

Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
**«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
Политехнический институт

---

институт

Теплотехники и гидрогазодинамики

---

кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

В. А. Кулагин

\_\_\_\_\_

инициалы, фамилия

«\_\_\_»

\_\_\_\_\_ 20\_\_г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

13.03.01. Теплоэнергетика и теплотехника

---

код и наименование направления.

Теплоснабжение жилого дома с использованием возобновляемого  
источника энергии

---

наименование темы

Руководитель

старший преподаватель каф.  
ТТиГД

Л.Я. Жадаева

\_\_\_\_\_

должность, ученая степень

\_\_\_\_\_

инициалы, фамилия

Выпускник

Н.А. Конотоп

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

инициалы, фамилия

Красноярск 2024

## Содержание

ВВЕДЕНИЕ .....	3
1. Теплотехнический расчёт ограждающих конструкций .....	4
1.1 Климатологические характеристики района и описание объекта проектирования .....	4
1.2 Теплотехнический расчёт ограждающих конструкций .....	9
1.2.1 Расчёт градусо-суток отопительного периода (ГСОП).....	9
1.2.2 Расчёт теплозащитных свойств наружных стен .....	10
1.2.3 Расчёт теплозащитных свойств оконных проёмов.....	12
1.2.4 Расчёт теплозащитных свойств дверных проёмов.....	13
1.2.5 Расчёт теплозащитных свойств бесчердачного перекрытия.....	14
1.2.6 Расчёт теплозащитных свойств полов по грунту .....	16
2. Расчёт мощности системы отопления.....	17
2.1 Расчёт тепловых потерь помещений.....	17
2.2 Тепловой расчёт системы отопления и ГВС .....	23
2.3 Гидравлический расчёт.....	29
3. Тепловой расчёт системы с использованием альтернативного источника энергии .....	37
3.1 Краткая теория по солнечным коллекторам .....	37
3.2 Тепловой расчёт системы ГВС в летний период, в случае полного обеспечения солнечным коллектором .....	39
3.3 Тепловой расчёт системы отопления, в случае использования солнечного коллектора как дополнительного источника энергии .....	42
4. Экономическое сравнение двух систем.....	46
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	47
Список использованной литературы.....	48

## ВВЕДЕНИЕ

Разработка систем отопления и вентиляции является одной из составных частей, определяющих эффективное и рациональное использование ресурсов.

Системы отопления – это совокупность технических элементов, предназначенных для получения, переноса и передачи во все обогреваемые помещения количества теплоты, необходимого для поддержания температуры на заданном уровне. Системы отопления подразделяются на местные и центральные.

Для поддержания необходимой температуры внутреннего воздуха здания оборудуются отопительными установками. Создание и поддержание теплового комфорта в помещениях жилых зданий – их основная задача.

Современные системы отопления строятся на основе высокотехнологичного оборудования: бытового, промышленного, полупромышленного типа. Это предоставляет широкие возможности настройки и регулировки микроклимата в помещениях различного назначения и объема, но в тоже время требует тщательной проработки конфигурации систем и ответственного подхода к выбору оборудования.

Актуальность проекта определяется большим интересом к современным системам теплоснабжения, перспективностью развития данной отрасли в рамках повышения эффективности, экологичности и экономичности отопительных установок.

Целью проекта является выбор отопительного оборудования для здания с использованием альтернативных источников энергии.

Для достижения данной цели в работе нужно выполнить следующие задачи:

1. выполнение теплотехнического расчёта ограждающих конструкций;
2. выполнение расчёта мощности системы отопления;
3. выполнение гидравлического расчёта системы отопления.
4. экономическое сравнение системы без альтернативного источника и с его наличием.

## 1. Теплотехнический расчёт ограждающих конструкций

### 1.1 Климатологические характеристики района и описание объекта проектирования

Местоположение дома – г. Красноярск.

Район расположения здания, в соответствии с СП 131.13330.2012 «Строительная климатология» характеризуется следующими условиями, представленными в таблице 1 [1].

Таблица 1 – Климатологическая характеристика г. Красноярск

Наименование параметра	Значение
Температура воздуха самой холодной пятидневки с обеспеченностью – 0,92	- 39
Продолжительность отопительного периода, сут.	234
Внутренняя расчётная температура	18-20

Объект проектирования – двухэтажный с цокольным этажом жилой дом (коттедж). План здания представлен на рисунке 1, 2 и 3.

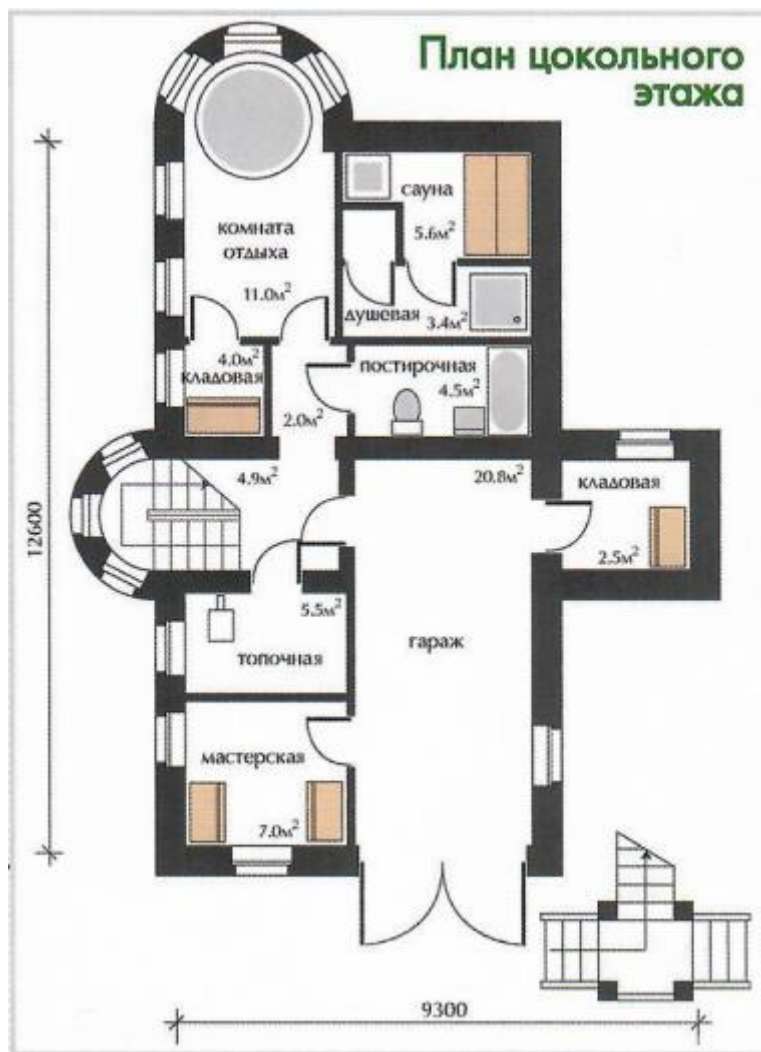


Рисунок 1 – план помещений цокольного этажа

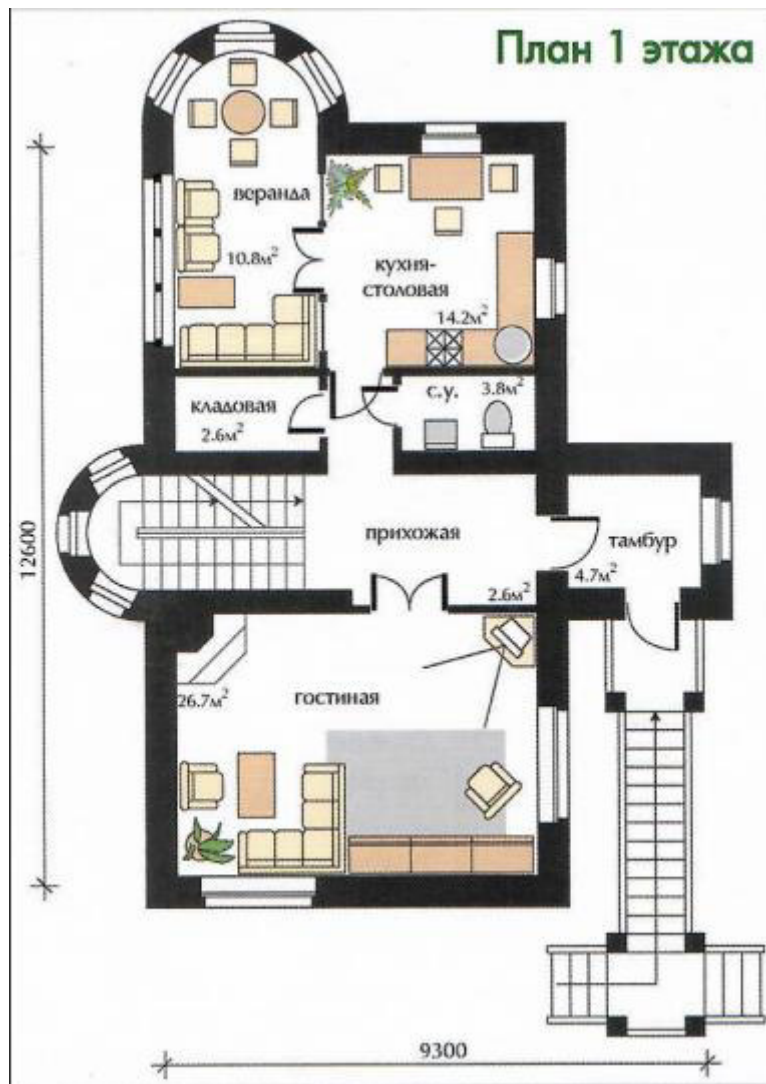


Рисунок 2 – план помещений первого этажа

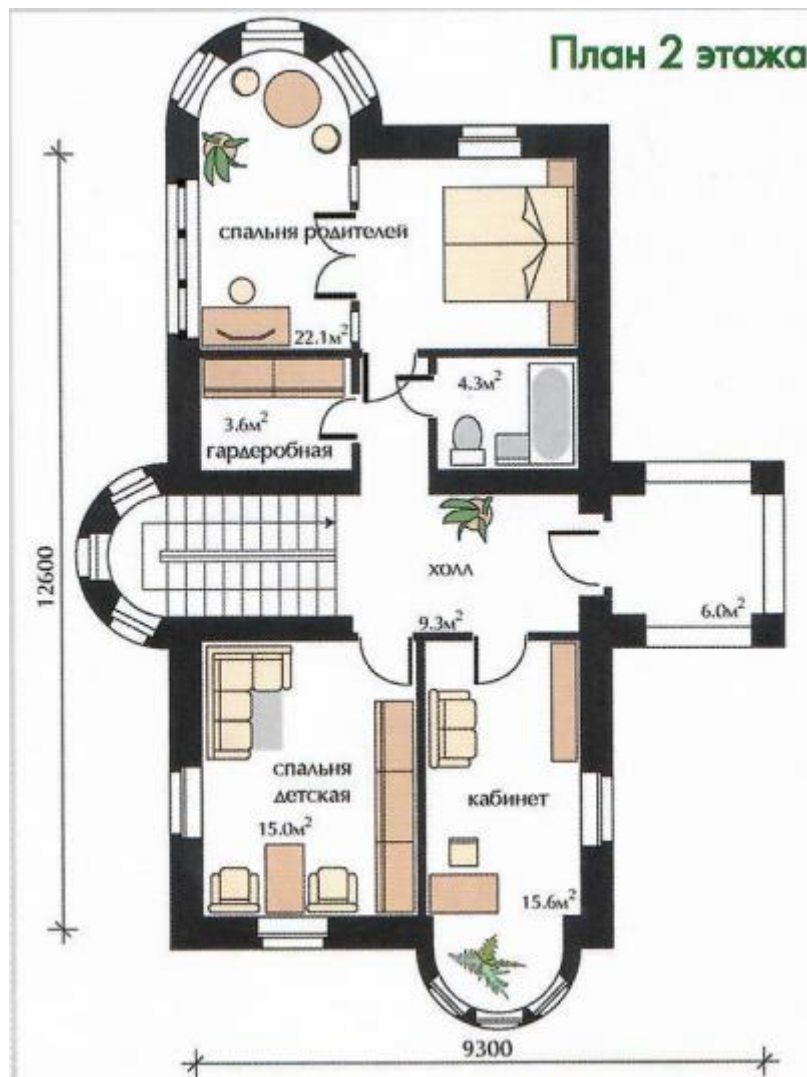


Рисунок 3 – план помещений второго этажа  
Характеристика всех помещений представлена в таблице 2.

