

ПРООН/ГЭФ  
Проект №00077154  
«Повышение энергетической эффективности жилых зданий  
в Республике Беларусь»

ОТЧЕТ

**Научно-техническое сопровождение, информационная  
поддержка и консультирование проектной организации по  
применению тепловых насосов в проектах систем отопления и  
горячего водоснабжения жилых домов в г.Гродно и г.Минске**  
(этапы 6-9)

Исполнитель,  
Эксперт по вопросам внедрения  
тепловых насосов в системах  
теплоснабжения и горячего  
водоснабжения в жилом секторе

И.С.Жидович

Минск 2014

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>	<b>3</b>
<b>1. ДЕТАЛИЗАЦИЯ ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ИСТОЧНИКУ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПИЛОТНОГО ЖИЛОГО ДОМА В г. МИНСКЕ .....</b>	<b>4</b>
<b>2. ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО КОРРЕКТИРОВКЕ РАЗДЕЛОВ АРХИТЕКТУРНОГО ПРОЕКТА ИСТОЧНИКА ОТОПЛЕНИЯ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛОГО ДОМА В г. ГРОДНО .....</b>	<b>9</b>
2.1. Блок обвязки тепловых насосов .....	9
2.2. Блок утилизации теплоты городских сточных вод .....	10
<b>3. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ИНСТРУКЦИИ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ ИСТОЧНИКА ОТОПЛЕНИЯ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПИЛОТНОГО ЖИЛОГО ДОМА В г.ГРОДНО .....</b>	<b>14</b>
3.1. Общая часть .....	14
3.2. Структура и основное оборудование теплонасосной установки .....	14
3.3. Режимы работы теплонасосной установки .....	16
3.4. Пуск теплонасосной установки .....	17
3.5. Эксплуатация тепловых насосов .....	18
3.6. Эксплуатация блока утилизации теплоты городских сточных вод .....	18
3.7. Эксплуатация контура теплообменников, размещенных в конструкции фундаментных свай .....	18
3.8. Автоматизация теплонасосной установки .....	18
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....</b>	<b>20</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....</b>	<b>21</b>

## ВВЕДЕНИЕ

При обсуждении на рабочем совещании экспертов предпроектных предложений по источнику отопления и горячего водоснабжения пилотного жилого дома в г.Минске и технической документации архитектурного проекта системы теплоснабжения пилотного жилого дома в г.Гродно было принято решение о необходимости их уточнения с целью обоснования планируемых затрат, упрощения технических решений с повышением эксплуатационной надежности источников отопления и горячего водоснабжения этих жилых домов.

Целью настоящей работы является:

- детализация предложений по применению тепловых насосов, использующих теплоту наружного воздуха, для покрытия части нагрузки горячего водоснабжения пилотного жилого дома в г.Минске;
- разработка предложения по частичной корректировке проектных решений по блокам обвязки тепловых насосов и утилизации теплоты городских сточных вод в структуре источника теплоснабжения пилотного жилого дома в г. Гродно;
- подготовка предложения по содержанию основных разделов инструкции по эксплуатации блока тепловых насосов в структуре источника отопления и горячего водоснабжения пилотного жилого дома в г. Гродно.

## 1. ДЕТАЛИЗАЦИЯ ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ИСТОЧНИКУ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПИЛОТНОГО ЖИЛОГО ДОМА В г. МИНСКЕ

Проектируемый пилотный 19-ти этажный, односекционный и 132 квартирный жилой дом располагается в плотно застраиваемом жилом районе г. Минска, источником теплоснабжения которого является городская система централизованного теплоснабжения на основе ТЭЦ.

По данным ПУ ОАО «МАПИД» общая площадь дома – 11200,0 м<sup>2</sup>, отапливаемый объем – 34860,25 м<sup>3</sup>, число жителей при коэффициенте семейности 3 – 396 человек.

Для выбора типа и технических характеристик тепловых насосов в структуре источника теплоснабжения жилого дома в г. Минске приняты следующие данные<sup>1</sup>:

- расчетная нагрузка отопления ( $t_{\text{нар.возд.}}^{\text{р}} = \text{минус } 24^{\circ}\text{C}$ ) – 115 кВт;
- расчетная нагрузка отопления ( $t_{\text{нар.возд.}}^{\text{р}} = \text{минус } 10^{\circ}\text{C}$ ) – 76,7 кВт;
- суточное потребление горячей воды с температурой 50<sup>0</sup>С – 36 м<sup>3</sup>;
- средняя за сутки расчетная тепловая нагрузка горячего водоснабжения при – температуре горячей воды 50<sup>0</sup>С и температуре холодной воды 5<sup>0</sup>С – 81,6 кВт (циркуляционные потери 5%);
- средняя за сутки расчетная тепловая нагрузка горячего водоснабжения при – температуре горячей воды 45<sup>0</sup>С и температуре холодной воды 5<sup>0</sup>С – 72,5 кВт (циркуляционные потери 5%).

В отчете [1] определено, что альтернативными для отопления и горячего водоснабжения пилотного жилого дома являются варианты применения тепловых насосов с использованием теплоты грунта или наружного воздуха только для покрытия части нагрузки горячего водоснабжения. Показано, что в сравнении с теплоснабжением от ТЭЦ при действующих тарифах на энергоносители для населения, затрат на приобретение и обвязку тепловых насосов даже при очевидной энергетической эффективности экономически их применение не обосновано.

Этот вывод подтверждается и сравнением результатов [1] с условиями экономичности применения тепловых насосов в системах отопления и горячего водоснабжения энергоэффективного жилого дома в г. Гродно [2]:

- при отношении объема годовой выработки тепловой энергии к затратам электрической энергии на эту выработку не менее 4,5 (достигаемая экономия первичного топлива около 47%);
- при одновременных затратах на приобретение и монтаж тепловых насосов с устройствами отбора низкопотенциальной теплоты не более 900 долл./кВт тепловой мощности тепловых насосов в расчетных условиях.

Однако, для получения опыта проектирования и эксплуатации современных экологически чистых, но еще не апробированных в республике типов тепловых насосов, целесообразно рассмотреть возможность применения тепловых насосов «воздух-вода», заправленные диоксидом углерода (CO<sub>2</sub>) или пропаном. Как известно, значение коэффициента GWP, определяющего степень воздействия различных парниковых газов

---

<sup>1</sup> - в расчетах использованы данные по тепловым нагрузкам энергоэффективного жилого дома в г. Гродно (10 этажей, три подъезда, 120 квартир общей площадью 9834 м<sup>2</sup>, число жителей – 360 жителей,  $t_{\text{нар.возд.}}^{\text{р}} = \text{минус } 22^{\circ}\text{C}$ ) [1]

на глобальное потепление, для CO<sub>2</sub> равен 1 (эталонный газ), R290 – 3, а для применяемых сегодня рабочих агентов R134a – 1200, а R410C – 1720.

