

ПРООН/ГЭФ

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

**ПРЕДПРОЕКТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ПРИМЕНЕНИЮ
ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ ДЛЯ ОТОПЛЕНИЯ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ
ЖИЛОГО ДОМА В Г.МИНСКЕ**

Исполнитель,

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

_____И.С.Жидович

Минск
июль 2014

1. ОЦЕНКА ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЙ СИТУАЦИИ И РАСЧЕТНЫЕ ТЕПЛОВЫЕ НАГРУЗКИ.....	3
2 АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ВАРИАНТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ ДЛЯ ОТОПЛЕНИЯ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ	4
3 РАСЧЕТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОТОКОВ В АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВАРИАНТАХ РАБОТЫ ТНУ	9
4 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВАРИАНТОВ ТНУ	12

1. Оценка градостроительной ситуации и расчетные тепловые нагрузки

Пилотный энергоэффективный жилой дом планируется к строительству в застраиваемом микрорайоне жилого района «Лошица». Согласно проекту застройки района жилой дом расположен в группе 19 этажных зданий, как доминантов улицы районного значения. В глубине (в 50 м) расположен торговый центр. По данным ПУ ОАО «МАПИД» количество квартир – 132 шт., число подъездов – 1, этажность – 19 этажей, общая площадь (предварительно) – 11200,0 м², отапливаемый объем – 34860,25 м³, число жителей при коэффициенте семейности 3 – 396 человек.

Расчетная нагрузка отопления проектируемого жилого дома до внедрения энергосберегающих мероприятий составляет 878,328 кВт, т.ч. отопление – 347, 88 кВт, горячее водоснабжение (максимально-часовая) – 530,448 кВт. Удельный расход тепловой энергии на отопление – 53,24 кВтч/м² и 16,198 кВтч/м³. Расчетные параметры теплоносителя в системе отопления – 90/70⁰С, системе горячего водоснабжения 55⁰С.

До внедрения энергосберегающих мероприятий предусмотрена естественная вентиляция на схеме приток в жилые помещения через форточки, вытяжка через вентиляционные блоки кухонь (60 м³/час) и санузлов (25 м³/час), которые выводятся на чердак.

Максимальный суточный объем потребления воды на хозяйственно-бытовые нужды жилого дома может составить 160,05 м³, в т.ч. на нужды горячего водоснабжения – 63,42 м³. Часовой – 13,22 м³, в т.ч. горячей воды – 8,56 м³. Потребный напор на хозяйственно-питьевые нужды равен 68 метрам.

Расход сточных вод практически равен водопотреблению и составляет 158,05 м³/сутки и 13,22 м³/час.

В настоящее время (на 22.07.2014 г.) еще не уточнены тепловые нагрузки, структура и технологическая схема источника теплоснабжения жилого дома в г.Минске ($t_{\text{вн.}}^p = 18^0\text{C}$; $t_{\text{нар.возд.}}^p = \text{минус } 24^0\text{C}$). Поэтому для решения поставленной задачи использованы результаты работы по обоснованию источника отопления и горячего водоснабжения (ГВ) пилотного энергоэффективного жилого дома в г.Гродно (10 этажей, три подъезда, 120 квартир общей площадью 9834 м², число жителей – 360 жителей, $t_{\text{нар.возд.}}^p = \text{минус } 22^0\text{C}$). После корректировки по общей площади, количеству квартир и условиям размещения жилых домов для выбора типа и технических характеристик тепловых насосов в структуре источника теплоснабжения жилого дома в г.Минске приняты следующие исходные данные:

- расчетная нагрузка отопления – 115 кВт при $t_{\text{нар.возд.}}^p = \text{минус } 24^0\text{C}$ и 76,7 кВт при $t_{\text{нар.возд.}}^p = \text{минус } 10^0\text{C}$;
- суточное потребление горячей воды с температурой 50⁰С – 36 м³;
- средняя за сутки расчетная тепловая нагрузка горячего водоснабжения (ГВ) при – температуре горячей воды 50⁰С и температуре холодной воды 5⁰С – 81,6 кВт (потери 5%);
- средняя за сутки расчетная тепловая нагрузка горячего водоснабжения (ГВ) при – температуре горячей воды 45⁰С и температуре холодной воды 5⁰С – 72,5 кВт (потери 5%).

2 Альтернативные варианты применения тепловых насосов для отопления и горячего водоснабжения

При формировании альтернативных вариантов за основу приняты результаты работы по применению тепловых насосов для отопления и горячего водоснабжения энергоэффективного жилого дома в г.Гродно.

С учетом местных условий инженерного обеспечения жилого района «Лошица» технически реализуемы три варианта применения тепловых насосов, отличающиеся участие в покрытии тепловых нагрузок и используемыми источниками низкопотенциальной теплоты.

