаления шлама. Контрольно-измерительные приборы (термометры и манометры) обеспечивают измерение давления и температуры на входе и выходе воды из котла. Приборы безопасности обеспечивают отключение подачи топлива при достижении предельных значений температуры и давления воды в котле. Для удаления воздуха из котла служат трубки с кранами Ду15.

Блок котла Гефест-2,5-95ТЛПХ (КВм-2,5КБ) устанавливается на раму топки (ТЛПХ). Топка монтируется до установки блока.

Топка механическая с ленточной колосниковой решёткой прямого хода (ТЛПХ) состоит из угольного ящика, рамы с приводом, ведущим и ведомым валами, передвигающими ленточное колосниковое полотно, состоящее из трёх типов колосников: крайних, ведущих и ведомых. Топливо подаётся транспортом углеподачи и через угольный ящик самотёком поступает на решётку, где и сжигается в слое 100-200 мм. Определённая толщина слоя топлива на колосниковой решётке поддерживается при помощи регулятора слоя в угольном ящике и производится вручную посредством маховиков через червячные передачи. Под решёткой организованы камеры (зоны), куда подаётся необходимый воздух для горения. Подача воздуха должна быть непрерывна (иначе происходит спекание слоя и пережог колосников) и регулируется величиной открытия

воздушных шиберов. Воздух под колосниковую решётку подаётся от вентилятора ВДН. Воздух на вторичное дутье подается в верхнюю переднюю и нижнюю заднюю часть топki от вентилятора КЗG-280-АК54-02.

Удаление шлака с колосниковой решётки происходит за счёт движения, колосникового полотна, которое приводится в движение приводом. Удаление шлака из шлакового канала производится транспортером шлакозолоудаления.

Топка имеет собственную раму, независимую от котла. Рама топki состоит из двух щёк, соединённых между собой поперечными балками. Рама устанавливается на башмаки и имеет свободное расширение в продольном и поперечном (от привода) направлениях. Для подъёма топочного блока грузоподъемными средствами имеются грузовые скобы, которые срезаются после монтажа.

Блок котла Гефест-2,5-95ТЛПХ (КВм-2,5КБ), топка, вентиляторы поставляются отдельными грузовыми местами. Комплект автоматики, комплектующие поставляются упакованными в ящике.

По требованию Заказчика (по дополнительному договору) котлы комплектуются вспомогательным оборудованием для котельной (дымосос, насосная группа, золоуловитель или циклон, транспортер углеподачи и линия шлакозолоудаления).

### **6.3 Выбор дополнительного оборудования**

Дополнительное оборудование для каждого котла индивидуально, поэтому выберем оборудование, подходящее непосредственно этому котлу, на сайте поставщиков.

1 Дымосос ДН-9м-1500. Характеристики выбранного нами дымососа сведем в таблицу 10.

Таблица 10 – Основные технические характеристики дымососа ДН-9м-1500

Наименование	Значение
Производительность на всасывании, м <sup>3</sup> /ч	14900
Установленная мощность двигателя, кВт	15
Потребляемая мощность, кВт	9.1
Габариты(LxVxH), мм	1205x1647x1368
Предельная температура среды на входе, °С	200
Температура среды, °С, на входе (в корпусе)	200
Вентиляторы и дымососы: Диаметр рабочего колеса, м	0.9
Частота вращения рабочего колеса двигателя(синхронная), тах, об/мин	1500
Типоразмер двигателя	АИР160S4
Полное давление, даПа	181
КПД тах, %	83
Предельная запыленность перемещаемой среды, г/м <sup>3</sup>	2
Масса с э/дв. (без э/дв.), кг	505
Угол разворота корпуса при поставке (монтаже)	255° (0°-270° через 15°)

Эксплуатация дымососов ДН-9м-1500 предусмотрена в следующих условиях:

- температура окружающей среды: от (-30)°С до (+40)°С;
- температура перемещаемой среды на входе в дымососы: от (-30)°С до (+200)°С;
- умеренный и тропический климат под навесом или в помещениях, где колебания температуры воздуха несущественно отличаются от колебаний на открытом воздухе и имеется сравнительно свободный доступ наружного воздуха.

Дымосос ДН-9м-1500 исполнен с посадкой рабочего колеса на вал двигателя-привода; корпус спиральный поворотный. Дымососы ДН-9м-1500 постав-

ляются с углом разворота нагнетательного патрубка 255°; при монтаже корпус может быть установлен с углом разворота нагнетательного патрубка от 0° до 270° через 15°. Направление вращения рабочего колеса - правое и левое.

Основными узлами дымососов ДН-9м-1500 являются: рабочее колесо, корпус (улитка), всасывающий патрубок, направляющий аппарат, электродвигатель-привод, постамент. Постамент служит общим несущим элементом, на котором с помощью болтовых соединений в единый поставочный блок монтируются улитка в сборе с направляющим аппаратом и двигатель с насаженным на его вал рабочим колесом.

Рабочее колесо состоит из основного диска, переднего конического диска, 16-ти назад загнутых лопаток и ступицы. Рабочие колёса отбалансированы на заводе-изготовителе, класс точности балансировки 4 (ГОСТ 22061).

С целью предотвращения перегрева подшипников электродвигателей, расположенных со стороны рабочих колёс (передних подшипников), посадочные поверхности ступиц рабочих колес вентиляторов выполняются со шлицевыми пазами.

Сварной спиральный корпус собран из двух боковых стенок и обечайки. Для создания необходимой жёсткости торцевые стенки корпуса усиливаются оребрением из полос. К передней стенке корпуса приваривается всасывающий патрубок цилиндрической формы. Для увеличения долговечности корпус дымососа имеет дополнительный броневой лист по образующей обечайки.

Регулирование производительности и полного давления дымососа осуществляется осевым направляющим аппаратом. Привод лопаток направляющего аппарата осуществляется вручную либо от колонки дистанционного или автоматического регулирования.

По отдельному договору с Заказчиком с дымососом ДН-9м-1500 может поставляться всасывающий карман. Всасывающий карман устанавливается на входе потока воздуха в корпус (крепится к патрубку болтами) и позволяет, изменяя направление потока на 90°, стабилизировать его и повысить КПД тягостанционной машины.



На внутренний рынок дымососы ДН-9м-1500 поставляются без упаковки, двигатель обернут полиэтиленовой пленкой; на экспорт, а также в районы Крайнего Севера и труднодоступные районы дымососы поставляются в ящиках.

2 Циклон батарейный ЦБ-16. Характеристики выбранного циклона внесем в таблицу 9.

Таблица 11 – Основные технические характеристики ЦБ-16

Наименование	Значение
Масса, кг	1670
Производительность, м <sup>3</sup> /ч	6500
Наименование изделия	ЦБ-16
Габаритные размеры (Длина, мм)	1800
Применяемость к котлам	ДКВр-2,5-13; КЕ-2,5-14СО
Коэффициент очистки, %	80
Аэродин. сопротивление, кгс/см <sup>2</sup>	100
Запыл. поступлен. газов, г/м <sup>3</sup>	600
Температура среды, °С, на входе (в корпусе)	300
Расчетное давление внутри циклона, Па (кгс/м <sup>3</sup> ), не более	4

Циклон ЦБ-16 применяется для улавливания:

- золы в промышленных котельных и на тепловых электростанциях;
- угольной пыли в сушильных установках обогатительных и брикетных фабрик и системах промышленной вентиляции;
- неслипающейся пыли в различных отраслях хозяйства.

Циклон ЦБ-16 представляет собой сварной корпус, в котором установлены ряды параллельно расположенных циклонных элементов с полуулиточным вводом газов в них.

Циклон ЦБ-16 делится на три части: верхняя камера очищенных газов, средняя камера запылённых газов, нижняя - бункер сбора пыли.

Циклонные элементы состоят из полых цилиндрических корпусов с конусной частью внизу и входными патрубками с аппаратами закручивания (полулитками). Внутри элементов вертикально установлены выхлопные патрубки.

Циклонные элементы в циклоне ЦБ-16 устанавливаются ступенчато по ходу движения газов так, что входные патрубки циклонных элементов последующего ряда располагаются ниже предыдущего. Нижние крышки входных патрубков последнего по ходу газа ряда циклонных элементов являются частью нижней трубной доски, что обеспечивает вынос пыли, осевшей на нижней трубной доске. На верхней крышке циклона установлен взрывной клапан.

Циклон опирается на опорный пояс.

Дымовой газ поступает во входное окно циклона ЦБ-16 и засасывается во входные патрубки циклонных элементов. Под действием гравитационных и центробежных сил из потока запылённого газа сепарируются частицы золы, которые осаждаются в бункере-накопителе. Зола периодически удаляется через шибер или другие устройства для выгрузки. Очищенный газ отводится из циклона через выходное окно.

3 Арматура к котлу КВм-2,5 КБ. Состав арматуры к котлу, выбранному нами ранее, сведем в таблицу 10.

Таблица 12 – Состав арматуры к котлу КВм-2,5 КБ

Наименование	Количество
Затвор дисковый поворотный Ду125 Ру16	2
Кран шаровой Ду(DN)25 Ру(PN)16 11Б41п025	7
Кран шаровой Ду15 11Б41п-015	15
Крепеж в упаковке (Гефест-2,5-95-ТЛПХ)	1
Лоток	1
Отвод	7

## Продолжение таблицы 12

Наименование	Количество
Труба 13.2000.017-14	13
Труба 23.2011.408	15
Труба 13.2000.017-16	15
Труба 13.2000.017-17	5
Труба 23.2011.408-02	15
Труба гнутая	35
Фланец 125-16 ГОСТ 12820-80	2
Заслонка воздушная	2
Клапан предохранительный Ду50 Ру16 Б 2203 ТУ 24.155-98	2
Короб для вентилятора	1
Кран трехходовой натяжной с фланцем Ду15 Ру16 (11Б38бк3) ТУ 3712-028-05749381-2002	2
Крепеж в упаковке (Гефест-1,8-95-ТЛПХ; Ге- фест -2,5-95 ТЛПХ; Гефест -3,5-95 ТЛПХ; Ге- фест-1,8-95 Шп)	1
Манометр МПЗ-У У2-1,6МПа-1,5 ТУ 25- 02.180335-84	2
Отвод П 90-89х4-20 ГОСТ 17375-2001	5
Патрубок	1
Прокладка	2
Прокладка	1
Прокладка	2
Сетка	1
Термометр БТ-51.112.0-160 °С G1/2.46	2
Труба	1
Труба	1

4 Вентилятор ВДН-6,3-1500.

С этим оборудованием котел, по заверению производителей, будет работать корректно и стабильно.

## 7 БЕСКАНАЛЬНАЯ ПРОКЛАДКА ТРУБОПРОВОДОВ

В последнее время все более востребованными являются строительные технологии бесканальной или бестраншейной прокладки трубопроводов, которые проводятся без вскрытия грунта. Этот метод выгоден и удобен, так как не ведет к нарушению имеющихся на участке коммуникаций, не требует перекрытия транспортных магистралей в районе проведения работ, не влияет на состояние грунта, зеленые насаждения. Благоустроенность участка остается без изменений. Кроме того, бесканальный способ прокладки трубопроводов более чем в 2 раза дешевле в сравнении с традиционным, так как не требует предварительного копания траншей и последующего восстановления грунта или дорожного покрытия.

Для прокладки трубопровода бесканальным методом требуется меньшее число рабочих, а отсутствие на участке работ механизмов и траншей повышают безопасность труда. Среди современных способов бесканального бурения можно выделить основные.

Это горизонтально направленное бурение или ГНБ, прокалывание земли, продавливание трубопровода и замена имеющихся труб с одновременным демонтажем старых труб и прокладкой нового трубопровода.

Горизонтально направленное бурение или ГНБ – это управляемая бесканальная прокладка трубопроводов протяженностью до 1400 м. Данный метод позволяет проложить трубопровод различной глубины под существующими коммуникациями и препятствиями, не нарушая и не задевая их. Способ ГНБ был разработан в Америке в начале 70-х годов прошлого века. Первым объектом, на котором был опробован данный способ прокладки труб, стал трубопровод длиной в 231 м, состоящий из труб диаметром в 115 м, проложенный под рекой Паджейро в штате Калифорния. Вот уже 40 лет метод ГНБ является основным способом прокладки коммуникаций в США как наиболее выгодный, удобный и экономичный.

Технологически способ горизонтально направленного бурения достаточно прост. У точки входа трубопровода располагается техника, предназначенная для бурения горизонтальных скважин. Первая скважина (пилотная) бурится по заданной траектории с точкой выхода в рассчитанном месте. После бурения пилотной скважины нужного диаметра, которая может быть выполнена в несколько этапов, затягиваются трубы. Для лучшего формирования канала и обеспечения нормального продвижения трубы по заданной траектории используется буровой раствор – бентонит. Основными преимуществами ГНБ являются отсутствие нарушений подземных и надземных коммуникаций и сооружений, а также возможность прокладывать трубопроводы в местности с любым типом рельефа. ГНБ дает возможность проложить трубопровод под любыми надземными сооружениями, реками и иными водоемами, возвести подземные фундаменты или барьеры, санировать существующие трубопроводные коммуникации. Использование ГНБ позволяет значительно ускорить процесс строительства, сэкономив не только время, но и средства. Важно также и то, что установки ГНБ позволяют проложить трубы в ппу изоляции без причинения вреда окружающей среде, причинения вреда плодородному почвенному слою, естественному ландшафту. В целом экономия при прокладке трубопроводов методом ГНБ составляет до 30 % в сравнении с традиционным траншейным способом. Справедливо считается, что за бестраншейным горизонтально направленным бурением – будущее строительства.

Для прокладки трубы ППУ, диаметр которых составляет до 150 мм, применяется бесканальный метод прокалывания земли. В качестве кожуха для трубопровода используется стальная труба, в передней части которой закрепляется конус. Установки, работающие по принципу гидравлического домкрата, придают толкающее усилие, необходимое для прокола земли. Конус раздвигает грунт, уплотняет его, помещая трубопровод в нужное место. Для прокладки трубопроводов данным способом используются также тракторы, бульдозеры, виброударная строительная техника.

Бесканальное бурение, предназначенное для прокладки трубопроводов диаметром до 2000 мм, использует технологию забивки труб. Открытый конец трубы, оснащенный специальным ножевым устройством, вдавливается в грунт. Разработанный грунт проходит внутрь трубы, откуда впоследствии удаляется ручным или механизированным способом.

В настоящее время применяется также бесканальное бурение для замены устаревшего трубопровода диаметром до 800 мм. Данный способ является удобным решением для санации трубопроводов и замены труб с одновременным удалением старого трубопровода и затягиванием нового. При использовании этого метода не требуется изолировать место проведения работ, так как более 90 % их осуществляется под землей, не оказывая влияния на движение транспорта, пешеходов и т. д. Разрушающая головка строительного оборудования продвигается по существующему трубопроводу, одновременно затягивая трубу нужного диаметра.

Предположительно, оптимальным вариантом было бы применение этого способа для прокладки третьего участка, это позволит сэкономить, а так же избежать различных неприятных ситуаций, в виде каких либо надстроек, мешающих стандартной прокладке.

## 8 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ

### 8.1 Безопасность

В данной выпускной квалификационной работе разработан проект котельной №5 города Биробиджан Еврейской автономной области.

Ремонт оборудования, арматуры, приборов контроля и регулирования предусмотрено производить специализированной организацией, имеющей соответствующие лицензии.

На период пуско-наладочных и ремонтных работ в помещении котельной может находиться персонал специализированной организации. Характеристика рабочего места персонала (в помещении котельной):

- 1 Количество рабочих мест – 15;
- 2 Площадь помещения котельной 347 м<sup>2</sup>;
- 3 Объём помещения котельной 6266 м<sup>3</sup>;
- 4 Используемое оборудование и аппаратура:
  - 4 водогрейных котла КВм-2,5КБ.
  - насосы типа 1Д315-50а, 1К80-50-200а, 1НСУ-2.

Санитарно-защитная зона для котельной, согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов», составляет 300 м.

Биробиджан является городом, административным центром Еврейской автономной области.

Климатические условия [1]:

- Температура воздуха, обеспеченностью 0,94 – минус 36 °С
- Преобладающее направление ветра за декабрь – февраль – З
- Средняя скорость ветра за период со средней суточной температурой воздуха менее 8 °С – 2 м/с
- Средняя максимальная температура воздуха наиболее теплого месяца: 42 °С.



### **8.1.1 Характеристика опасных производственных факторов и мероприятий по обеспечению травмобезопасности оборудования**

В котельной №5 имеются следующие виды опасных производственных факторов и соответствующие мероприятия по обеспечению травмобезопасности.

#### **1 Механические опасности:**

- вращающиеся элементы насосного оборудования и горелочных вентиляторов;
- потенциальная энергия тел, находящихся на высоте, разрушающихся конструкций;
- потенциальная энергия ударной волны.

Все площадки, фундаменты, опорно-подвесные конструкции запроектированы на соответствующие нагрузки.

#### **2 Термические опасности:**

- нагретые элементы котлов;
- трубопроводы горячей воды;
- дымоходы.

Все источники термической опасности имеют тепловую изоляцию, рассчитанную на наружную температуру не более 60<sup>0</sup>С.

#### **3 Электрические опасности:**

- металлические части электрооборудования;
- кабели и провода;
- блуждающие токи в конструкциях здания.

Согласно ПУЭ «Правила устройства электроустановок» котельная относится к особо опасным помещениям, т.к. в помещении токопроводящий бетонный пол и имеется возможность одновременного прикосновения к нетокопроводящим частям электрооборудования с одной стороны и имеющим соединение с землей металлоконструкциям с другой стороны.

По степени надежности и бесперебойности электроснабжения электроприемники котельной относятся к потребителям III категории.

Электроснабжение котельной предусмотрено от одного энергоисточника одним вводом. Ввод подводящего кабеля производится в шкаф ШУ с узлом учета электроэнергии на базе счетчика типа «Меркурий 230-ART-01» 5..50А 3х380В, 50Гц прямого включения, фирмы «Инкотекс».

Система TN-C. Все сети при напряжении 1х220В являются трехпроводными, при напряжении 3х380В – четырехпроводными.

Для распределения электроэнергии и управления электрооборудованием в котельной предусмотрена установка электроарматуры в шкафу ШУ. Для установки оборудования автоматизации котельной предусмотрен шкаф ШУ.

Напряжение силовых цепей ~380/220В, цепей управления ~220В.

Для защиты персонала от поражения током все электродвигатели оснащены защитными средствами, предусмотрено заземление всех металлических частей электрооборудования, не находящихся под напряжением, но которые могут оказаться под ним вследствие повреждения изоляции. Прокладка кабелей предусматривается в перфорированном лотке под перекрытием и по конструкциям котлов, подводка кабелей к приборам выполнена в рукавах из ПВХ. Газопроводы при входе в котельную и выходе из нее заземляются на контур заземления котельной, в местах фланцевых соединений газопроводов предусмотрены постоянные токопроводящие перемычки.

Предусмотрен отдельный контур молниезащиты, к которому присоединена дымовая труба.

Предусмотрено рабочее, аварийное и наружное (вход в котельную) электроосвещение котельной.

### **8.1.2 Гигиеническая оценка условий и характера труда**

Котельная работает в полуавтоматическом режиме. На котельной работает постоянный работающий персонал.

Температура в котельной поддерживается 18 °С во время отопительного сезона, а для теплого периода температура в котельной зависит от расчетной температуры наружного воздуха, но не должна превышать более чем на 3 °С.

Освещение котельной является естественным, представлено боковым освещением 10 окнами с общей площадью остекления 45 м<sup>2</sup>. Значение КЕО=1,5%, освещенность 350 лк, что соответствует [2] для IVв разряда зрительных работ (средней точности).

Оборудование, установленное в котельной, имеет уровень шума 53 дБА. Насосное оборудование установлено на опорных рамах. Уровень звука не превышает 80 дБА, что допустимо для персонала при пуско-наладочных и ремонтных работах по [3].

Котлы и вспомогательное оборудование отвечают требованиям стандартов системы безопасности труда, оснащены необходимыми средствами автоматики, отключающими котел при аварийных ситуациях и осуществляющие звуковую и световую сигнализацию при отклонении технологических параметров от нормы. Нагревающиеся в процессе эксплуатации поверхности оборудования и трубопроводов теплоизолированы.

Основные меры, принятые для безопасного обслуживания котельной:

- естественная вентиляция помещения котельной;
- система аварийного предупреждения при загазованности по метану и угарному газу.

### **8.1.3 Выводы**

Согласно проекту, рабочие места для персонала в котельной №5 города Биробиджан соответствуют всем требованиям нормативных актов.

Частичная автоматизация работы котельной обеспечивает возможное снижение влияния работы котельной на здоровье персонала, обеспечивает защиту от аварийных режимов.

### **8.2 Экологичность проекта**

В настоящее время с увеличением мощностей промышленных объектов, концентрацией жилых и общественных зданий вопросы охраны окружающей среды приобретают исключительное значение.

Основным источником образования вредных веществ при работе котельной являются котлоагрегаты. При горении угля в атмосферу поступают следующие вредные вещества:

- окись углерода;
- окислы азота;
- окислы серы.

При сжигании различных топлив, наряду с основными продуктами сгорания ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}_2$ ) в атмосферу поступают загрязняющие вещества в твердом состоянии (зола и сажа), а также токсичные газообразные вещества – сернистый и сернистый ангидрид ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ). Все продукты неполного сгорания являются вредными ( $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$ ).

Окислы азота вредно воздействуют на органы дыхания живых организмов и вызывают ряд серьезных заболеваний, а также разрушающе действуют на оборудование и материалы, способствуют ухудшению видимости.

Окислы азота образуются за счет окисления содержащегося в топливе азота и азота воздуха, и содержатся в продуктах сгорания всех топлив. Условием окисления азота воздуха является диссоциация молекулы кислорода воздуха под воздействием высоких температур в топке. В результате реакции в топочной камере образуется в основном окись азота  $\text{NO}$  (более 95%). Образование двуокиси азота  $\text{NO}_2$  за счет доокисления  $\text{NO}$  требует значительного времени и происходит при низких температурах на открытом воздухе.

В воде  $\text{NO}$  практически не растворяется. Очистка продуктов сгорания от  $\text{NO}$  и других окислов азота технически сложна и в большинстве случаев экономически нерентабельна. Вследствие этого, усилия направлены в основном на снижение образования окислов азота в топках котлов.

### **8.2.1 Расчёт 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 [4]:

$$M_{ms} = 0,01 \cdot B \cdot (\alpha_{yh} \cdot A^p + q_4^{yh} \cdot \frac{Q_n^p}{32680}) \cdot (1 - \eta_3), \quad (25)$$

где  $B$  – расход натурального топлива котлоагрегата за любой промежуток времени – 0,19 кг/с;

$A^p$  – зольность топлива на рабочую массу, принимаем равным 0,09;

$\alpha_{yh}$  – доля золовых частиц и недожога, уносимых из котла;

$q_4^{yh}$  – потери теплоты с уносом от механической неполноты сгорания топлива, %;

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

$\eta_3$  – доля твердых частиц, улавливаемых в золоуловителях.