Альтернативными можно рассматривать тепловые насосы «воздух-вода» фирмы «Maeykawa» (Япония) и «Octorus» (Швеция). Сравнительная оценка их технических характеристик и стоимости поставки приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 - Основные характеристики стандартных моделей тепловых насосов «воздух-вода» фирмы «Maeykawa» и фирмы «Octorus»

№ п/п	Наименование показателей	Ед. изм.	Количество	
			«Maeykawa» (Япония)	«Octorus» (Швеция)
1	Тепловая мощность при $t_{хв}=8^{\circ}\text{C}$ , $t_{нв}=\text{минус } 7^{\circ}\text{C}$	кВт	40,0 ( $t_k=90^{\circ}\text{C}$ )	20,0 ( $t_k=45^{\circ}\text{C}$ )
2	Тепловая мощность при $t_{хв}=8^{\circ}\text{C}$ , $t_{нв}=+7^{\circ}\text{C}$	- “ -	58,0 ( $t_k=90^{\circ}\text{C}$ )	20,0 ( $t_k=45^{\circ}\text{C}$ )
3	Потребляемая мощность компрессора при параметрах п.1	- “ -	16,5	10,0
4	Потребляемая мощность компрессора при параметрах п.2	- “ -	17,5	6,3
5	Коэффициент преобразования теплоты наружного воздуха при параметрах п.1 и п.3	-	2,4	2,0
6	Коэффициент преобразования теплоты наружного воздуха при параметрах п.2 и п.4	-	3,3	3,2
7	Вид рабочего агента	-	R744(CO <sub>2</sub> )	R290 (пропан)
8	Вид теплоносителя на выходе конденсаторов	-	холодная вода, поступающая нагретая в сеть ГВ	вода не питьевого качества
9	Максимальная рабочая температура теплоносителя на выходе конденсаторов	$^{\circ}\text{C}$	90	65
10	Тип компрессора	-	полугерметичный поршневой, 2-х цилиндровый	спиральный
11	Уровень шума	дБ(А)	66,2	менее 45
12	Габариты теплового насоса (L x b x h): • агрегатированного • испарительного блока • компрессорно-конденсаторного блока	мм	2085 x 1141 x 2079	-
		- “ -	-	3 x (810x980x2220)
		- “ -	-	605x580x820
13	Вес теплового насоса: • агрегатированного • испарительного блока • компрессорно-конденсаторного блока	кг	1410	-
		- “ -	-	3 x 97
		- “ -	-	115
14	Стоимость теплового насоса на складе регионального представителя	тыс. долл.	около 110,0 ( в Бельгии)	около 19,0 ( в Эстонии или Польше)

Системная оценка приведенных в табл. 1.1 данных, включая особенности обвязки, дает основание рекомендовать к применению тепловые насосы фирмы «Octorus». С учетом планировочных и конструктивных ограничений здания предлагается к установке 2-а тепловых насоса тепловой мощности 20 кВт каждый, рассчитанных на покрытие части нагрузки горячего водоснабжения пилотного жилого дома в интервале температур наружного воздуха от минус 15<sup>0</sup>С и выше. Значения основных показателей теплового насоса модели 120X приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 - Основная характеристика теплового насоса «воздух-вода» фирмы «Octorpus» (модель 120X)

№ п/п	Наименование показателей	Ед. изм.	Количество	Примечание
1	Количество испарителей	шт	3	
2	Количество AL-профилей в одном испарителе	- " -	12	см. фото 1
3	Поверхность испарителя	м <sup>2</sup>	159	
4	Вес испарителя	кг	97	
5	Размеры испарителя (ширина x глубина x высота)	мм	810x980x2220	
6	Тип компрессора		спиральный	
7	Мощность компрессора, кВт		7	
8	Напряжение компрессора, В		380	
9	Напряжение управляющей цепи, В		220	
10	Объем рабочего агента (R290-пропан)	кг	около 3	
11	Тепловая мощность	кВт	20	
12	Потребляемая мощность компрессора : <ul style="list-style-type: none"> <li>• при температуре наружного воздуха минус 15<sup>0</sup>С и теплоносителя на выходе конденсатора 35<sup>0</sup>С (-15/35<sup>0</sup>С)</li> <li>• при -15/45<sup>0</sup>С</li> <li>• при -7/35<sup>0</sup>С</li> <li>• при -7/45<sup>0</sup>С</li> <li>• при 7/35<sup>0</sup>С</li> <li>• при 7/45<sup>0</sup>С</li> </ul>	кВт	10 13,3 7,7 10,0 4,8 6,3	
13	Уровень шума	dB(A)	менее 45	
14	Габариты компрессорно-конденсаторного блока (ширина x глубина x высота)	мм	605x580x820	см. фото 2
15	Вес компрессорно-конденсаторного блока	кг	115	



Фото 1.1 - Испаритель



Фото 1.2 - Компрессорно-конденсаторный модуль

Альтернативными рассматриваются два варианта включения таких тепловых насосов «воздух-вода» в структуру источника горячего водоснабжения жилого дома (рис.1.1 и рис.1.2). Основное различие предлагаемых решений в последовательности приготовления горячей воды. В варианте 1 (см. рис.1.1): холодная вода → теплообменник **3** → бак-аккумулятор теплой воды **8** → теплообменник **4** → циркуляционный насос **6** → потребитель. В варианте 2 (см. рис. 1.2): холодная вода → бак-аккумулятор **8** → циркуляционный насос **7** → теплообменник **3** → бак-аккумулятор **8** → теплообменник **4** → циркуляционный насос **6** → потребитель.

С учетом энергетической целесообразности планируется:

- работа тепловых насосов в периоды с температурой наружного воздуха минус  $15^{\circ}\text{C}$  и выше ;
- соединение тепловых насосов последовательно по контуру конденсаторов с температурой теплоносителя  $40^{\circ}\text{C}$  на выходе из конденсатора первого и  $45^{\circ}\text{C}$  второго теплового насоса;
- для обеспечения термостабилизации и гидравлической устойчивости работы тепловых насосов установить перед конденсаторами буферные емкости **9**, **10** на рис.1.1 и **10**, **11** на рис.1.2;
- теплообменник **3** рассчитывать на работу в режиме максимальной производительности тепловых насосов, минимальной температуры и максимального расхода холодной воды;
- теплообменник **4** рассчитывается на работу в режиме минимальной температуры и максимального расхода теплой воды и ее догрева до нормируемых температур;
- объем бака-аккумулятора теплой воды **8** определяется условиями его размещения в подвале жилого дома, но не менее  $1\text{ м}^3$ ;
- параметры циркуляционных насосов **5**, **6** рассчитываются с учетом технических данных тепловых насосов и принятого графика потребления горячей воды;
- с учетом архитектурных и конструктивных ограничений зданий рассмотреть возможность размещения испарительных **2** и компрессорно-конденсаторных блоков **1** на крыше (фото 1.3), а только испарительных блоков **2** – на наружных стенах дома со стороны двора или асфальтированных площадках на расстоянии 5 м от стен;
- при раздельном размещении компрессорно-конденсаторные блоки **1** устанавливаются в подвале жилого дома, причем расстояние между блоками **2** и **1** должно быть не более 40 м.



Фото 1.3 - Размещение испарителей на крыше зданий

- 1- компрессорно-конденсаторный модуль теплового насоса;
- 2- испаритель теплового насоса;
- 3- теплообменник-подогреватель горячей воды контура тепловых насосов;
- 4- теплообменник-подогреватель горячей воды контура ТС от ТЭЦ;
- 5- циркуляционный насос контура конденсаторов тепловых насосов;
- 6- циркуляционный насос контура горячего водоснабжения;
- 7- регулирующий клапан;
- 8- аккумулятор горячей воды;
- 9, 10 - буферная емкость.