Вариант 1. Тепловые насосы рассчитываются на круглогодичную работу из расчета покрытия отопительной нагрузки при температуре наружного воздуха минус 10°C и 89 % расчетной нагрузки горячего водоснабжения. Температура теплоносителя на выходе конденсаторов тепловых насосов при их работе на отопительную нагрузку изменяется по графику качественного регулирования в диапазоне $35\dots 45^{\circ}\text{C}$. При работе на нагрузку горячего водоснабжения температура теплоносителя поддерживается равной 45°C .

Источником низкопотенциальной теплоты принят грунт, теплота которого отбирается скважинными теплообменниками (зондами).

Вариант 2. Тепловые насосы рассчитываются на круглогодичную работу только на покрытие 89% расчетной нагрузки горячего водоснабжения с температурой теплоносителя на выходе конденсаторов равной 45°C .

Источником низкопотенциальной теплоты, как и в варианте 1, является грунт.

Вариант 3. Тепловые насосы рассчитываются на работу только при температуре наружного воздуха минус 10°C и выше на покрытие 89% расчетной нагрузки горячего водоснабжения с температурой теплоносителя на выходе конденсаторов равной 45°C .

В таблице 2.1 приведены данные об участии тепловых нагрузок в покрытии расчетной тепловой нагрузки.

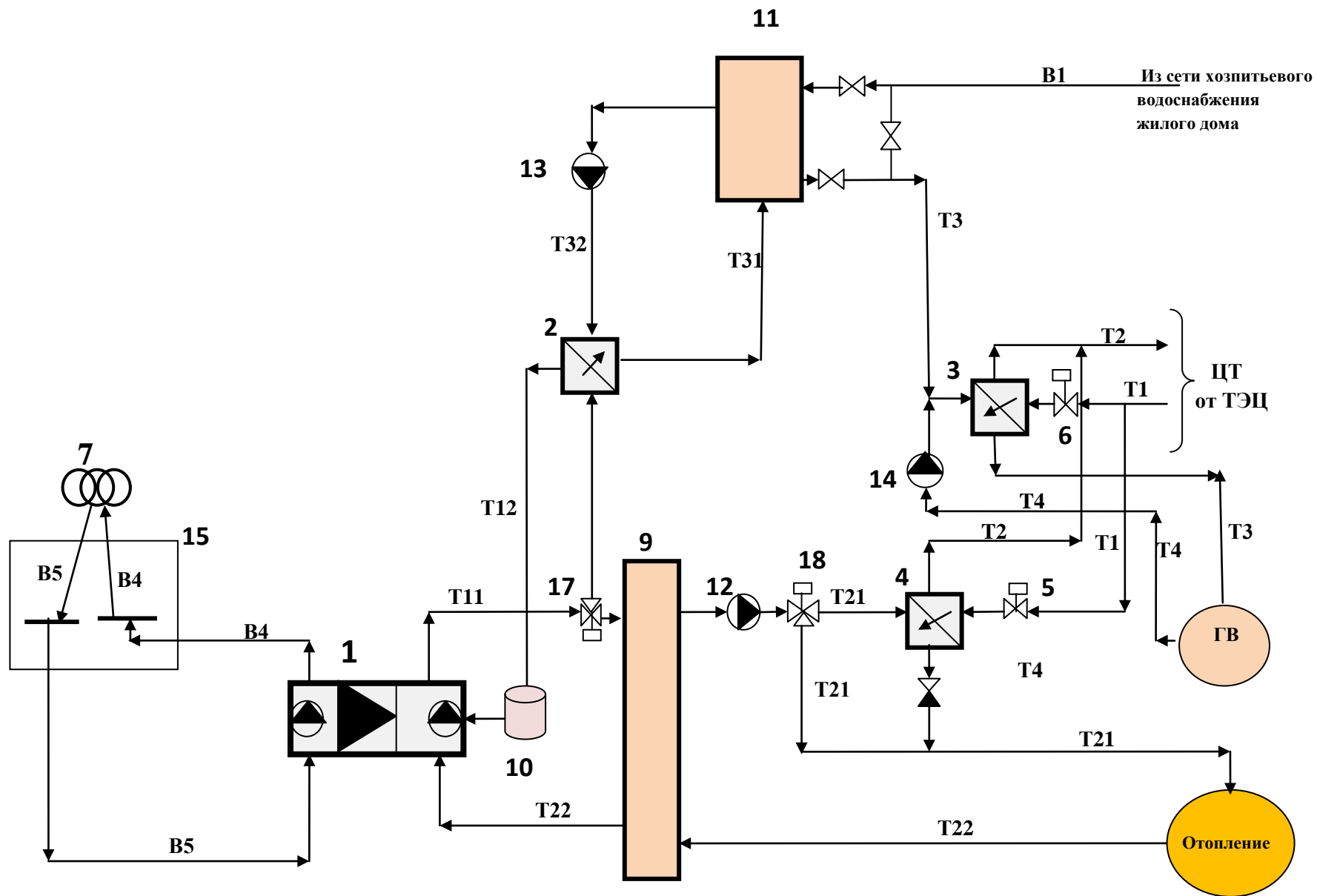
Таблица 2.1 - Базовые технически реализуемые варианты применения тепловых насосов для отопления и горячего водоснабжения жилого дома