Таблица 2 – характеристика помещений.

Номер	Наименование	Площадь, м <sup>2</sup>	Суммарная площадь стен, м <sup>2</sup>	Суммарная площадь окон и дверей, м <sup>2</sup>	Температура, °С
	Цокольный этаж				
0.1	Комната отдыха	11	39,71	6,72	22
0.2	Сауна	5,6	31,53	1,6	25
0.3	Душевая	3,4	22,61	3,2	25
0.4	Кладовая	4	26,08	1,92	17
0.5	Коридор	2	16,60	3,2	19
0.6	Постирочная	4,5	28,10	1,6	25
0.7	Коридор (лестница)	4,9	25,81	5,18	19
0.8	Гараж	20,8	50,63	13,22	17
0.9	Кладовая	2,5	20,22	1,92	17
0.10	Топочная	5,5	29,31	3,52	17
0.11	Мастерская	7	33,20	3,84	22
	Первый этаж				
1.1	Веранда	12,3	40,84	8,255	22
1.2	Кухня-столовая	14,2	45,42	7,34	22
1.3	Кладовая	2,6	20,97	1,6	17
1.4	Санузел	3,8	25,69	1,6	20
1.5	Прихожая	6,9	25,19	11,58	17
1.6	Тамбур	4,7	25,88	4,47	15
1.7	Гостиная	26,7	65,72	6,62	22
	Второй этаж				
2.1	Спальня	22,1	53,42	12,395	22
2.2	Гардеробная	3,6	24,96	1,6	22
2.3	Ванная	4,3	27,43	1,6	25
2.4	Холл	9,3	30,75	11,94	22
2.5	Детская	15	49,56	4,66	22
2.6	Кабинет	15,6	50,19	5,11	22

Минимально допустимая температура внутреннего воздуха принималась из СанПиН 2.1.2.2645-10 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям проживания в жилых зданиях и помещениях» по таблице приложения 2 «Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в помещениях жилых зданий» [2].



## 1.2 Теплотехнический расчёт ограждающих конструкций

### 1.2.1 Расчёт градусо-суток отопительного периода (ГСОП)

Минимальные значения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций зданий принимаем в соответствии с показателем, называемым градус-сутками отопительного периода ( $D_d$ ), рассчитываемым по формуле 5.2 из СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» [3]:

$$D_d = (t_b - t_{от.п.}) \cdot z_{от.п.} \quad (1)$$

$t_b$  – расчётная температура воздуха в помещении, °С;

$t_{от.п.}$  – средняя за отопительный период температура, °С;

$z_{от.п.}$  – продолжительность отопительного периода в сутках.

Расчёт ГСОП для всех помещений показан в таблице 3.

Таблица 3 – Расчёт ГСОП

Номер	Наименование	Градусы-сутки отопительного периода ( $D_d$ )
	Цокольный этаж	
0.1	Комната отдыха	5428,8
0.2	Сауна	6130,8
0.3	Душевая	6130,8
0.4	Кладовая	4258,8
0.5	Коридор	4726,8
0.6	Постирочная	6130,8
0.7	Коридор (лестница)	4726,8
0.8	Гараж	4258,8
0.9	Кладовая	4258,8
0.10	Топочная	4258,8
0.11	Мастерская	5428,8
	Первый этаж	
1.1	Веранда	5428,8
1.2	Кухня-столовая	5428,8
1.3	Кладовая	4258,8
1.4	Санузел	4960,8
1.5	Прихожая	4258,8
1.6	Тамбур	3790,8
1.7	Гостиная	5428,8
	Второй этаж	
2.1	Спальня	5428,8
2.2	Гардеробная	5428,8
2.3	Ванная	6130,8
2.4	Холл	5428,8
2.5	Детская	5428,8
2.6	Кабинет	5428,8

### 1.2.2 Расчёт теплозащитных свойств наружных стен

Принимаем следующую конструкцию наружных стен (рисунок 4):

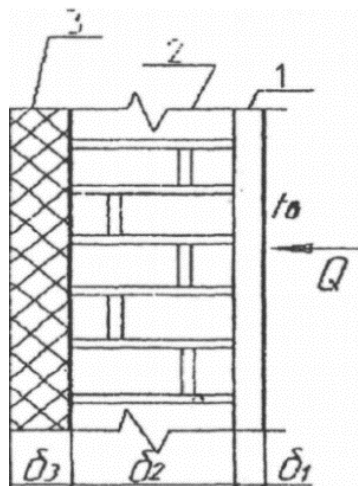


Рисунок 4 – Конструкция наружных стен

1 – Фасадная кассета открытого типа  $\delta_1=0,007$  м,  $\lambda_1 = 0,037$  Вт/(м · °С);  
2 – кирпичная кладка из изоляционного кирпича  $\delta_2=0,5$  м,  $\lambda_2 = 0,14$  Вт/(м · °С);

3 – теплоизоляционный материал – минеральная вата ТЕХНОБЛОК СТАНДАРТ,  $\delta_2=0,3$  м,  $\lambda_3 = 0,035$  Вт/(м · °С).

Коэффициенты теплопроводности материалов находим по приложению Т табл. 1 из СП 50.13330.2012 [3].

По градус-суткам отопительного периода  $Dd = 4473,6$  °С·сут., отличающимся от табличных, определяем требуемое значение сопротивления теплопередаче стены по формуле, указанной в примечании 1 к таблице 3, из СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» [3]:

$$R_{\text{rec}} = D_d \cdot a + b \quad (2)$$

где  $a$ ,  $b$  – коэффициенты, значения которых следует принимать по данным таблицы 3 из СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» [3].

Принимаем:  $a = 0,0021$ ;  $b = 0,15$ .

$$R_{\text{rec}} = 4473 \cdot 0,0021 + 0,15 = 9,54 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

Требуемое термическое сопротивление теплопередаче можно определить по формуле Е.1 из приложения Е к СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» [3]:

$$R_{\text{rec}} = \frac{1}{a_{\text{в}}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{a_{\text{н}}} \quad (3)$$

где  $a_{\text{н}}$  – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждения для условий холодного периода

Принимаем:

$a_{\text{н}} = 23 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$  (примечание 3 к таблице 3 из СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий») [3].

$a_{\text{в}}$  – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций,  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ , определяемый по таблице 4 из СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» [3].

$$a_{\text{в}} = 8,7 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

$$R_{\text{rec}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,007}{0,037} + \frac{0,5}{0,14} + \frac{\delta_3}{0,035} + \frac{1}{23} = 9,54$$

Откуда  $\delta_3 = 0,197 \text{ м}$

Принимаем ближайшую к этому значению толщину листа минеральной ваты по сортаменту, толщина используемого утеплителя составит 0,3 м.

По формуле (3) находим фактическое термическое сопротивление теплопередаче наружной стены:

$$R_0 = \frac{1}{8,7} + \frac{0,007}{0,037} + \frac{0,5}{0,14} + \frac{0,3}{0,035} + \frac{1}{23} = 12,9 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

Коэффициент теплопередачи через наружные стены определим по формуле А.4 из СП 60.13330.2020 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» [4]:

$$k_{\text{ст}} = \frac{1}{R_w} \quad (4)$$

$$k_{\text{ст}} = \frac{1}{3,63} = 0,27 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

### 1.2.3 Расчёт теплозащитных свойств оконных проёмов

По градус-суткам отопительного периода ГСОП = 4473 °С·сут., отличающимся от табличных, определяем требуемое значение сопротивления теплопередаче стены по формуле (2). Принимаем  $a = 0,000075$ ;  $b = 0,15$ , значение которых взяты по данным таблицы 3 из СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» [3].

$$R_{rec} = 4473 \cdot 0,000075 + 0,15 = 0,485 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

Выбираем конструкцию окна с сопротивлением теплопередаче большим или равным требуемого.

Принимаем по приложению К, табл. К.1 СП 50.13330.2012 следующий тип заполнения светового проема: с одним стеклупакетом с низкоэмиссионным мягким покрытием с заполнением аргоном.

$$R_0 = 0,78 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

Коэффициент теплопередачи через световые проемы определим по следующей формуле А.4 из СП 60.13330.2012 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» [4]:

$$k_{с.п.} = \frac{1}{R_0} - k_{ст} \quad (5)$$

$$k_{с.п.} = \frac{1}{0,78} - 0,27 = 1,01 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

### 1.2.4 Расчёт теплозащитных свойств дверных проёмов

Приведенное сопротивление теплопередаче  $R_0$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$  входных дверей должно быть не менее произведения  $0,6 \cdot R_{rec}$ , где  $R_{rec}$  - приведенное сопротивление теплопередаче дверных проемов, определяемое по формуле 5.4 из СП 50.13330.2012 [3]:

$$R_{rec} = \frac{n \cdot (t_B - t_H)}{\Delta t_H \cdot a_B} \quad (6)$$

$n$  – коэффициент, принимаемый в зависимости от положения ограждения по отношению к наружному воздуху, для наружных стен по данным таблицы 6 СП 50.13330.2012 [3], принимаем  $n=1$ ;

$\Delta t_H$  – нормативный температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции, по данным таблицы 5 СП 50.13330.2012 [3], принимаем  $\Delta t_H = 4,5 \text{ }^\circ\text{C}$

$$R_{rec} = \frac{1 \cdot (20 - (-39))}{4,5 \cdot 8,7} = 1,46 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$$

Приведенное сопротивление теплопередаче  $R_0$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$  входных дверей равно:

$$R_0 = 1,46 \cdot 0,6 = 0,87 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$$

Коэффициент теплопередачи через дверные проемы определим по следующей формуле из СП 60.13330.2012 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» [4]:

$$k_d = \frac{1}{R_0} \quad (7)$$

$$k_d = \frac{1}{0,87} = 1,14 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$$

### 1.2.5 Расчёт теплозащитных свойств бесчердачного перекрытия

Принимаем следующую конструкцию перекрытия:

1 – многослойная железобетонная плита ССВБ 500 толщиной  $\delta_1=0,3$  м,  $\lambda_1 = 0,1$  Вт/(м · °С);

2 – пароизоляционный слой толщиной  $\delta_2=0,006$  м (в расчётах не учитывается);

3 – теплоизоляционный материал – Экструзионный пенополистирол (XPS),  $\lambda_3 = 0,032$  Вт/(м · °С);

4 – раствор – сложный (песок, известь, цемент),  $\delta_4=0,03$  м,  $\lambda_4 = 0,7$  Вт/(м · °С);

5 – водоизоляционный ковёр (в расчётах не учитывается).