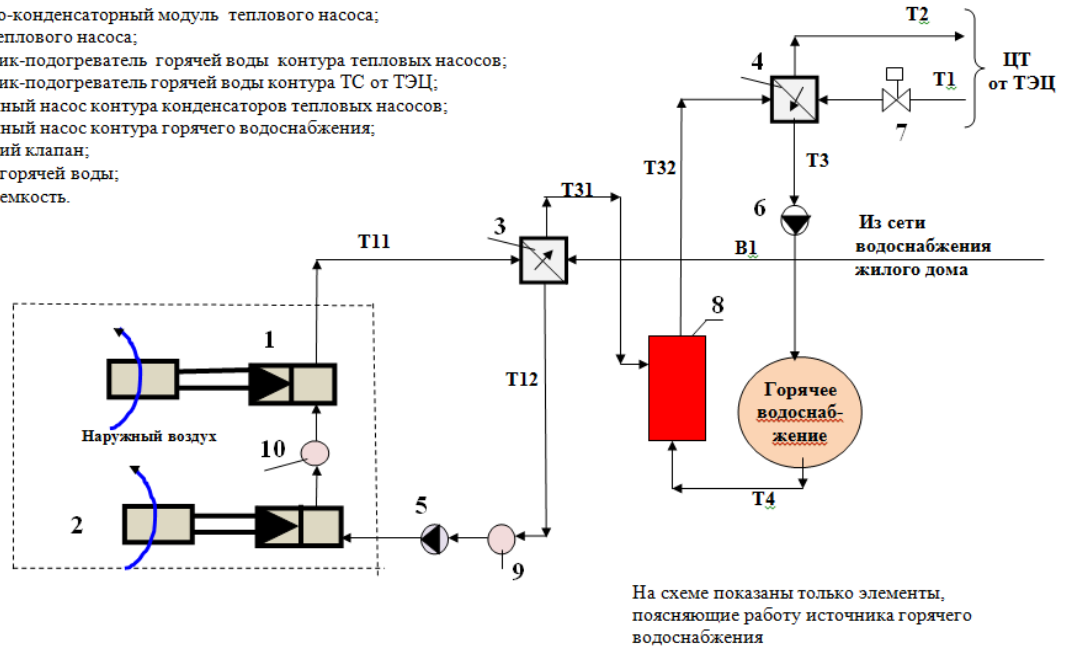


Рис.1.1 - Структурная схема горячего водоснабжения (вариант 1)

- 1- компрессорно-конденсаторный модуль теплового насоса;
- 2- испаритель теплового насоса;
- 3- теплообменник-подогреватель горячей воды контура тепловых насосов;
- 4- теплообменник-подогреватель горячей воды контура ТС от ТЭЦ;
- 5- циркуляционный насос контура конденсаторов тепловых насосов;
- 6,7 - циркуляционный насос контура горячего водоснабжения;
- 8- регулирующий клапан;
- 9- аккумулятор горячей воды;
- 10, 11 - буферная емкость.

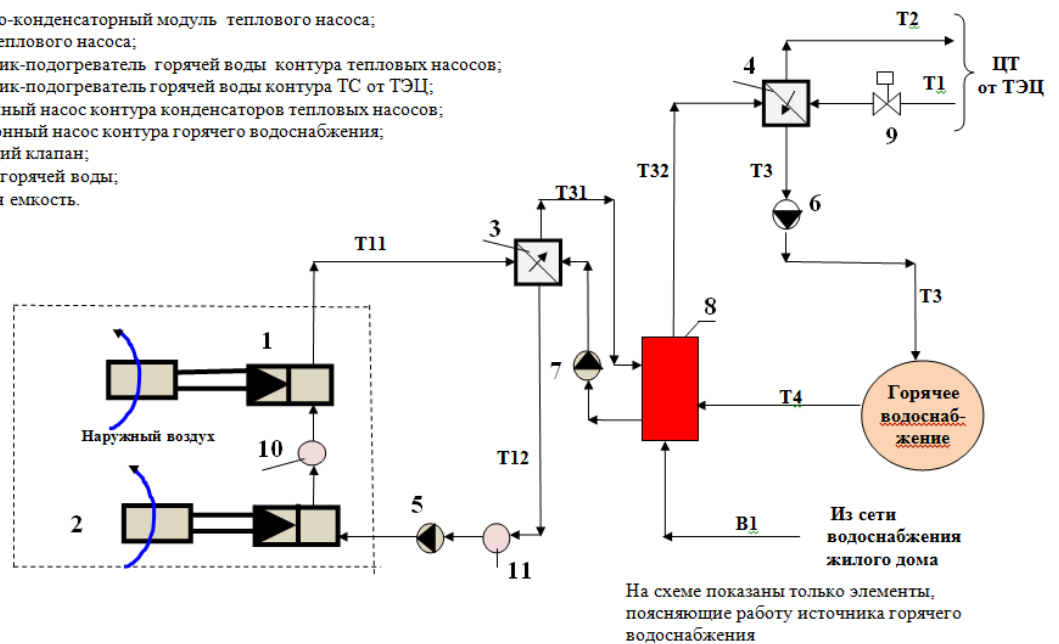


Рис.1.2 - Структурная схема горячего водоснабжения (вариант 2)



## 2. ПРЕДЛОЖЕНИЕ ПО КОРРЕКТИРОВКЕ РАЗДЕЛОВ АРХИТЕКТУРНОГО ПРОЕКТА ИСТОЧНИКА ОТОПЛЕНИЯ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛОГО ДОМА В г. ГРОДНО

### 2.1. Блок обвязки тепловых насосов

С использованием результатов ранее выполненных работ [2, 3] и рекомендаций экспертов проекта по блоку тепловых насосов предлагается откорректировать проектное решение в части упрощения технологических связей тепловых насосов в структуре источника отопления и горячего водоснабжения (рис. 2.1):

- отказ от установки одноходового теплообменника и циркуляционного насоса в контуре отопления от теплового насоса;
- отказ от установки 2-х трехходовых клапанов с электроприводом в контуре конденсаторов;
- установка в контуре конденсаторов одного гидравлического разделителя **13** объемом 1000 литров вместо двух аккумулирующих емкостей;
- установка в контуре испарителей вместо мембранного расширительного бака типа «Reflex» бака под атмосферным давлением (предложение эксперта Покотилова В.);
- работа тепловых насосов только на гидравлический разделитель **13** с температурой теплоносителя на выходе конденсаторов  $35...45^{\circ}\text{C}$ , который регулируется по температурному графику системы отопления;
- расчета одноходового теплообменника **2** на работу при изменяющихся температурах греющего теплоносителя ( $35...45^{\circ}\text{C}$ ) и на возможность подогрева холодной воды до температуры  $55^{\circ}\text{C}$  в периоды прекращения теплоснабжения от ТЭЦ (ремонт тепловых сетей и др.) при минимальной температуре и максимальном расходе нагреваемой холодной воды;
- расчета трехходового теплообменника **3** на нагрев до  $55^{\circ}\text{C}$  максимального объема горячей воды, подаваемой в систему горячего водоснабжения, при минимальной температуре (температуре холодной воды) отказе тепловых насосов и минимума горячей воды в циркуляционном трубопроводе (при максимуме потребления горячей воды).