Наименование вариантов	Тепловые насосы, использующие теплоту грунта, кВт		Тепловые насосы, использующие теплоту наружного воздуха, кВт	Тепловая сеть от ТЭЦ, кВт
	Отопление	ГВ	ГВ	
Вариант 1 (ТН _{грунт} + ТЭЦ)	76,7 (при минус 10°C)	81,6	-	38,3
Вариант 2 (ТН _{грунт} + ТЭЦ)	-	81,6	-	115,0
Вариант 3 (ТН _{воздух} + ТЭЦ)	-	-	72,5 (от минус 10°C и выше)	196,6

Структурные схемы трех альтернативных вариантов источников теплоснабжения на основе тепловых насосов и тепловой сети от ТЭЦ с указанием направлений тепловых потоков представлены на рисунках 2.1-2.3, соответственно. Экспликация оборудования ТНУ, показанного на рис. 2.1-2.3, и описание его функций приведена в таблице 2.1.

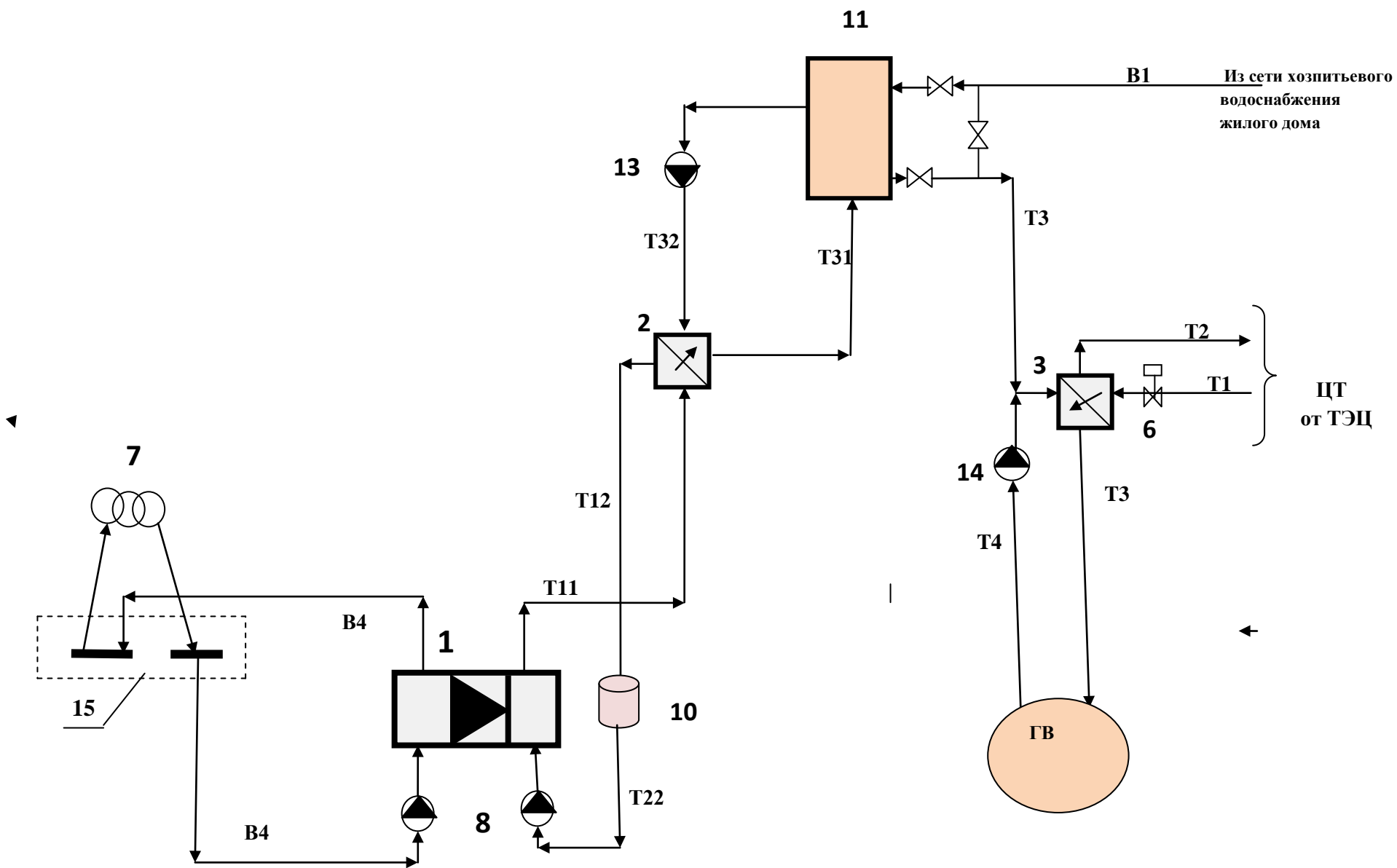
Таблица 2.1 - Экспликация основного оборудования ТНУ

