

ПРООН/ГЭФ  
Проект №00077154

«Повышение энергетической эффективности жилых зданий  
в Республике Беларусь»

Отчет

**ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ  
альтернативных вариантов полуавтономного источника  
теплоснабжения и горячего водоснабжения пилотного  
120-ти квартирного 10-ти этажного  
жилого дома в г. Гродно**

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

И.С.Жидович

Минск  
февраль 2014

<b>1</b>	<b>ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВАРИАНТОВ..</b>	<b>3</b>
1.1	Условия размещения и основные показатели энергоэффективного жилого дома в г. Гродно .....	3
1.2	Исходные данные.....	4
<b>2</b>	<b>АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ВАРИАНТЫ ПОЛУАВТОНОМНОГО ИСТОЧНИКА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПИЛОТНОГО ЖИЛОГО ДОМА.....</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>РАСЧЕТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОТОКОВ В АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВАРИАНТАХ РАБОТЫ ТНУ.....</b>	<b>20</b>
<b>4</b>	<b>ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВАРИАНТОВ ТНУ .....</b>	<b>24</b>

# 1 Исходные данные для разработки альтернативных вариантов

## 1.1 Условия размещения и основные показатели энергоэффективного жилого дома в г. Гродно

Проектируемый 120 квартирный 10-ти этажный жилой дом расположен на юго-восточном склоне застроенной территории завода «Гродноторгмаш».

По данным статического зондирования 14-ти скважин глубиной 25м каждая, выполненного в марте-апреле 2013 года отделом геологии УП «Институт Гродногражданпроект» (объект 262.12-00-1Г), инженерно-геологические условия площадки застройки сложные. Насыпной грунт мощностью от 1,0 до 2,4 м распределен на всей площадке. Ниже залегают супеси, суглинки пылеватые, пески разного гранулированного состава. Максимальная глубина сезонного промерзания грунтов (для г. Гродно) составляет 134 см, а средняя с максимальных – 65 см.

Грунтовые воды обнаружены на глубине от 2,4 до 4,4 м. Возможно повышение уровня грунтовых вод на 1,0 м. По данным химического анализа воды в 3-х скважинах, расположенных по контуру пятна жилого дома, по водопроницаемости вода неагрессивна для всех видов бетона. Глубина отбора проб 2,4 м, 3,9 м и 3,9 м. Результаты анализов, характеризующие грунтовые воды как теплоносителей: рН=6,86-7,59; жесткость общая и карбонатная - 2,8-8,6 мг-экв/дм<sup>3</sup>; углекислота агрессивная (СО<sub>2</sub>) - 0-1,9 мг/дм<sup>3</sup>; NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - 0,1 мг/дм<sup>3</sup>; HCO<sub>3</sub> - 170,8-512,4 мг/дм<sup>3</sup>; Cl<sup>-</sup>=16,2-181,4 мг/дм<sup>3</sup>.

Через пятно застройки проходят самотечные трубопроводы ливневой канализации d=300 мм и хозяйственно-бытовой канализации d=150 мм, по которой отводятся дождевые и сточные воды соседнего 69-ти квартирного жилого дома. При коэффициенте семейности 3,3 расчетный суточный объем отводимых хозяйственно-фекальных сточных вод составляет 57,0 м<sup>3</sup>/сутки (N=250 л/чел в сутки).

На расстоянии 25-30 м от проектируемого жилого дома проходит канализационный коллектор d=500. Длина участка между колодцами А и Б, расположенными вблизи дома – 50 м. Глубина прокладки керамической трубы d=500 от существующих отметок земли (низа трубы): колодца А - 2,23 м, колодца Б – 4,5 м. По оценке специалистов УП «Институт Гродногражданпроект» по этому участку коллектора (между ул. Терешковой и ул. 17 Сентября) отводится около 303 л/сек производственных и коммунально-бытовых сточных вод с температурой около 27<sup>0</sup>С.

Общие данные. Количество квартир – 120., число подъездов – 3, этажность – 10 этажей, общая площадь – 10380 м<sup>2</sup>, ожидаемое число жителей при коэффициенте семейности 3,3 – 396 человек. Чердак и эксплуатируемый подвал с высотой потолка 2,5 м. Свайное поле из 429 свай длиной от 5 м до 13 м суммарной длины 3241 м.