Коэффициенты теплопроводности материалов находим по приложению Т табл. 1 СП 50.13330.2012 [3].

По градус-суткам отопительного периода ГСОП = 4473 °С·сут., отличающимся от табличных, определяем требуемое значение сопротивления теплопередаче стены по формуле (2). Принимаем  $a = 0,001$ ;  $b = 1,3$  по данным таблицы 3 СП 50.13330.2012 [3].

$$R_{rec} = 4473 \cdot 0,001 + 1,3 = 6,12 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

Требуемое термическое сопротивление теплопередаче по формуле (3) равно:

$$R_{rec} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,3}{0,1} + \frac{\delta_3}{0,032} + \frac{0,03}{0,7} + \frac{1}{23} = 6,12 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

Откуда  $\delta_3 = 0,093$  м

Принимаем ближайшую к этому значению толщину листа экструзионного пенополистирола по сортаменту ГОСТ 32310-2020, толщина используемого утеплителя составит 0,1 м [5].

По формуле (3) находим фактическое термическое сопротивление теплопередаче наружной стены:

$$R_0 = \frac{1}{8,7} + \frac{0,3}{0,1} + \frac{0,1}{0,032} + \frac{0,03}{0,7} + \frac{1}{23} = 6,23 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

Коэффициент теплопередачи определим по формуле (4):

$$k_{\text{п}} = \frac{1}{6,23} = 0,16 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

### 1.2.6 Расчёт теплозащитных свойств полов по грунту

Принимаем следующую конструкцию полов:

1 – многослойная железобетонная плита ССВБ 500 толщиной  $\delta_1=0,3$  м,  $\lambda_1 = 0,1$  Вт/(м · °С);

3 – теплоизоляционный материал – Экструзионный пенополистирол (XPS),  $\lambda_3 = 0,032$  Вт/(м · °С);

5 - цементно-песчаная стяжка,  $\delta_5=0,1$  м,  $\lambda_5 = 0,95$  Вт/(м · °С).

Коэффициенты теплопроводности материалов находим по приложению Т, табл. 1 СП 50.13330.2012 [3].

По градус-суткам отопительного периода ГСОП = 4473 °С·сут., отличающимся от табличных, определяем требуемое значение сопротивления теплопередаче стены по формуле (2). Принимаем:  $a = 0,0013$ ;  $b = 1,3$  по данным таблицы 3 СП 50.13330.2012 [3].

$$R_{rec} = 4473 \cdot 0,0013 + 1,3 = 7,11 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

Требуемое термическое сопротивление теплопередаче по формуле (3) равно:

$$R_{rec} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,3}{0,1} + \frac{0,1}{0,95} + \frac{\delta_3}{0,032} + \frac{1}{23} = 7,11 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

Откуда  $\delta_3 = 0,12$  м

Принимаем ближайшую к этому значению толщину листа экструзионного пенополистирола по сортаменту ГОСТ 32310-2020, толщина используемого утеплителя составит 0,12 м [5].

По формуле (3) находим фактическое термическое сопротивление теплопередаче наружной стены:

$$R_0 = \frac{1}{8,7} + \frac{0,3}{0,1} + \frac{0,1}{0,95} + \frac{0,12}{0,032} + \frac{1}{23} = 7,11 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

Коэффициент теплопередачи через пол определим по формуле (4):

$$k_{п} = \frac{1}{7,11} = 0,14 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$



## 2. Расчёт мощности системы отопления

### 2.1 Расчёт тепловых потерь помещений

Расчет тепловых потерь помещений ведем по формуле:

$$Q_{\text{пот}} = Q_{\text{тран}} + Q_{\text{инф}} [1]$$

$Q_{\text{тран}}$  – трансмиссионные потери, Вт

$Q_{\text{инф}}$  - расход теплоты на нагрев инфильтрующегося наружного воздуха, Вт.

Общие потери теплоты помещением через наружные ( $Q_{\text{НО}}$ ) ограждения определяют суммированием теплопотерь через отдельные ограждающие конструкции с точностью до 10 Вт по формуле А.2 из приложения А из СП 60.13330.2012 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» [4]:

$$Q_{\text{тран}} = k \cdot F \cdot n \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \quad (8)$$

где  $k$  – коэффициент теплопередачи ограждения, Вт/м<sup>2</sup> · К;

$n$  - коэффициент, принимаемый в зависимости от положения ограждения по отношению к наружному воздуху, для наружных стен и бесчердачных перекрытий по данным таблицы 6 из СП 50.13330.2012[3], принимаем  $n=1$ ;  $t_{\text{в}}$  – расчетная температура внутри помещения, °С;  $t_{\text{н}}$  - расчетная температура наружного воздуха, °С;  $F$  – суммарная площадь ограждения, м<sup>2</sup>.

Расход теплоты на нагревание инфильтрующегося воздуха определяется по формуле А.7 из приложения А из СП 60.13330.2012 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» [4]:

$$Q_{\text{инф}} = 0,28 \cdot L_{\text{н}} \cdot \rho_{\text{в}} \cdot c \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \cdot K \quad (9)$$

$c$  – удельная теплоёмкость воздуха, равная 1 кДж/(кг · °С);

$K$  – коэффициент учёта влияния встречного теплового потока: для окон с тройным остеклением  $K = 0,7$ , по таблице 6 из СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» [3];

$L_{\text{н}}$  – расход приточного воздуха, м<sup>3</sup>

Таблица 4 – Трансмиссионные потери.

№	Наименование	Трансмиссионные потери (для стен), Вт	Трансмиссионные потери (для дверей), Вт	Трансмиссионные потери (для окон), Вт	Суммарные трансмиссионные потери, Вт
	Цокольный этаж				
0.1	Комната отдыха	189,997	708,000	159,549	1148,634
0.2	Сауна	158,519	248,000	0,000	455,249
0.3	Душевая	113,697	496,000	0,000	639,283
0.4	Кладовая	114,200	216,000	24,338	384,854
0.5	Коридор	75,376	448,000	0,000	539,096
0.6	Постирочная	141,267	248,000	0,000	428,424
0.7	Коридор (лестница)	117,205	448,000	156,169	759,886
0.8	Гараж	221,700	1161,000	24,338	1564,680
0.9	Кладовая	88,522	216,000	24,338	347,808
0.10	Топочная	128,356	432,000	24,338	626,379
0.11	Мастерская	158,841	472,000	53,183	741,989
	Первый этаж				
1.1	Веранда	195,414	472,000	420,063	1087,477
1.2	Кухня-столовая	217,283	708,000	211,070	1136,354
1.3	Кладовая	91,843	216,000	0,000	307,843
1.4	Санузел	118,747	228,000	0,000	346,747
1.5	Прихожая	110,325	1296,000	150,592	1556,916
1.6	Тамбур	109,132	277,333	93,014	479,480
1.7	Гостиная	314,427	472,000	284,197	1070,624
	Второй этаж				
2.1	Спальня	255,576	708,000	631,134	1804,172
2.2	Гардеробная	119,431	236,000	0,000	389,551
2.3	Ванная	137,911	248,000	0,000	428,738
2.4	Холл	147,137	1469,100	164,535	1868,917
2.5	Детская	237,118	236,000	254,282	869,568
2.6	Кабинет	240,102	236,000	291,676	915,633

Таблица 5 – Инфильтрационные потери

№	Наименование	Кратность воздухообмена в $\frac{м^3}{м^2 \cdot ч}$	Площадь, $м^2$	Объем помещения, $м^3$	Нужное кол-во воздуха, $м^3/ч$	Скорость воздуха в помещении, $м/с$	Инфильтрационные потери, Вт
	Цокольный этаж						
0.1	Комната отдыха	3	11	38,5	33	0,2	548,431
0.2	Сауна	8	5,6	19,6	44,8	0,2	782,3944
0.3	Душевая	8	3,4	11,9	27,2	0,2	475,0252
0.4	Кладовая	1	4	14	4	0,2	60,84288
0.5	Коридор	2	2	7	4	0,2	63,09632
0.6	Постирочная	7	4,5	15,75	31,5	0,2	550,121

0.7	Коридор (лестница)	2	4,9	17,15	9,8	0,2	154,586
0.8	Гараж	6	20,8	72,8	124,8	0,3	1898,298
0.9	Кладовая	1	2,5	8,75	2,5	0,2	38,0268
0.10	Топочная	3	5,5	19,25	16,5	0,2	250,9769
0.11	Мастерская	2	7	24,5	14	0,2	232,6677
	Первый этаж						
1.1	Веранда	3	12,3	43,05	36,9	0,2	613,2455
1.2	Кухня- столовая	8	14,2	49,7	113,6	0,2	1887,932
1.3	Кладовая	1	2,6	9,1	2,6	0,2	39,54787
1.4	Санузел	9	3,8	13,3	34,2	0,2	549,107
1.5	Прихожая	2	6,9	24,15	13,8	0,3	209,9079
1.6	Тамбур	2	4,7	16,45	9,4	0,3	137,6852
1.7	Гостиная	3	26,7	93,45	80,1	0,2	1331,192
	Второй этаж						
2.1	Спальня	3	22,1	77,35	66,3	0,2	1101,848
2.2	Гардеробная	1,5	3,6	12,6	5,4	0,2	89,74325
2.3	Ванная	8	4,3	15,05	34,4	0,2	600,7671
2.4	Холл	3	9,3	32,55	27,9	0,2	463,6734
2.5	Детская	3	15	52,5	45	0,2	747,8604
2.6	Кабинет	3	15,6	54,6	46,8	0,2	777,7748

Кратности воздухообмена брались по СП 118.13330.2012 «Общественные здания и сооружения».

Тепловой поток, Вт, солнечной радиации через световой проем рассчитывается по формуле 3 из пособия 2.91 к СНиП 2.04.05-91 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» [7]:

$$Q_{\text{рад}} = (q_{\text{п}} + q_{\text{р}}) * K3 * K4 * A_{\text{ос}} \quad (10)$$

где:  $q_{\text{п}}$ ,  $q_{\text{р}}$ , - поверхностная плотность теплового потока, Вт/кв.м, через остекленный световой проем в июле в данный час суток, соответственно от прямой ( $q_{\text{п}}$ ) и рассеянной ( $q_{\text{р}}$ ) солнечной радиации, принимаемая для вертикального и горизонтального остекления по [2];  $K3$  - коэффициент теплопропускания солнцезащитных устройств (шторы, карнизы, жалюзи и др. изделия заводского изготовления), принимаемые по прил. 8 СНиП II-3-79\*\*.  $K4$  - коэффициент теплопропускания остеклением световых проемов, принимаемые по табл. 2 пособия 2.91 к СНиП 2.04.05-91. «Расчет поступлений теплоты солнечной радиации в помещения»;  $A_{\text{ос}}$  - площадь светового проема (остекления), м<sup>2</sup>.