Произведём расчёт выбросов в атмосферу частиц золы и недожога по формуле (25):

$$M_{ms} = 0,01 \cdot 0,19 \cdot (0,25 \cdot 0,09 + 0,06 \cdot \frac{23800}{32680}) \cdot (1 - 0,94) = 7,5 \cdot 10^{-6} \text{ кг/с.}$$

### 8.2.2 Расчёт выбросов в атмосферу окислов серы

Количество окислов серы, поступающих в атмосферу с дымовыми газами, в пересчете на SO<sub>2</sub> за любой промежуток времени (т/год, кг/ч, кг/с и т.д.) вычисляется по формуле [4]:

$$M_{SO_2} = 0,02 \cdot B \cdot S^p \cdot (1 - \eta'_{SO_2}) \cdot (1 - \eta''_{SO_2}), \quad (26)$$

где  $S^p$  – содержание серы в топливе на рабочую массу, 0.6 %;

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

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

Рассчитаем выброс окислов серы в атмосферу по формуле (26):

$$M_{SO_2} = 0,02 \cdot 0,19 \cdot 0,006 \cdot (1-0,1) \cdot (1-0) = 20,94 \cdot 10^{-6} \text{ кг/с.}$$

### 8.2.3 Расчёт 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 [4]:

$$M_{CO_2} = 0,001 \cdot B \cdot C_{CO} \cdot (1-0,01q_4), \quad (27)$$

где  $C_{CO}$  – выход окиси углерода при сжигании твердого, жидкого или газообразного топлива (кг/т, кг/тыс.м<sup>3</sup>), определяется по формуле [4]:

$$C_{CO} = \frac{q_3 \cdot R \cdot Q_H^p}{1013}, \quad (28)$$

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

$R$  – коэффициент, учитывающий долю потери теплоты вследствие химической неполноты сгорания топлива, обусловленную содержанием в продукте неполного сгорания окиси углерода. Для твердого топлива принимаем равным 1;

Рассчитаем выбросы окиси углерода в атмосферу по формуле (28) и (27) соответственно:

$$C_{CO} = \frac{0,15 \cdot 1 \cdot 23800}{1013} = 3,524 \text{ кг/т};$$

$$M_{CO_2} = 0,001 \cdot 0,19 \cdot 3,524 \cdot (1-0,01 \cdot 0,006) = 669,52 \cdot 10^{-6} \text{ кг/с.}$$

### 8.2.4 Расчёт 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 [4]:

$$M_{NO_2} = 10^{-3} \cdot K \cdot B_y \cdot (1 - 0,01q_4) \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3, \quad (29)$$

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.);

$\beta_1$  – коэффициент, учитывающий влияние на выход окислов азота качества сжигаемого топлива (содержание  $N^r$ );

$\beta_2$  – коэффициент, учитывающий конструкцию горелок. Для прямоточных горелок принимаем 0,85;

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

Расход условного топлива определяется [4]:

$$B_y = B \cdot \frac{Q_H^p}{29320}, \quad (30)$$

где  $Q_H^p = 25104$  кДж/кг – низшая теплота сгорания топлива.

Рассчитаем условный расход топлива по формуле (30):

$$B_y = 0,19 \cdot \frac{23800}{29320} = 0,154 \text{ кг/с.}$$

Значение  $\beta_1$  при сжигании твердого топлива ( $\alpha_r \leq 1,25$ ) вычисляют по формуле [4]:

$$\beta_1 = 0,178 + 0,47 \cdot N^r, \quad (31)$$

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

Рассчитаем сжигание твердого топлива по формуле (31):

$$\beta_1 = 0,178 + 0,47 \cdot 0,011 = 0,1832.$$

Выбрасываемые в атмосферу с дымовыми газами в единицу времени для водогрейных котлов вычисляется по формуле (29):

$$M_{NO_2} = 10^{-3} \cdot 0,1738 \cdot 0,103 \cdot (1 - 0,01 \cdot 0,006) \cdot 0,183 \cdot 0,85 \cdot 1 = 2,78 \cdot 10^{-6} \text{ кг/с.}$$

### 8.2.5 Расчёт дымовой трубы

В котельной №5 города Биробиджан продукты сгорания топлива удаляются в атмосферу через стальную дымовую трубу, высота которой составляет 8 метров.

В настоящее время минимально допустимая высота дымовой трубы, при которой обеспечивается значение максимальной приземной концентрации вредного вещества  $C_m$ , равное предельно допустимой концентрации (ПДК), для нескольких труб одинаковой высоты при наличии фоновой загрязненности  $C_f$  от других источников, рассчитывается по формуле [5] [6]:

$$H = \sqrt{\frac{A \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta \cdot (M_{SO_2} + 5,88 \cdot M_{NO_2})}{ПДК_{SO_2}}} \sqrt[3]{\frac{N}{V_1 \cdot \Delta T}}, \quad (32)$$

где  $A$  – коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы для неблагоприятных метеорологических условий, определяющий условия вертикального и горизонтального рассеивания вредных веществ в атмосферном воздухе,  $C^{2/3} \cdot \text{мг} \cdot \text{К}^{1/3} / \text{Г}$ ;

$F$  – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе;

$M_{SO_2}$ ,  $M_{NO_2}$  – массовый выброс серного ангидрида и двуокиси азота, выбрасываемых в атмосферу в единицу времени, кг/с;

$m$  и  $n$  – безразмерные коэффициенты, учитывающие условия выхода дымовых газов из устья дымовой трубы;



$\eta$  – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа, местности; в случае ровной или слабопересеченной местности с перепадом высот, не превышающим 50 м на 1 км,  $\eta=1,0$ ;

$N$  - число одинаковых дымовых труб;

$V_1$  - объем дымовых газов, приходящийся на дымовые трубы, м<sup>3</sup>/с;

$\Delta T = T_r - T_b = 74,9$  К – разность температур выбрасываемых дымовых газов  $T_r=(423 - 50)$  К и окружающего атмосферного воздуха  $T_b=298,1$  К ;

$ПДК_{SO_2}$  – предельно допустимая концентрация вещества, лимитирующего чистоту воздушного бассейна, мг/м<sup>3</sup> .  $ПДК_{SO_2} = 0,5$  мг/м<sup>3</sup>.

При определении значения  $\Delta T$  следует принимать температуру окружающего атмосферного воздуха  $T_b$  равной средней максимальной температуре наружного воздуха наиболее жаркого месяца года по СНиП 2.01.01-82, а температуру выбрасываемых в атмосферу дымовых газов  $T_r$  – в устье дымовой трубы.

Безразмерные коэффициенты  $m$  и  $n$  определяются в зависимости от параметров  $f$  и  $U_m$  [6]:

$$f = 1000 \cdot \frac{\omega_0^2 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T}, \quad (33)$$

$$U_m = 0.65 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_1 \cdot \Delta T}{H}}, \quad (34)$$

где  $\omega_0$  – средняя скорость дымовых газов в устье дымовой трубы, м/с;

$D$  – диаметр устья дымовой трубы, м.

Коэффициент  $m$  определяется в зависимости от  $f$  по формуле [6]:

$$m = \frac{1}{0.67 + 0.1 \cdot \sqrt{f} + 0.34 \sqrt[3]{f}}. \quad (35)$$

Рассчитаем безразмерный коэффициент  $m$  по формуле (35):

$$m = \frac{1}{0.67 + 0.1 \cdot \sqrt{1,376} + 0.34 \sqrt[3]{1,376}} = 0,935.$$

Коэффициент  $n$  определяется в зависимости от  $U_m$ .  $n = 1$  при  $U_m \geq 2$ .

Рассчитаем высоту дымовой трубы по формуле (32):

$$H = \sqrt{\frac{250 \cdot 1 \cdot 0,935 \cdot 1 \cdot 1 \cdot (20,94 \cdot 10^{-6} + 5,88 \cdot 2,78 \cdot 10^{-6})}{0,5}} \sqrt[3]{\frac{1}{18,448 \cdot 74,9}} = 12,5$$

Принимаем высоту трубы  $H=13$  м.

Таким образом труба соответствует стандарту.

### 8.3 Чрезвычайная ситуация

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.

Источник ЧС – опасное природное явление, авария или опасное техногенное происшествие, широко распространенная инфекционная болезнь людей, сельскохозяйственных животных, растений, а также 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:

Согласно ГОСТ 12.1.004. 91 "ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования", проектируемая котельная по пожарной безопасности относится к ка-

тегории " 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

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.

Пожарный инвентарь котельной, первичные средства пожаротушения и щиты для их хранения должны находиться на видных местах и должны быть окрашены масляной краской в красный 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.

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.

В качестве водоисточника на территории электрокотельной 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 21-01-97. 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.

Требования по пожарной безопасности выполнены в соответствии с постановлением от 25 апреля 2012 г. N 390 «Правила противопожарного режима».

## 9 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.

В данной выпускной квалификационной работе осуществляется модернизация системы теплоснабжения микрорайона Сопка города Биробиджан Еврейской автономной области. Выполнено частичное переоборудование котельной, а именно произведена замена котельных агрегатов, насосов и дополнительного оборудования.

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

Целью модернизация системы теплоснабжения котельной является замена устаревшего тепломеханического оборудования на более современное.

Для достижения поставленной цели будут решены следующие задачи:

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

### **9.1 Капитальные вложения**

Рассчитаем капитальные вложения и приведем сметную стоимость тепломеханического оборудования, а также стоимость тепловой сети. В сметной

стоимости приведены цены 2018 года. Сметная стоимость оборудования представлена в таблице 13.

Таблица 13 - Сметная стоимость теплотехнического оборудования

Наименование	Количество	Цена, тыс. руб.	Ст-ть монтажа, тыс. руб.
Котлоагрегат КВм-2,5 КБ	4	11309	20
Дымосос ДН-9м-1500	4	380,8	4,8
Циклон батарейный ЦБ-16	4	1216,2	12
Арматура к котлу КВм-2,5 КБ	4	792,4	10
Зимний сетевой насос	1	159	3,3
Летний сетевой насос	1	44,562	3,3
Подпитывающий насос	1	31,6	3,3

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

$$K_{\sum_{кот}} = K_{обор.к} + K_{ср.к} + K_{мр.к}, \quad (36)$$

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

$K_{ср.к}$  – строительные работы, тыс. руб. так как котельная уже построена и не требует пристроек примем их равными 0;

$K_{мр.к}$  – монтажные работы, тыс. руб.

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

Рассчитаем капитальные вложения в теплотехническое оборудование по формуле (36):

$$K_{\Sigma\text{кот}} = 13999,97 \text{ тыс.руб.};$$

Суммарные капитальные вложения в данный проект составят:

$$K_{\Sigma} = (K_{\Sigma\text{кот}}) \cdot K_{\text{тр}}, \quad (37)$$

где  $K_{\text{тр}}$  – коэффициент учитывающий транспортировку и доставку оборудования (принимаем  $K_{\text{тр}} = 1,2$ ).

$$K_{\Sigma} = 13999,97 \cdot 1,2 = 16799,964 \text{ тыс.руб.}$$

## 9.2 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:

$$I_{\text{ам}} = \sum K_i \cdot \alpha_{\text{ам},i}, \quad (38)$$

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

Ежегодные нормы отчислений на амортизацию определяются как:

$$\alpha_i = \frac{1}{T_{\text{сл}}}, \quad (39)$$

где  $T_{\text{сл}}$  – срок службы соответствующего оборудования, или амортизационный период.

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

Далее приведем таблицу 14, в которой сведены амортизационные отчисления оборудования котельной.

Таблица 14 – Амортизационные отчисления оборудования котельной

Наименование	Капитальные вложения оборудования К <sub>i</sub> , тыс. руб.	Срок эксплуатации, лет	Ежегодные нормы отчислений на амортизацию	Амортизационные отчисления, тыс. руб.
Котлоагрегат КВм-2,5 КБ	2827,2	15	0,06666667	753,92
Дымосос ДН-9м-1500	95,2	15	0,06666667	25,3867
Циклон батарейный ЦБ-16	304,05	12	0,08333333	101,35
Арматура к котлу КВм-2,5 КБ	198,1	15	0,06666667	52,8267
Зимний сетевой насос	162,3	10	0,1	16,23
Летний сетевой насос	47,862	10	0,1	4,7862
Подпитывающий насос	34,9	15	0,06666667	2,3267

Определим суммарные амортизационные отчисления котельной:

$$I_{\Sigma \text{ам}} = 956,826 \text{ тыс.руб.}$$



### 9.3 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:

$$I_{\text{экс}} = \sum K_i \cdot \alpha_{\text{экс},i}, \quad (40)$$

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

$K_i$  - капиталовложения или балансовая стоимость основных фондов.

Далее в таблицу 15 сведем эксплуатационные затраты на оборудования котельной.

Таблица 15 – Эксплуатационные затраты на оборудования котельной

Наименования оборудования	Норма ежегодных отчислений на эксплуатацию, ТР и ТО $\alpha_{i_{экс}}$	Капитальные вложения оборудования $K_i$ , тыс. руб.	Эксплуатационные издержки $I_{i_{экс}}$ , тыс. руб.
Котлоагрегат КВМ-2,5 КБ	0,03	11309	339,264
Дымосос ДН-9м-1500	0,05	380,8	19,04
Циклон батарейный ЦБ-16	0,084	1216,2	102,1608
Арматура к котлу КВМ-2,5 КБ	0,01	792,4	7,924
Зимний сетевой насос	0,05	162,3	8,115
Летний сетевой насос	0,05	47,862	2,3931
Подпитывающий насос	0,05	34,9	1,745

Определим суммарные эксплуатационные издержки котельной:

$$I_{экс} = 480,6419 \text{ тыс.руб.}$$

#### 9.4 Расчет издержек на топливо

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

$$I_m = B_{усл} \cdot (1 + \alpha_n) \cdot T_m, \quad (41)$$

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

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

$T_m$  – цена топлива с учетом транспортных расходов ( $T_m = 1340$  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:

$$B_{\text{усл}} = Q_{\text{выр}} \cdot \epsilon \cdot 10^{-3}, \quad (42)$$

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

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

Удельную норму расхода условного топлива вычисляют по формуле:

$$\epsilon = \frac{142,86 \cdot 100 \%}{\eta_{\text{ка}}^{\text{бр}}}, \quad (43)$$

где  $\eta_{\text{ка}}^{\text{бр}}$  – КПД брутто котлоагрегата (82 %).

$$\epsilon = \frac{142,86 \cdot 100 \%}{82} = 174,23 \text{ кг у.т./Гкал};$$

$$B_{\text{усл}} = 33418,5 \cdot 174,23 \cdot 10^{-3} = 5822,5 \text{ т у.т.};$$

$$I_m = 5822,5 \cdot (1 + 0,02) \cdot 1340 = 7958,21 \text{ тыс.руб.}$$

## 9.5 Расчет затрат на воду

Расчет затрат на воду производится исходя из общего количества потребляемой воды на выработку тепловой энергии и цены 1 м<sup>3</sup> воды.

Общее количество воды на регулируемый период складывается из следующих расходов:

$$V = V_{сет} + V_{подп} + V_{хоз.быт}, \quad (44)$$

где  $V$  – годовой расход воды, всего, м<sup>3</sup>;

$V_{сет}$  – расход воды на наполнение трубопроводов тепловых сетей, м<sup>3</sup>;

$V_{подп}$  – расход воды на подпитку системы теплоснабжения, м<sup>3</sup>;

$V_{хоз.быт}$  – расход воды на хозяйственно-бытовые нужды котельной, м<sup>3</sup>.

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:

$$V_{подп} = n_{ум} \cdot V_{сет} \cdot Z_{подп}, \quad (48)$$

где  $n_{ум}$  – норма утечки в один час;

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

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

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

где  $a_{\partial}$  – норма расхода воды на одну душевую сетку, м<sup>3</sup>/сут;

$N_{\delta}$  – количество душевых сеток;  
 $K_{\delta}$  – коэффициент использования душевых;  
 $a$  – бытовые нужды котельной, м<sup>3</sup>/чел.сут;  
 $M$  – численность работающих в сутки, чел. 8 с учетом административно-го персонала  
 $Z$  – продолжительность работы котельной в регулируемом периоде, сут.

$$V_{\text{хоз.быт}} = (0,5 \cdot 1 \cdot 0,4 \cdot 0,2 \cdot 8) \cdot 219 = 70 \text{ м}^3;$$

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

$$V = 128 + 1686 + 70 = 1882 \text{ м}^3.$$

Затраты на воду определяются:

$$I_{\text{в}} = V \cdot T_{\text{в}}, \tag{49}$$

где  $T_{\text{в}}$  – тариф на воду по данным г. Биробиджан (принимается равным  $T_{\text{в}} = 22,46$  руб/м<sup>3</sup>).

$$I_{\text{в}} = 1849 \cdot 22,46 = 41,56 \text{ тыс.руб.}$$

## 9.6 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 электрокотеной 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 16.

Таблица 16 – Штатная численность рабочих на предприятии

Персонал	Численность персонала, чел
Начальник	1
Мастер по эксплуатации и ремонту оборудования котельной и тепловых сетей	1
Бригадир	1
Слесарь по ремонту оборудования	2
Электрик	1
Электросварщик	1
Машинист котлоагрегата	8
Итого	15

### 9.7 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:

$$\Phi ЗП_{год} = N_{раб} \cdot 12 \cdot ЗП_{ср.зн}, \quad (50)$$

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

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

Из письма Амурстата на сентябрь 2017г. – «Среднемесячная номинально начисленная заработная плата работников организаций по видам экономической деятельности Российской Федерации за 2017 гт.», принимаем  $ЗП_{ср} = 37337,6$  руб.

$$\Phi ЗП_{год} = 15 \cdot 12 \cdot 37337,6 = 6720,77 \text{ тыс.руб..}$$

## 9.8 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:

$$СНuMC = 0.2 \times \PhiЗП_{год} \quad (51)$$

$$СНuMC = 0,2 \cdot 6720,77 = 1344,15 \text{ тыс.руб.}$$

## 9.9 Расчет прочих затрат

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

$$I_{np} = 0,3 \cdot (I_{ам} + I_{экс} + I_{г} + I_{т} + СНuMC + \PhiЗП_{год}) + 0,03 \cdot K_{\Sigma} \quad (52)$$



$$I_{np} = 0,3 \cdot (956,826 + 480,642 + 41,56 + 7958,21 + 1344,15 + 6720,77) + 0,03 \cdot 16799,964 = 5754,646 \text{ тыс.руб. руб.}$$

Суммарные издержки находятся по формуле:

$$I_{\Sigma} = I_{ам} + I_{экс} + I_{г} + I_{м} + \PhiЗП_{\text{год}} + СНуМС + I_{IP}; \quad (53)$$

Определим сумму всех затрат:

$$I_{\Sigma} = 956,826 + 480,6419 + 41,56 + 7958,21 + 1344,15 + 6720,77 + 5754,646 = 23256,8 \text{ тыс.руб.}$$

### 9.10 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 це-

нах (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) [1].

Выручка с продажи тепловой энергии за год равна:

$$O_{pt} = Q_{пол.отп} \cdot T_k^m, \quad (54)$$

где  $T_k^m$  – тариф на тепловую энергию, руб/Гкал;

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

$$O_{pt} = 33418,5 \cdot 2044,46 = 68322,79 \text{ тыс.руб..}$$

Прибыль от реализации тепловой энергии:

$$П = O_{pt} - И_{\Sigma}, \quad (55)$$

$$П = 68322,79 - 23256,8 = 45066 \text{ тыс.руб..}$$

Ставка налога на прибыль на 2018 год равен 20 %.

Налог на прибыль равен:

$$H_{\Pi} = П \cdot 0,2, \quad (56)$$

$$H_{\Pi} = 45066 \cdot 0,2 = 9014 \text{ тыс.руб.}$$

Чистая прибыль от реализации тепловой энергии равна:

$$П_{\text{чист}} = П - H_{\Pi}, \quad (57)$$

$$П_{\text{чист}} = 45066 - 9014 = 36052 \text{ тыс.руб.}$$

### 9.11 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)

:

$$\mathcal{E}_t = O_p - I_{\Sigma} - H_{\Pi} - K_{\Sigma}; \quad (58)$$

Чистый дисконтированный доход определяется:

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=0}^{T_p} \frac{\mathcal{E}_t}{(1+E)^t} = \sum_{t=0}^{T_p} \frac{O_p - I_{\Sigma} - H_{\Pi} - K_{\Sigma}}{(1+E)^t}, \quad (59)$$

где  $O_p$  – выручка от реализации проекта;

$K_{\Sigma}$  – суммарные капиталовложения в проект;

$I_{\Sigma}$  – полные эксплуатационные расходы;

$H_{\Pi}$  – 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. [31];

Принимаем допущения:

1 реконструкция котельной проводится в летний период, когда тепловая сеть находится в плановом ремонте;

2 получение прибыли проводится постепенно, равными долями, возможно сразу же, так как реконструкция по своей продолжительности не должна превышать срок плановых ежегодных ремонтных работ.

Первый год:

$$ЧДД = \frac{68322,79 - 23256,8 - 9014 - 16800}{(1 + 0,125)^1} = 24579,56 \text{ тыс.руб.}$$

Второй год:

$$ЧДД = \frac{68322,79 - 23256,8 - 9014 + 24579,56}{(1 + 0,125)^2} = 47906,4 \text{ тыс.руб.}$$

По первым расчетам видно, что в первый же год прибыль покрывает все затраты, это обусловлено тем, что не было произведено дорогостоящих проектных решений, по типу постройки новой котельной, а также тем, что в Еврейской автономной области очень высокая ставка по тарифу – 1 Гкал стоит более чем 2 тысячи рублей.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе определены тепловые нагрузки микрорайона Сопка города Биробиджан Еврейской автономной области, которые составили 6,299 Гкал/ч на отопление и 0,886 Гкал/ч на горячее водоснабжение.

Определены расходы теплоносителя, составившие 79,84 кг/с.

Проведен гидравлический расчет двухтрубной тепловой системы теплоснабжения.

Определены тепловые потери, состоящие из нормированных потерь на утечку, потерь на заполнение трубопровода после планового ремонта и потерь через поверхность трубопровода. Сумма всех этих потерь составила 0,119 Гкал/ч.

Выбраны сетевые насосы для лета (1К80-50-200а) и зимы (1Д315-50а), а также подпитывающий насос (1НСУ-2). По суммарной тепловой нагрузке были выбраны 4 котлоагрегата марки (КВм-2,5КБ), к выбранным котлам было подобрано вспомогательное оборудование.

Рассмотрен экономный способ бесканальной прокладки, используемый в современных теплосетях.

Произведен расчет вредных выбросов.

Вычислена эффективность капиталовложения.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 МКД – 4 – 05.2004. Методика определения потребности в топливе, электрической энергии и воде при производстве и передаче тепловой энергии и теплоносителей в системах коммунального теплоснабжения». – М.: ЗАО «Роскоммунэнерго» при участии Российской ассоциации «Коммунальная энергетика» и Академии коммунального хозяйства им. К. Д. Памфилова, 2003. – 60с.

2 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. – 2008. №22. ст. 2577; №42. ст. 4825; №46. ст. 5337;

3 СНиП 23.01-99\*. Издание. Строительная климатология. – Взамен СНиП 2.01.01 – 82; введ. 2000 – 01 – 01; изм. 2003 – 01 – 01. - М.: Издательство стандартов, 2000. - 79с.

4 Соколов, Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: Учебник для вузов / Е.Я. Соколов. - М.: Издательство МЭИ. 2001. - 445 с.

5 Теплофизические свойства воды и водяного пара: С.Л. Ривкин. А.А. Александров. – М: Энергия. 2004. – 424с.

6 Фатнева, Ю.В. Теплоснабжение жилого района. Уч–мет пособие. – Благовещенск: Амурский гос. ун–т. 2003. – 35 с.

7 Баскаков, А.П. теплотехника: Учеб. для вузов / А.П. Баскаков, Б.В. Берг, О.К. Витт и др.; Под ред А.П. Баскакова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: ООО «ИД БАСТЕТ», 2010. – 328 с.

8 Правила технической эксплуатации теплоиспользующих установок и тепловых сетей и Правила техники безопасности при эксплуатации теплоиспользующих установок и тепловых сетей: Утв. Гос. инсп. по энергетическому надзору СССР 15.06.72. - Изд. офиц. - М.: Энергия, 1973. - 144 с.

9 Строительные нормы и правила: Безопасность труда в строительстве: СНиП 12-03-2001: введ. 01.09.2001. - М: ГУП ЦПП, 2001. - 38 с.

10 Строительные нормы и правила: Безопасность труда в строительстве. Часть 2. Строительное производство: СНиП 12-04-2002: введ. 01.01.2009. - М: ГУП ЦПП, 2003. - 34 с.

11 Михайлов, Л.А. Безопасность жизнедеятельности: учебник для вузов / Л.А. Михайлов, В.П. Соломин, А.Л. Михайлов [и др.]; под ред. Л.А. Михайлова. - СПб.: Питер, 2007. - 299 с.

12 Алексеев, В.С. Безопасность жизнедеятельности в вопросах и ответах: учеб. пособие / В.С. Алексеев, Е.О. Мурадова, И.С. Давыдова. - М.: Проспект, 2006. - 206 с.

13 СП 41-103-2000 Проектирование тепловой изоляции оборудования и трубопроводов/ Госстрой России.

14 СНиП 23-01-99 Строительная климатология / Госстрой России, ГУП ЦПП, 2000 – 48 с.