Водоснабжение и водоотведение. Максимальный<sup>1</sup> суточный объем потребления воды на хозяйственно-бытовые нужды жилого дома составляет 99,0

---

<sup>1</sup> при норме потребления на 1 жителя равной 250 л/сутки, в т.ч. горячей воды с температурой 55<sup>0</sup>С – 100 л/сутки;

м<sup>3</sup>, в т.ч. горячей воды – 39,6 м<sup>3</sup>/сутки. Расчетный<sup>2</sup> объем (в средние сутки) – 83,2 м<sup>3</sup>/сутки, в т.ч. горячей воды – 33,7 м<sup>3</sup>/сутки. Средний за сутки объем отведения сточных вод принят равным водопотреблению и составляет 83,2 м<sup>3</sup>/сутки.

Электроснабжение. Потребляемая мощность электроприемников проектируемого жилого дома с электрическими плитами составляет 254,88 кВт. Покрытие электрической нагрузки планируется от проектируемой подстанции 10/0,4 кВ (ТП) с трансформаторами 2х1000кВА, мощность которых рассчитана на присоединение еще 3-х новых жилых домов. Суммарная нагрузка на трансформаторы по расчетам должна составить 891,44 кВт.

При технически допустимой загрузке трансформаторов в отопительный период с температурой от минус 10<sup>0</sup>С и ниже, равной 130% номинальной, к ТП могут быть еще присоединены новые потребители мощностью около 360 кВт, в т.ч. и оборудования местных источников отопления и горячего водоснабжения на основе тепловых насосов.

Теплоснабжение. Согласно п.8 технических условий Гродненских тепловых сетей от 31.10.2012 г., разрешенный максимум теплоснабжения жилого дома принят равным 0,726 Гкал/ч, в т.ч. отопление – 0,302 Гкал/ч, горячее водоснабжение – 0,424 Гкал/ч. Точка присоединения к тепловым сетям Гродненской ТЭЦ-2 – магистральная тепловая сеть по ул. Дзержинского. В соответствии с п.13 технических условий принятые на стадии пред-проектной проработки технические решения по теплоснабжению жилого дома рекомендовано предоставить на рассмотрение в Гродненские тепловые сети.

По данным проектного института на 28.10.2013 г. расчетная нагрузка отопления энергоэффективного жилого дома может составить 159,1 кВт, т.е. в 2,2 раза меньше, чем заявлено в 2012 году. Средняя часовая за сутки нагрузка горячего водоснабжения, определенная из расчета 85 литров горячей воды с температурой 55<sup>0</sup>С на 1 жителя в сутки, равна 81,5 кВт.

Тепловая нагрузка на нагрев приточного воздуха принята равной нулю, т.к. планируется ее покрытие за счет утилизации теплоты вытяжного воздуха.

Суммарную тепловую нагрузку жилого дома можно принять равной 240,6 кВт, в т.ч. горячее водоснабжение – 81,5 кВт.

План размещения пилотного дома показан в приложении на рис. П1.

## 1.2 Исходные данные

Расчетные параметры для выбора структуры и параметров источника теплоснабжения (данные НИПТИС):

- расчетная нагрузка отопления ( $t_p = \text{минус } 22^0\text{С}$ ) – 110 кВт;
- расчетная мощность системы ГВС в отопительный период – 56,5 кВт, в неотапливаемый период – 42 кВт;
- суточное потребление горячей воды – 28 м<sup>3</sup>;
- температура нагрева горячей воды в тепловом насосе – 45<sup>0</sup>С;
- температурный график системы отопления – 50/40<sup>0</sup>С (приложение 1);

<sup>2</sup> при норме потребления на 1 жителя равной 210 л/сутки, в т.ч. горячей воды с температурой 55<sup>0</sup>С – 85 л/сутки

- температура наружного воздуха, соответствующая температуре  $45^{\circ}\text{C}$  по температурному графику  $50/40^{\circ}\text{C}$  – минус 14...минус  $15^{\circ}\text{C}$ ;
- расчетная мощность отопления при температуре минус  $16^{\circ}\text{C}$  – 93,5 кВт;
- требуемая мощность тепловых насосов в период максимальной тепловой нагрузки, покрываемой от тепловых насосов ( $93,5 + 56,5$ ) – 150 кВт
- составляющая потребления тепловой энергии на отопление за период минус  $16^{\circ}\text{C}$  и выше в годовом теплоснабжении на отопление – 96% (приложение 2).