Одним из главных условий нормальной работы тепловых насосов в предложенной структуре (см. рис. 2.1) является то, что проток теплоносителя через контур конденсаторов должен быть больше или равен сумме протоков в направлениях гидравлический разделитель **13** → теплообменник **2** и гидравлический разделитель **13** → теплообменник **4**.

Основные недостатки предложенных изменений:

- меньше вариантов изучения экономичности и управляемости тепловых насосов в структуре источников отопления и горячего водоснабжения жилого дома;
- меньшее участие тепловых насосов в покрытии нагрузки горячего водоснабжения в течение отопительного периода.

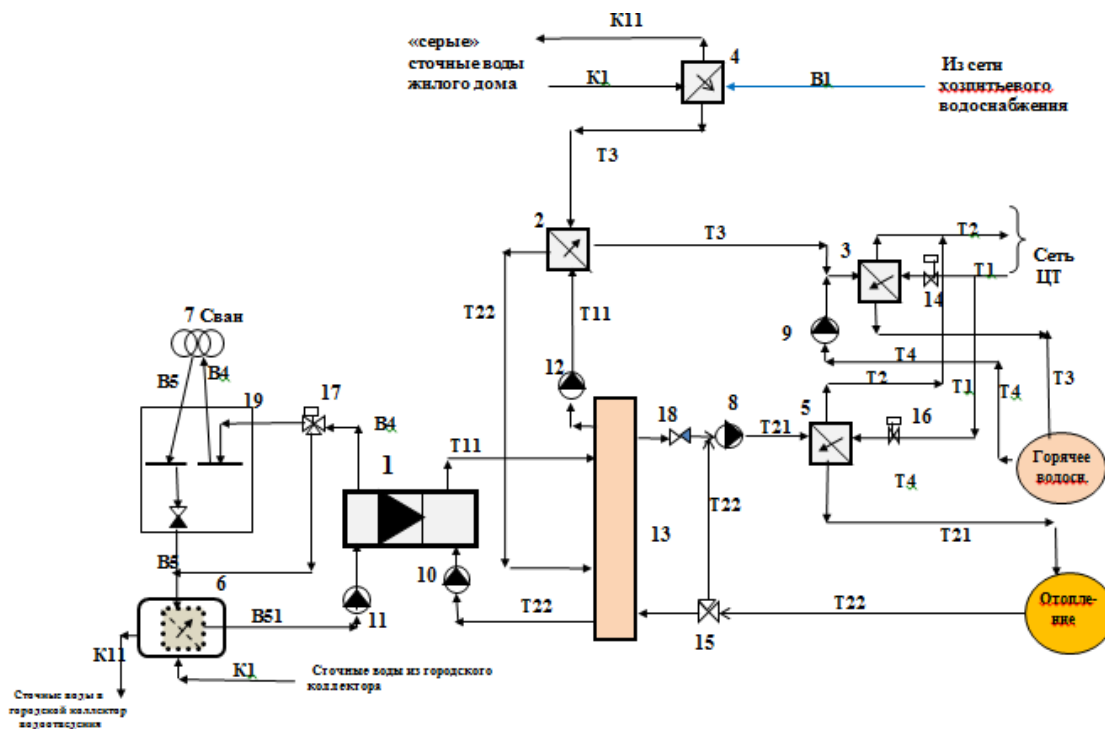


Рис. 2.1 - Структурная схема источника отопления и горячего водоснабжения

## 2.2. Блок утилизации теплоты городских сточных вод

В работе [4, 5] рассмотрены 4-е варианта систем отбора теплоты городских сточных вод (рис.2.2). Показаны их преимущества и недостатки всех вариантов. Рекомендованы для проектирования варианты 1, 2 и 4.

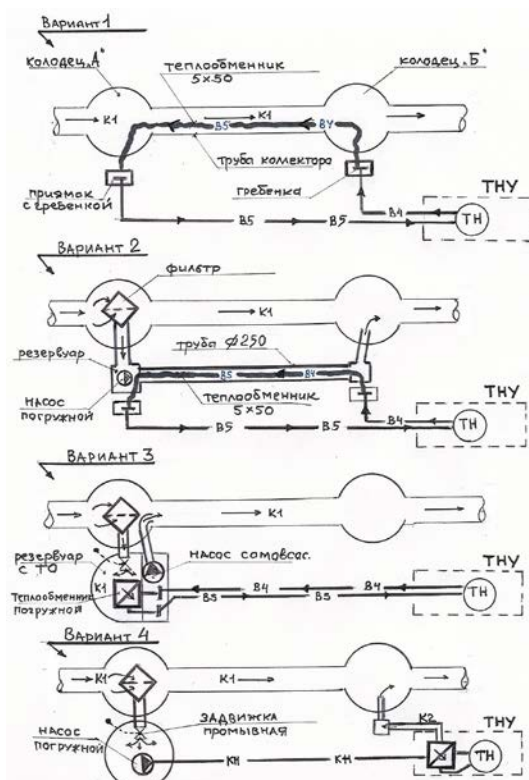


Рис.2.2 - Варианты систем утилизации теплоты городских сточных вод [4]

В архитектурном проекте принято решение, согласно которому предусматривается прокладка 50 м нового коллектора диаметром 500 мм, реконструкция двух существующих и строительство двух новых канализационных и одного сухого колодца с гребенками теплообменника. Теплообменник состоит из двух «U»-образных теплообменных труб диаметром 65 мм суммарной протяженностью около 200 м помещается на дне трубы d500.

Основные недостатки проектного решения:

- большой объем земляных работ на строительство нового коллектора 500 мм и колодцев (средняя глубина заложения – около 4,6 м) и, соответственно, большие капитальные вложения;

- сложность создания одинаковых условий для потока сточных вод в действующем и новом коллекторе и, как следствие, проблемы с образованием застойных зон и заиливанием коллектора;
- вероятность значительного ухудшения теплообмена из-за заиливания теплообменных трубок осадком сточных вод (в ночной период), который может не удаляться в периоды с максимальным потоком сточных вод;
- значительные эксплуатационные затраты на чистку коллектора с проложенными на дне теплообменными трубками во избежание засорения канализационной сети.

Уточнение данных по отметкам прокладки действующего коллектора и изменению в течение суток параметров потока сточных вод, а также учет эксплуатационной надежности позволили усилить аргументацию и рекомендовать для проектирования только варианты 2 и 4.