Результаты расчета отображены в таблице 6.

Таблица 6 – Тепловой поток от солнечной радиации.

Номер	Наименование	Суммарный тепловой поток (рад), Вт
	Цокольный этаж	
0.1	Комната отдыха	24,088
0.2	Сауна	0,000
0.3	Душевая	0,000
0.4	Кладовая	5,418
0.5	Коридор	0,000
0.6	Постирочная	0,000
0.7	Коридор (лестница)	33,525
0.8	Гараж	5,418
0.9	Кладовая	2,611
0.10	Топочная	5,418
0.11	Мастерская	23,044
	Первый этаж	
1.1	Веранда	63,091
1.2	Кухня-столовая	31,867
1.3	Кладовая	0,000
1.4	Санузел	0,000
1.5	Прихожая	33,525
1.6	Гамбур	21,504
1.7	Гостиная	123,141
	Второй этаж	
2.1	Спальня	94,958
2.2	Гардеробная	0,000
2.3	Ванная	0,000
2.4	Холл	33,525
2.5	Детская	55,089
2.6	Кабинет	63,672

Теплопоступления за счет людей находятся по формуле:

$$Q_{\text{люд}} = q * N \quad (11)$$

где: q – тепловыделения на 1 человека, Вт/чел; N – кол-во людей.

Тепловыделения на 1 человека смотрим по таблице 9 из пособия 2.91 к СНиП 2.04.05-91 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» 90 Вт/чел..

При проживании 4 человек теплопоступление будет:

$$Q_{\text{люд}} = 90 * 4 = 360 \text{ Вт}$$

Общая тепловая нагрузка помещения считается по формуле А.1 из приложения А из СП 60.13330.2012 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» [4] равна:

$$Q = Q_{\text{тран}} + Q_{\text{инф}} - Q_{\text{рад}} - Q_{\text{люд}} \quad (12)$$

Результаты представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Общая тепловая нагрузка помещений

№	Наименование	Суммарные трансмиссионные потери, Вт	Суммарные трансмиссионные потери с учетом сторон света, Вт	Инфильтрационные потери, Вт	Суммарный тепловой поток (рад), Вт	Общие теплотери, Вт
	Цокольный этаж					
0.1	Комната отдыха	1148,634	2067,541	548,431	24,088	2591,884
0.2	Сауна	455,249	546,299	782,394	0,000	1328,693
0.3	Душевая	639,283	703,211	475,025	0,000	1178,236
0.4	Кладовая	384,854	461,825	60,843	5,418	517,249
0.5	Коридор	539,096	539,096	63,096	0,000	602,192
0.6	Постирочная	428,424	471,267	550,121	0,000	1021,388
0.7	Коридор (лестница)	759,886	1063,841	154,586	33,525	1184,901
0.8	Гараж	1564,680	3356,238	1898,298	5,418	5249,118
0.9	Кладовая	347,808	486,931	38,027	2,611	522,346
0.10	Топочная	626,379	689,017	250,977	5,418	934,575
0.11	Мастерская	741,989	853,287	232,668	23,044	1062,911
	Первый этаж					
1.1	Веранда	1087,477	1631,215	613,246	63,091	2181,370
1.2	Кухня-столовая	1136,354	1704,530	1887,932	31,867	3560,596
1.3	Кладовая	307,843	338,627	39,548	0,000	378,175
1.4	Санузел	346,747	381,421	549,107	0,000	930,528
1.5	Прихожая	1556,916	2179,683	209,908	33,525	2356,065
1.6	Тамбур	479,480	1020,813	137,685	21,504	1136,994
1.7	Гостиная	1070,624	1284,749	1331,192	123,141	2492,800
	Второй этаж					
2.1	Спальня	1804,172	3067,092	1101,848	94,958	4073,981
2.2	Гардеробная	389,551	428,506	89,743	0,000	518,250
2.3	Ванная	428,738	471,612	600,767	0,000	1072,379
2.4	Холл	1868,917	2336,146	463,673	33,525	2766,294
2.5	Детская	869,568	1043,481	747,860	55,089	1736,253
2.6	Кабинет	915,633	1144,542	777,775	63,672	1858,644
	Итого	19898,300	28270,969	13604,750	619,896	41255,823

Общая тепловая нагрузка здания равна:

$$Q = \sum Q_{\text{тран}} + \sum Q_{\text{инф}} - \sum Q_{\text{рад}} - Q_{\text{люд}} \quad (13)$$

$$Q = 28270,969 + 13604,75 - 619,896 - 360 = 40895,823 \text{ Вт.}$$

## 2.2 Тепловой расчёт системы отопления и ГВС

Исходные данные:

Отопительная нагрузка  $Q_{от} = 40,896$  кВт;

Температурный график 90/70;

Температура холодной водопроводной воды  $t_{хвс} = 5^{\circ}\text{C}$ ;

Температура воды на ГВС  $t_{гвс} = 65^{\circ}\text{C}$ ;

Температура воды на входе в котёл  $t''_к = 5^{\circ}\text{C}$ ;

Вид системы теплоснабжения – закрытый;

Район расположения – Красноярск;

Расчет производится по трем режимам работы котельной: максимально зимний (м.з); наиболее холодного месяца (н.х); среднеотопительный (ср.от). Для расчета нагрузок и температур подающей и обратной сетевой воды в каждом режиме, необходимо определить температуру воздуха наиболее холодных суток, среднюю температуру наиболее холодного месяца и среднюю температуру за отопительный период в городе Красноярск по СП 131.13330.2020 «Строительная климатология». Данные представлены в таблице 8.

Таблица 8

Температура воздуха наиболее холодных суток, $^{\circ}\text{C}$	Средняя температура наиболее холодного месяца, $^{\circ}\text{C}$	Средняя температура за отопительный период, $^{\circ}\text{C}$
-39	-23	-6,5

Температура воздуха внутри отапливаемых помещений  $t_{вн} = 20^{\circ}\text{C}$

1) Расчет объёма бака-аккумулятора

$V_6 = v_q * N * k$ , где  $V_6$  - объем бака-аккумулятора,  $v_q$  – объем воды на одного человека в день,  $N$  – количество человек,  $k$  – коэффициент запаса (от 1,5 до 2)

$$V_6 = 105 * 4 * 1,5 = 630 \text{ л/сут}$$

Ближайшим объёмом по каталогу является объем в 800 литров.



Рисунок 5 – бойлер косвенного нагрева SILA SST-800-D

## 2) Нагрузка ГВС (зимняя)

$$Q_{\text{ГВС}} = V_6 * c_p * (t_{\text{ГВС}} - t_{\text{ХВС}})$$

где  $N$  – кол-во людей,  $q_{\text{сут}}$  – суточный расход горячей воды в литрах,  $c_p$  – теплоемкость воды.

$$Q_{\text{ГВС}} = 800 * 4,19 * (65 - 5) = 158382 \frac{\text{кДж}}{\text{сут}} = 2,328 \text{ кВт}$$

## 3) Нагрузка котла в разных режимах

$$Q^{\text{м.з}} = Q_{\text{от}} + Q_{\text{ГВС}} = 43,224 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{н.х}} = Q^{\text{м.з}} * \frac{t_{\text{вн}} - t_{\text{наружн}}}{t_{\text{вн}} - t_{\text{макс}}^{\text{наружн}}} = 43,224 * \frac{20 + 23}{20 + 39} = 31,502 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{ср.от}} = Q^{\text{м.з}} * \frac{t_{\text{вн}} - t_{\text{наружн}}}{t_{\text{вн}} - t_{\text{макс}}^{\text{наружн}}} = 43,224 * \frac{20 + 6,5}{20 + 39} = 19,414 \text{ кВт};$$



4) Коэффициенты снижения расхода теплоты на отопление и ГВС.

$$\bar{Q}^{\text{H.X}} = \frac{Q^{\text{H.X}}}{Q^{\text{M.З}}} = \frac{31,502}{43,224} = 0,729$$

$$\bar{Q}^{\text{CP.OT}} = \frac{Q^{\text{CP.OT}}}{Q^{\text{M.З}}} = \frac{19,414}{43,224} = 0,449$$

5) Температуры подающей и обратной сетевой воды за наиболее холодный месяц.

$$t_{\text{под}}^{\text{H.X}} = t_{\text{вн}} + \Delta t_3 * \bar{Q}^{\text{H.X}^{0,8}} + (\Delta t_1 - 0,5 * \Delta t_2) * \bar{Q}^{\text{H.X}}$$

$$t_{\text{обр}}^{\text{H.X}} = t_{\text{вн}} + \Delta t_3 * \bar{Q}^{\text{H.X}^{0,8}} - 0,5 * \Delta t_2 * \bar{Q}^{\text{H.X}}$$

где:

$$\Delta t_1 = t_{\text{под}}^{\text{M.З}} + t_{\text{обр}}^{\text{M.З}} = 90 - 70 = 20 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_2 = t_{\text{гор}} - t_{\text{обр}} = 90 - 70 = 20 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_3 = \frac{t_{\text{гор}} + t_{\text{обр}}}{2} - t_{\text{вн}} = \frac{90 + 70}{2} - 20 = 60 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{под}}^{\text{H.X}} = 20 + 60 * 0,729^{0,8} + (20 - 0,5 * 20) * 0,729 = 73,88 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{обр}}^{\text{H.X}} = 20 + 60 * 0,729^{0,8} - 0,5 * 20 * 0,729 = 59,31 \text{ } ^\circ\text{C}$$

6) Температуры подающей и обратной сетевой воды за отопительный период.

$$t_{\text{под}}^{\text{CP.OT}} = t_{\text{вн}} + \Delta t_3 * \bar{Q}^{\text{CP.OT}^{0,8}} + (\Delta t_1 - 0,5 * \Delta t_2) * \bar{Q}^{\text{CP.OT}}$$

$$t_{\text{обр}}^{\text{CP.OT}} = t_{\text{вн}} + \Delta t_3 * \bar{Q}^{\text{CP.OT}^{0,8}} - 0,5 * \Delta t_2 * \bar{Q}^{\text{CP.OT}}$$

$$t_{\text{под}}^{\text{CP.OT}} = 20 + 60 * 0,449^{0,8} + (20 - 0,5 * 20) * 0,449 = 56,11 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{обр}}^{\text{CP.OT}} = 20 + 60 * 0,449^{0,8} - 0,5 * 20 * 0,449 = 47,13 \text{ } ^\circ\text{C}$$