№. на рис. 2.1-2.3	Наименование оборудования	Функции оборудования
1	Тепловые насосы, объединенные в каскад	Трансформация теплоты от теплоносителя контура источников низкопотенциальной теплоты в теплоту потребительских параметров, отпускаемую в контур потребителя тепловой энергии
2	Теплообменник подогрева горячей воды в контуре конденсаторов	Подогрев воды теплоносителем контура конденсаторов тепловых насосов
3	Теплообменник пикового подогрева горячей воды сетевой водой системы ЦТ	Догрев до 55 ⁰ С воды, подаваемой в систему горячего водоснабжения
4	Теплообменник пикового подогрева теплоносителя системы отопления сетевой водой ЦТ	Догрев до 55 ⁰ С теплоносителя в подающем трубопроводе системы отопления
5-6	Регулирующие клапаны	Изменение расхода сетевой воды для поддержания требуемых значений температуры нагреваемой среды
7	Грунтовые скважинные теплообменники (зонды)	Отбор низкопотенциальной теплоты грунта
8	Циркуляционные насосы контура тепловых насосов	Циркуляция теплоносителя в контурах испарителей и конденсаторов
9	Гидравлический разделитель-аккумулятор теплоты теплоносителя отопительного контура	Разделение контура конденсаторов тепловых насосов и контура системы отопления
10	Буферная емкость теплоносителя контура горячей воды конденсатора	Стабилизация температур теплоносителя на входе в конденсаторы
11	Буферная емкость-аккумулятор горячей воды системы горячего водоснабжения	Сглаживание неравномерности потребления горячей воды и стабилизация режимов работы тепловых насосов
12	Циркуляционные насосы контура отопления	Циркуляция теплоносителя в системе отопления
13	Циркуляционные насосы контура подогрева горячей воды в аккумуляторе горячей воды	Обеспечение нагрева горячей воды в аккумуляторе теплоносителем контура конденсаторов
14	Насосы циркуляционного контура системы горячего водоснабжения дома	Циркуляция горячей воды в системе горячего водоснабжения
15	Коллекторные колодцы грунтовых теплообменников	Размещение гребенок и арматуры грунтовых теплообменников
16-18	Трехходовые переключающие клапаны	Изменение направлений потока теплоносителей



На схеме показаны только оборудование и трубопроводы, поясняющие работу системы. Обозначения приведены в таблице 2.1.