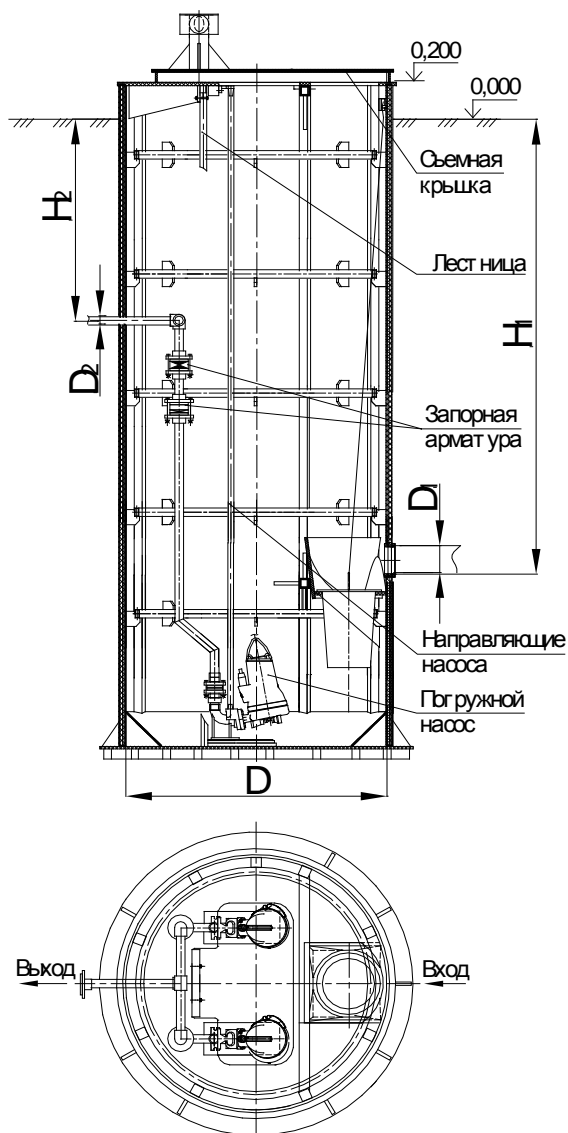
Принципиальное отличие вариантов в следующем (см. рис. 2.2):

- по варианту 2 утилизация теплоты сточных вод осуществляется также нестандартным теплообменником из 2-х «U»-образных теплообменных труб диаметром 65 мм суммарной протяженностью около 200 м (расчеты НИПТИС), но который прокладывается в новой канализационной трубе 250 мм длиной 50 м параллельно действующему коллектору на глубине в среднем около 1,6 м (лучшие условия теплообмена, чем в проектном решении);
  - по варианту 4 утилизация теплоты сточных вод осуществляется в теплообменнике серийного изготовления, устанавливаемом в подвале жилого дома;
  - в варианте 4 нет необходимости в устройстве одного канализационного колодца и двух технических колодцев, а также наружной прокладки трубопроводов с теплоносителем (20% раствор этиленгликоля) от теплообменника до жилого дома;
- Общими в этих вариантах являются расчетные параметры городских сточных вод, принятые по исходным данным предприятия «Гродноводоканал»:
- температура сточных вод в действующем коллекторе в периоды его минимального заполнения не ниже 12<sup>0</sup>С;
  - объемы потока сточных вод через коллектор в ночные часы суток отопительного периода не менее 100 м<sup>3</sup>/час;
  - объемы потока сточных вод в часы максимума – около 1000 м<sup>3</sup>/час.

Обязательно также устройство упрощенной конструкции мини-КНС, предназначенной только для подачи сточных вод расходом около 30 м<sup>3</sup>/час с напором около 3,5 м в канализационную трубу d250, в которой проложены теплообменные трубы.

Основные данные о конструкции и техническим характеристикам стандартной КНС, изготавливаемой Витебским предприятием «Фортекс», приведены в таблице 2.1. В комплект поставки входит емкость из полипропилена объемом 15,2 м<sup>3</sup>, насос SLV.80.80.13.4.50Д (Grundfos), арматура, лестница, крышка и др. Стоимость КНС с НДС равной 20% около 14,8 тыс. долларов.

Таблица 2.1 - Конструкция и технические характеристики мини-КНС



	Параметры	Ед	Количество
1	Вид стоков (хоз.-быт., дождевые)		Хоз./быт. + производ.
2	Производительность	м <sup>3</sup> /ч	30
3	Требуемый напор	м	3..3,5(уточ.)
4	Количество насосов	шт.	1
5	Глубина залегания подводящего	мм	4,55
6	Наружный диаметр подводящего	мм	250
7	Количество напорных трубопроводов	шт.	1 (самотеч.)
8	Глубина залегания напорного	мм	1,625(уточ.)
9	Наружный диаметр напорного	мм	250 (уточ.)
10	Расположение подводящего и напорного трубопроводов.		
Дополнительные сведения			
1	Категория надежности КНС		3
2	Сорудерживающая корзина		Да
3	Лестница		ДА
4	Исполнение двигателя насоса		№
5	Наличие надземного павильона: (да/нет)		Нет
6	Исполнение пульта управления		Внут.

Для теплотехнических и конструктивных расчетов при проектировании по вариантам 2 или 4 предлагается принять следующие условия:

- в канализационной трубе d250 пакет из 4-х труб d65, занимает около 30% поперечного сечения трубы, т.е. гидравлический диаметр сечения потока сточных вод через трубу d250 составляет 200 мм;
- при расходе сточных вод равном 30 м<sup>3</sup>/час (8,33 л/сек) скорость потока через трубу d250 около 0,25 м/сек;
- теплоносителем в контуре «теплообменник-испарители» является техническая вода, замерзание которой исключается установкой в контуре реле протока и защитой теплового насоса;
- расчетный расход теплоносителя в контуре «теплообменник-испарители» принимается равным 20 м<sup>3</sup>/час;

- циркуляция теплоносителя в контуре «теплообменник-испарители» осуществляется насосом с частотным регулированием производительности, поддерживающим перепад температур потока в испарителях в интервале 3..5<sup>0</sup>С;
- трубопроводы контура «теплообменник-испарители» в варианте 2 прокладываются по проектному решению;
- в варианте 4 теплые сточные воды из КНС по напорному трубопроводу d110 мм подаются в теплообменник-утилизатор серийного изготовления (фото 2.1), а охлажденные – возвращаются в коллектор через безнапорную сеть отведения сточных вод жилого дома;
- теплообменник-утилизатор размещается в подвале жилого дома (фото 2.2).
- 

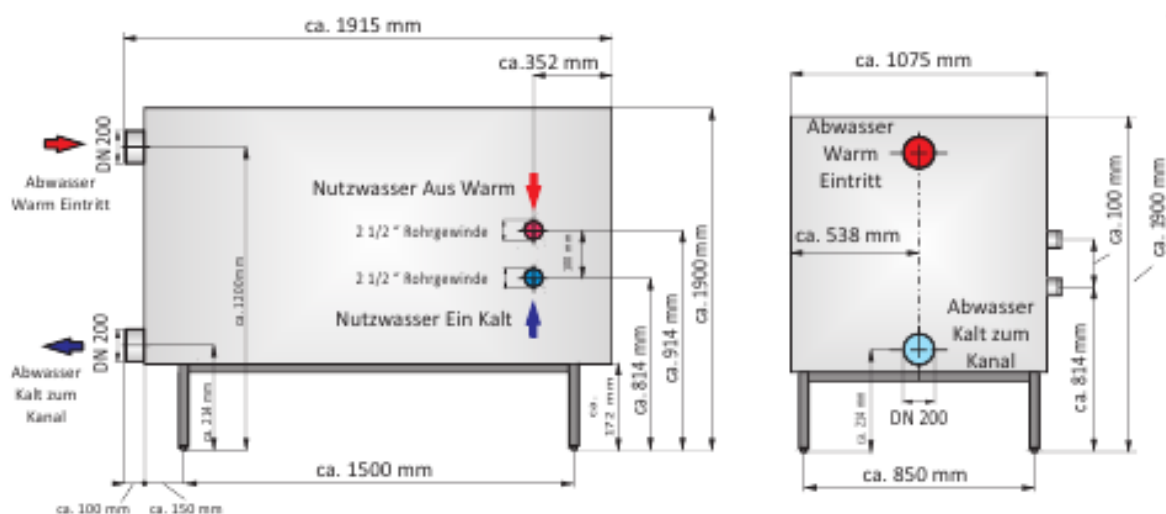


Фото 2.1 - Конструкция теплообменника-утилизатора теплоты городских сточных вод мощностью 100 кВт (при температуре теплоносителей: на входе в испаритель – 8,5<sup>0</sup>С, выходе из конденсаторов – 45<sup>0</sup>С)