7) Расход воды в контуре ГВС и отопления в трех режимах

$$G_{\text{ТС}}^{\text{М.З}} = \frac{Q^{\text{М.З}}}{(t_{\text{ПОД}}^{\text{М.З}} - t_{\text{ОБР}}^{\text{М.З}})c_p\eta} = \frac{43,224}{(90 - 70) * 4,19 * 0,98} = 0,5263 \text{ кг/с}$$

$$G_{\text{ТС}}^{\text{Н.Х}} = \frac{Q^{\text{Н.Х}}}{(t_{\text{ПОД}}^{\text{Н.Х}} - t_{\text{ОБР}}^{\text{Н.Х}})c_p\eta} = \frac{31,502}{(73,88 - 59,31) * 4,19 * 0,98} = 0,5266 \text{ кг/с}$$

$$G_{\text{ТС}}^{\text{СР.ОТ}} = \frac{Q^{\text{СР.ОТ}}}{(t_{\text{ПОД}}^{\text{СР.ОТ}} - t_{\text{ОБР}}^{\text{СР.ОТ}})c_p\eta} = \frac{19,414}{(56,11 - 47,13) * 4,19 * 0,98} = 0,5265 \text{ кг/с}$$

8) Расход воды на горячее водоснабжение в трех режимах

$$G_{\text{ГВС}}^{\text{М.З}} = \frac{Q_{\text{ГВС}}}{(t_{\text{ПОД}}^{\text{М.З}} - t_{\text{ОБР}}^{\text{М.З}})c_p\eta} = \frac{2,328}{(90 - 70) * 4,19 * 0,98} = 0,02835 \text{ кг/с}$$

$$G_{\text{ГВС}}^{\text{Н.Х}} = \frac{Q_{\text{ГВС}}}{(t_{\text{ПОД}}^{\text{Н.Х}} - t_{\text{ОБР}}^{\text{Н.Х}})c_p\eta} = \frac{2,328}{(73,88 - 59,31) * 4,19 * 0,98} = 0,03891 \text{ кг/с}$$

$$G_{\text{ГВС}}^{\text{СР.ОТ}} = \frac{Q_{\text{ГВС}}}{(t_{\text{ПОД}}^{\text{СР.ОТ}} - t_{\text{ОБР}}^{\text{СР.ОТ}})c_p\eta} = \frac{2,328}{(56,11 - 47,13) * 4,19 * 0,98} = 0,06314 \text{ кг/с}$$

9) Потери воды в тепловых сетях в трех режимах нет так как система закрытая и герметична

10) Расход холодной воды пусковой равен расходу воды в контуре ГВС и отопления в трех режимах.

11) Расходы котловой воды при полном обеспечении обратной по идее также равен расходу воды, посчитанному в пункте 7.

12) Расходы котловой воды при пуске (обратка=ХВС).

$$G_{\text{К}}^{\text{М.З}} = \frac{Q_{\text{ТС}}^{\text{М.З}}}{(t'_{\text{К}} - t''_{\text{К}}) * C_p\eta} = \frac{43,224}{(90 - 5) * 4,19 * 0,98} = 0,1238 \text{ кг/с}$$

13) Расчетный расход воды через котлы равен тому, что было в пункте 7.

- 14) Расчетный расход воды на выходе из котла такой же, как и в пункте 13.
- 15) Выбор котлов

Выбран котел Буржуй –КТ-50А-2К, работающий на твердом топливе.



Рисунок 6 – котел Буржуй–КТ-50А-2К.

В качестве топлива выступают пеллеты с низшей теплотой сгорания 3360 ккал/кг стоимостью 100 руб. за 10 кг топлива.

У данного котла отсутствует летний режим, а значит необходимо установить прибор, который будет обеспечивать нагрузку на горячее водоснабжение летом.

Горячее водоснабжение летом обеспечивается электрическим водонагревателем (ТЭН), располагаемом в бойлере косвенного нагрева, с мощностью, необходимой для обеспечения нагрузки на горячее водоснабжение.



Рисунок 7 – принципиальная схема котельной.

### 2.3 Гидравлический расчёт

План расположения отопительных приборов и аксонометрия продемонстрированы на рисунках 8,9,10 и 11.

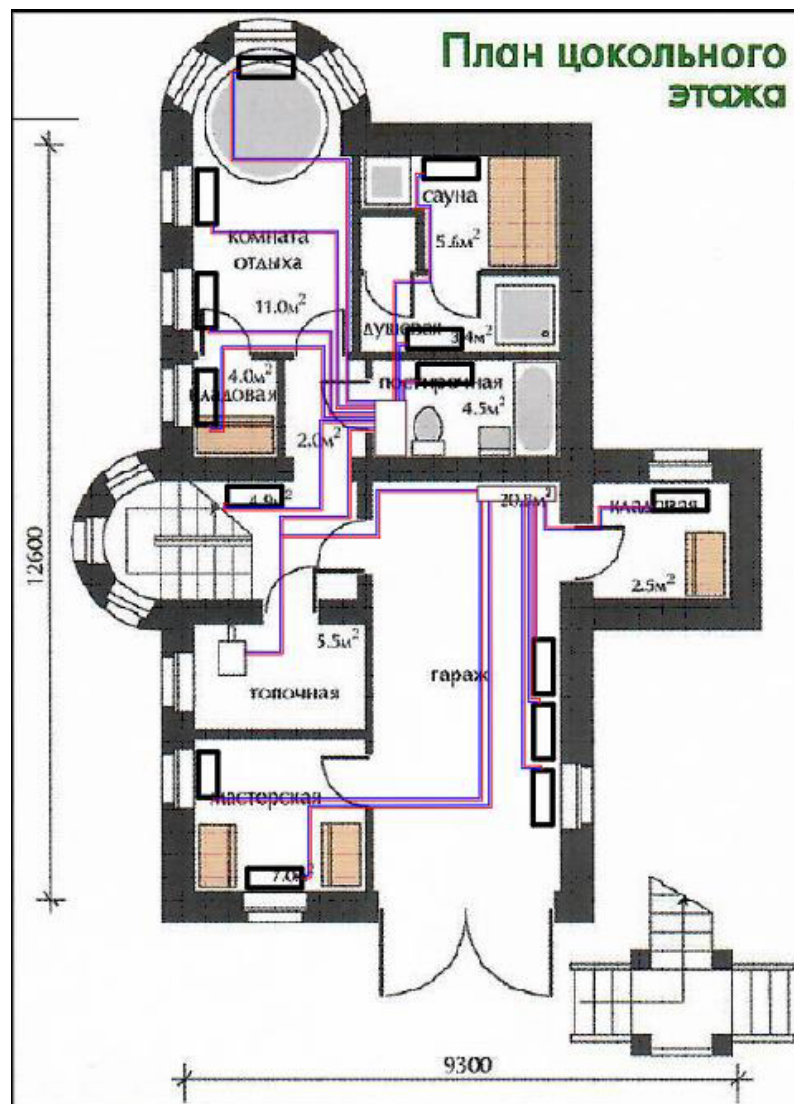


Рисунок 8 – схема расположения отопительных приборов в помещениях цокольного этажа.

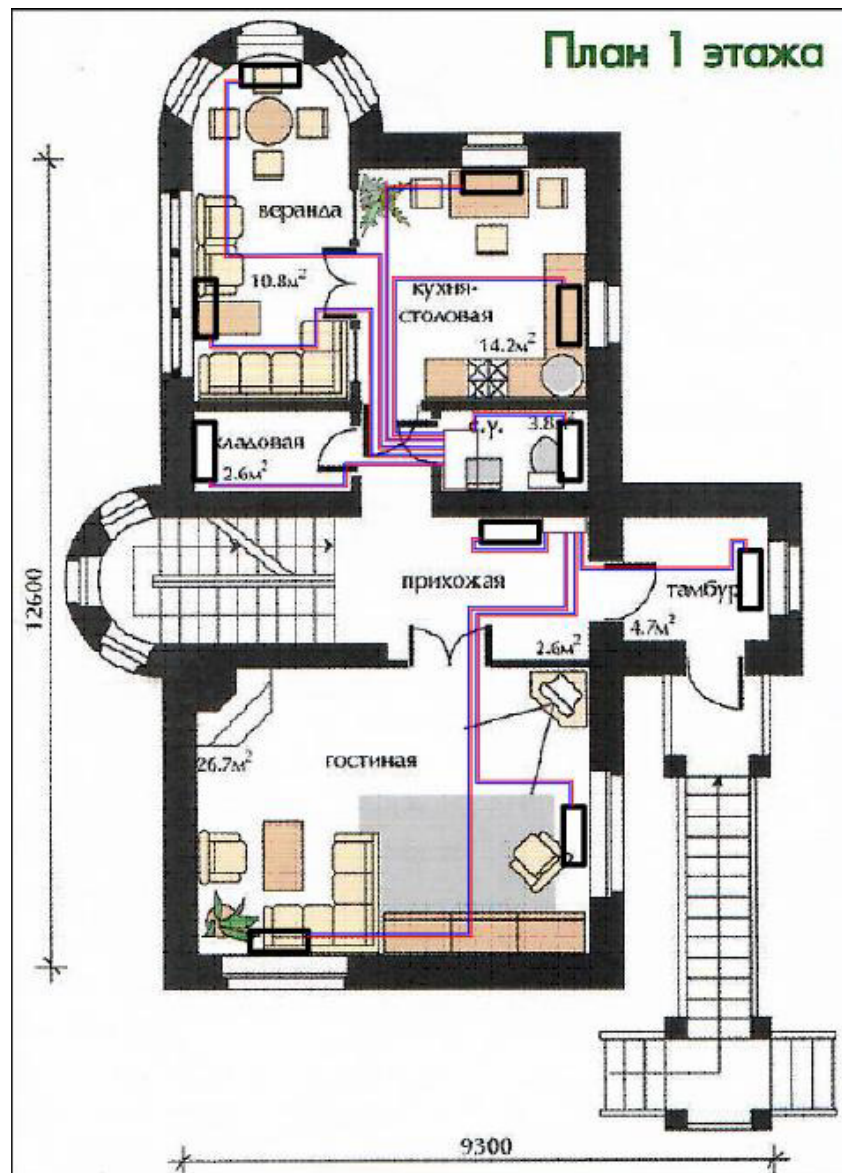


Рисунок 9 – схема расположения отопительных приборов в помещениях первого этажа.