Расчетные параметры, дополняющие выше приведенные (принятые для расчета альтернативного варианта):

- температурный график системы отопления –  $55/47,5^{\circ}\text{C}$ ;
- температура наружного воздуха, соответствующая температуре  $45^{\circ}\text{C}$  по температурному графику  $55/47,5^{\circ}\text{C}$  – минус  $10^{\circ}\text{C}$ ;
- расчетная мощность отопления при температуре минус  $10^{\circ}\text{C}$  – 78,5 кВт;
- составляющая потребления тепловой энергии на отопление за период минус  $10^{\circ}\text{C}$  и выше в годовом теплоснабжении на отопление – 90%;
- потребление горячей воды на 1 жителя жилого дома ( $k_{\text{семейности}} = 3$ ) – 77,8 л/сутки.

## **2 Альтернативные варианты полуавтономного источника теплоснабжения и горячего водоснабжения пилотного жилого дома**

С учетом данных раздела 1 и решением об обязательном присоединении жилого дома к сети централизованного теплоснабжения от ТЭЦ рассматриваются три варианта полуавтономного источника теплоснабжения и горячего водоснабжения с применением тепловых насосов (теплонасосной установки–ТНУ), отличающегося структурой теплогенерирующего оборудования и используемыми источниками низкопотенциальной теплоты. Во всех вариантах теплоснабжение и горячее водоснабжение жилого дома планируется от тепловых насосов и сети централизованного теплоснабжения.