а)



б)



Фото 2.2 - Пример размещения теплообменника-утилизатора в здании (а- общий вид; б- вид со снятой крышкой)

### **3. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ИНСТРУКЦИИ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ ИСТОЧНИКА ОТОПЛЕНИЯ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПИЛОТНОГО ЖИЛОГО ДОМА В г.ГРОДНО<sup>2</sup>**

#### **3.1.Общая часть**

Настоящая инструкция предназначена для эксплуатации источника теплоснабжения на основе тепловых насосов (теплонасосной установки - ТНУ), расположенной в энергоэффективном пилотном жилом доме по адресу: г. Гродно, ул. Дзержинского, ... .

Инструкция распространяется на персонал, занятый эксплуатацией, ремонтом, наладкой и испытанием ТНУ, систем отопления и горячего водоснабжения, имеющий достаточную профессиональную подготовку и прошедший целевое обучение и проверку знаний норм и правил технической эксплуатации тепловых энергоустановок, правил техники безопасности, охраны труда, пожарной безопасности и имеющие допуск к самостоятельной работе.

Настоящая инструкция эксплуатации составлена на основе:

- правил технической эксплуатации тепловых энергоустановок;
- правила технической эксплуатации электроустановок;
- правил техники безопасности при эксплуатации теплотребляющих установок и тепловых сетей потребителей;
- правил пожарной безопасности;
- и др.

#### **3.2. Структура и основное оборудование теплонасосной установки**

Источник теплоснабжения на основе тепловых насосов (теплонасосная установка - ТНУ) предназначен для отопления и горячего водоснабжения энергоэффективного жилого дома без постоянного присутствия эксплуатационного персонала.

Структурная схема теплонасосной установки с обозначением оборудования и направлений тепловых потоков приведена на рис. 3.1.

Основное оборудование ТНУ (см.рис.3.1):

- два тепловых насоса **1**;
- пластинчатый одноходовой теплообменник-подогреватель холодной воды **2**;
- пластинчатый трехходовой теплообменники-доводчик температуры горячей воды **3**;
- пластинчатый одноходовой теплообменник-доводчик температуры теплоносителя системы отопления **5**;
- блок утилизации **4** теплоты «серых» сточных вод жилого дома;
- блок утилизации **6** теплоты городских сточных вод;
- свайные теплообменники **7**;
- циркуляционные насосы **8, 9, 10, 11, 12**;
- гидравлическая развязка **13**;
- трехходовые переключающие клапаны **15, 17**;
- двухходовые клапаны регулирующие **14, 16**.

---

<sup>2</sup> - уточняется по данным строительного проекта и отчета о пуско-наладочных работах

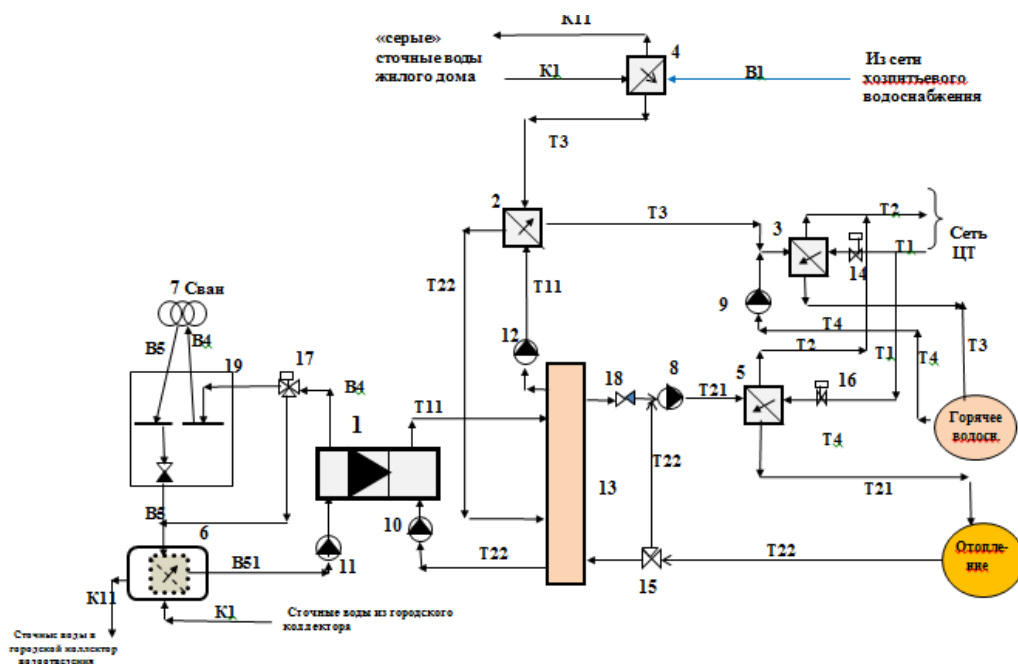


Рис.3.1 - Структурная схема теплонасосной установки

Технические характеристики оборудования **1, 2, 3, 5** приведены в приложениях 2, 3, 4, 5<sup>3</sup>, а технологическая схема в полном объеме данных о энергетических потоках и элементах системы приведена в приложении 1<sup>4</sup>.

Источником низкопотенциальной теплоты для тепловых насосов являются городские сточные воды из городского канализационного коллектора и грунт. Теплоносителем в контурах тепловых насосов и системе отопления является техническая вода.

Всё элементы ТНУ, за исключением блока утилизации теплоты городских сточных вод **6**, размещается в тепловом узле жилого дома. Оборудование, арматура и трубопроводы блока утилизации теплоты городских сточных вод размещаются на расстоянии около 50 м от жилого дома в коридоре прокладки городского коллектора. Свайные теплообменники **7** замоноличены в сваи под жилым домом.

В структуре ТНУ тепловые насосы, как местное теплогенерирующее оборудование, рассчитаны на отопление и горячее водоснабжение жилого дома по графику качественного регулирования системы отопления  $55/47,5^{\circ}\text{C}$  при температуре наружного воздуха минус  $10^{\circ}\text{C}$  и выше. При понижении температуры наружного воздуха теплоноситель системы отопления догревается в теплообменнике **4** сетевой водой от ТЭЦ по отопительному графику  $55/47,5^{\circ}\text{C}$ . В течение всего года, за исключением периода отключения сети централизованного теплоснабжения, нормируемая температура горячей воды в системе горячего водоснабжения поддерживается в теплообменнике **3**.