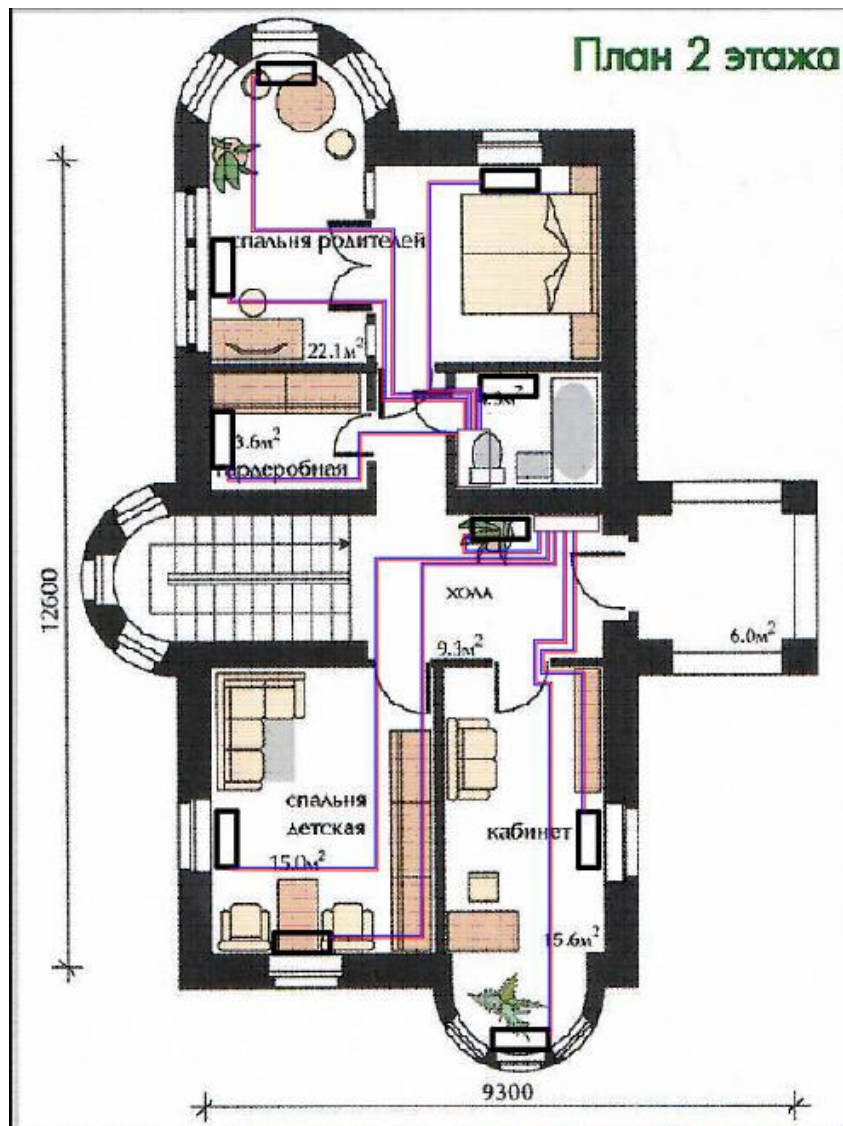


Рисунок 10 – схема расположения отопительных приборов в помещениях второго этажа.

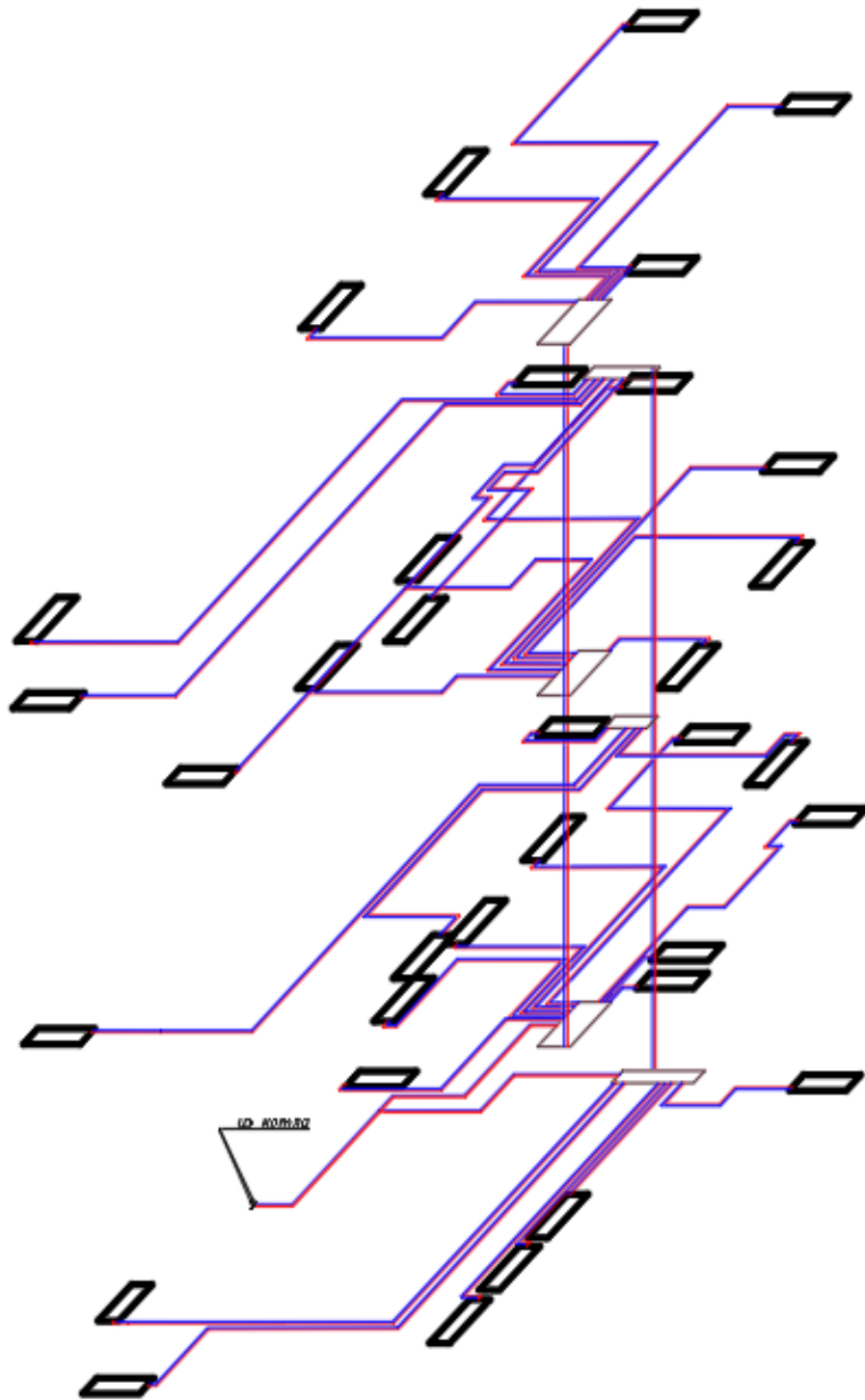


Рисунок 11 – аксонометрия отопительных приборов в помещениях

В качестве отопительных приборов применяются к установке алюминиевые радиаторы Evolution 500 с различным количеством секций с характеристиками, представленными в таблице 9. Схема разводки отопительных приборов – лучевая.



Таблица 9 – характеристика радиаторов

Параметр	Тип радиатора
	Evolution 500
Длина секции, мм	95
Высота, мм	400
Ширина, мм	590
Количество секций, шт	1-30

Внешний вид радиатора представлен на рисунке 12.



Рисунок 12 – внешний вид радиатора Evolution 500

Номер	Наименование	Количество радиаторов в комнате	Количество секций в одном радиаторе
	Цокольный этаж		
0.1	Комната отдыха	3	6
0.2	Сауна	1	8
0.3	Душевая	1	8
0.4	Кладовая	1	4
0.5+0.7	Коридор	1	12
0.6	Постирочная	1	6
0.8	Гараж	3	11
0.9	Кладовая	1	4
0.11	Мастерская	2	4
	Первый этаж		
1.1	Веранда	2	8
1.2	Кухня-столовая	2	12
1.3	Кладовая	1	4
1.4	Санузел	1	6
1.5	Прихожая	1	15
1.6	Тамбур	1	8
1.7	Гостиная	2	8
	Второй этаж		
2.1	Спальня	3	9
2.2	Гардеробная	1	4
2.3	Ванная	1	6
2.4	Холл	1	15
2.5	Детская	2	6
2.6	Кабинет	2	6

Таблица 10 – количество радиаторов и секций в каждом из них, рассчитанное исходя из тепловой нагрузки помещений и расположения радиаторов в них.

Ниже представлен гидравлический расчет потерь (в таблице указаны максимальные потери по комнате):

Номер	Наименование	Линейные потери давления, Па	Потери давления на КМС, Па	Общие потери давления на ветке, Па
	Цокольный этаж			
0.1	Комната отдыха	1005	2235	3240
0.2	Сауна	806	2378	3184
0.3	Душевая	675	2207	2882
0.4	Кладовая	529	2198	2728
0.5+0.7	Коридор	818	2473	3291
0.6	Постирочная	556	2206	2762
0.8	Гараж	681	2221	2902
0.9	Кладовая	509	2139	2648
0.11	Мастерская	758	2267	3025
	Первый этаж			
1.1	Веранда	1055	4452	5507
1.2	Кухня-столовая	1278	4570	5848
1.3	Кладовая	883	4350	5233
1.4	Санузел	919	4672	5592
1.5	Прихожая	1182	4492	5674
1.6	Тамбур	1052	4327	5378
1.7	Гостиная	1404	4524	5928
	Второй этаж			
2.1	Спальня	1500	5783	7283
2.2	Гардеробная	1296	5631	6927
2.3	Ванная	1145	5531	6676
2.4	Холл	1486	6225	7710
2.5	Детская	1368	5723	7091
2.6	Кабинет	1250	5773	7023
	Котёл (контур)	644	660	1304

Таблица 11 – результаты гидравлического расчета

Так как радиаторы подключены параллельно, то необходимо взять максимальные потери на одной ветке и сложить с потерями давления в контуре котла. Суммарные потери в контуре отопления составляют 9,02 кПа.

По расходу воды на контур отопления и потерям в контуре отопления был подобран циркуляционный насос TP 32-30/4 A-F-A-BQQE-AX3 с КПД

45,3 %:



Рисунок 13 – Насос TR 32-30/4 А-Ф-А-ВQQE-АХЗ

### **3. Тепловой расчёт системы с использованием альтернативного источника энергии**

#### **3.1 Краткая теория по солнечным коллекторам**

Солнечный коллектор - гелиоустановка (для сбора тепловой энергии Солнца), способная нагревать материал-теплоноситель.

Основными элементами солнечного коллектора являются манифолд (теплообменный блок) и вакуумные трубки. Через манифолд циркулирует специальная жидкость (теплоноситель, в данном случае антифриз), которая нагревается от вакуумных трубок и переносит тепло в теплонакопительный бак или теплообменник. Манифолд коллектора обычно выполнен из меди. Для минимизации потерь тепла используется теплоизоляция из пенополиуретана и каменной ваты.

Вакуумная трубка состоит из стеклянной колбы, алюминиевого радиатора и медной тепловой трубки «Heat Pipe». Стеклянная колба имеет две стенки, по принципу термоса. Между стенками колбы вакуум, который предотвращает потери тепла. Именно вакуум и позволяет эффективно использовать коллектор зимой при отрицательных температурах от  $-50^{\circ}\text{C}$ . Колба выполнена из боросиликатного стекла и обладает повышенной термической стойкостью (не трескается при резких изменениях температуры), повышенной стойкостью к механическим повреждениям (выдерживает град, снеговую и ветровую нагрузку) и минимальным коэффициентом отражения (не отражает солнечное излучение). На внутреннюю поверхность колбы нанесено специальное многослойное селективное покрытие, которое поглощает все виды солнечного излучения, в том числе рассеянный и отраженный солнечный свет, что позволяет эффективно использовать коллектор даже в облачную погоду.