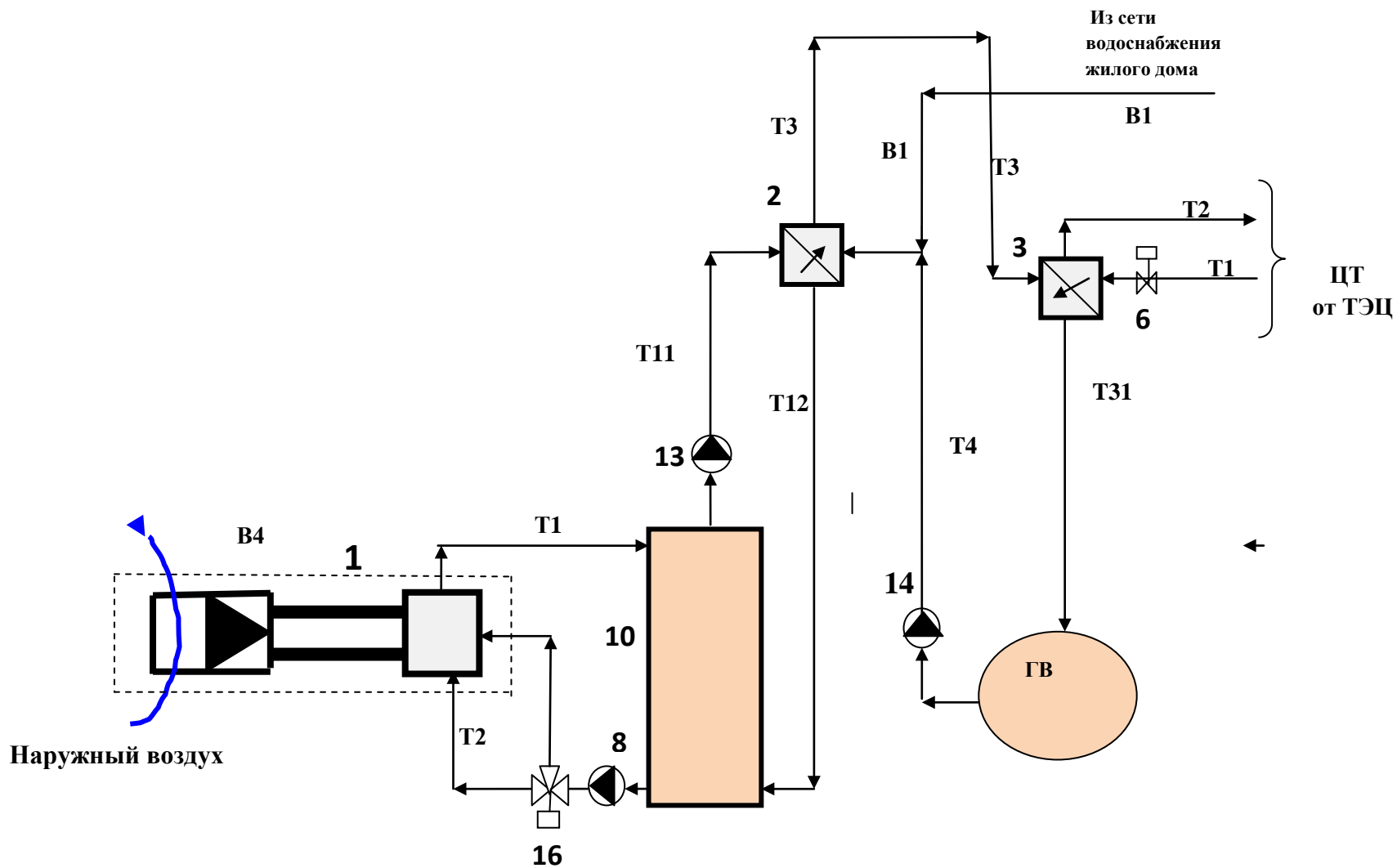
Рис. 2.1. Структурная схема источника отопления и горячего водоснабжения пилотного жилого дома (вариант 1)



Наружный воздух

На схеме показаны только оборудование и трубопроводы, поясняющие работу системы. Обозначения приведены в таблице 2.1.

Рис. 2.2. Структурная схема источника отопления и горячего водоснабжения пилотного жилого дома (варианты 2 и 3) ⁷



На схеме показаны только оборудование и трубопроводы, поясняющие работу системы. Обозначения приведены в таблице 2.1.

Рис. 2.3. Структурная схема источника отопления и горячего водоснабжения пилотного жилого дома (вариант 3)

3 Расчет энергетических потоков в альтернативных вариантах работы ТНУ

В таблице 3.1 приведены значения расчетных тепловых нагрузок жилого дома и показано участие тепловых насосов в их покрытии.

Таблица 3.1 - Расчетные тепловые нагрузки жилого дома и структура источников их покрытия

Варианты	Расчетная тепловая нагрузка, кВт			Источники покрытия, кВт				
	отоп.	ГВ	Итого	Тепловые насосы			Тепловая сеть от ТЭЦ	
				Итого	в том числе		отоп.	ГВ
					отоп.	ГВ		
Вариант 1. Тепловые насосы используют теплоту грунта (зонды) для отопления и ГВ	115,0	81,6	196,6	158,3	76,7	81,6	38,3	-
Вариант 2. Тепловые насосы используют теплоту грунта (зонды) для ГВ	-“-	-“-	-“-	81,6	-	81,6	115,0	-
Вариант 3. Тепловые насосы используют теплоту наружного воздуха от минус 10 ⁰ С и выше для ГВ	-“-	-“-	-“-	72,5	-	72,5	115,0	81,6

В основу расчета годового теплоснабжения положены данные о тепловых нагрузках (см. табл. 3.1), параметрах наружного воздуха (tн.ср.от.= минус 1,6⁰С) и продолжительности отопительного периода (201 суток). Годовой объем выработки теплоты источником теплоснабжения (ТНУ) принят равным теплоснабжению. Результаты расчетов годового теплоснабжения и выработки теплоты в альтернативных вариантах ТНУ сведены в таблицу 3.2.

Из табл.3.2 следует, что годовая выработка тепловой энергии тепловыми насосами по варианту 1 составляет 97,76% годового потребления теплоты на теплоснабжение и горячее водоснабжение, по варианту 2 – 72,0 %, а по варианту 3 – 68,2%.