15 Судаков Г.В. Бизнес-планирование инвестиционных проектов по строительству ТЭС, котельных и тепловых сетей. Учебное пособие. В двух частях. Часть 1. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2009.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

$g_{\text{max}} := 9.80'$	$t_0 := -3'$	$h_0 := 525'$	$\alpha := 0.9'$	$t_c := 5$	
$w_0 := 2$	$t_{\text{нд}} := -2'$	$h_{\text{hm}} := 842'$	$f := 20.7'$	$T := 24$	
$L_1 := 10$	$t_{j1} := 22$	$V_1 := 840'$	$q_{o1} := 0.3'$	$a_1 := 3.4$	$n_{y1} := 3$
$L_2 := 15$	$t_{j2} := 22$	$V_2 := 2100'$	$q_{o2} := 0.3'$	$a_2 := 10'$	$n_{y2} := 5$
$L_3 := 15$	$t_{j3} := 22$	$V_3 := 1470'$	$q_{o3} := 0.3'$	$a_3 := 10'$	$n_{y3} := 5$
$L_4 := 15$	$t_{j4} := 22$	$V_4 := 1470'$	$q_{o4} := 0.3'$	$a_4 := 10'$	$n_{y4} := 5$
$L_5 := 15$	$t_{j5} := 22$	$V_5 := 1470'$	$q_{o5} := 0.3'$	$a_5 := 10'$	$n_{y5} := 5$
$L_6 := 7$	$t_{j6} := 22$	$V_6 := 310'$	$q_{o6} := 0.5'$	$a_6 := 0$	$n_{y6} := 2$
$L_7 := 15$	$t_{j7} := 22$	$V_7 := 1440'$	$q_{o7} := 0.3'$	$a_7 := 10'$	$n_{y7} := 5$
$L_8 := 6$	$t_{j8} := 18$	$V_8 := 72'$	$q_{o8} := 0.3'$	$a_8 := 0$	$n_{y8} := 2$
$L_9 := 4$	$t_{j9} := 18$	$V_9 := 150'$	$q_{o9} := 0.3'$	$a_9 := 0$	$n_{y9} := 1$
$L_{10} := 15$	$t_{j10} := 22$	$V_{10} := 1510'$	$q_{o10} := 0.3'$	$a_{10} := 10'$	$n_{y10} := 5$
$L_{11} := 15$	$t_{j11} := 22$	$V_{11} := 2192'$	$q_{o11} := 0.3'$	$a_{11} := 10'$	$n_{y11} := 5$
$L_{12} := 15$	$t_{j12} := 22$	$V_{12} := 1510'$	$q_{o12} := 0.3'$	$a_{12} := 10'$	$n_{y12} := 5$
$L_{13} := 9$	$t_{j13} := 22$	$V_{13} := 576'$	$q_{o13} := 0.4'$	$a_{13} := 0$	$n_{y13} := 3$
$L_{14} := 15$	$t_{j14} := 22$	$V_{14} := 756'$	$q_{o14} := 0.4'$	$a_{14} := 10'$	$n_{y14} := 5$
$L_{15} := 15$	$t_{j15} := 22$	$V_{15} := 1510'$	$q_{o15} := 0.3'$	$a_{15} := 10'$	$n_{y15} := 5$
$L_{16} := 9$	$t_{j16} := 22$	$V_{16} := 806'$	$q_{o16} := 0.41$	$a_{16} := 10'$	$n_{y16} := 3$
$L_{17} := 15$	$t_{j17} := 22$	$V_{17} := 1224'$	$q_{o17} := 0.3'$	$a_{17} := 10'$	$n_{y17} := 5$
$L_{18} := 15$	$t_{j18} := 22$	$V_{18} := 1224'$	$q_{o18} := 0.3'$	$a_{18} := 10'$	$n_{y18} := 5$
$L_{19} := 15$	$t_{j19} := 22$	$V_{19} := 1440'$	$q_{o19} := 0.3'$	$a_{19} := 10'$	$n_{y19} := 5$
$L_{20} := 15$	$t_{j20} := 22$	$V_{20} := 1570'$	$q_{o20} := 0.3'$	$a_{20} := 0$	$n_{y20} := 5$
$L_{21} := 15$	$t_{j21} := 22$	$V_{21} := 1440'$	$q_{o21} := 0.3'$	$a_{21} := 10'$	$n_{y21} := 5$
$L_{22} := 15$	$t_{j22} := 22$	$V_{22} := 1440'$	$q_{o22} := 0.3'$	$a_{22} := 10'$	$n_{y22} := 5$
$L_{23} := 15$	$t_{j23} := 22$	$V_{23} := 1890'$	$q_{o23} := 0.3'$	$a_{23} := 10'$	$n_{y23} := 5$
$L_{24} := 5$	$t_{j24} := 22$	$V_{24} := 400'$	$q_{o24} := 0.3'$	$a_{24} := 11.5$	$n_{y24} := 1$



$$\hat{E}_{\text{e}01} := 10^{-2} \cdot \sqrt{\left[ 2 \cdot g \cdot L_1 \cdot \left( 1 - \frac{273 + t_o}{273 + t_{j1}} \right) + w_0^2 \right]} = 0.065$$

$$\hat{E}_{\text{e}02} := 10^{-2} \cdot \sqrt{\left[ 2 \cdot g \cdot L_2 \cdot \left( 1 - \frac{273 + t_o}{273 + t_{j2}} \right) + w_0^2 \right]} = 0.078$$

$$\hat{E}_{\text{e}03} := 10^{-2} \cdot \sqrt{\left[ 2 \cdot g \cdot L_3 \cdot \left( 1 - \frac{273 + t_o}{273 + t_{j3}} \right) + w_0^2 \right]} = 0.078$$

$$\hat{E}_{\text{e}04} := 10^{-2} \cdot \sqrt{\left[ 2 \cdot g \cdot L_4 \cdot \left( 1 - \frac{273 + t_o}{273 + t_{j4}} \right) + w_0^2 \right]} = 0.078$$

$$\hat{E}_{\text{e}05} := 10^{-2} \cdot \sqrt{\left[ 2 \cdot g \cdot L_5 \cdot \left( 1 - \frac{273 + t_o}{273 + t_{j5}} \right) + w_0^2 \right]} = 0.078$$

$$\hat{E}_{\text{e}06} := 10^{-2} \cdot \sqrt{\left[ 2 \cdot g \cdot L_6 \cdot \left( 1 - \frac{273 + t_o}{273 + t_{j6}} \right) + w_0^2 \right]} = 0.055$$

$$\hat{E}_{\text{e}07} := 10^{-2} \cdot \sqrt{\left[ 2 \cdot g \cdot L_7 \cdot \left( 1 - \frac{273 + t_o}{273 + t_{j7}} \right) + w_0^2 \right]} = 0.078$$

$$\hat{E}_{\text{e}08} := 10^{-2} \cdot \sqrt{\left[ 2 \cdot g \cdot L_8 \cdot \left( 1 - \frac{273 + t_o}{273 + t_{j8}} \right) + w_0^2 \right]} = 0.05$$

$$\hat{E}_{\text{e}09} := 10^{-2} \cdot \sqrt{\left[ 2 \cdot g \cdot L_9 \cdot \left( 1 - \frac{273 + t_o}{273 + t_{j9}} \right) + w_0^2 \right]} = 0.043$$

$$\hat{E}_{\text{e}010} := 10^{-2} \cdot \sqrt{\left[ 2 \cdot g \cdot L_{10} \cdot \left( 1 - \frac{273 + t_o}{273 + t_{j10}} \right) + w_0^2 \right]} = 0.078$$

$$\hat{E}_{\text{e}011} := 10^{-2} \cdot \sqrt{\left[ 2 \cdot g \cdot L_{11} \cdot \left( 1 - \frac{273 + t_o}{273 + t_{j11}} \right) + w_0^2 \right]} = 0.078$$

$$\hat{E}_{\text{e}012} := 10^{-2} \cdot \sqrt{\left[ 2 \cdot g \cdot L_{12} \cdot \left( 1 - \frac{273 + t_o}{273 + t_{j12}} \right) + w_0^2 \right]} = 0.078$$

$$\hat{E}_{\delta\delta 13} := 10^{-2} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot L_{13} \left( 1 - \frac{273 + t_o}{273 + t_{j13}} \right) + w_0^2} = 0.062$$

$$\hat{E}_{\delta\delta 14} := 10^{-2} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot L_{14} \left( 1 - \frac{273 + t_o}{273 + t_{j14}} \right) + w_0^2} = 0.078$$

$$\hat{E}_{\delta\delta 15} := 10^{-2} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot L_{15} \left( 1 - \frac{273 + t_o}{273 + t_{j15}} \right) + w_0^2} = 0.078$$

$$\hat{E}_{\delta\delta 16} := 10^{-2} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot L_{16} \left( 1 - \frac{273 + t_o}{273 + t_{j16}} \right) + w_0^2} = 0.062$$

$$\hat{E}_{\delta\delta 17} := 10^{-2} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot L_{17} \left( 1 - \frac{273 + t_o}{273 + t_{j17}} \right) + w_0^2} = 0.078$$

$$\hat{E}_{\delta\delta 18} := 10^{-2} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot L_{18} \left( 1 - \frac{273 + t_o}{273 + t_{j18}} \right) + w_0^2} = 0.078$$

$$\hat{E}_{\delta\delta 19} := 10^{-2} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot L_{19} \left( 1 - \frac{273 + t_o}{273 + t_{j19}} \right) + w_0^2} = 0.078$$

$$\hat{E}_{\delta\delta 20} := 10^{-2} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot L_{20} \left( 1 - \frac{273 + t_o}{273 + t_{j20}} \right) + w_0^2} = 0.078$$

$$\hat{E}_{\delta\delta 21} := 10^{-2} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot L_{21} \left( 1 - \frac{273 + t_o}{273 + t_{j21}} \right) + w_0^2} = 0.078$$

$$\hat{E}_{\delta\delta 22} := 10^{-2} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot L_{22} \left( 1 - \frac{273 + t_o}{273 + t_{j22}} \right) + w_0^2} = 0.078$$

$$\hat{E}_{\delta\delta 23} := 10^{-2} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot L_{23} \left( 1 - \frac{273 + t_o}{273 + t_{j23}} \right) + w_0^2} = 0.078$$

$$\hat{E}_{\delta\delta 24} := 10^{-2} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot L_{24} \left( 1 - \frac{273 + t_o}{273 + t_{j24}} \right) + w_0^2} = 0.048$$

$$\begin{aligned}
Q_{\text{omax}1} &:= 10^{-6} \cdot \alpha \cdot V_1 \cdot q_{o1} \cdot (t_{j1} - t_o) \cdot (1 + \hat{E}_{\text{e}81}) = 0.17 \\
Q_{\text{omax}2} &:= 10^{-6} \cdot \alpha \cdot V_2 \cdot q_{o2} \cdot (t_{j2} - t_o) \cdot (1 + \hat{E}_{\text{e}82}) = 0.454 \\
Q_{\text{omax}3} &:= 10^{-6} \cdot \alpha \cdot V_3 \cdot q_{o3} \cdot (t_{j3} - t_o) \cdot (1 + \hat{E}_{\text{e}83}) = 0.317 \\
Q_{\text{omax}4} &:= 10^{-6} \cdot \alpha \cdot V_4 \cdot q_{o4} \cdot (t_{j4} - t_o) \cdot (1 + \hat{E}_{\text{e}84}) = 0.317 \\
Q_{\text{omax}5} &:= 10^{-6} \cdot \alpha \cdot V_5 \cdot q_{o5} \cdot (t_{j5} - t_o) \cdot (1 + \hat{E}_{\text{e}85}) = 0.317 \\
Q_{\text{omax}6} &:= 10^{-6} \cdot \alpha \cdot V_6 \cdot q_{o6} \cdot (t_{j6} - t_o) \cdot (1 + \hat{E}_{\text{e}86}) = 0.089 \\
Q_{\text{omax}7} &:= 10^{-6} \cdot \alpha \cdot V_7 \cdot q_{o7} \cdot (t_{j7} - t_o) \cdot (1 + \hat{E}_{\text{e}87}) = 0.311 \\
Q_{\text{omax}8} &:= 10^{-6} \cdot \alpha \cdot V_8 \cdot q_{o8} \cdot (t_{j8} - t_o) \cdot (1 + \hat{E}_{\text{e}88}) = 0.014 \\
Q_{\text{omax}9} &:= 10^{-6} \cdot \alpha \cdot V_9 \cdot q_{o9} \cdot (t_{j9} - t_o) \cdot (1 + \hat{E}_{\text{e}89}) = 0.03 \\
Q_{\text{omax}10} &:= 10^{-6} \cdot \alpha \cdot V_{10} \cdot q_{o10} \cdot (t_{j10} - t_o) \cdot (1 + \hat{E}_{\text{e}90}) = 0.326 \\
Q_{\text{omax}11} &:= 10^{-6} \cdot \alpha \cdot V_{11} \cdot q_{o11} \cdot (t_{j11} - t_o) \cdot (1 + \hat{E}_{\text{e}91}) = 0.473 \\
Q_{\text{omax}12} &:= 10^{-6} \cdot \alpha \cdot V_{12} \cdot q_{o12} \cdot (t_{j12} - t_o) \cdot (1 + \hat{E}_{\text{e}92}) = 0.326 \\
Q_{\text{omax}13} &:= 10^{-6} \cdot \alpha \cdot V_{13} \cdot q_{o13} \cdot (t_{j13} - t_o) \cdot (1 + \hat{E}_{\text{e}93}) = 0.146 \\
Q_{\text{omax}14} &:= 10^{-6} \cdot \alpha \cdot V_{14} \cdot q_{o14} \cdot (t_{j14} - t_o) \cdot (1 + \hat{E}_{\text{e}94}) = 0.185 \\
Q_{\text{omax}15} &:= 10^{-6} \cdot \alpha \cdot V_{15} \cdot q_{o15} \cdot (t_{j15} - t_o) \cdot (1 + \hat{E}_{\text{e}95}) = 0.326 \\
Q_{\text{omax}16} &:= 10^{-6} \cdot \alpha \cdot V_{16} \cdot q_{o16} \cdot (t_{j16} - t_o) \cdot (1 + \hat{E}_{\text{e}96}) = 0.19 \\
Q_{\text{omax}17} &:= 10^{-6} \cdot \alpha \cdot V_{17} \cdot q_{o17} \cdot (t_{j17} - t_o) \cdot (1 + \hat{E}_{\text{e}97}) = 0.272 \\
Q_{\text{omax}18} &:= 10^{-6} \cdot \alpha \cdot V_{18} \cdot q_{o18} \cdot (t_{j18} - t_o) \cdot (1 + \hat{E}_{\text{e}98}) = 0.272 \\
Q_{\text{omax}19} &:= 10^{-6} \cdot \alpha \cdot V_{19} \cdot q_{o19} \cdot (t_{j19} - t_o) \cdot (1 + \hat{E}_{\text{e}99}) = 0.311 \\
Q_{\text{omax}20} &:= 10^{-6} \cdot \alpha \cdot V_{20} \cdot q_{o20} \cdot (t_{j20} - t_o) \cdot (1 + \hat{E}_{\text{e}100}) = 0.339 \\
Q_{\text{omax}21} &:= 10^{-6} \cdot \alpha \cdot V_{21} \cdot q_{o21} \cdot (t_{j21} - t_o) \cdot (1 + \hat{E}_{\text{e}101}) = 0.311 \\
Q_{\text{omax}22} &:= 10^{-6} \cdot \alpha \cdot V_{22} \cdot q_{o22} \cdot (t_{j22} - t_o) \cdot (1 + \hat{E}_{\text{e}102}) = 0.311 \\
Q_{\text{omax}23} &:= 10^{-6} \cdot \alpha \cdot V_{23} \cdot q_{o23} \cdot (t_{j23} - t_o) \cdot (1 + \hat{E}_{\text{e}103}) = 0.408 \\
Q_{\text{omax}24} &:= 10^{-6} \cdot \alpha \cdot V_{24} \cdot q_{o24} \cdot (t_{j24} - t_o) \cdot (1 + \hat{E}_{\text{e}104}) = 0.086
\end{aligned}$$

$$Q_{o\ddot{n}\delta 1} := Q_{o\max 1} \frac{(t_{j1} - t_{\ddot{n}\delta})}{(t_{j1} - t_o)} = 0.149$$

$$Q_{o\ddot{n}\delta 2} := Q_{o\max 2} \frac{(t_{j2} - t_{\ddot{n}\delta})}{(t_{j2} - t_o)} = 0.398$$

$$Q_{o\ddot{n}\delta 3} := Q_{o\max 3} \frac{(t_{j3} - t_{\ddot{n}\delta})}{(t_{j3} - t_o)} = 0.279$$

$$Q_{o\ddot{n}\delta 4} := Q_{o\max 4} \frac{(t_{j4} - t_{\ddot{n}\delta})}{(t_{j4} - t_o)} = 0.279$$

$$Q_{o\ddot{n}\delta 5} := Q_{o\max 5} \frac{(t_{j5} - t_{\ddot{n}\delta})}{(t_{j5} - t_o)} = 0.279$$

$$Q_{o\ddot{n}\delta 6} := Q_{o\max 6} \frac{(t_{j6} - t_{\ddot{n}\delta})}{(t_{j6} - t_o)} = 0.078$$

$$Q_{o\ddot{n}\delta 7} := Q_{o\max 7} \frac{(t_{j7} - t_{\ddot{n}\delta})}{(t_{j7} - t_o)} = 0.273$$

$$Q_{o\ddot{n}\delta 8} := Q_{o\max 8} \frac{(t_{j8} - t_{\ddot{n}\delta})}{(t_{j8} - t_o)} = 0.013$$

$$Q_{o\ddot{n}\delta 9} := Q_{o\max 9} \frac{(t_{j9} - t_{\ddot{n}\delta})}{(t_{j9} - t_o)} = 0.026$$

$$Q_{o\ddot{n}\delta 10} := Q_{o\max 10} \frac{(t_{j10} - t_{\ddot{n}\delta})}{(t_{j10} - t_o)} = 0.286$$

$$Q_{o\ddot{n}\delta 11} := Q_{o\max 11} \frac{(t_{j11} - t_{\ddot{n}\delta})}{(t_{j11} - t_o)} = 0.415$$

$$Q_{o\ddot{n}\delta 12} := Q_{o\max 12} \frac{(t_{j12} - t_{\ddot{n}\delta})}{(t_{j12} - t_o)} = 0.286$$

$$Q_{o\ddot{n}\delta 13} := Q_{o\max 13} \frac{(t_{j13} - t_{\ddot{n}\delta})}{(t_{j13} - t_o)} = 0.128$$

$$Q_{o\ddot{n}\delta 14} := Q_{o\max 14} \frac{(t_{j14} - t_{\ddot{n}\delta})}{(t_{j14} - t_o)} = 0.163$$

$$Q_{o\ddot{n}\delta 15} := Q_{o\max 15} \frac{(t_{j15} - t_{\ddot{n}\delta})}{(t_{j15} - t_o)} = 0.286$$

$$Q_{o\ddot{n}\delta 16} := Q_{o\max 16} \frac{(t_{j16} - t_{\ddot{n}\delta})}{(t_{j16} - t_o)} = 0.167$$

$$Q_{o\ddot{n}\delta 17} := Q_{o\max 17} \frac{(t_{j17} - t_{\ddot{n}\delta})}{(t_{j17} - t_o)} = 0.238$$

$$Q_{o\ddot{n}\delta 18} := Q_{o\max 18} \frac{(t_{j18} - t_{\ddot{n}\delta})}{(t_{j18} - t_o)} = 0.238$$

$$Q_{o\ddot{n}\delta 19} := Q_{o\max 19} \frac{(t_{j19} - t_{\ddot{n}\delta})}{(t_{j19} - t_o)} = 0.273$$

$$Q_{o\ddot{n}\delta 20} := Q_{o\max 20} \frac{(t_{j20} - t_{\ddot{n}\delta})}{(t_{j20} - t_o)} = 0.398$$

$$Q_{o\ddot{n}\delta 21} := Q_{o\max 21} \frac{(t_{j21} - t_{\ddot{n}\delta})}{(t_{j21} - t_o)} = 0.273$$

$$Q_{o\ddot{n}\delta 22} := Q_{o\max 22} \frac{(t_{j22} - t_{\ddot{n}\delta})}{(t_{j22} - t_o)} = 0.273$$

$$Q_{o\ddot{n}\delta 23} := Q_{o\max 23} \frac{(t_{j23} - t_{\ddot{n}\delta})}{(t_{j23} - t_o)} = 0.358$$

$$Q_{o\ddot{n}\delta 24} := Q_{o\max 24} \frac{(t_{j24} - t_{\ddot{n}\delta})}{(t_{j24} - t_o)} = 0.076$$

$$F_1 := \frac{V_1}{L_1} = 840$$

$$F_2 := \frac{V_2}{L_2} = 1400$$

$$F_3 := \frac{V_3}{L_3} = 980$$

$$F_4 := \frac{V_3}{L_4} = 980$$

$$F_5 := \frac{V_3}{L_5} = 980$$

$$F_6 := \frac{V_6}{L_6} = 442.857$$

$$F_7 := \frac{V_7}{L_7} = 960$$

$$F_8 := \frac{V_8}{L_8} = 120$$

$$F_9 := \frac{V_9}{L_9} = 375$$

$$F_{10} := \frac{V_{10}}{L_{10}} = 1006.667$$

$$F_{11} := \frac{V_{11}}{L_{11}} = 1461.333$$

$$F_{12} := \frac{V_{12}}{L_{12}} = 1006.667$$

$$F_{13} := \frac{V_{13}}{L_{13}} = 640$$

$$F_{14} := \frac{V_{14}}{L_{14}} = 504$$

$$F_{15} := \frac{V_{15}}{L_{15}} = 1006.667$$

$$F_{16} := \frac{V_{16}}{L_{16}} = 895.556$$

$$F_{17} := \frac{V_{17}}{L_{17}} = 816$$

$$F_{18} := \frac{V_{18}}{L_{18}} = 816$$

$$F_{19} := \frac{V_{19}}{L_{19}} = 960$$

$$F_{20} := \frac{V_{20}}{L_{20}} = 1046.667$$

$$F_{21} := \frac{V_{21}}{L_{21}} = 960$$

$$F_{22} := \frac{V_{22}}{L_{22}} = 960$$

$$F_{23} := \frac{V_{23}}{L_{23}} = 1260$$

$$F_{24} := \frac{V_{24}}{L_{24}} = 800$$

$$\begin{aligned}
N_1 &:= 400 \\
N_2 &:= \text{ceil} \left( \frac{F_2 \cdot n_{y2}}{f} \right) = 338 \\
N_3 &:= \text{ceil} \left( F_3 \cdot \frac{n_{y3}}{f} \right) = 237 \\
N_4 &:= \text{ceil} \left( F_4 \cdot \frac{n_{y4}}{f} \right) = 237 \\
N_5 &:= \text{ceil} \left( F_5 \cdot \frac{n_{y5}}{f} \right) = 237 \\
N_6 &:= \text{ceil} \left( F_6 \cdot \frac{n_{y6}}{f} \right) = 43 \\
N_7 &:= \text{ceil} \left( F_7 \cdot \frac{n_{y7}}{f} \right) = 232 \\
N_8 &:= \text{ceil} \left( F_8 \cdot \frac{n_{y8}}{f} \right) = 12 \\
N_9 &:= \text{ceil} \left( F_9 \cdot \frac{n_{y9}}{f} \right) = 19 \\
N_{10} &:= \text{ceil} \left( F_{10} \cdot \frac{n_{y10}}{f} \right) = 243 \\
N_{11} &:= \text{ceil} \left( F_{11} \cdot \frac{n_{y11}}{f} \right) = 353 \\
N_{12} &:= \text{ceil} \left( F_{12} \cdot \frac{n_{y12}}{f} \right) = 243 \\
N_{13} &:= \text{ceil} \left( F_{13} \cdot \frac{n_{y13}}{f} \right) = 93 \\
N_{14} &:= \text{ceil} \left( F_{14} \cdot \frac{n_{y14}}{f} \right) = 122 \\
N_{15} &:= \text{ceil} \left( F_{15} \cdot \frac{n_{y15}}{f} \right) = 243 \\
N_{16} &:= \text{ceil} \left( F_{16} \cdot \frac{n_{y16}}{f} \right) = 130 \\
N_{17} &:= \text{ceil} \left( F_{17} \cdot \frac{n_{y17}}{f} \right) = 197 \\
N_{18} &:= \text{ceil} \left( F_{18} \cdot \frac{n_{y18}}{f} \right) = 197 \\
N_{19} &:= \text{ceil} \left( F_{19} \cdot \frac{n_{y19}}{f} \right) = 232 \\
N_{20} &:= \text{ceil} \left( F_{20} \cdot \frac{n_{y20}}{f} \right) = 253 \\
N_{21} &:= \text{ceil} \left( F_{21} \cdot \frac{n_{y21}}{f} \right) = 232 \\
N_{22} &:= \text{ceil} \left( F_{22} \cdot \frac{n_{y22}}{f} \right) = 232 \\
N_{23} &:= \text{ceil} \left( F_{23} \cdot \frac{n_{y23}}{f} \right) = 304 \\
N_{24} &:= 200
\end{aligned}$$