Многослойное покрытие поглощает солнечное излучение и через алюминиевый радиатор нагревает тепловую трубку «Heat Pipe». Внутри тепловой трубки находится легко закипающая нетоксичная жидкость. Под воздействием тепла, жидкость, находящаяся в нижних секциях тепловых

трубок испаряется и поднимается в виде пара в верхнюю часть тепловой трубки. В верхней части тепловой трубки находится конденсатор, который передает тепло горячего пара теплоносителю, проходящему через манифолд. Отдавая тепло, пар конденсируется в жидкость и возвращается в нижние секции тепловых трубок для следующего нагрева.

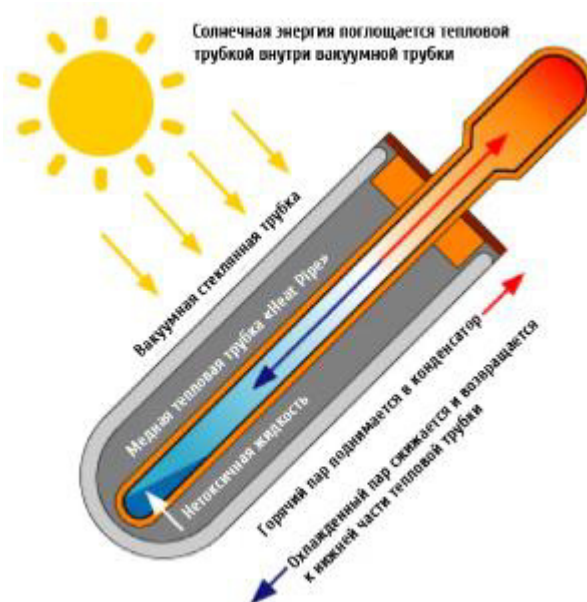


Рисунок 14 – схема работы технологии тепловой трубки «Heat Pipe».

### 3.2 Тепловой расчёт системы ГВС в летний период, в случае полного обеспечения солнечным коллектором

Исходные данные:

Температурный график 65/10;

Температура холодной водопроводной воды  $t_{CB} = 10^{\circ}C$ ;

Температура воды на ГВС  $t_{ГВС} = 65^{\circ}C$ ;

Вид жидкости внутри труб коллектора: Антифриз Antifrogen N;

Теплоемкость антифриза:  $C_p^{a.ф.} = 2,4 \text{ кДж}/(\text{кг} * \text{К})$

Температура кипения антифриза  $t_{кип} = 166^{\circ}C$

Температура антифриза на выходе из теплообменника  $t_{ВХ} = 20^{\circ}C$

Решение:

1) Расчет объёма бака-аккумулятора

$V_6 = v_ч * N * k$ , где  $V_6$  - объем бака-аккумулятора,  $v_ч$  – объем воды на одного человека в день,  $N$  – количество человек,  $k$  – коэффициент запаса (от 1,5 до 2)

$$V_6 = 105 * 4 * 1,5 = 630 \text{ л/сут}$$

Ближайшим объёмом по каталогу является объем в 800 литров.

2) Количество теплоты, необходимое для нагрева воды в баке-аккумуляторе.

$$\begin{aligned} Q_6 &= V_6 * C_p * (t_{ГВС} - t_{ХВС}) = 800 * 4,19 * (65 - 10) \\ &= 184,36 \text{ МДж/сут} = 51,211 \text{ кВт} * \text{ч/сут} \end{aligned}$$

3) Минимальная площадь апертуры солнечного коллектора по месяцам с мая по август

$$S_{a5}^{min} = \frac{Q_6}{q_{уср.} * \eta_{тр}} = \frac{51,211}{5,13 * 0,8} = 12,49 \text{ м}^2, \text{ для мая}$$

$$S_{a6}^{min} = \frac{Q_6}{q_{уср.} * \eta_{тр}} = \frac{51,211}{5,67 * 0,8} = 11,29 \text{ м}^2, \text{ для июня}$$

$$S_{a7}^{min} = \frac{Q_6}{q_{уср.} * \eta_{тр}} = \frac{51,211}{5,61 * 0,8} = 11,41 \text{ м}^2, \text{ для июля}$$

$$S_{a8}^{min} = \frac{Q_6}{q_{уср.} * \eta_{тр}} = \frac{51,211}{4,53 * 0,8} = 14,13 \text{ м}^2, \text{ для августа}$$

- 4) Количество энергии, передающееся в бак-аккумулятор  
Солнечный вакуумный коллектор SILA 30-24 может воспринимать энергию на площади  $S_{ап} = 2,83 \text{ м}^2$ .



Рисунок 15 – Солнечный вакуумный коллектор SILA 30-24.

Таким образом количество солнечных коллекторов будет

$$n_{ск}^{max} = \frac{S_{a8}^{min}}{S_{ап}} = \frac{14,13}{2,83} = 4,99 = 5$$

$$n_{ск}^{min} = \frac{S_{a6}^{min}}{S_{ап}} = \frac{11,29}{2,83} = 3,99 = 4$$

Таким образом, понадобится 5 коллекторов.

- 5) Расход теплоносителя в контуре солнечного коллектора

$$Q_6 = m_a * C_a * (t_{кип} - t_{вх})$$

где,  $m_a$  - расход антифриза в кг/с,  $C_a$  - теплоемкость антифриза в кДж/(кг\*К),  $t_{кип}$  – температура кипения антифриза,  $t_{вх}$  – температура антифриза на входе в коллектор,  $Q_6$  - кол-во теплоты для нагрева воды в баке-аккумуляторе



$$m_a = \frac{51,211}{2,4 * (166 - 20) * 24} = 0,006 \text{ кг/с}$$

### 3.3 Тепловой расчёт системы отопления, в случае использования солнечного коллектора как дополнительного источника энергии

Котел Буржуй-КТ-50А-2К: 1 штука

Температурный график 65/5;

Температура холодной водопроводной воды  $t_{\text{ХВС}} = 5^{\circ}\text{C}$ ;

Температура воды на ГВС  $t_{\text{ГВС}} = 65^{\circ}\text{C}$ ;

Вид системы теплоснабжения – закрытый;

Район расположения – Красноярск;

Солнечный коллектор СИЛА 30-24: 5 штук

Вид жидкости внутри труб коллектора: Антифриз Antifrogen N;

Теплоемкость антифриза:  $C_p^{\text{а.ф.}} = 2,4 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$

Температура антифриза на входе в коллектор  $t_{\text{ВХ}} = 20^{\circ}\text{C}$

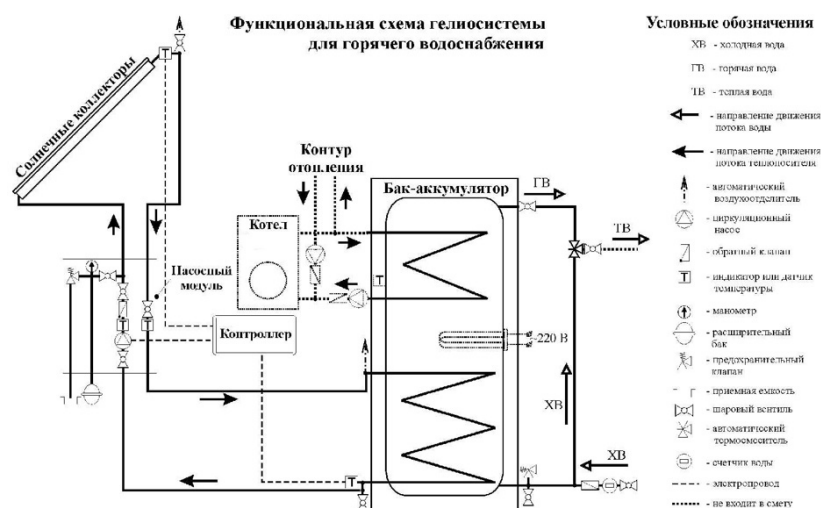


Рисунок 16 – принципиальная схема котельной с использованием солнечного коллектора.

Решение:

- 1) Количество теплоты, воспринимаемое солнечным коллектором в максимальном режиме (наиболее холодной пятидневки)

$$Q_{\text{ск}} = n * S_{\text{ап}} * q_{\text{уср}}^{12} * \eta_{\text{тр}} = 5 * 2,83 * 0,53 * 0,8 = 6 \text{ кВт} * \text{ч/сут} = 21,6 \text{ МДж/сут}$$

- 2) Количество теплоты, воспринимаемое солнечным коллектором в режиме наиболее холодного месяца

$$Q_{\text{ск}} = n * S_{\text{ап}} * q_{\text{уср}}^{12} * \eta_{\text{тр}} = 5 * 2,83 * 0,53 * 0,8 = 6 \text{ кВт} * \text{ч/сут} \\ = 21,6 \text{ МДж/сут}$$

3) Количество теплоты, воспринимаемое солнечным коллектором в среднеотопительном режиме

$$Q_{\text{ск}} = n * S_{\text{ап}} * \frac{q_{\text{уср}}^9 + q_{\text{уср}}^{10} + q_{\text{уср}}^{11} + q_{\text{уср}}^{12} + q_{\text{уср}}^1 + q_{\text{уср}}^2 + q_{\text{уср}}^3 + q_{\text{уср}}^4}{8} * \eta_{\text{тр}} \\ = 5 * 2,83 \\ * \frac{2,9 + 1,7 + 0,92 + 0,53 + 0,79 + 1,73 + 3,07 + 4,24}{8} \\ * 0,8 = 22,47 \text{ кВт} * \text{ч/сут} = 80,893 \text{ МДж/сут}$$

4) Нагрузка, которую компенсирует солнечный коллектор в трех режимах

$$Q_{\text{к}}^{\text{м.з}} = \frac{Q_6}{24 * 3600} = \frac{21,6 * 10^3}{24 * 3600} = 0,25 \text{ кВт} \\ Q_{\text{к}}^{\text{н.х}} = \frac{Q_6}{24 * 3600} = \frac{21,6 * 10^3}{24 * 3600} = 0,25 \text{ кВт} \\ Q_{\text{к}}^{\text{ср.от}} = \frac{Q_6}{24 * 3600} = \frac{80,893 * 10^3}{24 * 3600} = 0,936 \text{ кВт}$$

5) Нагрузка котла в разных режимах

$$Q^{\text{м.з}} = Q_{\text{от}} + Q_{\text{гвс}} - Q_{\text{к}}^{\text{м.з}} = 43,224 - 0,25 = 42,974 \text{ кВт}; \\ Q^{\text{н.х}} = Q^{\text{м.з}} * \frac{t_{\text{вн}} - t_{\text{наружн}}}{t_{\text{вн}} - t_{\text{нарукн}}^{\text{макс}}} - Q_{\text{к}}^{\text{н.х}} = 42,974 * \frac{20 + 23}{20 + 39} - 0,25 = 31,07 \text{ кВт}; \\ Q^{\text{ср.от}} = Q^{\text{м.з}} * \frac{t_{\text{вн}} - t_{\text{наружн}}}{t_{\text{вн}} - t_{\text{нарукн}}^{\text{макс}}} - Q_{\text{к}}^{\text{ср.от}} = 42,974 * \frac{20 + 6,5}{20 + 39} - 0,936 \\ = 18,366 \text{ кВт};$$

6) Коэффициенты снижения расхода теплоты на отопление и ГВС.