Таблица 3.2 - Годовое теплотребление и источники покрытия по рассматриваемым вариантам отопления и горячего водоснабжения (Гкал)

Варианты	Годовое теплотребление			Источники покрытия					
	Q _{от}	Q _{гв}	Q _{сумм}	Тепловые насосы			Тепловая сеть от ТЭЦ		
				Q _{от+гв}	Q _{от}	Q _{гв}	Q _{от+гв}	Q _{от}	Q _{гв}
Вариант 1. Тепловые насосы используют теплоту грунта (зонды) для О и ГВ	222,6	572,7	795,3	777,5	204,8	572,7	17,8	17,8	-
Вариант 2. Тепловые насосы используют теплоту грунта (зонды) для ГВ	-“-	-“-	-“-	572,7	-	572,7	222,6	222,6	-
Вариант 3. Тепловые насосы используют теплоту наружного воздуха от минус 10 ⁰ С и выше для ГВ	-“-	-“-	-“-	542,4	-	542,4	252,9	-“-	30,3

Годовой расход электрической энергии на выработку теплоты определен как сумма расходов электрической энергии на выработку теплоты тепловыми насосами и циркуляционными насосами.

Годовой расход электрической энергии на выработку теплоты тепловым насосом определяется из соотношения:

$$W_{\text{тн}}^{\text{год}} = Q_{\text{тн}} / 0,86 \times \epsilon_{\text{ср}},$$

где $Q_{\text{тн}}^{\text{год}}$ – годовая выработка теплоты тепловыми насосами, Гкал

Средний за рассматриваемые периоды года коэффициент трансформации тепловыми насосами низкопотенциальной теплоты для выработки теплоты потребительских параметров ($\epsilon_{\text{ср}}$) принимается равным: для варианта 1 – 4.3, варианта 2 – 3.5 и варианта 3 – 4.2.

При определении $\epsilon_{\text{тн}}$ учитывалось, что выработка теплоты тепловым насосом для покрытия отопительной нагрузки осуществляется по графику качественного регулирования, т.е. со снижением температуры теплоносителя при снижении тепловой нагрузки.

Годовой расход электрической энергии на работу циркуляционных насосов и вентиляторов контуров тепловых насосов определяется как процент от расхода электрической энергии компрессорами тепловых насосов: для варианта 1 – 8%, варианта 2 – 5 % и варианта 3 – 3 %. Результаты расчетов годового расхода электрической энергии на выработку тепловой энергии ТНУ и расхода теплоты для пикового догрева теплоносителя системы отопления и догрева воды, подаваемой в систему горячее водоснабжение (см. табл.3.1) сведены в таблицу 3.3.

Таблица 3.3 - Годовой расход электрической и тепловой энергии на отопление и горячее водоснабжение

Варианты	Годовая выработка теплоты тепловыми насосами, Гкал	Годовой расход электроэнергии на выработку теплоты, МВт-ч			Тепловая сеть от ТЭЦ, Гкал
		Всего	Компрессорами	Циркуляционными насосами и вентиляторами	
Вариант 1. Тепловые насосы используют теплоту грунта (зонды) для О и ГВ	777,5	227,0	210,2	16,8	17,8
Вариант 2. Тепловые насосы используют теплоту грунта (зонды) для ГВ	572,7	199,8	190,3	9,5	222,6
Вариант 3. Тепловые насосы используют теплоту наружного воздуха от минус 10 ⁰ С и выше для ГВ	542,4	154,7	150,2	4,5	252,9

4 Технико-экономическое сравнение альтернативных вариантов ТНУ

Энергетическое сравнение рассматриваемых вариантов ТНУ выполняется по величине годового расхода первичного топлива, расходуемого на источниках выработки электрической и тепловой энергии, потребляемой источником теплоснабжения жилого дома за год.

За основу расчета годовых расходов первичного топлива (в условных единицах) приняты данные Министерства энергетики Республики Беларусь о значениях удельных расходов топлива на выработку электрической и тепловой энергии в энергосистеме:

$$B^{\text{год}} = W^{\text{год}} b_{\text{э}} + Q^{\text{год}} b_{\text{т}} / 1000,$$

где $b_{\text{э}}$ – удельный расход топлива на выработку 1 МВтч (2013 год – 254,9 кг у.т.);

$b_{\text{т}}$ – удельный расход топлива на выработку 1 Гкал (2013 год – 168,4 кг у.т.).