**Вариант 1.** Тепловые насосы используют теплоту грунта (зонды и сваи) и «серых» сточных вод проектируемого жилого дома. Тепловые насосы рассчитываются на покрытие отопительной нагрузки при температуре наружного воздуха выше минус 16<sup>0</sup>С и нагрузки горячего водоснабжения для подогрева до 45<sup>0</sup>С воды для горячего водоснабжения жилого дома.

**Вариант 2.** Тепловые насосы используют теплоту грунта (зонды и сваи) и сточных вод проектируемого и соседнего энергоэффективного 69-ти квартирного жилого дома. Тепловые насосы рассчитываются на покрытие отопительной нагрузки при температуре наружного воздуха выше минус 10<sup>0</sup>С и нагрузки горячего водоснабжения для подогрева до 45<sup>0</sup>С воды для горячего водоснабжения жилого дома.

**Вариант 3.** Тепловые насосы используют теплоту грунта (сваи) и сточных вод городского коллектора d500, проходящего в 50 м от проектируемого жилого дома.

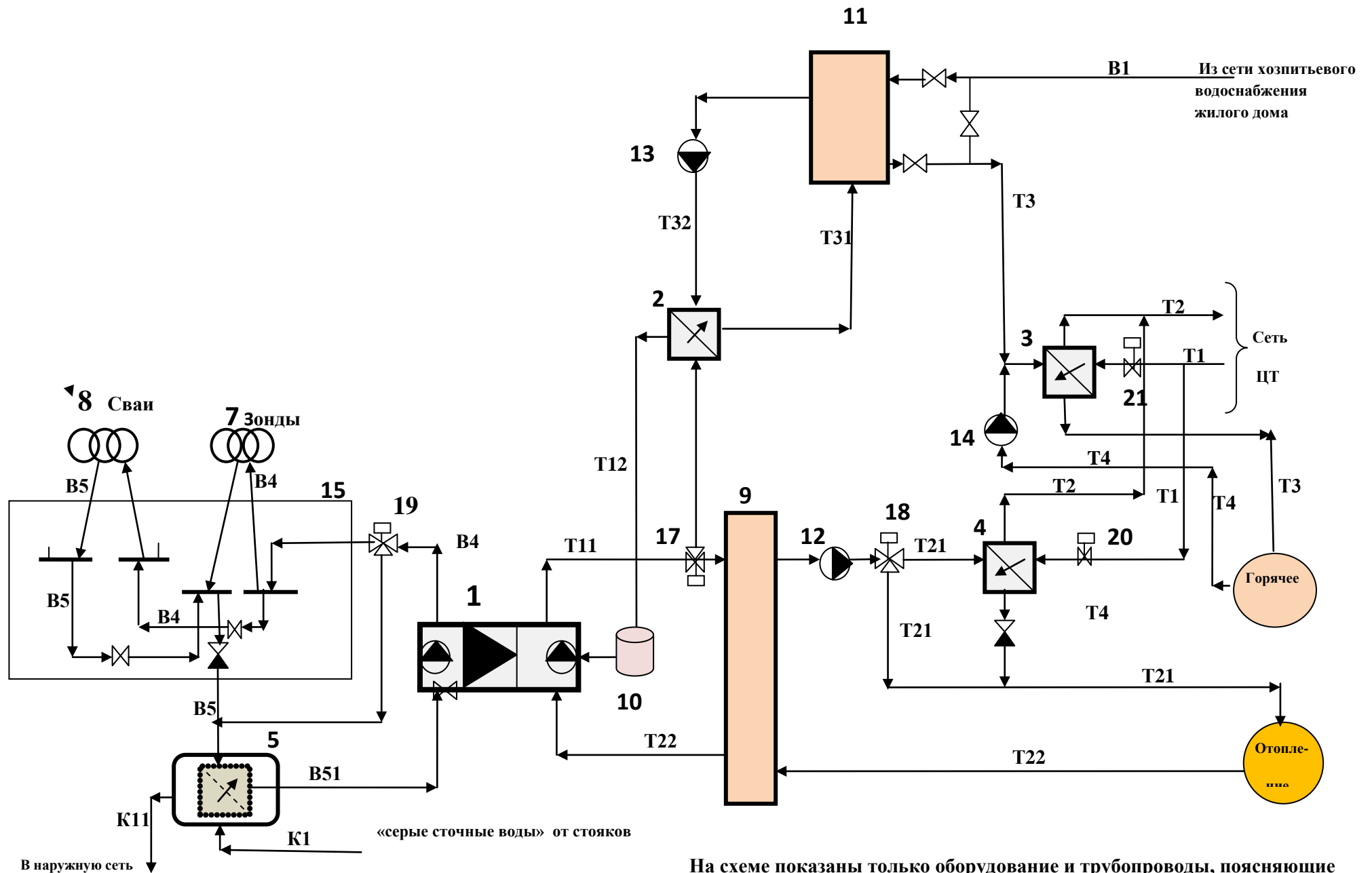
Тепловые насосы рассчитываются на покрытие отопительной нагрузки при температуре наружного воздуха выше минус 10<sup>0</sup>С и нагрузки горячего водоснабжения для подогрева до 45<sup>0</sup>С воды для горячего водоснабжения жилого дома.