$$\bar{Q}^{\text{н.х}} = \frac{Q^{\text{н.х}}}{Q^{\text{м.з}}} = \frac{31,07}{42,974} = 0,723 \\ \bar{Q}^{\text{ср.от}} = \frac{Q^{\text{ср.от}}}{Q^{\text{м.з}}} = \frac{18,366}{42,974} = 0,427$$

7) Температуры подающей и обратной сетевой воды за наиболее холодный месяц.

$$t_{\text{под}}^{\text{H.X}} = t_{\text{вн}} + \Delta t_3 * \bar{Q}^{\text{H.X}0,8} + (\Delta t_1 - 0,5 * \Delta t_2) * \bar{Q}^{\text{H.X}}$$

$$t_{\text{обр}}^{\text{H.X}} = t_{\text{вн}} + \Delta t_3 * \bar{Q}^{\text{H.X}0,8} - 0,5 * \Delta t_2 * \bar{Q}^{\text{H.X}}$$

где:

$$\Delta t_1 = t_{\text{под}}^{\text{M.3}} + t_{\text{обр}}^{\text{M.3}} = 90 - 70 = 20 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_2 = t_{\text{гор}} - t_{\text{обр}} = 90 - 70 = 20 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_3 = \frac{t_{\text{гор}} + t_{\text{обр}}}{2} - t_{\text{вн}} = \frac{90 + 70}{2} - 20 = 60 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{под}}^{\text{H.X}} = 20 + 60 * 0,723^{0,8} + (20 - 0,5 * 20) * 0,723 = 73,52 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{обр}}^{\text{H.X}} = 20 + 60 * 0,723^{0,8} - 0,5 * 20 * 0,723 = 59,06 \text{ } ^\circ\text{C}$$

8) Температуры подающей и обратной сетевой воды за отопительный период.

$$t_{\text{под}}^{\text{cp.от}} = t_{\text{вн}} + \Delta t_3 * \bar{Q}^{\text{cp.от}0,8} + (\Delta t_1 - 0,5 * \Delta t_2) * \bar{Q}^{\text{cp.от}}$$

$$t_{\text{обр}}^{\text{cp.от}} = t_{\text{вн}} + \Delta t_3 * \bar{Q}^{\text{cp.от}0,8} - 0,5 * \Delta t_2 * \bar{Q}^{\text{cp.от}}$$

$$t_{\text{под}}^{\text{cp.от}} = 20 + 60 * 0,427^{0,8} + (20 - 0,5 * 20) * 0,427 = 54,64 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{обр}}^{\text{cp.от}} = 20 + 60 * 0,427^{0,8} - 0,5 * 20 * 0,427 = 46,1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

9) Расход воды в контуре ГВС и отопления в трех режимах

$$G_{\text{ТС}}^{\text{M.3}} = \frac{Q^{\text{M.3}}}{(t_{\text{под}}^{\text{M.3}} - t_{\text{обр}}^{\text{M.3}})c_p\eta} = \frac{42,974}{(90 - 70) * 4,19 * 0,98} = 0,5233 \text{ кг/с}$$

$$G_{\text{ТС}}^{\text{H.X}} = \frac{Q^{\text{H.X}}}{(t_{\text{под}}^{\text{H.X}} - t_{\text{обр}}^{\text{H.X}})c_p\eta} = \frac{31,07}{(73,52 - 59,06) * 4,19 * 0,98} = 0,5229 \text{ кг/с}$$

$$G_{\text{ТС}}^{\text{ср.от}} = \frac{Q^{\text{ср.от}}}{(t_{\text{под}}^{\text{ср.от}} - t_{\text{обр}}^{\text{ср.от}})c_p\eta} = \frac{18,366}{(54,64 - 46,1) * 4,19 * 0,98} = 0,5237 \text{ кг/с}$$

10) Расход воды на горячее водоснабжение в трех режимах

$$G_{\text{ГВС}}^{\text{М.З}} = \frac{Q_{\text{ГВС}} - Q_{\text{К}}^{\text{М.З}}}{(t_{\text{под}}^{\text{М.З}} - t_{\text{обр}}^{\text{М.З}})c_p\eta} = \frac{2,328 - 0,25}{(90 - 70) * 4,19 * 0,98} = 0,0253 \text{ кг/с}$$

$$G_{\text{ГВС}}^{\text{Н.Х}} = \frac{Q_{\text{ГВС}} - Q_{\text{К}}^{\text{Н.Х}}}{(t_{\text{под}}^{\text{Н.Х}} - t_{\text{обр}}^{\text{Н.Х}})c_p\eta} = \frac{2,328 - 0,25}{(73,52 - 59,06) * 4,19 * 0,98} = 0,035 \text{ кг/с}$$

$$G_{\text{ГВС}}^{\text{ср.от}} = \frac{Q_{\text{ГВС}} - Q_{\text{К}}^{\text{ср.от}}}{(t_{\text{под}}^{\text{ср.от}} - t_{\text{обр}}^{\text{ср.от}})c_p\eta} = \frac{2,328 - 0,936}{(54,64 - 46,1) * 4,19 * 0,98} = 0,0397 \text{ кг/с}$$

11) Потери воды в тепловых сетях в трех режимах нет так как система закрытая и герметична.

12) Расходы котловой воды при полном обеспечении обратной также равен расходу воды, посчитанному в пункте 9.

13) Расходы котловой воды при пуске.

$$G_{\text{К}}^{\text{М.З}} = \frac{Q_{\text{ТС}}^{\text{М.З}}}{(t'_{\text{К}} - t''_{\text{К}}) * C_p\eta} = \frac{42,974}{(90 - 5) * 4,19 * 0,98} = 0,123 \text{ кг/с}$$

14) Расчетный расход воды через котлы равен тому, что был определен в пункте 9.

#### 4. Экономическое сравнение двух систем

- 1) Количество теплоты, воспринимаемое солнечными коллекторами в течении отопительного периода.

$$Q_{\text{СК}}^{\text{от}} = n * S_{\text{ап}} * q_{\text{уср}}^{\text{ср.от}} * \eta_{\text{тр}} * a = 5 * 2,83 * 1,985 * 0,8 * 234 \\ = 5258 \text{ кВт} * \text{ч} = 4521114,35 \text{ ккал}$$

где  $a$  – количество дней отопительного периода

- 2) Количество теплоты, затрачиваемое электронагревателем (ТЭН) в баке-аккумуляторе за летний период

$$Q_{\text{ТЭН}}^{\text{л}} = V_{\text{б}} * C_p * (t_{\text{ГВС}} - t_{\text{ХВС}}) * b \\ = 800 * 4,19 * (65 - 10) * (365 - 234) \\ = 24151,16 \text{ МДж} = 6708,66 \text{ кВт} * \text{ч}$$

где  $b$  – количество дней летнего периода.

- 3) Стоимость энергии, затраченной ТЭНом на нагрев воды в летний период

$$C_{\text{ТЭН}} = Q_{\text{ТЭН}}^{\text{л}} * C_{\text{кВт}} = 6708,66 * 3,66 = 24553,69 \text{ руб.}$$

- 4) Стоимость топлива (пеллетов), потраченного на выработку энергии, эквивалентной выработанной солнечными коллекторами за отопительный период

$$C_{\text{п}} = \frac{Q_{\text{СК}}^{\text{от}}}{q_{\text{п}}^{\text{уд}}} * C_{\text{п}}^{\text{т}} = \frac{4521114,35 \text{ ккал}}{3360 \frac{\text{ккал}}{\text{кг}}} * 10 \frac{\text{руб.}}{\text{кг}} = 13455,7 \text{ руб}$$

- 5) Суммарная экономия за год

$$C_{\text{Эк}}^{\text{год}} = C_{\text{ТЭН}} + C_{\text{п}} = 24553,69 + 13455,7 = 38009,39 \text{ руб.}$$

- 6) Полная окупаемость солнечных коллекторов

$$T_{\text{окуп}} = \frac{C_{\text{СК}}}{C_{\text{Эк}}^{\text{год}}} * n_{\text{СК}} = \frac{82824}{38009,39} * 5 = 10,9 \text{ лет}$$

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения работы, была спроектирована система отопления для коттеджа, расположенного в пригороде г. Красноярска.

Были проведены теплотехнический расчёт ограждающих конструкций, расчёт мощности системы отопления и гидравлический расчёт системы отопления.

Были выбраны отопительные приборы марки Evolution 500 и циркуляционный насос TP 32-30/4 A-F-A-BQQE-AX3.

Было произведено сравнение двух систем отопления. В первом варианте рассматривалась совместная работа твердотопливного котла Буржуй-КТ-50А-2К и электрического водонагревателя в бойлере косвенного нагрева SILA SST-800-D, во втором совместная работа твердотопливного котла Буржуй-КТ-50А-2К и солнечных коллекторов SILA 30-24.

Путем расчётов было установлено, что использование схемы с солнечными коллекторами более экономично в долгосрочной перспективе, но требует больше капитальных затрат.

### Список использованной литературы

1. СП.131.13330.2018 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99\*/ Минстрой России. – М.: Стандартинформ, 2019. – 107 с.
2. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 10 июня 2010 года N 64 “Об утверждении СанПиН 2.1.2.2645-10 “Санитарно-эпидемиологические требования к условиям проживания в жилых зданиях и помещениях” (с изменениями на 27 декабря 2010 года)” (Зарегистрировано в Министерстве юстиции Российской Федерации 15 июля 2010 года, регистрационный N 17833).
3. СП.50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003\*/ Минстроя России. – М.: Стандартинформ, 2012. – 139 с.
4. СП.60.13330.2020. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха/ Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003/ Минстрой России – М.: НИИСФ РААСН, 2020. – 150 с.
5. ГОСТ 32310-2020. Изделия из экструзионного пенополистерола, применяемые в строительстве. Технические условия. Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 декабря 2020 г. № 1348-ст межгосударственный стандарт ГОСТ 32310-2020 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 марта 2021 г. Изд. Официальное. – М.: Российский институт стандартизации, 2020. – 34 с.
6. СП 118.13330.2012. Общественные здания и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 31-06-2009/ Минстрой России. – М.: Стандартинформ, 2012 – 92 с.
7. Пособие 2.91 к СНиП 2.04.05-91. Расчет поступления теплоты солнечной радиации в помещения.
8. ГОСТ Р 51594 «Солнечная энергетика. Термины и определения» - <https://gostrf.com/normadata/1/4293829/4293829640.htm#i118958>



9. РД34.20.115-89 «Методические указания по расчету и проектированию систем солнечного обогрева»

10. Г.В. Казаков, Принципы совершенствования гелиоархитектуры. Свит, 1990.

11. Харченко Н.В., Индивидуальные солнечные установки, М.: Энергоатомиздат, 1991

Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт

институт

Теплотехники и гидрогазодинамики

кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

В. А. Кулагин

инициалы, фамилия

подпись

«25» июня 2024г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

13.03.01. Теплоэнергетика и теплотехника

код и наименование направления.

Теплоснабжение жилого дома с использованием возобновляемого  
источника энергии

наименование темы

Руководитель

Жадаева

подпись, дата

старший преподаватель каф.

ТТИГД

должность, ученая степень

Л.Я. Жадаева

инициалы, фамилия

Выпускник

К 18.06.24

подпись, дата

Н.А. Конотоп

инициалы, фамилия

Красноярск 2024