Результаты расчетов приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 - Сравнение энергетической эффективности вариантов по расходу первичного топлива

Варианты	Годовой расход электроэнергии, МВтч	Годовой расход тепловой энергии, Гкал	Годовой расход первичного топлива, т у.т.		
			тепловыми насосами	ТЭЦ	Итого
Вариант 1. Тепловые насосы используют теплоту грунта (зонды) для отопления и ГВ	227,0	17,8	57,9	3,0	60,9
Вариант 2. Тепловые насосы используют теплоту грунта (зонды) для ГВ	199,8	222,6	50,9	34,5	85,8
Вариант 3. Тепловые насосы используют теплоту наружного воздуха от минус 10 ⁰ С и выше	154,7	252,9	39,4	42,6	82,0

Экономическое сравнение. Рассматриваемые варианты различаются как по капитальным вложениям на их реализацию, так и по величине ежегодных эксплуатационных расходов на выработку тепловой энергии. Соизмерение этих разных значений осуществляется с помощью метода приведенных затрат. Оптимальный вариант выбирается по меньшей величине приведенных затрат Z_a :

$$Z_a = P_6 K_a + I_a,$$

где Z_a - величина приведенных затрат на сооружение источника теплоснабжения;

P_6 - средний банковский процент (10%), принимается равным 0,1;

I_a - ежегодные эксплуатационные расходы;

K_a - суммарные капитальные вложения на сооружение источников теплоснабжения.

Капитальные вложения на сооружение полуавтономного источника теплоснабжения жилого дома определены по результатам анализа данных, полученным от организаций, представляющих интересы фирм-изготовителей в Республике Беларусь (для импортируемых без уплаты таможенной пошлины и НДС). Принятые значения, включая стоимость оборудования, монтажные и наладочные работы, будут уточнены на стадии разработки проектной документации и по результатам тендерных торгов

В технико-экономических расчетах использованы результаты расчета энергетических потоков в действующей и альтернативных системах теплоснабжения (см. раздел 4.3), а также приведенные ниже экономические данные.

Капитальные вложения на сооружение альтернативных систем теплоснабжения (стоимость оборудования взята из прайс-листов, а выполнения работ – на основании опыта монтажа и наладки) и их компоненты приняты следующими:

- приобретение и обвязка тепловых насосов: варианты 1 и 3– 60,0 тыс. долл.; вариант 2– 30,0 тыс. долл.
- устройство геотермальных контуров: 1 вариант (28 скважин x100 м) – 84,0¹ тыс. долл.; 2 вариант (15скважин x 100м) – 45,0 тыс. долл.;
- приобретение и обвязка узла отбора теплоты наружного воздуха (вариант 3) – 15,0 тыс. долл.;
- прочие расходы, включая приобретение и обвязку теплообменников и баков-аккумуляторов, приобретение и монтаж оборудования сети электроснабжения и автоматизации, пуско-наладочные работы и др.: для варианта 1 – 30,0 тыс. долл. и для вариантов 2 и 3 – 15,0 тыс. долл.

Результаты расчета капитальных вложений, необходимых для сооружения полуавтономного источника теплоснабжения жилого дома, сведены в таблицу 4.2.

Таблица 4.2 - Капитальные вложения на сооружение ТНУ *

Варианты	Всего, тыс. долл.	в т. ч. приобретение и обвязка			
		тепловых насосов	геотермальных контуров (зонды)	узла отбора теплоты наружного воздуха	прочие расходы
Вариант 1. Тепловые насосы используют теплоту грунта (зонды) для отопления и ГВ	174	60	84	-	30
Вариант 2. Тепловые насосы используют теплоту грунта (зонды) для ГВ	90	30	45	-	15
Вариант 3. Тепловые насосы используют теплоту наружного воздуха от минус 10 ⁰ С и выше для ГВ	90	60	-	15	15

*- приведенные значения, включая стоимость оборудования, монтажные и наладочные работы, будут уточнены на стадии разработки проектной документации и по результатам тендерных торгов

¹ - из расчета 30 долл. за 1 м длины зонда, включая устройство колодцев и трубопроводов до жилого дома;

Ежегодные эксплуатационные расходы определяются по уравнению:

$$I_{\Sigma} = I_{\text{энерг.}} + I_a + I_{\text{тек.рем.}} + I_{\text{обслуж.}}$$

где $I_{\text{энерг.}}$ - затраты на оплату за электрическую энергию;

I_a - амортизационные отчисления, равные сумме отчислений на реновацию (полное восстановление основных фондов) и капитальный ремонт,

$I_{\text{тек.рем.}}$ - затраты на текущий ремонт; $I_{\text{обслуж.}}$ - расходы на обслуживание.

В расчетах $I_{\text{энерг.}}$ использованы расчетные данные о годовых расходах электрической и тепловой энергии, приведенные в табл. 4.1 и следующие значения стоимости энергоресурсов, расходуемых для выработки тепловой энергии:

- на электроэнергию из энергосистемы, обеспечивающих полное возмещение экономических обоснованных затрат энергосистемы – 97,6долл. США;
- на тепловую энергию из городской тепловой сети (себестоимость) – 42,0 долл. США (2013 год).