Структурные схемы трех вариантов ТНУ с указанием направлений тепловых потоков представлены на рис. 2.1 (вариант 1) и рис. 2.2 (вариант 2) и рис.2.3 (вариант 3). Экспликация оборудования ТНУ, показанного на схемах, и описание его функций приведена в таблице 2.1.

Таблица 2.1

## Экспликация основного оборудования ТНУ

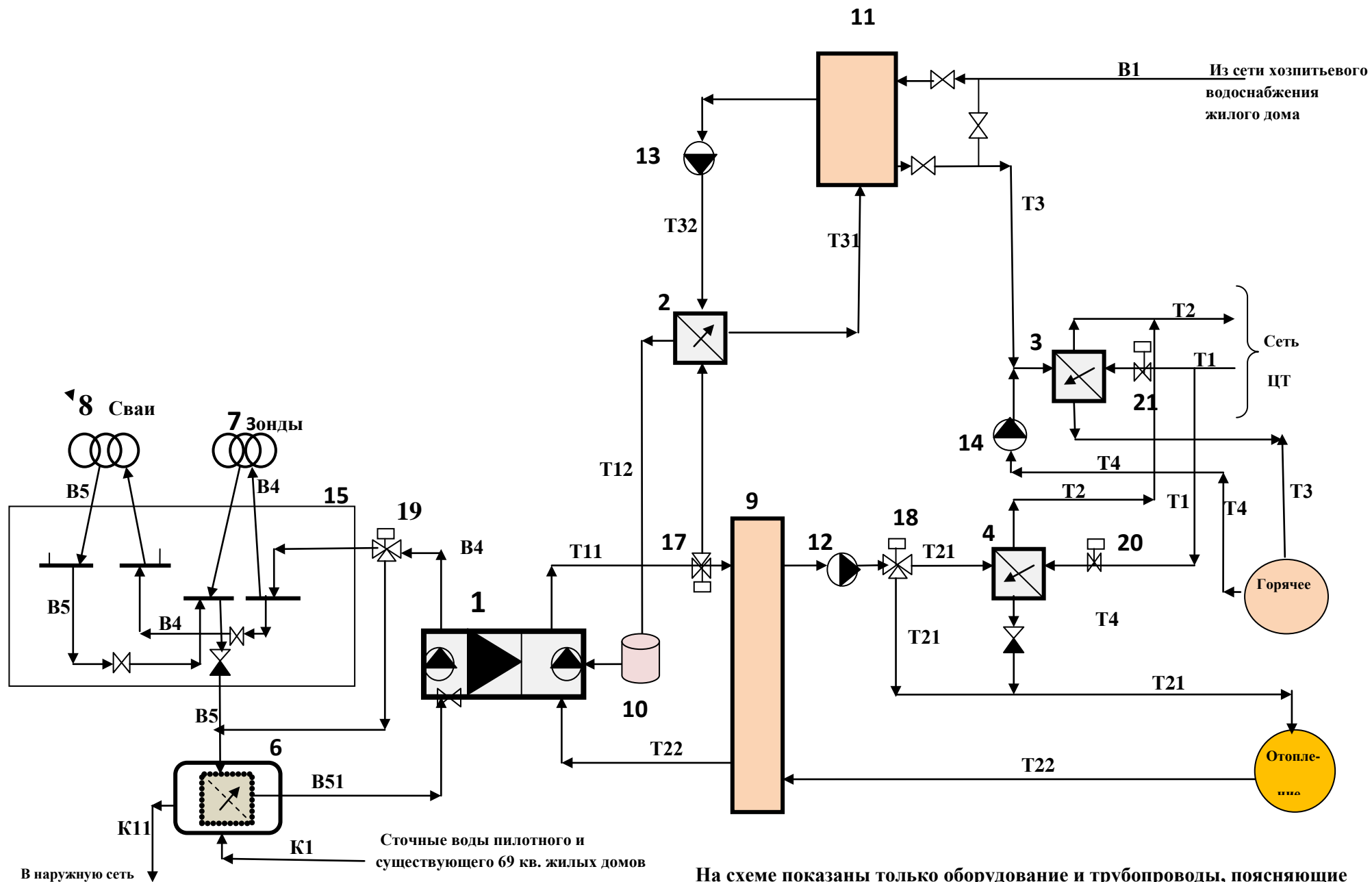
№. на рис. 2.1-2.3	Наименование оборудования	Функции оборудования
1	Тепловые насосы с циркуляционными насосами в контурах испарителей и конденсаторов, объединенные в каскад	Трансформация теплоты, отбираемой от теплоносителя контура источников низкопотенциальной теплоты, в теплоту потребительских параметров, отпускаемую через конденсаторы в контура 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 <sup>0</sup> С воды, подаваемой в систему горячего водоснабжения
4	Теплообменник пикового подогрева теплоносителя системы отопления сетевой водой ЦТ	Догрев до 55 <sup>0</sup> С теплоносителя в подающем трубопроводе системы отопления
5	Усреднитель потока сточных вод с погружным теплообменником-утилизатором теплоты «серых» сточных вод пилотного жилого дома	Сглаживание неравномерности отведения сточных вод и утилизация их теплоты теплоносителем контура испарителей тепловых насосов
6	Погружной теплообменник-утилизатор теплоты городских сточных вод	Утилизация теплоты сточных вод теплоносителем контура испарителей тепловых насосов
7	Грунтовые скважинные теплообменники (зонды)	Отбор низкопотенциальной теплоты грунта
8	Грунтовые свайные теплообменники (сваи)	Отбор низкопотенциальной теплоты грунта
9	Гидравлический разделитель-аккумулятор теплоты теплоносителя отопительного контура	Гидравлическое 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	Коллекторные колодцы погружного теплообменника-утилизатора теплоты городских сточных вод	Размещение арматуры теплообменников-утилизаторов сточных вод
17-19	Трехходовые переключающие клапаны	Изменение направлений потока теплоносителей
20, 21	Регулирующие клапаны	Увеличение (уменьшение) расхода сетевой воды для поддержания требуемых значения температуры нагреваемой среды



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

Рис. 2.1 Структурная схема полуавтономного источника отопления и горячего водоснабжения пилотного жилого дома





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

Рис. 2.2 Структурная схема полуавтономного источника отопления и горячего водоснабжения пилотного жилого дома