$$Q_{hm1} := \frac{a_1 \cdot N_1 \cdot (55 - t_c) \cdot 10^{-6}}{T} = 0.003$$

$$Q_{hm2} := \frac{a_2 \cdot N_2 \cdot (55 - t_c) \cdot 10^{-6}}{T} = 0.074$$

$$Q_{hm3} := \frac{a_3 \cdot N_3 \cdot (55 - t_c) \cdot 10^{-6}}{T} = 0.052$$

$$Q_{hm4} := \frac{a_4 \cdot N_4 \cdot (55 - t_c) \cdot 10^{-6}}{T} = 0.052$$

$$Q_{hm5} := \frac{a_5 \cdot N_5 \cdot (55 - t_c) \cdot 10^{-6}}{T} = 0.052$$

$$Q_{hm6} := \frac{a_6 \cdot N_6 \cdot (55 - t_c) \cdot 10^{-6}}{T} = 0$$

$$Q_{hm7} := \frac{a_7 \cdot N_7 \cdot (55 - t_c) \cdot 10^{-6}}{T} = 0.051$$

$$Q_{hm8} := \frac{a_8 \cdot N_8 \cdot (55 - t_c) \cdot 10^{-6}}{T} = 0$$

$$Q_{hm9} := \frac{a_9 \cdot N_9 \cdot (55 - t_c) \cdot 10^{-6}}{T} = 0$$

$$Q_{hm10} := \frac{a_{10} \cdot N_{10} \cdot (55 - t_c) \cdot 10^{-6}}{T} = 0.053$$

$$Q_{hm11} := \frac{a_{11} \cdot N_{11} \cdot (55 - t_c) \cdot 10^{-6}}{T} = 0.077$$

$$Q_{hm12} := \frac{a_{12} \cdot N_{12} \cdot (55 - t_c) \cdot 10^{-6}}{T} = 0.053$$

$$Q_{hm13} := \frac{a_{13} \cdot N_{13} \cdot (55 - t_c) \cdot 10^{-6}}{T} = 0$$

$$Q_{hm14} := \frac{a_{14} \cdot N_{14} \cdot (55 - t_c) \cdot 10^{-6}}{T} = 0.027$$

$$Q_{hm15} := \frac{a_{15} \cdot N_{15} \cdot (55 - t_c) \cdot 10^{-6}}{T} = 0.053$$

$$Q_{hm16} := \frac{a_{16} \cdot N_{16} \cdot (55 - t_c) \cdot 10^{-6}}{T} = 0.028$$

$$Q_{hm17} := \frac{a_{17} \cdot N_{17} \cdot (55 - t_c) \cdot 10^{-6}}{T} = 0.043$$

$$Q_{hm18} := \frac{a_{18} \cdot N_{18} \cdot (55 - t_c) \cdot 10^{-6}}{T} = 0.043$$

$$Q_{hm19} := \frac{a_{19} \cdot N_{19} \cdot (55 - t_c) \cdot 10^{-6}}{T} = 0.051$$

$$Q_{hm20} := \frac{a_{20} \cdot N_{20} \cdot (55 - t_c) \cdot 10^{-6}}{T} = 0$$

$$Q_{hm21} := \frac{a_{21} \cdot N_{21} \cdot (55 - t_c) \cdot 10^{-6}}{T} = 0.051$$

$$Q_{hm22} := \frac{a_{22} \cdot N_{22} \cdot (55 - t_c) \cdot 10^{-6}}{T} = 0.051$$

$$Q_{hm23} := \frac{a_{23} \cdot N_{23} \cdot (55 - t_c) \cdot 10^{-6}}{T} = 0.067$$

$$Q_{hm24} := \frac{a_{24} \cdot N_{24} \cdot (55 - t_c) \cdot 10^{-6}}{T} = 0.005$$

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

$R_{\acute{o}\ddot{a}1} := 78.4\}$	$R_{\acute{o}\ddot{a}22} := 78.4\}$	$\tau_1 := 9\}$	$l_1 := 25\}$	$l_{22} := 70$
$R_{\acute{o}\ddot{a}2} := 78.4\}$	$R_{\acute{o}\ddot{a}23} := 68.6\}$	$\tau_2 := 70$	$l_2 := 9\}$	$l_{23} := 48$
$R_{\acute{o}\ddot{a}3} := 78.4\}$	$R_{\acute{o}\ddot{a}24} := 49.0\}$		$l_3 := 9\}$	$l_{24} := 9$
$R_{\acute{o}\ddot{a}4} := 78.4\}$	$R_{\acute{o}\ddot{a}25} := 58.80$		$l_4 := 12\}$	$l_{25} := 25$
$R_{\acute{o}\ddot{a}5} := 58.80$	$R_{\acute{o}\ddot{a}26} := 49.0\}$		$l_5 := 1\}$	$l_{26} := 4$
$R_{\acute{o}\ddot{a}6} := 78.4\}$	$R_{\acute{o}\ddot{a}27} := 68.6\}$		$l_6 := 6\}$	$l_{27} := 30$
$R_{\acute{o}\ddot{a}7} := 68.6\}$	$R_{\acute{o}\ddot{a}28} := 58.80$		$l_7 := 48$	$l_{28} := 13\}$
$R_{\acute{o}\ddot{a}8} := 78.4\}$	$R_{\acute{o}\ddot{a}29} := 49.0\}$		$l_8 := 6\}$	$l_{29} := 3.\}$
$R_{\acute{o}\ddot{a}9} := 58.80$	$R_{\acute{o}\ddot{a}30} := 78.4\}$		$l_9 := 10$	$l_{30} := 52$
$R_{\acute{o}\ddot{a}10} := 78.4\}$	$R_{\acute{o}\ddot{a}31} := 58.80$		$l_{10} := 54$	$l_{31} := 10$
$R_{\acute{o}\ddot{a}11} := 68.6\}$	$R_{\acute{o}\ddot{a}32} := 78.4\}$		$l_{11} := 32$	$l_{32} := 80$
$R_{\acute{o}\ddot{a}12} := 68.6\}$	$R_{\acute{o}\ddot{a}33} := 58.80$		$l_{12} := 32$	$l_{33} := 10$
$R_{\acute{o}\ddot{a}13} := 58.80$	$R_{\acute{o}\ddot{a}34} := 78.4\}$		$l_{13} := 10$	$l_{34} := 50$
$R_{\acute{o}\ddot{a}14} := 58.80$	$R_{\acute{o}\ddot{a}35} := 78.4\}$		$l_{14} := 18$	$l_{35} := 55$
$R_{\acute{o}\ddot{a}15} := 49.0\}$	$R_{\acute{o}\ddot{a}36} := 49.0\}$		$l_{15} := 8$	$l_{36} := 5.\}$
$R_{\acute{o}\ddot{a}16} := 78.4\}$	$R_{\acute{o}\ddot{a}37} := 58.80$		$l_{16} := 58$	$l_{37} := 22$
$R_{\acute{o}\ddot{a}17} := 49.0\}$	$R_{\acute{o}\ddot{a}38} := 68.6\}$		$l_{17} := 8$	$l_{38} := 37.\}$
$R_{\acute{o}\ddot{a}18} := 78.4\}$	$R_{\acute{o}\ddot{a}39} := 49.0\}$		$l_{18} := 21\}$	$l_{39} := 7$
$R_{\acute{o}\ddot{a}19} := 49.0\}$	$R_{\acute{o}\ddot{a}40} := 78.4\}$		$l_{19} := 5$	$l_{40} := 60$
$R_{\acute{o}\ddot{a}20} := 78.4\}$	$R_{\acute{o}\ddot{a}41} := 49.0\}$		$l_{20} := 82$	$l_{41} := 10.\}$
$R_{\acute{o}\ddot{a}21} := 58.80$	$R_{\acute{o}\ddot{a}42} := 78.4\}$		$l_{21} := 15$	$l_{42} := 175.\}$



$$G_{o1} := \frac{Q_{\text{omax}1} 10^6}{3600(\tau_1 - \tau_2)} = 1.883$$

$$G_{o2} := \frac{Q_{\text{omax}2} 10^6}{3600(\tau_1 - \tau_2)} = 5.04$$

$$G_{o3} := \frac{Q_{\text{omax}3} 10^6}{3600(\tau_1 - \tau_2)} = 3.528$$

$$G_{o4} := \frac{Q_{\text{omax}4} 10^6}{3600(\tau_1 - \tau_2)} = 3.528$$

$$G_{o5} := \frac{Q_{\text{omax}5} 10^6}{3600(\tau_1 - \tau_2)} = 3.528$$

$$G_{o6} := \frac{Q_{\text{omax}6} 10^6}{3600(\tau_1 - \tau_2)} = 0.984$$

$$G_{o7} := \frac{Q_{\text{omax}7} 10^6}{3600(\tau_1 - \tau_2)} = 3.456$$

$$G_{o8} := \frac{Q_{\text{omax}8} 10^6}{3600(\tau_1 - \tau_2)} = 0.161$$

$$G_{o9} := \frac{Q_{\text{omax}9} 10^6}{3600(\tau_1 - \tau_2)} = 0.333$$

$$G_{o10} := \frac{Q_{\text{omax}10} 10^6}{3600(\tau_1 - \tau_2)} = 3.624$$

$$G_{o11} := \frac{Q_{\text{omax}11} 10^6}{3600(\tau_1 - \tau_2)} = 5.26$$

$$G_{o12} := \frac{Q_{\text{omax}12} 10^6}{3600(\tau_1 - \tau_2)} = 3.624$$

$$G_{o13} := \frac{Q_{\text{omax}13} 10^6}{3600(\tau_1 - \tau_2)} = 1.619$$

$$G_{o14} := \frac{Q_{\text{omax}14} 10^6}{3600(\tau_1 - \tau_2)} = 2.059$$

$$G_{o15} := \frac{Q_{\text{omax}15} 10^6}{3600(\tau_1 - \tau_2)} = 3.624$$

$$G_{o16} := \frac{Q_{\text{omax}16} 10^6}{3600(\tau_1 - \tau_2)} = 2.111$$

$$G_{o17} := \frac{Q_{\text{omax}17} 10^6}{3600(\tau_1 - \tau_2)} = 3.017$$

$$G_{o18} := \frac{Q_{\text{omax}18} 10^6}{3600(\tau_1 - \tau_2)} = 3.017$$

$$G_{o19} := \frac{Q_{\text{omax}19} 10^6}{3600(\tau_1 - \tau_2)} = 3.456$$

$$G_{o20} := \frac{Q_{\text{omax}20} 10^6}{3600(\tau_1 - \tau_2)} = 3.768$$

$$G_{o21} := \frac{Q_{\text{omax}21} 10^6}{3600(\tau_1 - \tau_2)} = 3.456$$

$$G_{o22} := \frac{Q_{\text{omax}22} 10^6}{3600(\tau_1 - \tau_2)} = 3.456$$

$$G_{o23} := \frac{Q_{\text{omax}23} 10^6}{3600(\tau_1 - \tau_2)} = 4.536$$

$$G_{o24} := \frac{Q_{\text{omax}24} 10^6}{3600(\tau_1 - \tau_2)} = 0.958$$

$$G_{hm1} := \frac{Q_{hm1} 10^6}{3600(\tau_1 - \tau_2)} = 0.031$$

$$G_{hm13} := \frac{Q_{hm13} 10^6}{3600(\tau_1 - \tau_2)} = 0$$

$$G_{hm2} := \frac{Q_{hm2} 10^6}{3600(\tau_1 - \tau_2)} = 0.822$$

$$G_{hm14} := \frac{Q_{hm14} 10^6}{3600(\tau_1 - \tau_2)} = 0.297$$

$$G_{hm3} := \frac{Q_{hm3} 10^6}{3600(\tau_1 - \tau_2)} = 0.576$$

$$G_{hm15} := \frac{Q_{hm15} 10^6}{3600(\tau_1 - \tau_2)} = 0.591$$

$$G_{hm4} := \frac{Q_{hm4} 10^6}{3600(\tau_1 - \tau_2)} = 0.576$$

$$G_{hm16} := \frac{Q_{hm16} 10^6}{3600(\tau_1 - \tau_2)} = 0.316$$

$$G_{hm5} := \frac{Q_{hm5} 10^6}{3600(\tau_1 - \tau_2)} = 0.576$$

$$G_{hm17} := \frac{Q_{hm17} 10^6}{3600(\tau_1 - \tau_2)} = 0.479$$

$$G_{hm6} := \frac{Q_{hm6} 10^6}{3600(\tau_1 - \tau_2)} = 0$$

$$G_{hm18} := \frac{Q_{hm18} 10^6}{3600(\tau_1 - \tau_2)} = 0.479$$

$$G_{hm7} := \frac{Q_{hm7} 10^6}{3600(\tau_1 - \tau_2)} = 0.564$$

$$G_{hm19} := \frac{Q_{hm19} 10^6}{3600(\tau_1 - \tau_2)} = 0.564$$

$$G_{hm8} := \frac{Q_{hm8} 10^6}{3600(\tau_1 - \tau_2)} = 0$$

$$G_{hm20} := \frac{Q_{hm20} 10^6}{3600(\tau_1 - \tau_2)} = 0.591$$

$$G_{hm9} := \frac{Q_{hm9} 10^6}{3600(\tau_1 - \tau_2)} = 0$$

$$G_{hm21} := \frac{Q_{hm21} 10^6}{3600(\tau_1 - \tau_2)} = 0.564$$

$$G_{hm10} := \frac{Q_{hm10} 10^6}{3600(\tau_1 - \tau_2)} = 0.591$$

$$G_{hm22} := \frac{Q_{hm22} 10^6}{3600(\tau_1 - \tau_2)} = 0.564$$

$$G_{hm11} := \frac{Q_{hm11} 10^6}{3600(\tau_1 - \tau_2)} = 0.858$$

$$G_{hm23} := \frac{Q_{hm23} 10^6}{3600(\tau_1 - \tau_2)} = 0.739$$

$$G_{hm12} := \frac{Q_{hm12} 10^6}{3600(\tau_1 - \tau_2)} = 0.591$$

$$G_{hm24} := \frac{Q_{hm24} 10^6}{3600(\tau_1 - \tau_2)} = 0.053$$

42-й участок  
 $G_{\Sigma 42} := G_{o24} + G_{hm24} = 1.012$

41-й участок  
 $G_{\Sigma 41} := G_{o23} + G_{hm23} = 5.275$

40-й участок  
 $G_{\Sigma 40} := G_{o22} + G_{hm22} = 4.02$

39-й участок  
 $G_{\Sigma 39} := G_{o21} + G_{hm21} = 4.02$

38-й участок  
 $G_{\Sigma 38} := G_{\Sigma 39} + G_{\Sigma 40} = 8.039$

37-й участок  
 $G_{\Sigma 37} := G_{\Sigma 38} + G_{\Sigma 41} + G_{\Sigma 42} = 14.325$

36-й участок  
 $G_{\Sigma 36} := G_{o20} = 3.768$

35-й участок  
 $G_{\Sigma 35} := G_{\Sigma 36} + G_{\Sigma 37} = 18.093$

34-й участок  
 $G_{\Sigma 34} := G_{o19} + G_{hm19} = 4.02$

33-й участок  
 $G_{\Sigma 33} := G_{o18} + G_{hm18} = 3.496$

32-й участок  
 $G_{\Sigma 32} := G_{\Sigma 33} + G_{\Sigma 34} = 7.515$

31-й участок  
 $G_{\Sigma 31} := G_{o17} + G_{hm17} = 3.496$

30-й участок  
 $G_{\Sigma 30} := G_{\Sigma 31} + G_{\Sigma 32} + G_{\Sigma 35} = 29.104$

29-й участок  
 $G_{\Sigma 29} := G_{o16} + G_{hm16} = 2.427$

28-й участок  
 $G_{\Sigma 28} := G_{\Sigma 29} + G_{\Sigma 30} = 31.531$

27-й участок  
 $G_{\Sigma 27} := G_{o15} + G_{hm15} = 4.214$

26-й участок  
 $G_{\Sigma 26} := G_{o14} + G_{hm14} = 2.356$

25-й участок  
 $G_{\Sigma 25} := G_{\Sigma 26} + G_{\Sigma 27} = 6.57$

24-й участок  
 $G_{\Sigma 24} := G_{o13} = 1.619$

23-й участок  
 $G_{\Sigma 23} := G_{\Sigma 24} + G_{\Sigma 25} = 8.189$

22-й участок  
 $G_{\Sigma 22} := G_{o12} + G_{hm12} = 4.214$

21-й участок

$$G_{\Sigma 21} := G_{o11} + G_{hm11} = 6.118$$

20-й участок

$$G_{\Sigma 20} := G_{\Sigma 21} + G_{\Sigma 22} = 10.333$$

19-й участок

$$G_{\Sigma 19} := G_{o10} + G_{hm10} = 4.214$$

18-й участок

$$G_{\Sigma 18} := G_{\Sigma 19} + G_{\Sigma 20} + G_{\Sigma 23} = 22.736$$

17-й участок

$$G_{\Sigma 17} := G_{o9} = 0.333$$

16-й участок

$$G_{\Sigma 16} := G_{\Sigma 17} + G_{\Sigma 18} = 23.069$$

15-й участок

$$G_{\Sigma 15} := G_{o8} = 0.161$$

14-й участок

$$G_{\Sigma 14} := G_{\Sigma 15} + G_{\Sigma 16} = 23.23$$

13-й участок

$$G_{\Sigma 13} := G_{o7} + G_{hm7} = 4.02$$

12-й участок

$$G_{\Sigma 12} := G_{\Sigma 13} + G_{\Sigma 14} = 27.249$$

11-й участок

$$G_{\Sigma 11} := G_{o6} = 0.984$$

10-й участок

$$G_{\Sigma 10} := G_{\Sigma 11} + G_{\Sigma 12} = 28.233$$

9-й участок

$$G_{\Sigma 9} := G_{o4} + G_{hm4} = 4.104$$

8-й участок

$$G_{\Sigma 8} := G_{o5} + G_{hm5} = 4.104$$

7-й участок

$$G_{\Sigma 7} := G_{o3} + G_{hm3} = 4.104$$

6-й участок

$$G_{\Sigma 6} := G_{\Sigma 7} + G_{\Sigma 8} + G_{\Sigma 9} = 12.311$$

5-й участок

$$G_{\Sigma 5} := G_{o2} + G_{hm2} = 5.861$$

4-й участок

$$G_{\Sigma 4} := G_{\Sigma 5} + G_{\Sigma 6} + G_{\Sigma 10} = 46.406$$

3-й участок

$$G_{\Sigma 3} := G_{\Sigma 28} = 31.531$$

2-й участок

$$G_{\Sigma 2} := G_{o1} + G_{hm1} = 1.915$$

1-й участок

$$G_{\Sigma 1} := G_{\Sigma 2} + G_{\Sigma 3} + G_{\Sigma 4} = 79.852$$

Общий расход теплоносителя

$$G_{\Sigma} := G_{\Sigma 1} = 79.852$$

$$d_{\hat{a}r1} := 0.117 \frac{G_{\Sigma 1}^{0.38}}{R_{\acute{o}\ddot{a}1}^{0.19}} = 0.27$$

$$d_{\hat{a}r2} := 0.117 \frac{G_{\Sigma 2}^{0.38}}{R_{\acute{o}\ddot{a}2}^{0.19}} = 0.065$$

$$d_{\hat{a}r3} := 0.117 \frac{G_{\Sigma 3}^{0.38}}{R_{\acute{o}\ddot{a}3}^{0.19}} = 0.19$$

$$d_{\hat{a}r4} := 0.117 \frac{G_{\Sigma 4}^{0.38}}{R_{\acute{o}\ddot{a}4}^{0.19}} = 0.22$$

$$d_{\hat{a}r5} := 0.117 \frac{G_{\Sigma 5}^{0.38}}{R_{\acute{o}\ddot{a}5}^{0.19}} = 0.106$$

$$d_{\hat{a}r6} := 0.117 \frac{G_{\Sigma 6}^{0.38}}{R_{\acute{o}\ddot{a}6}^{0.19}} = 0.133$$

$$d_{\hat{a}r7} := 0.117 \frac{G_{\Sigma 7}^{0.38}}{R_{\acute{o}\ddot{a}7}^{0.19}} = 0.09$$

$$d_{\hat{a}r8} := 0.117 \frac{G_{\Sigma 8}^{0.38}}{R_{\acute{o}\ddot{a}8}^{0.19}} = 0.087$$

$$d_{\hat{a}r9} := 0.117 \frac{G_{\Sigma 9}^{0.38}}{R_{\acute{o}\ddot{a}9}^{0.19}} = 0.092$$

$$d_{\hat{a}r10} := 0.117 \frac{G_{\Sigma 10}^{0.38}}{R_{\acute{o}\ddot{a}10}^{0.19}} = 0.182$$

$$d_{\hat{a}r11} := 0.117 \frac{G_{\Sigma 11}^{0.38}}{R_{\acute{o}\ddot{a}11}^{0.19}} = 0.052$$

$$d_{\hat{a}r12} := 0.117 \frac{G_{\Sigma 12}^{0.38}}{R_{\acute{o}\ddot{a}12}^{0.19}} = 0.184$$

$$d_{\hat{a}r13} := 0.117 \frac{G_{\Sigma 13}^{0.38}}{R_{\acute{o}\ddot{a}13}^{0.19}} = 0.092$$

$$d_{\hat{a}r14} := 0.117 \frac{G_{\Sigma 14}^{0.38}}{R_{\acute{o}\ddot{a}14}^{0.19}} = 0.178$$

$$d_{\hat{a}r15} := 0.117 \frac{G_{\Sigma 15}^{0.38}}{R_{\acute{o}\ddot{a}15}^{0.19}} = 0.028$$

$$d_{\hat{a}r16} := 0.117 \frac{G_{\Sigma 16}^{0.38}}{R_{\acute{o}\ddot{a}16}^{0.19}} = 0.168$$

$$d_{\hat{a}r17} := 0.117 \frac{G_{\Sigma 17}^{0.38}}{R_{\acute{o}\ddot{a}17}^{0.19}} = 0.037$$

$$d_{\hat{a}r18} := 0.117 \frac{G_{\Sigma 18}^{0.38}}{R_{\acute{o}\ddot{a}18}^{0.19}} = 0.167$$

$$d_{\hat{a}r19} := 0.117 \frac{G_{\Sigma 19}^{0.38}}{R_{\acute{o}\ddot{a}19}^{0.19}} = 0.096$$

$$d_{\hat{a}r20} := 0.117 \frac{G_{\Sigma 20}^{0.38}}{R_{\acute{o}\ddot{a}20}^{0.19}} = 0.124$$

$$d_{\hat{a}r21} := 0.117 \frac{G_{\Sigma 21}^{0.38}}{R_{\acute{o}\ddot{a}21}^{0.19}} = 0.107$$

$$d_{\hat{a}r22} := 0.117 \frac{G_{\Sigma 22}^{0.38}}{R_{\acute{o}a22}^{0.19}} = 0.088$$

$$d_{\hat{a}r23} := 0.117 \frac{G_{\Sigma 23}^{0.38}}{R_{\acute{o}a23}^{0.19}} = 0.116$$

$$d_{\hat{a}r25} := 0.117 \frac{G_{\Sigma 25}^{0.38}}{R_{\acute{o}a25}^{0.19}} = 0.11$$

$$d_{\hat{a}r27} := 0.117 \frac{G_{\Sigma 27}^{0.38}}{R_{\acute{o}a27}^{0.19}} = 0.09$$

$$d_{\hat{a}r29} := 0.117 \frac{G_{\Sigma 29}^{0.38}}{R_{\acute{o}a29}^{0.19}} = 0.078$$

$$d_{\hat{a}r31} := 0.117 \frac{G_{\Sigma 31}^{0.38}}{R_{\acute{o}a31}^{0.19}} = 0.087$$

$$d_{\hat{a}r33} := 0.117 \frac{G_{\Sigma 33}^{0.38}}{R_{\acute{o}a33}^{0.19}} = 0.087$$

$$d_{\hat{a}r35} := 0.117 \frac{G_{\Sigma 35}^{0.38}}{R_{\acute{o}a35}^{0.19}} = 0.153$$

$$d_{\hat{a}r37} := 0.117 \frac{G_{\Sigma 37}^{0.38}}{R_{\acute{o}a37}^{0.19}} = 0.148$$

$$d_{\hat{a}r39} := 0.117 \frac{G_{\Sigma 39}^{0.38}}{R_{\acute{o}a39}^{0.19}} = 0.095$$

$$d_{\hat{a}r41} := 0.117 \frac{G_{\Sigma 41}^{0.38}}{R_{\acute{o}a41}^{0.19}} = 0.105$$

$$d_{\hat{a}r24} := 0.117 \frac{G_{\Sigma 24}^{0.38}}{R_{\acute{o}a24}^{0.19}} = 0.067$$

$$d_{\hat{a}r26} := 0.117 \frac{G_{\Sigma 26}^{0.38}}{R_{\acute{o}a26}^{0.19}} = 0.077$$

$$d_{\hat{a}r28} := 0.117 \frac{G_{\Sigma 28}^{0.38}}{R_{\acute{o}a28}^{0.19}} = 0.2$$

$$d_{\hat{a}r30} := 0.117 \frac{G_{\Sigma 30}^{0.38}}{R_{\acute{o}a30}^{0.19}} = 0.184$$

$$d_{\hat{a}r32} := 0.117 \frac{G_{\Sigma 32}^{0.38}}{R_{\acute{o}a32}^{0.19}} = 0.11$$

$$d_{\hat{a}r34} := 0.117 \frac{G_{\Sigma 34}^{0.38}}{R_{\acute{o}a34}^{0.19}} = 0.087$$

$$d_{\hat{a}r36} := 0.117 \frac{G_{\Sigma 36}^{0.38}}{R_{\acute{o}a36}^{0.19}} = 0.092$$

$$d_{\hat{a}r38} := 0.117 \frac{G_{\Sigma 38}^{0.38}}{R_{\acute{o}a38}^{0.19}} = 0.116$$

$$d_{\hat{a}r40} := 0.117 \frac{G_{\Sigma 40}^{0.38}}{R_{\acute{o}a40}^{0.19}} = 0.087$$

$$d_{\hat{a}r42} := 0.117 \frac{G_{\Sigma 42}^{0.38}}{R_{\acute{o}a42}^{0.19}} = 0.051$$