Для определения значений I_a приняты следующие средневзвешенные значения отчислений от капитальных вложений на реновацию (полное восстановление основных фондов) и капитальный ремонт оборудования ТНУ, учитывающие его срок службы:

$$p_{\text{рен.}} = 4\%; p_{\text{кап. ремонт}} = 4\%.$$

Расчет значений I_a для различных вариантов выполним из соотношения

$$I_a = (p_{\text{рен.}} + p_{\text{кап. ремонт}}) K$$

Значения $I_{\text{тек. ремонт}}$ определяются в % от амортизационных отчислений, принятых равными 10 %. Величина $I_{\text{тек. ремонт}}$ определяется из соотношения

$$I_{\text{тек. ремонт}} = p_{\text{тек. ремонт}} I_a.$$

Расходы на обслуживание $I_{\text{обслуж.}}$ (включая сервисное производителей оборудования) приняты равными 5 тыс. долларов в год.

Результаты расчетов сведены в таблицу 4.3.

Таблица 4.3 - Результаты расчетов ежегодных эксплуатационных расходов (тыс. долл.)

Варианты	I_{Σ}	в том числе			
		$I_{\text{энерг.}}$	I_a	$I_{\text{тек.рем.}}$	$I_{\text{обслуж.}}$
Вариант 1. Тепловые насосы используют теплоту грунта (зонды) для отопления и ГВ	43,2	22,9	13,9	1,4	5,0
Вариант 2. Тепловые насосы используют теплоту грунта (зонды) для ГВ	41,7	28,8	7,2	0,7	5,0
Вариант 3. Тепловые насосы используют теплоту наружного воздуха от минус 10 ⁰ С и выше для ГВ	38,6	25,7	7,2	0,7	5,0

Результаты технико-экономических расчетов, выполненные по формуле приведенных затрат ($Z_a = \Pi_b K_a + I_a$), приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 - Результаты технико-экономического сравнения вариантов

Варианты	З _Σ , тыс. долл.	в том числе	
		К _Σ	И _Σ
Вариант 1. Тепловые насосы используют теплоту грунта (зонды) для отопления и ГВ	60,6	174	43,2
Вариант 2. Тепловые насосы используют теплоту грунта (зонды) для ГВ	50,7	90	41,7
Вариант 3. Тепловые насосы используют теплоту наружного воздуха от минус 10 ⁰ С и выше для ГВ	47,6	90	38,6

Анализ выше приведенных значений основных технико-экономических показателей показал, что рассматриваемые варианты различаются как по техническим (см. табл. 3.1 - 3.4 и 4.1), так и экономическим показателям (см. табл.4.2 - 4.4). Как альтернативные можно рассматривать варианты 2 и 3, в которых предусматривается совместная работа сети централизованного теплоснабжения от ТЭЦ и тепловых насосов, использующие теплоту грунта (вариант2) и наружного воздуха (вариант 3).

Результаты сравнения рекомендуемых вариантов сооружения собственного энергоэффективного теплоисточника (ТНУ) и традиционного решения (только от ТЭЦ), приведены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 - Результаты технико-экономического сравнения эффективности источников отопления и горячего водоснабжения пилотного жилого дома

Варианты	Q ^{год} , Гкал	Расход первичного топлива, т у.т./год		Эксплуатационные расходы, тыс. долл./год	
		ТНУ*	ТЭЦ**	ТНУ***	ТЭЦ****
Вариант 2. Тепловые насосы используют теплоту грунта (зонды) для ГВ	795,3	85,8	133,9	41,7	33,4
Вариант 3. Тепловые насосы используют теплоту наружного воздуха от минус 10 ⁰ С и выше для ГВ	795,3	82,0	133,9	38,6	33,4

*- удельный расход топлива на выработку 1 кВтч (2013 год – 254,9 кг у.т.);

** - удельный расход топлива на выработку 1 Гкал (2013 год – 168,4 кг у.т.).

***- тариф на электроэнергию из энергосистемы, обеспечивающий полное возмещение экономических обоснованных затрат энергосистемы - 97,6долл. США;

****- тариф на тепловую энергию из городской тепловой сети (себестоимость) - 42,0 долл.США (2013 г.).

Как следует из табл.4.5, при принятых в энергосистеме на 2013 год удельных расходах топлива на выработку электрической и тепловой энергии, расходы первичного топлива при теплоснабжении жилого дома с применением тепловых насосов значительно меньше, чем при теплоснабжении от ТЭЦ. Однако, эксплуатационные расходы при теплоснабжении от ТЭЦ при действующих соотношениях стоимости 1 МВтч и 1 Гкал, потребляемой населением, несколько ниже.

Приведенные в табл. 4.1-4.5 результаты являются предварительными и требуют уточнения при комплексном рассмотрении всех энергосберегающих решений, планируемых для применения в пилотном энергоэффективном доме.