На время профилактики тепловой сети от ТЭЦ или ее аварийных отключений тепловые насосы перепрограммируются на работу с температурой теплоносителя на выходе из конденсаторов равной  $58^{\circ}\text{C}$ . Порядок действий приведен в «Инструкции по монтажу и эксплуатации тепловых насосов» (приложение 6).

<sup>3</sup> - составляются на основании проектного решения и данных фирм-поставщиков

<sup>4</sup> - приложения в отчете не приводятся, т.к. разрабатываются только на основании строительного проекта и результатов пуско-наладочных работ

### 3.3. Режимы работы теплонасосной установки

Учитывая природно-климатические и инженерные условия расположения жилого дома, предусмотрены три базовых режима работы ТНУ:

- режим № 1 – отопление и горячее водоснабжение в течение отопительного периода года при температуре наружного воздуха минус  $10^{\circ}\text{C}$  и выше (около 4330 часов работы);
- режим № 2 – отопление и горячее водоснабжение в течение отопительного периода при температуре наружного воздуха ниже минус  $10^{\circ}\text{C}$  (около 330 часов работы);
- режим № 3 – горячее водоснабжение вне отопительного периода (около 4100 часов работы).

#### Режим 1.

*Отопление* осуществляется только от тепловых насосов с температурой теплоносителя на выходе конденсаторов, равное как и в гидравлическом разделителе **13**, изменяющегося от  $35^{\circ}\text{C}$  до  $45^{\circ}\text{C}$  по графику системы отопления  $55/47,5^{\circ}\text{C}$ , при котором  $45^{\circ}\text{C}$  соответствует температуре наружного воздуха равной минус  $10^{\circ}\text{C}$ .

*Горячее водоснабжение* – холодная вода с температурой  $5..12^{\circ}\text{C}$  тепловыми насосами **1** нагревается в теплообменнике **2** до  $32 \dots 42^{\circ}\text{C}$  с последующим ее догревом до  $50 \dots 55^{\circ}\text{C}$  в теплообменнике **3** тепловой сетью общегородской системы централизованного теплоснабжения на основе ТЭЦ (системой ЦТ). Подача насосом с частотным приводом **12** теплоносителя с температурой  $35 \dots 45^{\circ}\text{C}$  из гидравлического разделителя **13** в теплообменник **2** изменяется в течение суток по графику потребления горячей воды.

#### Режим 2.

*Отопление* при температуре наружного воздуха минус  $10^{\circ}\text{C}$  и выше осуществляется с температурой теплоносителя от  $35^{\circ}\text{C}$  до  $45^{\circ}\text{C}$  только от тепловых насосов, а при понижении температуры – за счет догрева теплоносителя по отопительному графику  $55/47,5^{\circ}\text{C}$  в теплообменнике **4** сетевой водой от ТЭЦ.

При температуре в обратном трубопроводе систем отопления  $40^{\circ}\text{C}$  и выше клапан **15** закрывается в направлении **13**, а циркуляция в контуре отопления обеспечивается насосом **8** и обратным клапаном **18** до температуры теплоносителя в обратном трубопроводе системы отопления на  $4..5^{\circ}\text{C}$  ниже, чем температура на выходе конденсаторов теплового насоса. Это достигается режимом периодического отопления.

*Горячее водоснабжение* – как и в режиме 1.

#### Режим 3.

*Горячее водоснабжение* – холодная вода с температурой  $8^{\circ}\text{C}$  тепловыми насосами нагревается в теплообменнике **2** до  $42^{\circ}\text{C}$  с последующим ее догревом до  $50 \dots 55^{\circ}\text{C}$  в теплообменнике **3** сетевой водой от ТЭЦ. Как и в режимах 1 и 2 подача теплоносителя с температурой  $45^{\circ}\text{C}$  насосом с частотным приводом **12** из гидравлического разделителя **13** в теплообменник **2** изменяется в течение суток по графику потребления горячей воды.

На время профилактики тепловой сети от ТЭЦ или ее аварийных отключений тепловые насосы перепрограммируются на работу с температурой теплоносителя на выходе из конденсаторов равной  $58^{\circ}\text{C}$ .

**Во всех 3-х режимах** тепловыми насосами утилизируется теплота городских сточных вод, которая отбирается от сточных вод в теплообменнике **6** теплоносителем контура «теплообменник-испарители тепловых насосов», или используется теплота



грунта свайными теплообменниками **7**. Циркуляция теплоносителя в контуре осуществляется насосом **11** с частотным приводом, объемы подачи которого зависит от изменения разности температур теплоносителя в испарителях, которая поддерживается в интервале 2,5...5<sup>0</sup>С.

### 3.4. Пуск теплонасосной установки

Перед пуском в эксплуатацию ТНУ необходимо проверить:

- присутствие всех лиц, ответственных за отопление и горячее водоснабжение, эксплуатационного персонала, персонала сторонних организаций, привлеченных к эксплуатации ТНУ, представителей проектной, электроснабжающей и теплоснабжающей организаций;
- знание эксплуатационным персоналом своей части настоящей инструкции, должностной инструкции и инструкции по охране труда в объеме своей профессии;
- допуска по выполнению работ оперативно – ремонтного персонала сторонних организаций, привлеченных к эксплуатации ТНУ;
- наличие разрешающей документации на пуск в эксплуатацию;
- комплектность оборудования, соответствия монтажной сборки проектному решению и рекомендациям отчета о пуско-наладочных работах;
- состояние сети и оборудования электроснабжения;
- электрическую схему включения теплового насоса, насоса КНС и циркуляционных насосов;
- исправность запорной арматуры, контрольно-измерительных приборов и средств автоматизации;
- наличие рабочих давлений и расходов в трубопроводах сточных вод КНС, контуре теплоносителей низкопотенциальной теплоты, контуров теплоснабжения и теплопотребления, сетевой воды из тепловой сети от ТЭЦ;
- и др.

Пуск ТНУ следует производить после этапа подготовки к пуску в следующей последовательности:

- последовательное открытие запорной арматуры указанной в технологической схеме (см. приложение 1) ;
- включение насоса перекачки сточных вод на КНС с проверкой их параметров (блок **6**);
- включение циркуляционного насоса **11** с проверкой циркуляции и температур теплоносителя в контуре «теплообменник **6** – испарители тепловых насосов **1**»;
- включение циркуляционного насоса **8** с проверкой циркуляции в системе отопления;
- включение циркуляционного насоса **9** с проверкой циркуляции в системе горячего водоснабжения;
- включение циркуляционного насоса **12** с проверкой циркуляции в контуре «теплообменник **2** – гидравлический разделитель **13**»;
- включение циркуляционного насоса **10** с проверкой циркуляции в контуре «конденсаторы тепловых насосов **1** – гидравлический разделитель **13**»;

- включение тепловых насосов **1**.

### **3.5. Эксплуатация тепловых насосов**

Содержание раздела должно соответствовать «Инструкции по монтажу и эксплуатации тепловых насосов» (приложение 6), которая будет подготовлена и передана фирмой-поставщиком тепловых насосов и откорректированная после окончания монтажных и наладочных работ теплонасосной установки в целом.