$d_{\tilde{n}\tilde{\delta}1} := 0.3$	$d_{\tilde{n}\tilde{\delta}11} := 0.06$	$d_{\tilde{n}\tilde{\delta}22} := 0.1$	$d_{\tilde{n}\tilde{\delta}32} := 0.12$
$d_{\tilde{n}\tilde{\delta}2} := 0.08$	$d_{\tilde{n}\tilde{\delta}12} := 0.2$	$d_{\tilde{n}\tilde{\delta}23} := 0.12$	$d_{\tilde{n}\tilde{\delta}33} := 0.1$
$d_{\tilde{n}\tilde{\delta}3} := 0.2$	$d_{\tilde{n}\tilde{\delta}13} := 0.1$	$d_{\tilde{n}\tilde{\delta}24} := 0.08$	$d_{\tilde{n}\tilde{\delta}34} := 0.1$
$d_{\tilde{n}\tilde{\delta}4} := 0.2$	$d_{\tilde{n}\tilde{\delta}14} := 0.2$	$d_{\tilde{n}\tilde{\delta}25} := 0.12$	$d_{\tilde{n}\tilde{\delta}35} := 0.17$
$d_{\tilde{n}\tilde{\delta}5} := 0.12$	$d_{\tilde{n}\tilde{\delta}15} := 0.03$	$d_{\tilde{n}\tilde{\delta}26} := 0.08$	$d_{\tilde{n}\tilde{\delta}36} := 0.1$
$d_{\tilde{n}\tilde{\delta}6} := 0.1$	$d_{\tilde{n}\tilde{\delta}16} := 0.17$	$d_{\tilde{n}\tilde{\delta}27} := 0.1$	$d_{\tilde{n}\tilde{\delta}37} := 0.1$
$d_{\tilde{n}\tilde{\delta}7} := 0.1$	$d_{\tilde{n}\tilde{\delta}17} := 0.0$	$d_{\tilde{n}\tilde{\delta}28} := 0.2$	$d_{\tilde{n}\tilde{\delta}38} := 0.12$
$d_{\tilde{n}\tilde{\delta}8} := 0.1$	$d_{\tilde{n}\tilde{\delta}18} := 0.17$	$d_{\tilde{n}\tilde{\delta}29} := 0.08$	$d_{\tilde{n}\tilde{\delta}39} := 0.1$
$d_{\tilde{n}\tilde{\delta}9} := 0.1$	$d_{\tilde{n}\tilde{\delta}19} := 0.1$	$d_{\tilde{n}\tilde{\delta}30} := 0.2$	$d_{\tilde{n}\tilde{\delta}40} := 0.1$
$d_{\tilde{n}\tilde{\delta}10} := 0.2$	$d_{\tilde{n}\tilde{\delta}20} := 0.12$	$d_{\tilde{n}\tilde{\delta}31} := 0.1$	$d_{\tilde{n}\tilde{\delta}41} := 0.12$
	$d_{\tilde{n}\tilde{\delta}21} := 0.12$		$d_{\tilde{n}\tilde{\delta}42} := 0.06$

$$R_{\acute{o}\ddot{a}1\acute{o}} := 13.6210^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 1}^2}{d_{\tilde{n}\tilde{\delta}1}^{5.25}} = 48.29$$

$$R_{\acute{o}\ddot{a}2\acute{o}} := 13.6210^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 2}^2}{d_{\tilde{n}\tilde{\delta}2}^{5.25}} = 28.657$$

$$R_{\acute{o}\ddot{a}3\acute{o}} := 13.6210^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 3}^2}{d_{\tilde{n}\tilde{\delta}3}^{5.25}} = 63.276$$

$$R_{\acute{o}\ddot{a}4\acute{o}} := 13.6210^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 4}^2}{d_{\tilde{n}\tilde{\delta}4}^{5.25}} = 42.476$$

$$R_{\acute{o}\ddot{a}5\acute{o}} := 13.6210^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 5}^2}{d_{\tilde{n}\tilde{\delta}5}^{5.25}} = 25.785$$

$$R_{\acute{o}\ddot{a}6\acute{o}} := 13.6210^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 6}^2}{d_{\tilde{n}\tilde{\delta}6}^{5.25}} = 43.682$$

$$R_{\acute{o}\ddot{a}7\acute{o}} := 13.6210^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 7}^2}{d_{\tilde{n}\tilde{\delta}7}^{5.25}} = 40.789$$

$$R_{\acute{o}\ddot{a}8\acute{o}} := 13.6210^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 8}^2}{d_{\tilde{n}\tilde{\delta}8}^{5.25}} = 40.789$$

$$R_{\acute{o}\ddot{a}9\acute{o}} := 13.6210^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 9}^2}{d_{\tilde{n}\tilde{\delta}9}^{5.25}} = 40.789$$

$$R_{\acute{o}\ddot{a}10\acute{o}} := 13.6210^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 10}^2}{d_{\tilde{n}\tilde{\delta}10}^{5.25}} = 50.734$$

$$R_{\acute{o}\ddot{a}11\acute{o}} := 13.6210^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 11}^2}{d_{\tilde{n}\tilde{\delta}11}^{5.25}} = 22.515$$

$$R_{\acute{o}\ddot{a}12\acute{o}} := 13.6210^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 12}^2}{d_{\tilde{n}\tilde{\delta}12}^{5.25}} = 47.259$$

$$R_{\acute{o}\ddot{a}13\acute{o}} := 13.6210^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 13}^2}{d_{\tilde{n}\tilde{\delta}13}^{5.25}} = 39.133$$

$$R_{\acute{o}\ddot{a}14\acute{o}} := 13.6210^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 14}^2}{d_{\tilde{n}\tilde{\delta}14}^{5.25}} = 34.344$$

$$R_{\acute{o}\ddot{a}15\acute{o}} := 13.6210^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 15}^2}{d_{\tilde{n}\tilde{\delta}15}^{5.25}} = 24.81$$

$$R_{\acute{o}\ddot{a}16\acute{o}} := 13.6210^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 16}^2}{d_{\tilde{n}\tilde{\delta}16}^{5.25}} = 68.278$$

$$R_{\acute{o}\ddot{a}17\acute{o}} := 13.6210^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 17}^2}{d_{\tilde{n}\tilde{\delta}17}^{5.25}} = 32.885$$

$$R_{\acute{o}\ddot{a}18\acute{o}} := 13.6210^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 18}^2}{d_{\tilde{n}\tilde{\delta}18}^{5.25}} = 66.324$$

$$R_{\acute{o}\ddot{a}19\acute{o}} := 13.6210^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 19}^2}{d_{\tilde{n}\acute{o}19}^{5.25}} = 43.017$$

$$R_{\acute{o}\ddot{a}21\acute{o}} := 13.6210^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 21}^2}{d_{\tilde{n}\acute{o}21}^{5.25}} = 28.098$$

$$R_{\acute{o}\ddot{a}23\acute{o}} := 13.6210^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 23}^2}{d_{\tilde{n}\acute{o}23}^{5.25}} = 50.338$$

$$R_{\acute{o}\ddot{a}25\acute{o}} := 13.6210^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 25}^2}{d_{\tilde{n}\acute{o}25}^{5.25}} = 32.402$$

$$R_{\acute{o}\ddot{a}27\acute{o}} := 13.6210^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 27}^2}{d_{\tilde{n}\acute{o}27}^{5.25}} = 43.017$$

$$R_{\acute{o}\ddot{a}29\acute{o}} := 13.6210^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 29}^2}{d_{\tilde{n}\acute{o}29}^{5.25}} = 46.035$$

$$R_{\acute{o}\ddot{a}31\acute{o}} := 13.6210^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 31}^2}{d_{\tilde{n}\acute{o}31}^{5.25}} = 29.595$$

$$R_{\acute{o}\ddot{a}33\acute{o}} := 13.6210^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 33}^2}{d_{\tilde{n}\acute{o}33}^{5.25}} = 29.595$$

$$R_{\acute{o}\ddot{a}35\acute{o}} := 13.6210^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 35}^2}{d_{\tilde{n}\acute{o}35}^{5.25}} = 42$$

$$R_{\acute{o}\ddot{a}37\acute{o}} := 13.6210^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 37}^2}{d_{\tilde{n}\acute{o}37}^{5.25}} = 59.144$$

$$R_{\acute{o}\ddot{a}39\acute{o}} := 13.6210^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 39}^2}{d_{\tilde{n}\acute{o}39}^{5.25}} = 39.133$$

$$R_{\acute{o}\ddot{a}41\acute{o}} := 13.6210^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 41}^2}{d_{\tilde{n}\acute{o}41}^{5.25}} = 20.882$$

$$R_{\acute{o}\ddot{a}20\acute{o}} := 13.6210^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 20}^2}{d_{\tilde{n}\acute{o}20}^{5.25}} = 80.136$$

$$R_{\acute{o}\ddot{a}22\acute{o}} := 13.6210^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 22}^2}{d_{\tilde{n}\acute{o}22}^{5.25}} = 43.017$$

$$R_{\acute{o}\ddot{a}24\acute{o}} := 13.6210^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 24}^2}{d_{\tilde{n}\acute{o}24}^{5.25}} = 20.486$$

$$R_{\acute{o}\ddot{a}26\acute{o}} := 13.6210^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 26}^2}{d_{\tilde{n}\acute{o}26}^{5.25}} = 43.38$$

$$R_{\acute{o}\ddot{a}28\acute{o}} := 13.6210^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 28}^2}{d_{\tilde{n}\acute{o}28}^{5.25}} = 63.276$$

$$R_{\acute{o}\ddot{a}30\acute{o}} := 13.6210^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 30}^2}{d_{\tilde{n}\acute{o}30}^{5.25}} = 53.91$$

$$R_{\acute{o}\ddot{a}32\acute{o}} := 13.6210^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 32}^2}{d_{\tilde{n}\acute{o}32}^{5.25}} = 42.392$$

$$R_{\acute{o}\ddot{a}34\acute{o}} := 13.6210^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 34}^2}{d_{\tilde{n}\acute{o}34}^{5.25}} = 39.133$$

$$R_{\acute{o}\ddot{a}36\acute{o}} := 13.6210^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 36}^2}{d_{\tilde{n}\acute{o}36}^{5.25}} = 34.382$$

$$R_{\acute{o}\ddot{a}38\acute{o}} := 13.6210^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 38}^2}{d_{\tilde{n}\acute{o}38}^{5.25}} = 48.51$$

$$R_{\acute{o}\ddot{a}40\acute{o}} := 13.6210^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 40}^2}{d_{\tilde{n}\acute{o}40}^{5.25}} = 39.133$$

$$R_{\acute{o}\ddot{a}42\acute{o}} := 13.6210^{-6} \cdot \frac{G_{\Sigma 42}^2}{d_{\tilde{n}\acute{o}42}^{5.25}} = 23.79$$



$\gamma_1 := 0.01 \cdot \sqrt{G_{\Sigma 1}} = 0.089$	$\gamma_{15} := 0.01 \cdot \sqrt{G_{\Sigma 15}} = 0.004$	$\gamma_{29} := 0.01 \cdot \sqrt{G_{\Sigma 29}} = 0.016$
$\gamma_2 := 0.01 \cdot \sqrt{G_{\Sigma 2}} = 0.014$	$\gamma_{16} := 0.01 \cdot \sqrt{G_{\Sigma 16}} = 0.048$	$\gamma_{30} := 0.01 \cdot \sqrt{G_{\Sigma 30}} = 0.054$
$\gamma_3 := 0.01 \cdot \sqrt{G_{\Sigma 3}} = 0.056$	$\gamma_{17} := 0.01 \cdot \sqrt{G_{\Sigma 17}} = 0.006$	$\gamma_{31} := 0.01 \cdot \sqrt{G_{\Sigma 31}} = 0.019$
$\gamma_4 := 0.01 \cdot \sqrt{G_{\Sigma 4}} = 0.068$	$\gamma_{18} := 0.01 \cdot \sqrt{G_{\Sigma 18}} = 0.048$	$\gamma_{32} := 0.01 \cdot \sqrt{G_{\Sigma 32}} = 0.027$
$\gamma_5 := 0.01 \cdot \sqrt{G_{\Sigma 5}} = 0.024$	$\gamma_{19} := 0.01 \cdot \sqrt{G_{\Sigma 19}} = 0.021$	$\gamma_{33} := 0.01 \cdot \sqrt{G_{\Sigma 33}} = 0.019$
$\gamma_6 := 0.01 \cdot \sqrt{G_{\Sigma 6}} = 0.035$	$\gamma_{20} := 0.01 \cdot \sqrt{G_{\Sigma 20}} = 0.032$	$\gamma_{34} := 0.01 \cdot \sqrt{G_{\Sigma 34}} = 0.02$
$\gamma_7 := 0.01 \cdot \sqrt{G_{\Sigma 7}} = 0.02$	$\gamma_{21} := 0.01 \cdot \sqrt{G_{\Sigma 21}} = 0.025$	$\gamma_{35} := 0.01 \cdot \sqrt{G_{\Sigma 35}} = 0.043$
$\gamma_8 := 0.01 \cdot \sqrt{G_{\Sigma 8}} = 0.02$	$\gamma_{22} := 0.01 \cdot \sqrt{G_{\Sigma 22}} = 0.021$	$\gamma_{36} := 0.01 \cdot \sqrt{G_{\Sigma 36}} = 0.019$
$\gamma_9 := 0.01 \cdot \sqrt{G_{\Sigma 9}} = 0.02$	$\gamma_{23} := 0.01 \cdot \sqrt{G_{\Sigma 23}} = 0.029$	$\gamma_{37} := 0.01 \cdot \sqrt{G_{\Sigma 37}} = 0.038$
$\gamma_{10} := 0.01 \cdot \sqrt{G_{\Sigma 10}} = 0.053$	$\gamma_{24} := 0.01 \cdot \sqrt{G_{\Sigma 24}} = 0.013$	$\gamma_{38} := 0.01 \cdot \sqrt{G_{\Sigma 38}} = 0.028$
$\gamma_{11} := 0.01 \cdot \sqrt{G_{\Sigma 11}} = 0.01$	$\gamma_{25} := 0.01 \cdot \sqrt{G_{\Sigma 25}} = 0.026$	$\gamma_{39} := 0.01 \cdot \sqrt{G_{\Sigma 39}} = 0.02$
$\gamma_{12} := 0.01 \cdot \sqrt{G_{\Sigma 12}} = 0.052$	$\gamma_{26} := 0.01 \cdot \sqrt{G_{\Sigma 26}} = 0.015$	$\gamma_{40} := 0.01 \cdot \sqrt{G_{\Sigma 40}} = 0.02$
$\gamma_{13} := 0.01 \cdot \sqrt{G_{\Sigma 13}} = 0.02$	$\gamma_{27} := 0.01 \cdot \sqrt{G_{\Sigma 27}} = 0.021$	$\gamma_{41} := 0.01 \cdot \sqrt{G_{\Sigma 41}} = 0.023$
$\gamma_{14} := 0.01 \cdot \sqrt{G_{\Sigma 14}} = 0.048$	$\gamma_{28} := 0.01 \cdot \sqrt{G_{\Sigma 28}} = 0.056$	$\gamma_{42} := 0.01 \cdot \sqrt{G_{\Sigma 42}} = 0.01$

$l_{1\dot{y}} := l_1 \gamma_1 = 22.787$	$l_{15\dot{y}} := l_{15} \gamma_{15} = 0.032$	$l_{29\dot{y}} := l_{29} \gamma_{29} = 0.055$
$l_{2\dot{y}} := l_2 \gamma_2 = 1.342$	$l_{16\dot{y}} := l_{16} \gamma_{16} = 2.786$	$l_{30\dot{y}} := l_{30} \gamma_{30} = 2.805$
$l_{3\dot{y}} := l_3 \gamma_3 = 5.447$	$l_{17\dot{y}} := l_{17} \gamma_{17} = 0.046$	$l_{31\dot{y}} := l_{31} \gamma_{31} = 0.187$
$l_{4\dot{y}} := l_4 \gamma_4 = 8.311$	$l_{18\dot{y}} := l_{18} \gamma_{18} = 10.204$	$l_{32\dot{y}} := l_{32} \gamma_{32} = 2.193$
$l_{5\dot{y}} := l_5 \gamma_5 = 0.315$	$l_{19\dot{y}} := l_{19} \gamma_{19} = 0.103$	$l_{33\dot{y}} := l_{33} \gamma_{33} = 0.187$
$l_{6\dot{y}} := l_6 \gamma_6 = 2.211$	$l_{20\dot{y}} := l_{20} \gamma_{20} = 2.636$	$l_{34\dot{y}} := l_{34} \gamma_{34} = 1.002$
$l_{7\dot{y}} := l_7 \gamma_7 = 0.972$	$l_{21\dot{y}} := l_{21} \gamma_{21} = 0.371$	$l_{35\dot{y}} := l_{35} \gamma_{35} = 2.339$
$l_{8\dot{y}} := l_8 \gamma_8 = 1.276$	$l_{22\dot{y}} := l_{22} \gamma_{22} = 1.437$	$l_{36\dot{y}} := l_{36} \gamma_{36} = 0.107$
$l_{9\dot{y}} := l_9 \gamma_9 = 0.203$	$l_{23\dot{y}} := l_{23} \gamma_{23} = 1.374$	$l_{37\dot{y}} := l_{37} \gamma_{37} = 0.833$
$l_{10\dot{y}} := l_{10} \gamma_{10} = 2.869$	$l_{24\dot{y}} := l_{24} \gamma_{24} = 0.115$	$l_{38\dot{y}} := l_{38} \gamma_{38} = 1.063$
$l_{11\dot{y}} := l_{11} \gamma_{11} = 0.317$	$l_{25\dot{y}} := l_{25} \gamma_{25} = 0.641$	$l_{39\dot{y}} := l_{39} \gamma_{39} = 0.14$
$l_{12\dot{y}} := l_{12} \gamma_{12} = 1.67$	$l_{26\dot{y}} := l_{26} \gamma_{26} = 0.061$	$l_{40\dot{y}} := l_{40} \gamma_{40} = 1.203$
$l_{13\dot{y}} := l_{13} \gamma_{13} = 0.321$	$l_{27\dot{y}} := l_{27} \gamma_{27} = 0.739$	$l_{41\dot{y}} := l_{41} \gamma_{41} = 0.241$
$l_{14\dot{y}} := l_{14} \gamma_{14} = 0.868$	$l_{28\dot{y}} := l_{28} \gamma_{28} = 7.581$	$l_{42\dot{y}} := l_{42} \gamma_{42} = 1.765$

$l_{1\Sigma} := l_1 + l_{1\dot{y}} = 277.787$	$l_{1\Sigma} := l_{15} + l_{15\dot{y}} = 8.032$	$l_{29\Sigma} := l_{29} + l_{29\dot{y}} = 3.555$
$l_{2\Sigma} := l_2 + l_{2\dot{y}} = 98.342$	$l_{16\Sigma} := l_{16} + l_{16\dot{y}} = 60.786$	$l_{30\Sigma} := l_{30} + l_{30\dot{y}} = 54.805$
$l_{3\Sigma} := l_3 + l_{3\dot{y}} = 102.447$	$l_{17\Sigma} := l_{17} + l_{17\dot{y}} = 8.046$	$l_{31\Sigma} := l_{31} + l_{31\dot{y}} = 10.187$
$l_{4\Sigma} := l_4 + l_{4\dot{y}} = 130.311$	$l_{18\Sigma} := l_{18} + l_{18\dot{y}} = 224.204$	$l_{32\Sigma} := l_{32} + l_{32\dot{y}} = 82.193$
$l_{5\Sigma} := l_5 + l_{5\dot{y}} = 13.315$	$l_{19\Sigma} := l_{19} + l_{19\dot{y}} = 5.103$	$l_{33\Sigma} := l_{33} + l_{33\dot{y}} = 10.187$
$l_{6\Sigma} := l_6 + l_{6\dot{y}} = 65.211$	$l_{20\Sigma} := l_{20} + l_{20\dot{y}} = 84.636$	$l_{34\Sigma} := l_{34} + l_{34\dot{y}} = 51.002$
$l_{7\Sigma} := l_7 + l_{7\dot{y}} = 48.972$	$l_{21\Sigma} := l_{21} + l_{21\dot{y}} = 15.371$	$l_{35\Sigma} := l_{35} + l_{35\dot{y}} = 57.339$
$l_{8\Sigma} := l_8 + l_{8\dot{y}} = 64.276$	$l_{22\Sigma} := l_{22} + l_{22\dot{y}} = 71.437$	$l_{36\Sigma} := l_{36} + l_{36\dot{y}} = 5.607$
$l_{9\Sigma} := l_9 + l_{9\dot{y}} = 10.203$	$l_{23\Sigma} := l_{23} + l_{23\dot{y}} = 49.374$	$l_{37\Sigma} := l_{37} + l_{37\dot{y}} = 22.833$
$l_{10\Sigma} := l_{10} + l_{10\dot{y}} = 56.869$	$l_{24\Sigma} := l_{24} + l_{24\dot{y}} = 9.115$	$l_{38\Sigma} := l_{38} + l_{38\dot{y}} = 38.563$
$l_{11\Sigma} := l_{11} + l_{11\dot{y}} = 32.317$	$l_{25\Sigma} := l_{25} + l_{25\dot{y}} = 25.641$	$l_{39\Sigma} := l_{39} + l_{39\dot{y}} = 7.14$
$l_{12\Sigma} := l_{12} + l_{12\dot{y}} = 33.67$	$l_{26\Sigma} := l_{26} + l_{26\dot{y}} = 4.061$	$l_{40\Sigma} := l_{40} + l_{40\dot{y}} = 61.203$
$l_{13\Sigma} := l_{13} + l_{13\dot{y}} = 16.321$	$l_{27\Sigma} := l_{27} + l_{27\dot{y}} = 36.739$	$l_{41\Sigma} := l_{41} + l_{41\dot{y}} = 10.741$
$l_{14\Sigma} := l_{14} + l_{14\dot{y}} = 18.868$	$l_{28\Sigma} := l_{28} + l_{28\dot{y}} = 142.581$	$l_{42\Sigma} := l_{42} + l_{42\dot{y}} = 177.265$

$$\Delta H_1 := \frac{R_{\acute{o}\ddot{a}1\acute{o}'11\Sigma}}{9810} = 1.367$$

$$\Delta H_2 := \frac{R_{\acute{o}\ddot{a}2\acute{o}'12\Sigma}}{9810} = 0.287$$

$$\Delta H_3 := \frac{R_{\acute{o}\ddot{a}3\acute{o}'13\Sigma}}{9810} = 0.661$$

$$\Delta H_4 := \frac{R_{\acute{o}\ddot{a}4\acute{o}'14\Sigma}}{9810} = 0.564$$

$$\Delta H_5 := \frac{R_{\acute{o}\ddot{a}5\acute{o}'15\Sigma}}{9810} = 0.035$$

$$\Delta H_6 := \frac{R_{\acute{o}\ddot{a}6\acute{o}'16\Sigma}}{9810} = 0.29$$

$$\Delta H_7 := \frac{R_{\acute{o}\ddot{a}7\acute{o}'17\Sigma}}{9810} = 0.204$$

$$\Delta H_8 := \frac{R_{\acute{o}\ddot{a}8\acute{o}'18\Sigma}}{9810} = 0.267$$

$$\Delta H_9 := \frac{R_{\acute{o}\ddot{a}9\acute{o}'19\Sigma}}{9810} = 0.042$$

$$\Delta H_{10} := \frac{R_{\acute{o}\ddot{a}10\acute{o}'110\Sigma}}{9810} = 0.294$$

$$\Delta H_{11} := \frac{R_{\acute{o}\ddot{a}11\acute{o}'111\Sigma}}{9810} = 0.074$$

$$\Delta H_{12} := \frac{R_{\acute{o}\ddot{a}12\acute{o}'112\Sigma}}{9810} = 0.162$$

$$\Delta H_{13} := \frac{R_{\acute{o}\ddot{a}13\acute{o}'113\Sigma}}{9810} = 0.065$$

$$\Delta H_{14} := \frac{R_{\acute{o}\ddot{a}14\acute{o}'114\Sigma}}{9810} = 0.066$$

$$\Delta H_{15} := \frac{R_{\acute{o}\ddot{a}15\acute{o}'115\Sigma}}{9810} = 0.02$$

$$\Delta H_{16} := \frac{R_{\acute{o}\ddot{a}16\acute{o}'116\Sigma}}{9810} = 0.423$$

$$\Delta H_{17} := \frac{R_{\acute{o}\ddot{a}17\acute{o}'117\Sigma}}{9810} = 0.027$$

$$\Delta H_{18} := \frac{R_{\acute{o}\ddot{a}18\acute{o}'118\Sigma}}{9810} = 1.516$$

$$\Delta H_{19} := \frac{R_{\acute{o}\ddot{a}19\acute{o}'119\Sigma}}{9810} = 0.022$$

$$\Delta H_{20} := \frac{R_{\acute{o}\ddot{a}20\acute{o}'120\Sigma}}{9810} = 0.691$$

$$\Delta H_{21} := \frac{R_{\acute{o}\ddot{a}21\acute{o}'121\Sigma}}{9810} = 0.044$$

$$\Delta H_{22} := \frac{R_{\acute{o}\ddot{a}22\acute{o}'122\Sigma}}{9810} = 0.313$$

$$\Delta H_{23} := \frac{R_{\acute{o}\ddot{a}23\acute{o}'123\Sigma}}{9810} = 0.253$$

$$\Delta H_{24} := \frac{R_{\acute{o}\ddot{a}24\acute{o}'124\Sigma}}{9810} = 0.019$$

$$\Delta H_{25} := \frac{R_{\acute{o}\ddot{a}25\acute{o}'125\Sigma}}{9810} = 0.085$$

$$\Delta H_{26} := \frac{R_{\acute{o}\ddot{a}26\acute{o}'126\Sigma}}{9810} = 0.018$$

$$\Delta H_{27} := \frac{R_{\acute{o}\ddot{a}27\acute{o}'127\Sigma}}{9810} = 0.161$$

$$\Delta H_{28} := \frac{R_{\acute{o}\ddot{a}28\acute{o}'128\Sigma}}{9810} = 0.92$$

$$\Delta H_{29} := \frac{R_{\acute{o}\ddot{a}29\acute{o}'129\Sigma}}{9810} = 0.017$$

$$\Delta H_{30} := \frac{R_{\acute{o}\ddot{a}30\acute{o}'130\Sigma}}{9810} = 0.301$$

$$\Delta H_{31} := \frac{R_{\acute{o}\ddot{a}31\acute{o}'131\Sigma}}{9810} = 0.031$$

$$\Delta H_{32} := \frac{R_{\acute{o}\ddot{a}32\acute{o}'132\Sigma}}{9810} = 0.355$$

$$\Delta H_{33} := \frac{R_{\acute{o}\ddot{a}33\acute{o}'133\Sigma}}{9810} = 0.031$$

$$\Delta H_{34} := \frac{R_{\acute{o}\ddot{a}34\acute{o}'134\Sigma}}{9810} = 0.203$$

$$\Delta H_{35} := \frac{R_{\acute{o}\ddot{a}35\acute{o}'135\Sigma}}{9810} = 0.245$$

$$\Delta H_{36} := \frac{R_{\acute{o}\ddot{a}36\acute{o}'136\Sigma}}{9810} = 0.02$$

$$\Delta H_{37} := \frac{R_{\acute{o}\ddot{a}37\acute{o}'137\Sigma}}{9810} = 0.138$$

$$\Delta H_{38} := \frac{R_{\acute{o}\ddot{a}38\acute{o}'138\Sigma}}{9810} = 0.191$$

$$\Delta H_{39} := \frac{R_{\acute{o}\ddot{a}39\acute{o}'139\Sigma}}{9810} = 0.028$$

$$\Delta H_{40} := \frac{R_{\acute{o}\ddot{a}40\acute{o}'140\Sigma}}{9810} = 0.244$$

$$\Delta H_{41} := \frac{R_{\acute{o}\ddot{a}41\acute{o}'141\Sigma}}{9810} = 0.023$$

$$\Delta H_{42} := \frac{R_{\acute{o}\ddot{a}42\acute{o}'142\Sigma}}{9810} = 0.43$$

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

$$V_{\acute{o}\ddot{a}1} := 3.14 \frac{d_{\ddot{n}\delta 1}^2}{4} = 0.071$$

$$V_{\acute{o}\ddot{a}2} := 3.14 \frac{d_{\ddot{n}\delta 2}^2}{4} = 0.005$$

$$V_{\acute{o}\ddot{a}3} := 3.14 \frac{d_{\ddot{n}\delta 3}^2}{4} = 0.031$$

$$V_{\acute{o}\ddot{a}4} := 3.14 \frac{d_{\ddot{n}\delta 4}^2}{4} = 0.049$$

$$V_{\acute{o}\ddot{a}5} := 3.14 \frac{d_{\ddot{n}\delta 5}^2}{4} = 0.012$$

$$V_{\acute{o}\ddot{a}6} := 3.14 \frac{d_{\ddot{n}\delta 6}^2}{4} = 0.018$$

$$V_{\acute{o}\ddot{a}7} := 3.14 \frac{d_{\ddot{n}\delta 7}^2}{4} = 0.008$$

$$V_{\acute{o}\ddot{a}8} := 3.14 \frac{d_{\ddot{n}\delta 8}^2}{4} = 0.008$$

$$V_{\acute{o}\ddot{a}9} := 3.14 \frac{d_{\ddot{n}\delta 9}^2}{4} = 0.008$$

$$V_{\acute{o}\ddot{a}10} := 3.14 \frac{d_{\ddot{n}\delta 10}^2}{4} = 0.031$$

$$V_{\acute{o}\ddot{a}11} := 3.14 \frac{d_{\ddot{n}\delta 11}^2}{4} = 0.003$$

$$V_{\acute{o}\ddot{a}12} := 3.14 \frac{d_{\ddot{n}\delta 12}^2}{4} = 0.031$$

$$V_{\acute{o}\ddot{a}13} := 3.14 \frac{d_{\ddot{n}\delta 13}^2}{4} = 0.008$$

$$V_{\acute{o}\ddot{a}14} := 3.14 \frac{d_{\ddot{n}\delta 14}^2}{4} = 0.031$$

$$V_{\acute{o}\ddot{a}15} := 3.14 \frac{d_{\ddot{n}\delta 15}^2}{4} = 0.001$$

$$V_{\acute{o}\ddot{a}16} := 3.14 \frac{d_{\ddot{n}\delta 16}^2}{4} = 0.024$$

$$V_{\acute{o}\ddot{a}17} := 3.14 \frac{d_{\ddot{n}\delta 17}^2}{4} = 0.001$$

$$V_{\acute{o}\ddot{a}22} := 3.14 \frac{d_{\ddot{n}\delta 22}^2}{4} = 0.008$$

$$V_{\acute{o}\ddot{a}23} := 3.14 \frac{d_{\ddot{n}\delta 23}^2}{4} = 0.012$$

$$V_{\acute{o}\ddot{a}24} := 3.14 \frac{d_{\ddot{n}\delta 24}^2}{4} = 0.005$$

$$V_{\acute{o}\ddot{a}25} := 3.14 \frac{d_{\ddot{n}\delta 25}^2}{4} = 0.012$$

$$V_{\acute{o}\ddot{a}26} := 3.14 \frac{d_{\ddot{n}\delta 26}^2}{4} = 0.005$$

$$V_{\acute{o}\ddot{a}27} := 3.14 \frac{d_{\ddot{n}\delta 27}^2}{4} = 0.008$$

$$V_{\acute{o}\ddot{a}28} := 3.14 \frac{d_{\ddot{n}\delta 28}^2}{4} = 0.031$$

$$V_{\acute{o}\ddot{a}29} := 3.14 \frac{d_{\ddot{n}\delta 29}^2}{4} = 0.005$$

$$V_{\acute{o}\ddot{a}30} := 3.14 \frac{d_{\ddot{n}\delta 30}^2}{4} = 0.031$$

$$V_{\acute{o}\ddot{a}31} := 3.14 \frac{d_{\ddot{n}\delta 31}^2}{4} = 0.008$$

$$V_{\acute{o}\ddot{a}32} := 3.14 \frac{d_{\ddot{n}\delta 32}^2}{4} = 0.012$$

$$V_{\acute{o}\ddot{a}33} := 3.14 \frac{d_{\ddot{n}\delta 33}^2}{4} = 0.008$$

$$V_{\acute{o}\ddot{a}34} := 3.14 \frac{d_{\ddot{n}\delta 34}^2}{4} = 0.008$$

$$V_{\acute{o}\ddot{a}35} := 3.14 \frac{d_{\ddot{n}\delta 35}^2}{4} = 0.024$$

$$V_{\acute{o}\ddot{a}36} := 3.14 \frac{d_{\ddot{n}\delta 36}^2}{4} = 0.008$$

$$V_{\acute{o}\ddot{a}37} := 3.14 \frac{d_{\ddot{n}\delta 37}^2}{4} = 0.018$$

$$V_{\acute{o}\ddot{a}38} := 3.14 \frac{d_{\ddot{n}\delta 38}^2}{4} = 0.012$$

$$V_{\acute{o}\ddot{a}18} := 3.14 \frac{d_{\ddot{n}\delta 18}^2}{4} = 0.024$$

$$V_{\acute{o}\ddot{a}19} := 3.14 \frac{d_{\ddot{n}\delta 19}^2}{4} = 0.008$$

$$V_{\acute{o}\ddot{a}20} := 3.14 \frac{d_{\ddot{n}\delta 20}^2}{4} = 0.012$$

$$V_{\acute{o}\ddot{a}21} := 3.14 \frac{d_{\ddot{n}\delta 21}^2}{4} = 0.012$$

$$V_{cp1} := V_{\acute{o}\ddot{a}1} \cdot l_1 = 18.016$$

$$V_{cp2} := V_{\acute{o}\ddot{a}2} \cdot l_2 = 0.487$$

$$V_{cp3} := V_{\acute{o}\ddot{a}3} \cdot l_3 = 3.046$$

$$V_{cp4} := V_{\acute{o}\ddot{a}4} \cdot l_4 = 5.986$$

$$V_{cp5} := V_{\acute{o}\ddot{a}5} \cdot l_5 = 0.159$$

$$V_{cp6} := V_{\acute{o}\ddot{a}6} \cdot l_6 = 1.113$$

$$V_{cp7} := V_{\acute{o}\ddot{a}7} \cdot l_7 = 0.377$$

$$V_{cp8} := V_{\acute{o}\ddot{a}8} \cdot l_8 = 0.495$$

$$V_{cp9} := V_{\acute{o}\ddot{a}9} \cdot l_9 = 0.079$$

$$V_{cp10} := V_{\acute{o}\ddot{a}10} \cdot l_{10} = 1.696$$

$$V_{cp11} := V_{\acute{o}\ddot{a}11} \cdot l_{11} = 0.106$$

$$V_{cp12} := V_{\acute{o}\ddot{a}12} \cdot l_{12} = 1.005$$

$$V_{cp13} := V_{\acute{o}\ddot{a}13} \cdot l_{13} = 0.126$$

$$V_{cp14} := V_{\acute{o}\ddot{a}14} \cdot l_{14} = 0.565$$

$$V_{cp15} := V_{\acute{o}\ddot{a}15} \cdot l_{15} = 0.006$$

$$V_{cp16} := V_{\acute{o}\ddot{a}16} \cdot l_{16} = 1.394$$

$$V_{cp17} := V_{\acute{o}\ddot{a}17} \cdot l_{17} = 0.01$$

$$V_{cp18} := V_{\acute{o}\ddot{a}18} \cdot l_{18} = 5.145$$

$$V_{cp19} := V_{\acute{o}\ddot{a}19} \cdot l_{19} = 0.039$$

$$V_{cp20} := V_{\acute{o}\ddot{a}20} \cdot l_{20} = 1.006$$

$$V_{cp21} := V_{\acute{o}\ddot{a}21} \cdot l_{21} = 0.184$$

$$V_{\acute{o}\ddot{a}39} := 3.14 \frac{d_{\ddot{n}\delta 39}^2}{4} = 0.008$$

$$V_{\acute{o}\ddot{a}40} := 3.14 \frac{d_{\ddot{n}\delta 40}^2}{4} = 0.008$$

$$V_{\acute{o}\ddot{a}41} := 3.14 \frac{d_{\ddot{n}\delta 41}^2}{4} = 0.012$$

$$V_{\acute{o}\ddot{a}42} := 3.14 \frac{d_{\ddot{n}\delta 42}^2}{4} = 0.003$$

$$V_{cp22} := V_{\acute{o}\ddot{a}22} \cdot l_{22} = 0.55$$

$$V_{cp23} := V_{\acute{o}\ddot{a}23} \cdot l_{23} = 0.589$$

$$V_{cp24} := V_{\acute{o}\ddot{a}24} \cdot l_{24} = 0.045$$

$$V_{cp25} := V_{\acute{o}\ddot{a}25} \cdot l_{25} = 0.307$$

$$V_{cp26} := V_{\acute{o}\ddot{a}26} \cdot l_{26} = 0.02$$

$$V_{cp27} := V_{\acute{o}\ddot{a}27} \cdot l_{27} = 0.283$$

$$V_{cp28} := V_{\acute{o}\ddot{a}28} \cdot l_{28} = 4.239$$

$$V_{cp29} := V_{\acute{o}\ddot{a}29} \cdot l_{29} = 0.018$$

$$V_{cp30} := V_{\acute{o}\ddot{a}30} \cdot l_{30} = 1.633$$

$$V_{cp31} := V_{\acute{o}\ddot{a}31} \cdot l_{31} = 0.079$$

$$V_{cp32} := V_{\acute{o}\ddot{a}32} \cdot l_{32} = 0.981$$

$$V_{cp33} := V_{\acute{o}\ddot{a}33} \cdot l_{33} = 0.079$$

$$V_{cp34} := V_{\acute{o}\ddot{a}34} \cdot l_{34} = 0.393$$

$$V_{cp35} := V_{\acute{o}\ddot{a}35} \cdot l_{35} = 1.322$$

$$V_{cp36} := V_{\acute{o}\ddot{a}36} \cdot l_{36} = 0.043$$

$$V_{cp37} := V_{\acute{o}\ddot{a}37} \cdot l_{37} = 0.389$$

$$V_{cp38} := V_{\acute{o}\ddot{a}38} \cdot l_{38} = 0.46$$

$$V_{cp39} := V_{\acute{o}\ddot{a}39} \cdot l_{39} = 0.055$$

$$V_{cp40} := V_{\acute{o}\ddot{a}40} \cdot l_{40} = 0.471$$

$$V_{cp41} := V_{\acute{o}\ddot{a}41} \cdot l_{41} = 0.129$$

$$V_{cp42} := V_{\acute{o}\ddot{a}42} \cdot l_{42} = 0.582$$

$$b := 0.6 \quad C := 1 \quad \tau_{\text{çäi}} := 9\text{s}$$

$$\rho_{\text{cp}} := 970 \quad \alpha := 0.002:$$

$$m_{\text{ç.äi.f1}} := \alpha \cdot V_{\text{cp1}} = 0.045$$

$$m_{\text{ç.äi.f2}} := \alpha \cdot V_{\text{cp2}} = 0.001$$

$$m_{\text{ç.äi.f3}} := \alpha \cdot V_{\text{cp3}} = 0.008$$

$$m_{\text{ç.äi.f4}} := \alpha \cdot V_{\text{cp4}} = 0.015$$

$$m_{\text{ç.äi.f5}} := \alpha \cdot V_{\text{cp5}} = 0$$

$$m_{\text{ç.äi.f6}} := \alpha \cdot V_{\text{cp6}} = 0.003$$

$$m_{\text{ç.äi.f7}} := \alpha \cdot V_{\text{cp7}} = 0.001$$

$$m_{\text{ç.äi.f8}} := \alpha \cdot V_{\text{cp8}} = 0.001$$

$$m_{\text{ç.äi.f9}} := \alpha \cdot V_{\text{cp9}} = 0$$

$$m_{\text{ç.äi.f10}} := \alpha \cdot V_{\text{cp10}} = 0.004$$

$$m_{\text{ç.äi.f11}} := \alpha \cdot V_{\text{cp11}} = 0$$

$$m_{\text{ç.äi.f12}} := \alpha \cdot V_{\text{cp12}} = 0.003$$

$$m_{\text{ç.äi.f13}} := \alpha \cdot V_{\text{cp13}} = 0$$

$$m_{\text{ç.äi.f14}} := \alpha \cdot V_{\text{cp14}} = 0.001$$

$$m_{\text{ç.äi.f15}} := \alpha \cdot V_{\text{cp15}} = 0$$

$$m_{\text{ç.äi.f16}} := \alpha \cdot V_{\text{cp16}} = 0.003$$

$$m_{\text{ç.äi.f17}} := \alpha \cdot V_{\text{cp17}} = 0$$

$$m_{\text{ç.äi.f18}} := \alpha \cdot V_{\text{cp18}} = 0.013$$

$$m_{\text{ç.äi.f19}} := \alpha \cdot V_{\text{cp19}} = 0$$

$$m_{\text{ç.äi.f20}} := \alpha \cdot V_{\text{cp20}} = 0.003$$

$$m_{\text{ç.äi.f21}} := \alpha \cdot V_{\text{cp21}} = 0$$

$$m_{\text{ç.äi.f22}} := \alpha \cdot V_{\text{cp22}} = 0.001$$

$$m_{\text{ç.äi.f23}} := \alpha \cdot V_{\text{cp23}} = 0.001$$

$$m_{\text{ç.äi.f24}} := \alpha \cdot V_{\text{cp24}} = 0$$

$$m_{\text{ç.äi.f25}} := \alpha \cdot V_{\text{cp25}} = 0.001$$

$$m_{\text{ç.äi.f26}} := \alpha \cdot V_{\text{cp26}} = 0$$

$$m_{\text{ç.äi.f27}} := \alpha \cdot V_{\text{cp27}} = 0.001$$

$$m_{\text{ç.äi.f28}} := \alpha \cdot V_{\text{cp28}} = 0.011$$

$$m_{\text{ç.äi.f29}} := \alpha \cdot V_{\text{cp29}} = 0$$

$$m_{\text{ç.äi.f30}} := \alpha \cdot V_{\text{cp30}} = 0.004$$

$$m_{\text{ç.äi.f31}} := \alpha \cdot V_{\text{cp31}} = 0$$

$$m_{\text{ç.äi.f32}} := \alpha \cdot V_{\text{cp32}} = 0.002$$

$$m_{\text{ç.äi.f33}} := \alpha \cdot V_{\text{cp33}} = 0$$

$$m_{\text{ç.äi.f34}} := \alpha \cdot V_{\text{cp34}} = 0.001$$

$$m_{\text{ç.äi.f35}} := \alpha \cdot V_{\text{cp35}} = 0.003$$

$$m_{\text{ç.äi.f36}} := \alpha \cdot V_{\text{cp36}} = 0$$

$$m_{\text{ç.äi.f37}} := \alpha \cdot V_{\text{cp37}} = 0.001$$

$$m_{\text{ç.äi.f38}} := \alpha \cdot V_{\text{cp38}} = 0.001$$

$$m_{\text{ç.äi.f39}} := \alpha \cdot V_{\text{cp39}} = 0$$

$$m_{\text{ç.äi.f40}} := \alpha \cdot V_{\text{cp40}} = 0.001$$

$$m_{\text{ç.äi.f41}} := \alpha \cdot V_{\text{cp41}} = 0$$

$$m_{\text{ç.äi.f42}} := \alpha \cdot V_{\text{cp42}} = 0.001$$

$$Q_{6.11} := m_{6.ä.11} \cdot \rho_{cp} \cdot C \left[ b \cdot \tau_1 + (1 - b) \cdot \tau_2 - t_c \right] = 3495.055$$

$$Q_{6.12} := m_{6.ä.12} \cdot \rho_{cp} \cdot C \left[ b \cdot \tau_1 + (1 - b) \cdot \tau_2 - t_c \right] = 94.542$$

$$Q_{6.13} := m_{6.ä.13} \cdot \rho_{cp} \cdot C \left[ b \cdot \tau_1 + (1 - b) \cdot \tau_2 - t_c \right] = 590.885$$

$$Q_{6.14} := m_{6.ä.14} \cdot \rho_{cp} \cdot C \left[ b \cdot \tau_1 + (1 - b) \cdot \tau_2 - t_c \right] = 1161.211$$

$$Q_{6.15} := m_{6.ä.15} \cdot \rho_{cp} \cdot C \left[ b \cdot \tau_1 + (1 - b) \cdot \tau_2 - t_c \right] = 30.934$$

$$Q_{6.16} := m_{6.ä.16} \cdot \rho_{cp} \cdot C \left[ b \cdot \tau_1 + (1 - b) \cdot \tau_2 - t_c \right] = 215.871$$

$$Q_{6.17} := m_{6.ä.17} \cdot \rho_{cp} \cdot C \left[ b \cdot \tau_1 + (1 - b) \cdot \tau_2 - t_c \right] = 73.099$$

$$Q_{6.18} := m_{6.ä.18} \cdot \rho_{cp} \cdot C \left[ b \cdot \tau_1 + (1 - b) \cdot \tau_2 - t_c \right] = 95.943$$

$$Q_{6.19} := m_{6.ä.19} \cdot \rho_{cp} \cdot C \left[ b \cdot \tau_1 + (1 - b) \cdot \tau_2 - t_c \right] = 15.229$$

$$Q_{6.110} := m_{6.ä.110} \cdot \rho_{cp} \cdot C \left[ b \cdot \tau_1 + (1 - b) \cdot \tau_2 - t_c \right] = 328.946$$

$$Q_{6.111} := m_{6.ä.111} \cdot \rho_{cp} \cdot C \left[ b \cdot \tau_1 + (1 - b) \cdot \tau_2 - t_c \right] = 20.59$$

$$Q_{6.112} := m_{6.ä.112} \cdot \rho_{cp} \cdot C \left[ b \cdot \tau_1 + (1 - b) \cdot \tau_2 - t_c \right] = 194.931$$

$$Q_{6.113} := m_{6.ä.113} \cdot \rho_{cp} \cdot C \left[ b \cdot \tau_1 + (1 - b) \cdot \tau_2 - t_c \right] = 24.366$$

$$Q_{6.114} := m_{6.ä.114} \cdot \rho_{cp} \cdot C \left[ b \cdot \tau_1 + (1 - b) \cdot \tau_2 - t_c \right] = 109.649$$

$$Q_{6.115} := m_{6.ä.115} \cdot \rho_{cp} \cdot C \left[ b \cdot \tau_1 + (1 - b) \cdot \tau_2 - t_c \right] = 1.248$$

$$Q_{6.116} := m_{6.ä.116} \cdot \rho_{cp} \cdot C \left[ b \cdot \tau_1 + (1 - b) \cdot \tau_2 - t_c \right] = 270.505$$

$$Q_{6.117} := m_{6.ä.117} \cdot \rho_{cp} \cdot C \left[ b \cdot \tau_1 + (1 - b) \cdot \tau_2 - t_c \right] = 1.949$$