### **3.6. Эксплуатация блока утилизации теплоты городских сточных вод**

Содержание раздела зависит от принятого решения по проектному варианту утилизации теплоты городских сточных вод.

### **3.7. Эксплуатация контура теплообменников, размещенных в конструкции фундаментных свай**

Теплообменники, размещенные в конструкции фундаментных свай, предназначены для отбора теплоты грунта на время планового отключения или отказа блока утилизации теплоты сточных вод. Эффективный термический режим грунта в зоне свайных теплообменников обеспечивается их тепловой «зарядкой» теплоносителем контура утилизации теплоты городских сточных вод.

Правила эксплуатации контура теплообменников, размещенных в конструкции фундаментных свай, изложены в разделе «Система сбора теплоты с фундаментных свай» пояснительной записки строительного проекта.

### **3.8. Автоматизация теплонасосной установки**

Система автоматического регулирования обеспечивает без участия эксплуатационного персонала поддержание нормируемых температур внутри отапливаемых помещений жилого дома и параметров горячей воды в системе горячего водоснабжения. Имеется возможность дистанционного контроля, управления и получения информации об авариях.

Контроль параметров энергетических потоков в контурах тепловых насосов осуществляется микропроцессорами 2-х тепловых насосов: «Ведущего» и «Ведомого». Вся информация выводится на цветной монитор. Контролируемые параметры:

- наличие циркуляции теплоносителя в контурах испарителей и конденсаторов;
- температура теплоносителя, поступающего в испарители тепловых насосов;
- температура теплоносителя, выходящего из конденсаторов тепловых насосов;
- отклонение напряжения в сети электроснабжения;
- давление рабочего агента в испарителях и конденсаторах.

В случае отклонения параметров на монитор теплового насоса и дублирующий монитор (размещается в помещении дежурного по жилому дому) выводится информация о неисправностях, возможным причинам и необходимые действия в этой ситуации (см. приложение 6).

Основное управление параметрами и режимами энергетических потоков в теплонасосной установке осуществляется микропроцессором «Ведущего» теплового насоса. Температура теплоносителя на выходе конденсаторов в интервале 35..45<sup>0</sup>С поддерживается близкой к заданной кривой отопления, характеризующей зависимость температуры подачи от температуры наружного воздуха. По графику 55/47,5<sup>0</sup>С устанавливается температура теплоносителя циркулирующего в системе отопления

жилого здания. Расчетное значение корректируется в сторону уменьшения при превышении температуры обратной сетевой воды.

Импульсом для регулирования является интегральный метеорологический показатель, учитывающий наружную температуру, ветер и рассеянную солнечную радиацию. Датчик наружной температуры размещается в тени на стене, обращенной на северо-запад.

Может устанавливаться датчик комнатной температуры, который показывает на дисплее теплового насоса значение текущей температуры и позволяет корректировать ее изменяя положение «кривой отопления»: при комнатной температуре ниже принятой – увеличивается "кривая отопления" в меню на одну ступень, если выше - уменьшается на одну ступень.

Предусмотрены варианты ручного или автоматического переключения на работу тепловых насосов в летнем режиме.

На время профилактики тепловой сети от ТЭЦ или ее аварийных отключений независимо от сезона выполняется перепрограммирование для работы тепловых насосов с температурой теплоносителя на выходе из конденсаторов равной 58<sup>0</sup>С. Последовательность действий изложена в приложении 6.

Система автоматики тепловых насосов управляет работой (см. рис.3.1):

- циркуляционным насосом **8** системы отопления;
- циркуляционным насосом **12** контура предварительного нагрева холодной воды системы горячего водоснабжения;
- циркуляционным насосом **9** контура догрева воды системы горячего водоснабжения;
- циркуляционным насосом **10** контура конденсаторов теплового насоса;
- циркуляционным насосом КНС подачи сточных вод в новый канализационный коллектор;
- контуров утилизации теплоты городских сточных вод и свайных теплообменников переключением трехходового клапана **17**.

Насосы **11**, **12** и **8** оборудованы частотным приводом. Режим работы 2-х насосов **10** контура конденсаторов тепловых насосов постоянный.

**И т.д.** (с учетом изложенного в разделе «Автоматизация системы теплоснабжения.....» **строительного проекта** теплонасосной установки).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Применение тепловых насосов для отопления и горячего водоснабжения пилотного жилого дома в г.Минске энергетически эффективно, но экономически не обосновано.

Предлагается для получения опыта проектирования и эксплуатации установить современные экологически чистые, но еще не апробированные в республике тепловые насосы типа «воздух-вода» фирмы «Mitsubishi» (Япония), заправленные диоксидом углерода (CO<sub>2</sub>), или «Otopus» (Швеция), заправленные пропаном.

Учитывая стоимость, особенности обвязки и планировочные ограничения приоритет имеют тепловые насосы фирмы «Otopus», рассчитанных на покрытие части нагрузки горячего водоснабжения пилотного жилого дома в интервале температур наружного воздуха от минус 15<sup>0</sup>С и выше.

2. Проектное решение по блоку обвязки тепловых насосов в структуре источника теплоснабжения энергоэффективного жилого дома в г.Гродно может быть упрощено по схеме, приведенной на рис.2.1 (раздел 2) при некотором снижении доли участия тепловых насосов в покрытии нагрузки горячего водоснабжения в течение отопительного периода.

Проектное решение по блоку утилизации теплоты городских сточных вод при значительных затратах на реализацию не обеспечивает требуемую эксплуатационную надежность работы контура испарителей тепловых насосов. Предлагается повторно рассмотреть альтернативные технические решения с применением канализационного насоса подачи сточных вод на теплообмен с теплоносителем контура испарителей.

3. Приведенная 1-ая редакция инструкции источника отопления и горячего водоснабжения энергоэффективного жилого дома в г. Гродно является пилотной и имеет целью на этом этапе ориентировать разработчиков строительного проекта на конкретизацию принимаемых решений в соответствии с требованиями по обеспечению надежной эксплуатации тепловых насосов.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Отчет «Предпроектное моделирование и предложения по применению тепловых насосов для отопления и горячего водоснабжения жилого дома в г.Минске. Минск, 2014.
2. Отчет «Разработка и технико-экономическая оценка эффективности полуавтономного источника теплоснабжения и горячего водоснабжения пилотного 120 квартирного 10-ти этажного жилого дома в г. Гродно». Минск, 2013.
3. Отчет «Подготовка проектных предложений, технических условий, технических заданий на проектирование, выбор параметров и номенклатуры тепловых насосов, а также подготовка информации о потенциальных производителях такого оборудования с обеспечением контактов между проектной организацией и данными производителями». Минск, 2013
4. Отчет «Подготовка запроса на поставку и монтаж тепловых насосов, анализ представленных материалов и рекомендации по выбору поставщика. Техническое обоснование структуры и конструктивного исполнения блока утилизации теплоты сточных вод городского коллектора для теплоснабжения пилотного жилого дома в г. Гродно». Минск, 2014.
5. Отчет «Результаты предпроектных исследований, участия в проектировании и анализа технологических разделов архитектурного проекта теплонасосной установки отопления и горячего водоснабжения пилотного энергоэффективного жилого дома в г.Гродно». Минск, 2014.