$$Q_{6.118} := m_{6.ä.118} \cdot \rho_{cp} \cdot C \left[ b \cdot \tau_1 + (1 - b) \cdot \tau_2 - t_c \right] = 998.071$$

$$Q_{6.119} := m_{6.ä.119} \cdot \rho_{cp} \cdot C \left[ b \cdot \tau_1 + (1 - b) \cdot \tau_2 - t_c \right] = 7.615$$

$$Q_{6.120} := m_{6.ä.120} \cdot \rho_{cp} \cdot C \left[ b \cdot \tau_1 + (1 - b) \cdot \tau_2 - t_c \right] = 195.122$$

$$Q_{6.121} := m_{6.ä.121} \cdot \rho_{cp} \cdot C \left[ b \cdot \tau_1 + (1 - b) \cdot \tau_2 - t_c \right] = 35.693$$

$$Q_{6.122} := m_{6.ä.122} \cdot \rho_{cp} \cdot C \left[ b \cdot \tau_1 + (1 - b) \cdot \tau_2 - t_c \right] = 106.603$$

$$Q_{6.123} := m_{6.ä.123} \cdot \rho_{cp} \cdot C \left[ b \cdot \tau_1 + (1 - b) \cdot \tau_2 - t_c \right] = 114.218$$

$$Q_{6.124} := m_{6.ä.124} \cdot \rho_{cp} \cdot C \left[ b \cdot \tau_1 + (1 - b) \cdot \tau_2 - t_c \right] = 8.772$$

$$Q_{6.125} := m_{6.ä.125} \cdot \rho_{cp} \cdot C \left[ b \cdot \tau_1 + (1 - b) \cdot \tau_2 - t_c \right] = 59.488$$

$$Q_{6.126} := m_{6.ä.126} \cdot \rho_{cp} \cdot C \left[ b \cdot \tau_1 + (1 - b) \cdot \tau_2 - t_c \right] = 3.899$$

$$Q_{6.127} := m_{6.ä.127} \cdot \rho_{cp} \cdot C \left[ b \cdot \tau_1 + (1 - b) \cdot \tau_2 - t_c \right] = 54.824$$

$$Q_{6.i28} := m_{6.äi.i28} \cdot \rho_{cp} \cdot C \cdot [b \cdot \tau_1 + (1 - b) \cdot \tau_2 - t_c] = 822.366$$

$$Q_{6.i29} := m_{6.äi.i29} \cdot \rho_{cp} \cdot C \cdot [b \cdot \tau_1 + (1 - b) \cdot \tau_2 - t_c] = 3.411$$

$$Q_{6.i30} := m_{6.äi.i30} \cdot \rho_{cp} \cdot C \cdot [b \cdot \tau_1 + (1 - b) \cdot \tau_2 - t_c] = 316.763$$

$$Q_{6.i31} := m_{6.äi.i31} \cdot \rho_{cp} \cdot C \cdot [b \cdot \tau_1 + (1 - b) \cdot \tau_2 - t_c] = 15.229$$

$$Q_{6.i32} := m_{6.äi.i32} \cdot \rho_{cp} \cdot C \cdot [b \cdot \tau_1 + (1 - b) \cdot \tau_2 - t_c] = 190.362$$

$$Q_{6.i33} := m_{6.äi.i33} \cdot \rho_{cp} \cdot C \cdot [b \cdot \tau_1 + (1 - b) \cdot \tau_2 - t_c] = 15.229$$

$$Q_{6.i34} := m_{6.äi.i34} \cdot \rho_{cp} \cdot C \cdot [b \cdot \tau_1 + (1 - b) \cdot \tau_2 - t_c] = 76.145$$

$$Q_{6.i35} := m_{6.äi.i35} \cdot \rho_{cp} \cdot C \cdot [b \cdot \tau_1 + (1 - b) \cdot \tau_2 - t_c] = 256.513$$

$$Q_{6.i36} := m_{6.äi.i36} \cdot \rho_{cp} \cdot C \cdot [b \cdot \tau_1 + (1 - b) \cdot \tau_2 - t_c] = 8.376$$

$$Q_{6.i37} := m_{6.äi.i37} \cdot \rho_{cp} \cdot C \cdot [b \cdot \tau_1 + (1 - b) \cdot \tau_2 - t_c] = 75.384$$

$$Q_{6.i38} := m_{6.äi.i38} \cdot \rho_{cp} \cdot C \cdot [b \cdot \tau_1 + (1 - b) \cdot \tau_2 - t_c] = 89.232$$

$$Q_{6.i39} := m_{6.äi.i39} \cdot \rho_{cp} \cdot C \cdot [b \cdot \tau_1 + (1 - b) \cdot \tau_2 - t_c] = 10.66$$

$$Q_{6.i40} := m_{6.äi.i40} \cdot \rho_{cp} \cdot C \cdot [b \cdot \tau_1 + (1 - b) \cdot \tau_2 - t_c] = 91.374$$

$$Q_{6.i41} := m_{6.äi.i41} \cdot \rho_{cp} \cdot C \cdot [b \cdot \tau_1 + (1 - b) \cdot \tau_2 - t_c] = 24.985$$

$$Q_{6.i42} := m_{6.äi.i42} \cdot \rho_{cp} \cdot C \cdot [b \cdot \tau_1 + (1 - b) \cdot \tau_2 - t_c] = 112.921$$

$$Q_{\text{cäi}1} := 1.5 V_{cp1} \cdot \rho_{cp} \cdot C \cdot (\tau_{\text{cäi}} - t_c) \cdot 10^{-6} = 2.359$$

$$Q_{\text{cäi}2} := 1.5 V_{cp2} \cdot \rho_{cp} \cdot C \cdot (\tau_{\text{cäi}} - t_c) \cdot 10^{-6} = 0.064$$

$$Q_{\text{cäi}3} := 1.5 V_{cp3} \cdot \rho_{cp} \cdot C \cdot (\tau_{\text{cäi}} - t_c) \cdot 10^{-6} = 0.399$$

$$Q_{\text{cäi}4} := 1.5 V_{cp4} \cdot \rho_{cp} \cdot C \cdot (\tau_{\text{cäi}} - t_c) \cdot 10^{-6} = 0.784$$

$$Q_{\text{cäi}5} := 1.5 V_{cp5} \cdot \rho_{cp} \cdot C \cdot (\tau_{\text{cäi}} - t_c) \cdot 10^{-6} = 0.021$$

$$Q_{\text{cäi}6} := 1.5 V_{cp6} \cdot \rho_{cp} \cdot C \cdot (\tau_{\text{cäi}} - t_c) \cdot 10^{-6} = 0.146$$

$$Q_{\text{cäi}7} := 1.5 V_{cp7} \cdot \rho_{cp} \cdot C \cdot (\tau_{\text{cäi}} - t_c) \cdot 10^{-6} = 0.049$$

$$Q_{\text{cäi}8} := 1.5 V_{cp8} \cdot \rho_{cp} \cdot C \cdot (\tau_{\text{cäi}} - t_c) \cdot 10^{-6} = 0.065$$

$$Q_{\text{cäi}9} := 1.5 V_{cp9} \cdot \rho_{cp} \cdot C \cdot (\tau_{\text{cäi}} - t_c) \cdot 10^{-6} = 0.01$$

$$Q_{\text{cäi}10} := 1.5 V_{cp10} \cdot \rho_{cp} \cdot C \cdot (\tau_{\text{cäi}} - t_c) \cdot 10^{-6} = 0.222$$

$$Q_{\text{cäi}11} := 1.5 V_{cp11} \cdot \rho_{cp} \cdot C \cdot (\tau_{\text{cäi}} - t_c) \cdot 10^{-6} = 0.014$$

$$Q_{\text{cäi}12} := 1.5 V_{cp12} \cdot \rho_{cp} \cdot C \cdot (\tau_{\text{cäi}} - t_c) \cdot 10^{-6} = 0.132$$



$$Q_{\zeta\ddot{a}i13} := 1.5V_{cp13} \cdot \rho_{cp} \cdot C \cdot (\tau_{\zeta\ddot{a}i} - t_c) \cdot 10^{-6} = 0.016$$

$$Q_{\zeta\ddot{a}i14} := 1.5V_{cp14} \cdot \rho_{cp} \cdot C \cdot (\tau_{\zeta\ddot{a}i} - t_c) \cdot 10^{-6} = 0.074$$

$$Q_{\zeta\ddot{a}i15} := 1.5V_{cp15} \cdot \rho_{cp} \cdot C \cdot (\tau_{\zeta\ddot{a}i} - t_c) \cdot 10^{-6} = 0.001$$

$$Q_{\zeta\ddot{a}i16} := 1.5V_{cp16} \cdot \rho_{cp} \cdot C \cdot (\tau_{\zeta\ddot{a}i} - t_c) \cdot 10^{-6} = 0.183$$

$$Q_{\zeta\ddot{a}i17} := 1.5V_{cp17} \cdot \rho_{cp} \cdot C \cdot (\tau_{\zeta\ddot{a}i} - t_c) \cdot 10^{-6} = 0.001$$

$$Q_{\zeta\ddot{a}i18} := 1.5V_{cp18} \cdot \rho_{cp} \cdot C \cdot (\tau_{\zeta\ddot{a}i} - t_c) \cdot 10^{-6} = 0.674$$

$$Q_{\zeta\ddot{a}i19} := 1.5V_{cp19} \cdot \rho_{cp} \cdot C \cdot (\tau_{\zeta\ddot{a}i} - t_c) \cdot 10^{-6} = 0.005$$

$$Q_{\zeta\ddot{a}i20} := 1.5V_{cp20} \cdot \rho_{cp} \cdot C \cdot (\tau_{\zeta\ddot{a}i} - t_c) \cdot 10^{-6} = 0.132$$

$$Q_{\zeta\ddot{a}i21} := 1.5V_{cp21} \cdot \rho_{cp} \cdot C \cdot (\tau_{\zeta\ddot{a}i} - t_c) \cdot 10^{-6} = 0.024$$

$$Q_{\zeta\ddot{a}i22} := 1.5V_{cp22} \cdot \rho_{cp} \cdot C \cdot (\tau_{\zeta\ddot{a}i} - t_c) \cdot 10^{-6} = 0.072$$

$$Q_{\zeta\ddot{a}i23} := 1.5V_{cp23} \cdot \rho_{cp} \cdot C \cdot (\tau_{\zeta\ddot{a}i} - t_c) \cdot 10^{-6} = 0.077$$

$$Q_{\zeta\ddot{a}i24} := 1.5V_{cp24} \cdot \rho_{cp} \cdot C \cdot (\tau_{\zeta\ddot{a}i} - t_c) \cdot 10^{-6} = 0.006$$

$$Q_{\zeta\ddot{a}i25} := 1.5V_{cp25} \cdot \rho_{cp} \cdot C \cdot (\tau_{\zeta\ddot{a}i} - t_c) \cdot 10^{-6} = 0.04$$

$$Q_{\zeta\ddot{a}i26} := 1.5V_{cp26} \cdot \rho_{cp} \cdot C \cdot (\tau_{\zeta\ddot{a}i} - t_c) \cdot 10^{-6} = 0.003$$

$$Q_{\zeta\ddot{a}i27} := 1.5V_{cp27} \cdot \rho_{cp} \cdot C \cdot (\tau_{\zeta\ddot{a}i} - t_c) \cdot 10^{-6} = 0.037$$

$$Q_{\zeta\ddot{a}i28} := 1.5V_{cp28} \cdot \rho_{cp} \cdot C \cdot (\tau_{\zeta\ddot{a}i} - t_c) \cdot 10^{-6} = 0.555$$

$$Q_{\zeta\ddot{a}i29} := 1.5V_{cp29} \cdot \rho_{cp} \cdot C \cdot (\tau_{\zeta\ddot{a}i} - t_c) \cdot 10^{-6} = 0.002$$

$$Q_{\zeta\ddot{a}i30} := 1.5V_{cp30} \cdot \rho_{cp} \cdot C \cdot (\tau_{\zeta\ddot{a}i} - t_c) \cdot 10^{-6} = 0.214$$

$$Q_{\zeta\ddot{a}i31} := 1.5V_{cp31} \cdot \rho_{cp} \cdot C \cdot (\tau_{\zeta\ddot{a}i} - t_c) \cdot 10^{-6} = 0.01$$

$$Q_{\zeta\ddot{a}i32} := 1.5V_{cp32} \cdot \rho_{cp} \cdot C \cdot (\tau_{\zeta\ddot{a}i} - t_c) \cdot 10^{-6} = 0.128$$

$$Q_{\zeta\ddot{a}i33} := 1.5V_{cp33} \cdot \rho_{cp} \cdot C \cdot (\tau_{\zeta\ddot{a}i} - t_c) \cdot 10^{-6} = 0.01$$

$$Q_{\zeta\ddot{a}i34} := 1.5V_{cp34} \cdot \rho_{cp} \cdot C \cdot (\tau_{\zeta\ddot{a}i} - t_c) \cdot 10^{-6} = 0.051$$

$$Q_{\zeta\ddot{a}i35} := 1.5V_{cp35} \cdot \rho_{cp} \cdot C \cdot (\tau_{\zeta\ddot{a}i} - t_c) \cdot 10^{-6} = 0.173$$

$$Q_{\zeta\ddot{a}i36} := 1.5V_{cp36} \cdot \rho_{cp} \cdot C \cdot (\tau_{\zeta\ddot{a}i} - t_c) \cdot 10^{-6} = 0.006$$

$$Q_{\zeta\ddot{a}i37} := 1.5V_{cp37} \cdot \rho_{cp} \cdot C \cdot (\tau_{\zeta\ddot{a}i} - t_c) \cdot 10^{-6} = 0.051$$

$$Q_{\zeta\ddot{a}i38} := 1.5V_{cp38} \cdot \rho_{cp} \cdot C \cdot (\tau_{\zeta\ddot{a}i} - t_c) \cdot 10^{-6} = 0.06$$

$$Q_{\zeta\ddot{a}i39} := 1.5V_{cp39} \cdot \rho_{cp} \cdot C \cdot (\tau_{\zeta\ddot{a}i} - t_c) \cdot 10^{-6} = 0.007$$

$$Q_{\text{c\u00e4i}40} := 1.5V_{\text{cp}40} \rho_{\text{cp}} \cdot C \cdot (\tau_{\text{c\u00e4i}} - t_c) \cdot 10^{-6} = 0.062$$

$$Q_{\text{c\u00e4i}41} := 1.5V_{\text{cp}41} \rho_{\text{cp}} \cdot C \cdot (\tau_{\text{c\u00e4i}} - t_c) \cdot 10^{-6} = 0.017$$

$$Q_{\text{c\u00e4i}42} := 1.5V_{\text{cp}42} \rho_{\text{cp}} \cdot C \cdot (\tau_{\text{c\u00e4i}} - t_c) \cdot 10^{-6} = 0.076$$

$$\beta := 1.14$$

$$q_i := 45.3$$

$$Q_{\text{e\u00e7}1} := q_i \cdot l_1 \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 0.013$$

$$Q_{\text{e\u00e7}2} := q_i \cdot l_2 \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 0.005$$

$$Q_{\text{e\u00e7}3} := q_i \cdot l_3 \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 0.005$$

$$Q_{\text{e\u00e7}4} := q_i \cdot l_4 \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 0.006$$

$$Q_{\text{e\u00e7}5} := q_i \cdot l_5 \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 0.001$$

$$Q_{\text{e\u00e7}6} := q_i \cdot l_6 \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 0.003$$

$$Q_{\text{e\u00e7}7} := q_i \cdot l_7 \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 0.003$$

$$Q_{\text{e\u00e7}8} := q_i \cdot l_8 \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 0.003$$

$$Q_{\text{e\u00e7}9} := q_i \cdot l_9 \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 0.001$$

$$Q_{\text{e\u00e7}10} := q_i \cdot l_{10} \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 0.003$$

$$Q_{\text{e\u00e7}11} := q_i \cdot l_{11} \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 0.002$$

$$Q_{\text{e\u00e7}12} := q_i \cdot l_{12} \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 0.002$$

$$Q_{\text{e\u00e7}13} := q_i \cdot l_{13} \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 0.001$$

$$Q_{\text{e\u00e7}14} := q_i \cdot l_{14} \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 0.001$$

$$Q_{\text{e\u00e7}15} := q_i \cdot l_{15} \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 0$$

$$Q_{\text{e\u00e7}16} := q_i \cdot l_{16} \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 0.003$$

$$Q_{\text{e\u00e7}17} := q_i \cdot l_{17} \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 0$$

$$Q_{\text{e\u00e7}18} := q_i \cdot l_{18} \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 0.011$$

$$Q_{\text{e\u00e7}19} := q_i \cdot l_{19} \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 0$$

$$Q_{\text{e\u00e7}20} := q_i \cdot l_{20} \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 0.004$$

$$Q_{\text{e\u00e7}21} := q_i \cdot l_{21} \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 0.001$$

$$Q_{\text{e\u00e7}22} := q_i \cdot l_{22} \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 0.004$$

$$Q_{\text{e\u00e7}23} := q_i \cdot l_{23} \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 0.003$$

$$Q_{\text{e\u00e7}24} := q_i \cdot l_{24} \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 0$$

$$Q_{\text{e\u00e7}25} := q_i \cdot l_{25} \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 0.001$$

$$Q_{\text{e\u00e7}26} := q_i \cdot l_{26} \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 0$$

$$Q_{\text{e\u00e7}27} := q_i \cdot l_{27} \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 0.002$$

$$Q_{\text{e\u00e7}28} := q_i \cdot l_{28} \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 0.007$$

$$Q_{\text{e\u00e7}29} := q_i \cdot l_{29} \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 0$$

$$Q_{\text{e\u00e7}30} := q_i \cdot l_{30} \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 0.003$$

$$Q_{\text{e\u00e7}31} := q_i \cdot l_{31} \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 0.001$$

$$Q_{\text{e\u00e7}32} := q_i \cdot l_{32} \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 0.004$$

$$Q_{\text{e\u00e7}33} := q_i \cdot l_{33} \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 0.001$$

$$Q_{\text{e\u00e7}34} := q_i \cdot l_{34} \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 0.003$$

$$Q_{\text{e\u00e7}35} := q_i \cdot l_{35} \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 0.003$$

$$Q_{\text{e\u00e7}36} := q_i \cdot l_{36} \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 0$$

$$Q_{\text{e\u00e7}37} := q_i \cdot l_{37} \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 0.001$$

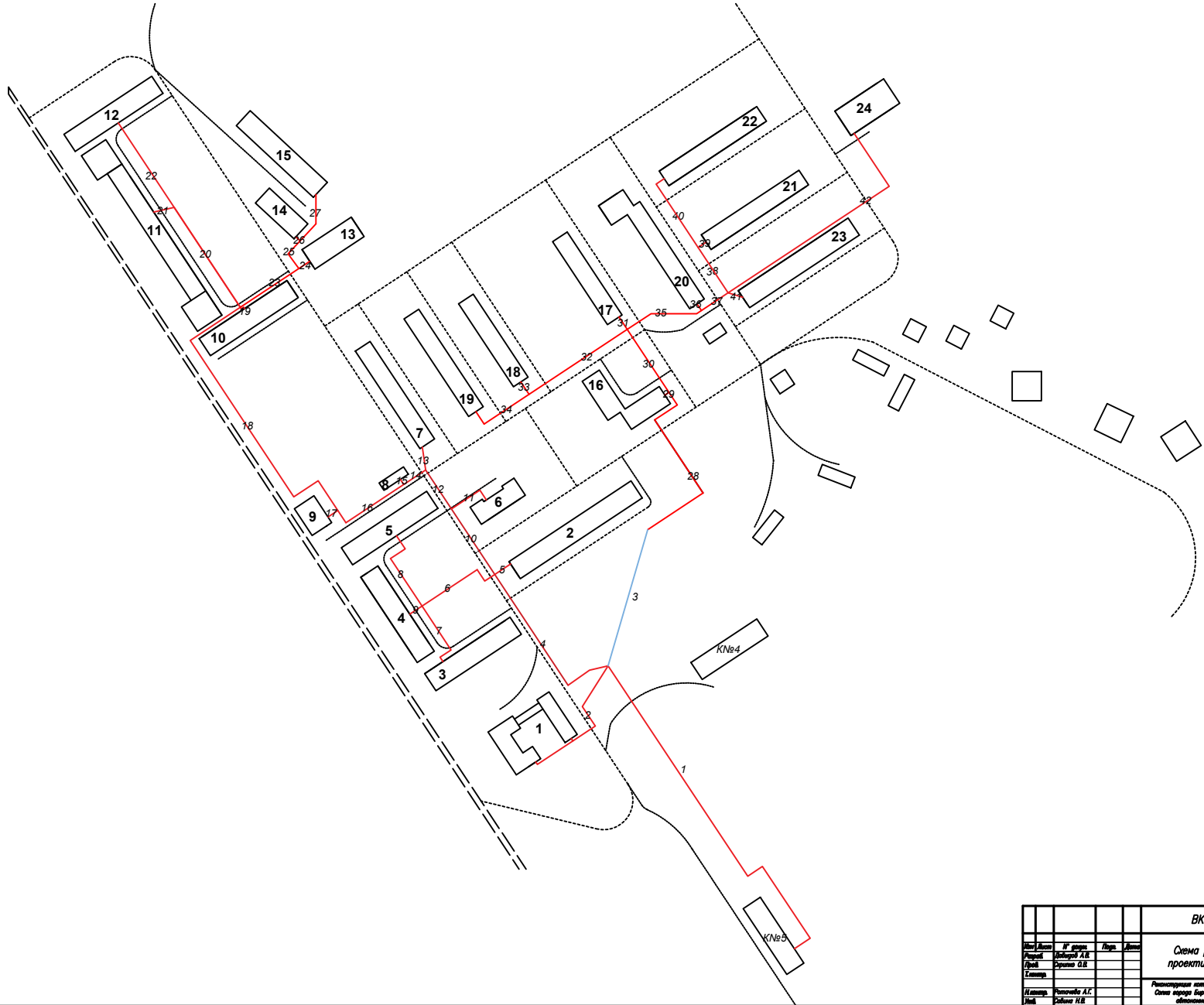
$$Q_{\text{e\u00e7}38} := q_i \cdot l_{38} \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 0.002$$

$$Q_{\text{e\u00e7}39} := q_i \cdot l_{39} \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 0$$

$$Q_{\text{e\u00e7}40} := q_i \cdot l_{40} \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 0.003$$

$$Q_{\text{e\u00e7}41} := q_i \cdot l_{41} \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 0.001$$

$$Q_{\text{e\u00e7}42} := q_i \cdot l_{41} \cdot \beta \cdot 10^{-6} = 0.001$$



И.О.Ф.И.	И.О.Ф.И.	И.О.Ф.И.	И.О.Ф.И.	И.О.Ф.И.
И.О.Ф.И.	И.О.Ф.И.	И.О.Ф.И.	И.О.Ф.И.	И.О.Ф.И.
И.О.Ф.И.	И.О.Ф.И.	И.О.Ф.И.	И.О.Ф.И.	И.О.Ф.И.
И.О.Ф.И.	И.О.Ф.И.	И.О.Ф.И.	И.О.Ф.И.	И.О.Ф.И.

ВКР:144 125.130301.СХ				
И.О.Ф.И.	И.О.Ф.И.	И.О.Ф.И.	И.О.Ф.И.	И.О.Ф.И.
И.О.Ф.И.	И.О.Ф.И.	И.О.Ф.И.	И.О.Ф.И.	И.О.Ф.И.
И.О.Ф.И.	И.О.Ф.И.	И.О.Ф.И.	И.О.Ф.И.	И.О.Ф.И.
И.О.Ф.И.	И.О.Ф.И.	И.О.Ф.И.	И.О.Ф.И.	И.О.Ф.И.
И.О.Ф.И.	И.О.Ф.И.	И.О.Ф.И.	И.О.Ф.И.	И.О.Ф.И.
<b>Схема района проектирования</b>				
Реставрация тепловой магистрали Система теплоснабжения территории Областной области Котельная				
				АНУ корпуса энергетик Формат И

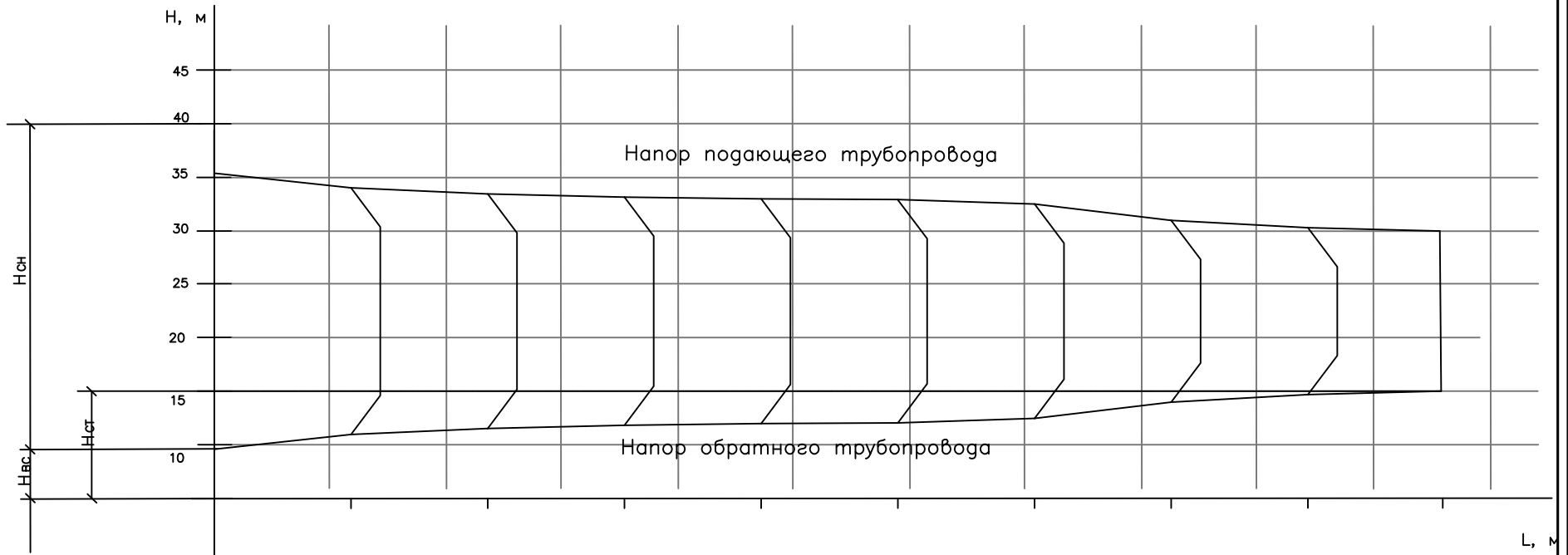


Схема участка	ИТ	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Длина участка, м		255	122	54	32	18	58	214	82	70
Диаметр участка, мм		300	250	200	200	200	175	175	125	100
Расход, кг/с		79,85	46,41	28,23	27,25	23,23	23,07	22,71	10,33	4,21
Располаг. напор, м		35,324	33,957	33,393	33,099	32,937	32,871	32,448	30,932	30,313

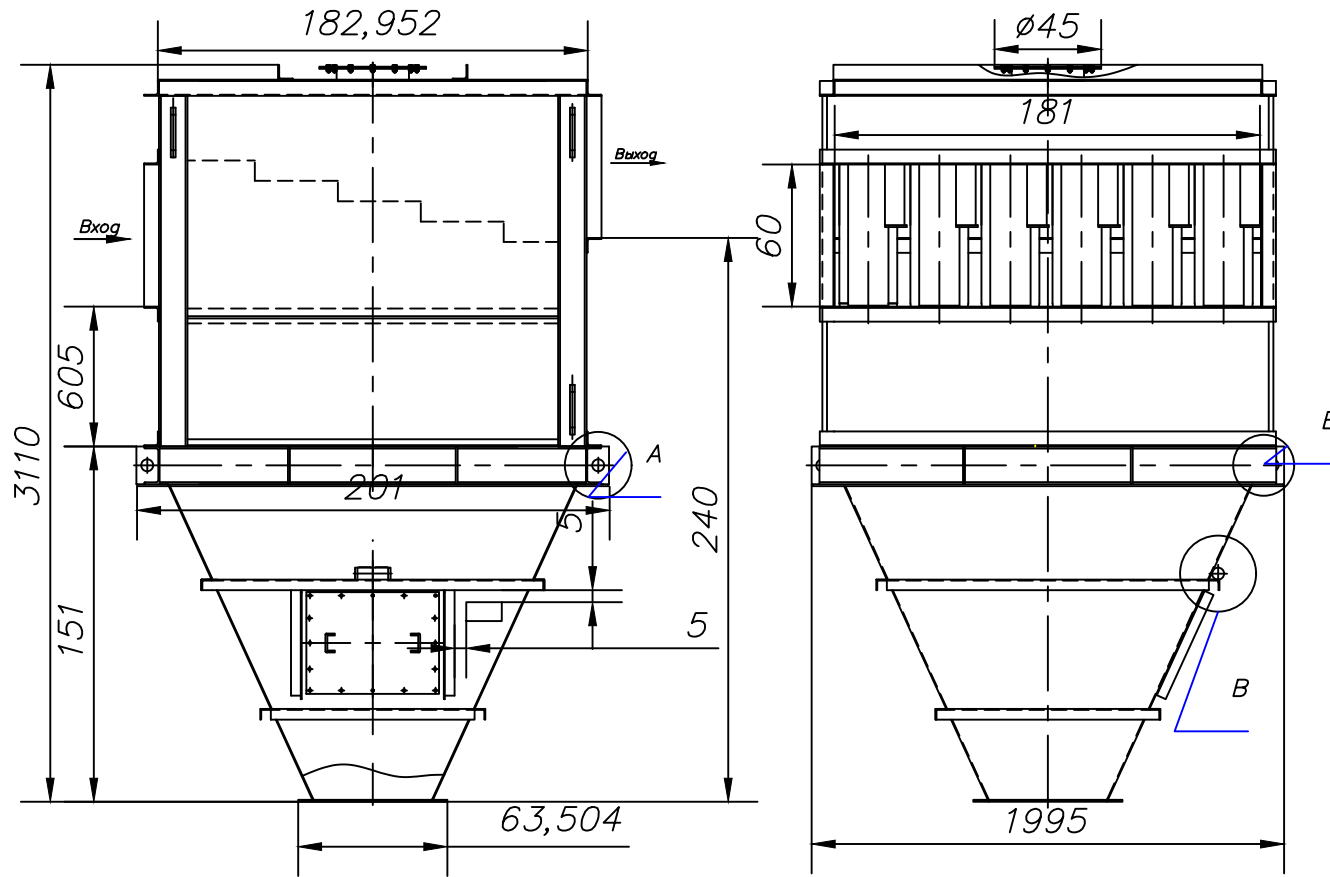
ВКР:144 125.130301.СХ

Исполн.	И.И.И.	Провер.	И.И.И.
Рисов.	И.И.И.	Смет.	И.И.И.
Диз.	И.И.И.	Эксп.	И.И.И.
Смет.	И.И.И.	Инж.	И.И.И.
И.И.И.	И.И.И.	И.И.И.	И.И.И.
И.И.И.	И.И.И.	И.И.И.	И.И.И.

Пьезометрический график

Регистрация тепловой мощности  
Система учета: Бурятия-Средняя  
Областная область

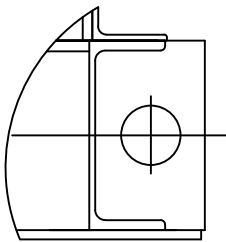
АНУ  
корпорация энергетики  
Фирма И



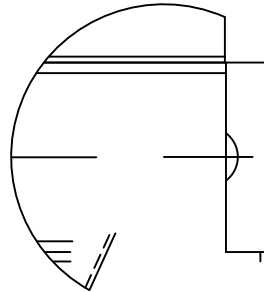
**Основные технические характеристики ЦБ-16**

Масса, кг	1670
Пропускная способность, м <sup>3</sup> /ч	6500
Наименование саргалия	ЦБ-16
Габаритные размеры (Длина, мм)	1800
Применимость к котлам	ДКЗр-2,5-13; КЕ-2,5-1400
Коэффициент очистки, %	80
Аэродинамическое сопротивление, пас/см <sup>2</sup>	100
Запыленность поступающего воздуха, г/м <sup>3</sup> 600	600
Температура среды, °С на входе (в корпусе)	300
Расчетное давление внутри корпуса, Па (атм/кгс), не более	4

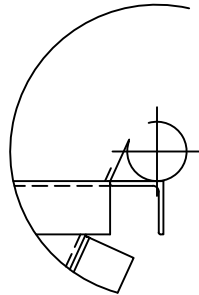
A (1:2)



B (1:2)

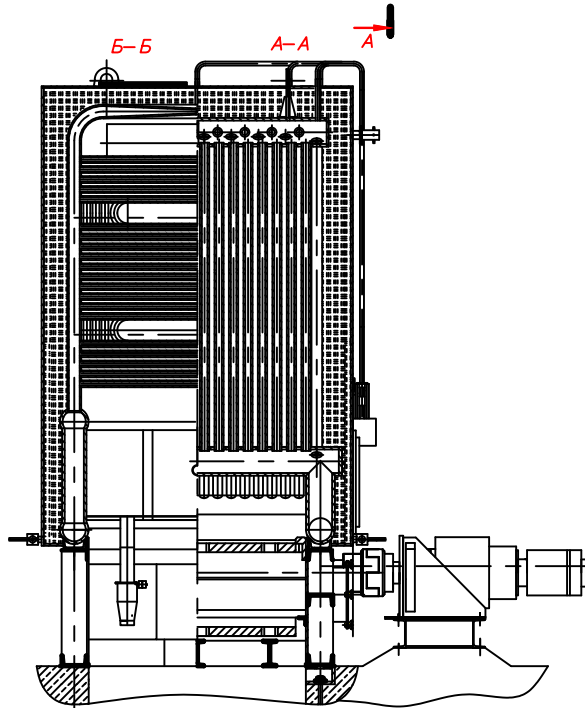
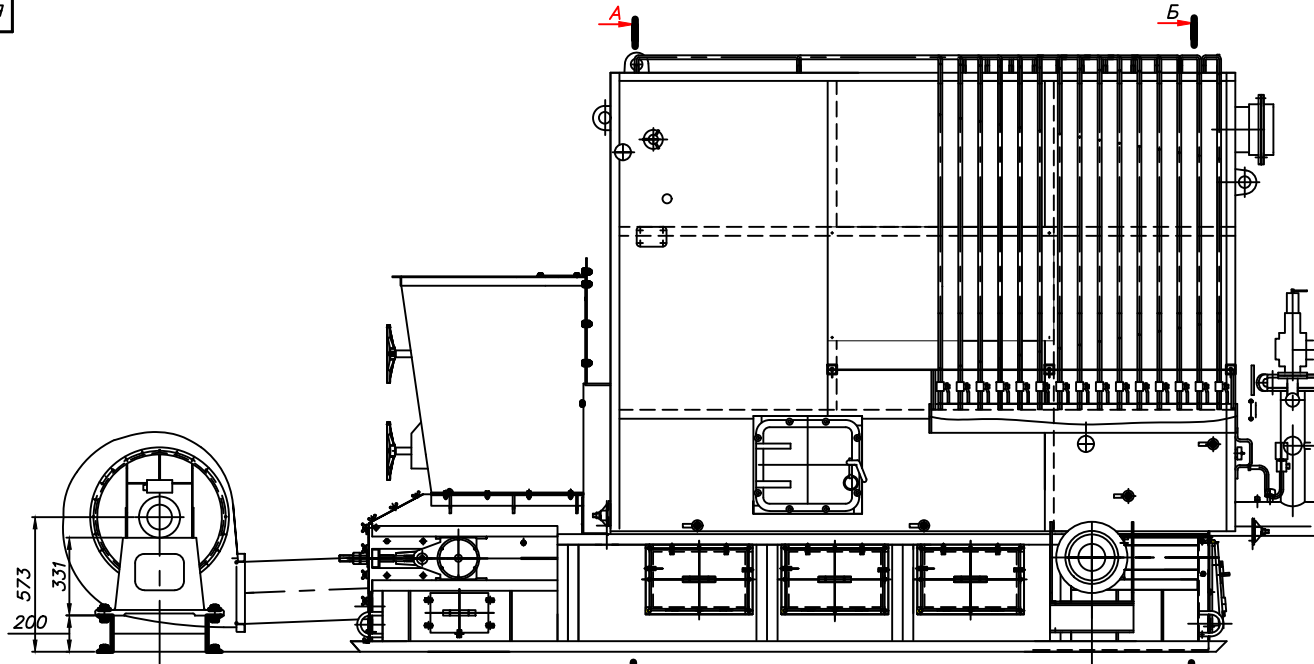


B (1:2)



ВКР.144 125.130301.СХ					
<b>Циклон батарейный ЦБ-16</b>					
Исполн.	Провер.	Утв.	Дата	Лист	Изменен.
Рисовал	Давыдов А.В.			1	
Сверлил	Сидорова О.В.				
Исполн.	Провер.	Утв.	Дата	Лист	Изменен.
Рисовал	Сидорова О.В.			1	
Исполн.	Провер.	Утв.	Дата	Лист	Изменен.
Рисовал	Сидорова О.В.			1	

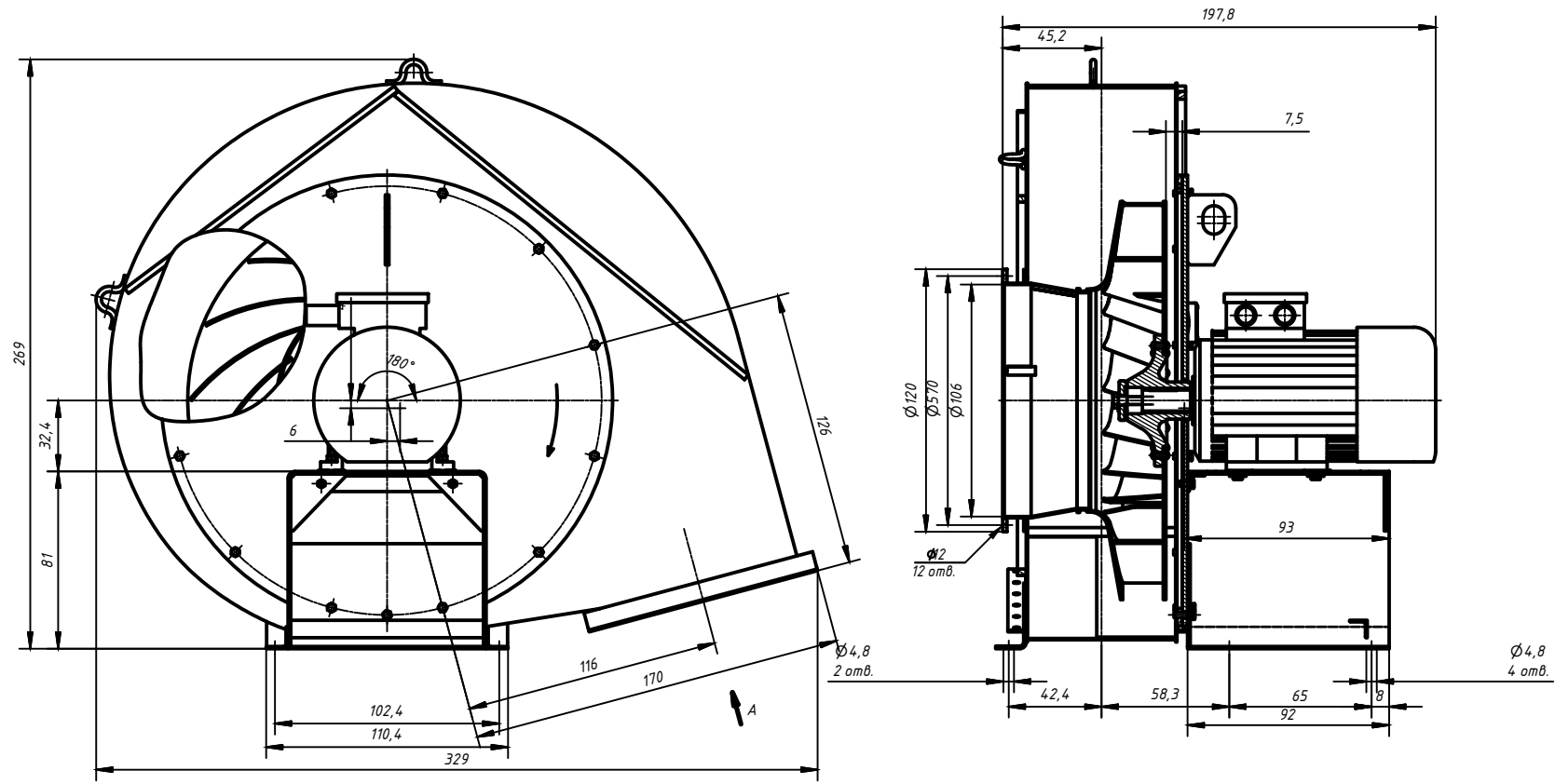
Расчетная заводская маркировка  
 Дата ввода в эксплуатацию  
 Область применения  
 Категория энергетической техники  
 Форма №



Технические характеристики котлоагрегата КВМ-2,5 КБ

Тип котла	Водогрейный
Теплопроизводительность, МВт	2,5
Теплопроизводительность, Гкал/ч	2,15
Температурный диапазон, °С	70-85
Рабочее (затопочное) давление теплоносителя на входе, МПа (кгс/см²)	0,6(6,0)
Расчетный КПД (топливо №1), %	82
Расход расчетного топлива (топливо №1), кг/ч (кг/ч - для газа и жидкого топлива)	470
Расход расчетного топлива (топливо №2), кг/ч (кг/ч - для газа и жидкого топлива)	685
Габариты транспортного блока, LxВxГ, мм	4335x2200x2655
Габариты компоновки, LxВxГ, мм	7120x3610x3310
Масса котла без топки (транспортного блока котла), кг	4880
Масса котла без топки (в объеме заводской поставки), кг	13110(12630)
Базовая комплектация в сборе	Блок котла в обшивке и цокольном Топка ТПМ-1,1/3,5 Вентилятор ВДМ-6,3-1500
Вид расчетного топлива	1 - Каменный уголь 2 - Бурый уголь

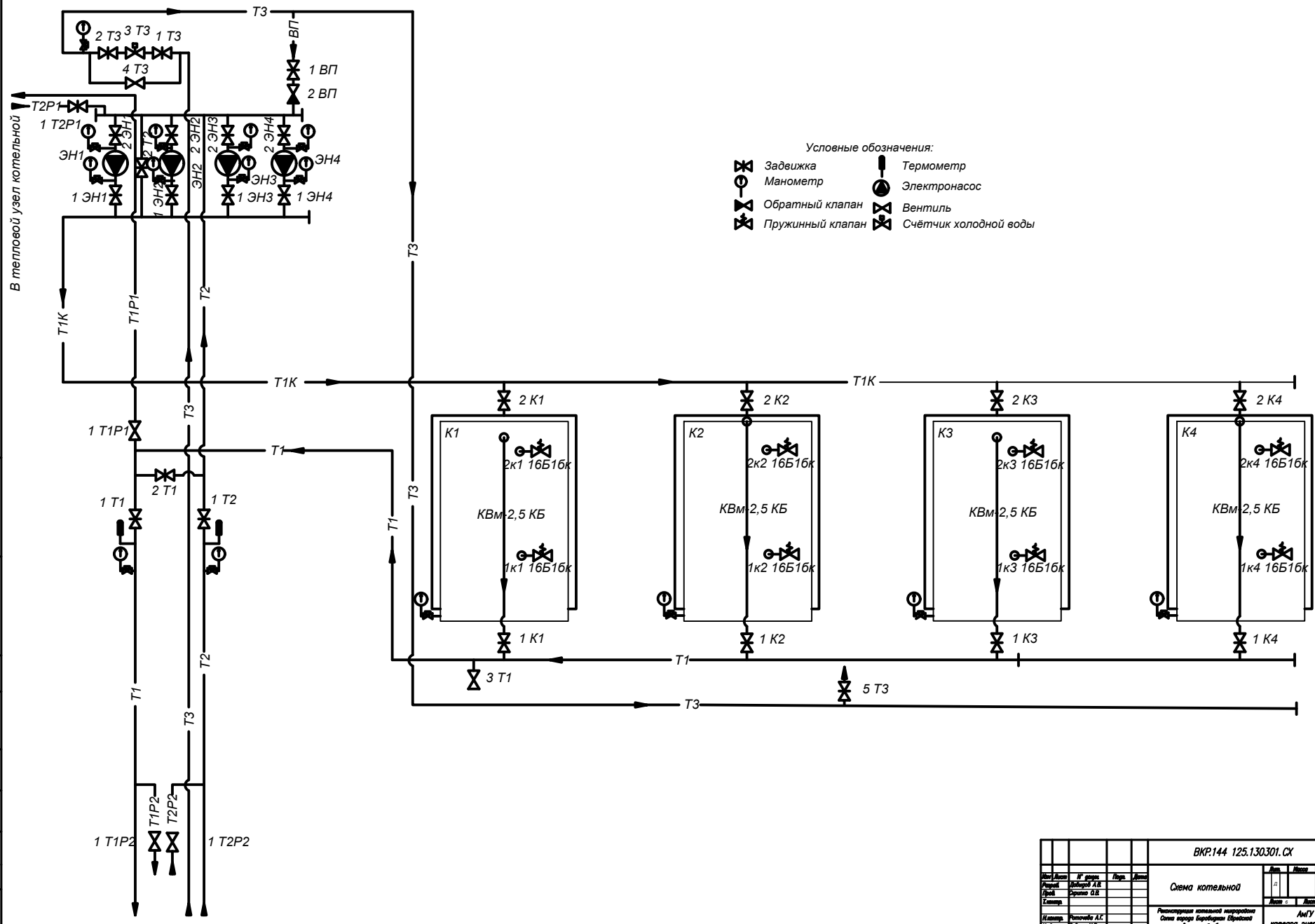
ВКР144 125.130301.СХ			
Исполн.	И.В.С.	Провер.	И.В.С.
Контр.	И.В.С.	Согласован.	И.В.С.
Согласован.	И.В.С.	Согласован.	И.В.С.
Исполн.	И.В.С.	Провер.	И.В.С.
Контр.	И.В.С.	Согласован.	И.В.С.
Согласован.	И.В.С.	Согласован.	И.В.С.
Реконструкция котельной мощностью 2,5 МВт в г. Барнаул, Алтайский край Проект № 144/125.130301.СХ			
АО «Алтайэнерго» филиал «Барнаул»			



Технические характеристики дымососа ДН-9М-1500

Производительность на входе, м <sup>3</sup> /ч	14800
Установленная мощность двигателя, кВт	15
Потребляемая мощность, кВт	8.1
Габариты(мм), мм	1205x674x368
Предельная температура среды на входе, °С	200
Температура среды, °С, на выходе (в корпусе)	200
Вентиляторы и дымосос. Диаметр рабочего колеса, м	0.9
Частота вращения рабочего колеса двигателя(синхронная), тыс. об/мин	1500
Типоразмер двигателя	ИМР60С4
Полное давление, PaPa	181
ИТД тыс. Ж	83
Предельная загазованность парнической среды, г/м <sup>3</sup>	2
Масса с э/эл. (без э/эл.), кг	505
Угол разворота корпуса при поставке (монтаже)	255° (0°-270° через 15°)

ВКР:144 125.130301.СХ			
Исполн	И.И.И.	Провер	И.И.И.
Директ	И.И.И.	Инженер	И.И.И.
Специал	И.И.И.	Инженер	И.И.И.
Исполн	И.И.И.	Провер	И.И.И.
Директ	И.И.И.	Инженер	И.И.И.
Специал	И.И.И.	Инженер	И.И.И.
Вспомогательное оборудование <b>Дымосос ДН-9М-1500</b> Регистрация патентов на изобретения Отдел изобретений Физико-технического центра Физико-технический центр Физик И			



- Условные обозначения:
- Задвижка
  - Манометр
  - Обратный клапан
  - Пружинный клапан
  - Термометр
  - Электронасос
  - Вентиль
  - Счётчик холодной воды

ВКР:144 125.130301.СХ										
Исполн.	И.И.И.	И.И.И.	И.И.И.	И.И.И.	И.И.И.	И.И.И.	И.И.И.	И.И.И.	И.И.И.	И.И.И.
Провер.	И.И.И.	И.И.И.	И.И.И.	И.И.И.	И.И.И.	И.И.И.	И.И.И.	И.И.И.	И.И.И.	И.И.И.
Сметер.	И.И.И.	И.И.И.	И.И.И.	И.И.И.	И.И.И.	И.И.И.	И.И.И.	И.И.И.	И.И.И.	И.И.И.
Схема котельной										
Реставрация котельной микрорайона Система водоснабжения территории Областной области										
АНГУ корпорация энергетиков Филиал №										