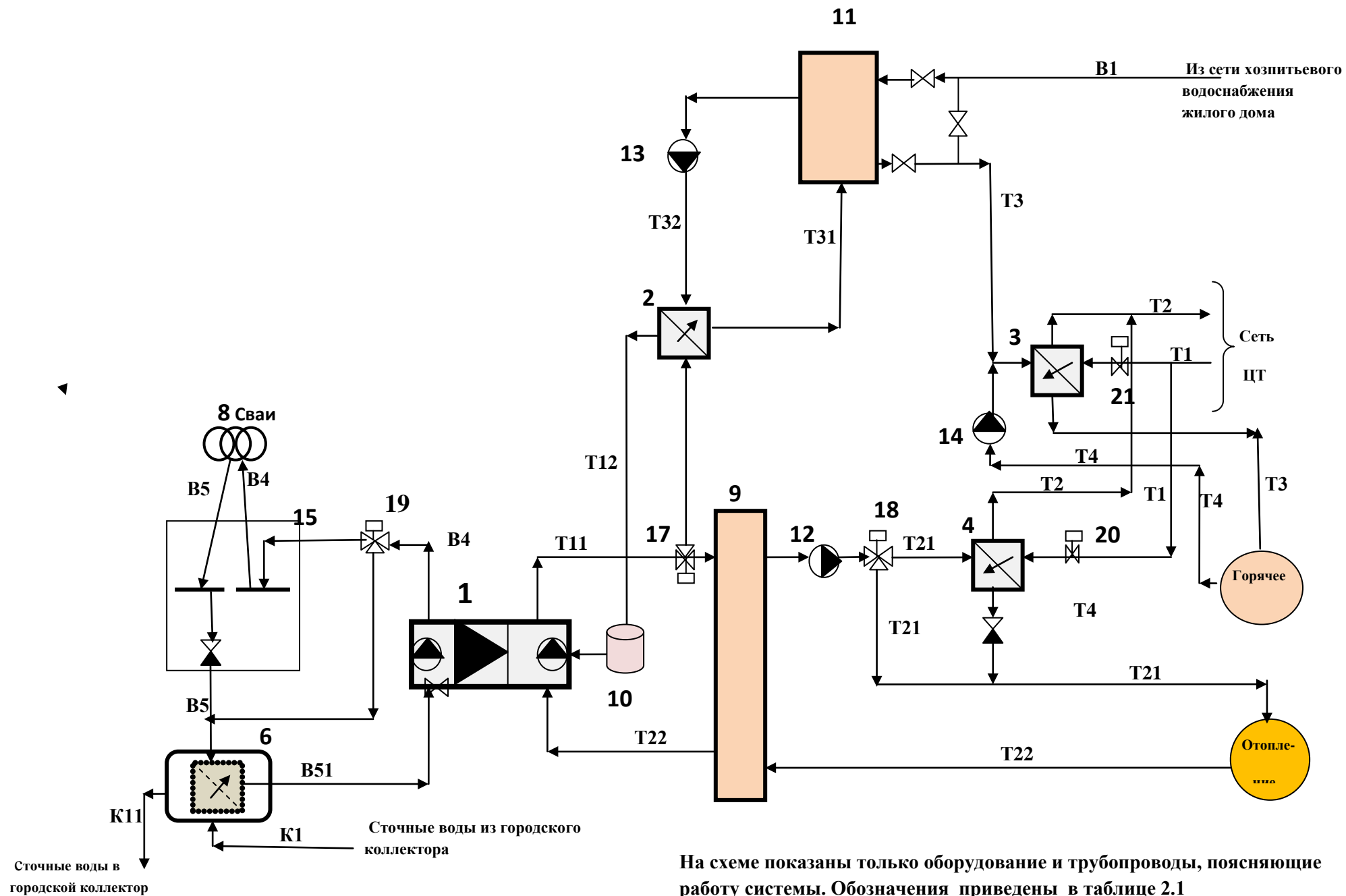


Рис. 2.3. Структурная схема полуавтономного источника отопления и горячего водоснабжения пилотного жилого дома

### 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				
	О и В	ГВ	Итого	Тепловые насосы		Тепловая сеть от ТЭЦ		
				Итого	в том числе	О и В	ГВ	
				О и В	ГВ	О и В	ГВ	
<b>Вариант 1.</b> Тепловые насосы используют теплоту грунта (зонды и сваи) и «серых» сточных вод проектируемого жилого дома	110,0	70,6	180,6	150	93,5	56,5	16,5	14,1
<b>Вариант 2.</b> Тепловые насосы используют теплоту грунта (зонды и сваи) и сточных вод проектируемого и соседнего 69-ти квартирного жилого дома	–“–	–“–	–“–	135	78,5	56,5	31,5	14,1
<b>Вариант 3.</b> Тепловые насосы используют теплоту грунта (сваи) и сточных вод городского коллектора d500, проходящего в 50 м от проектируемого жилого дома	–“–	–“–	–“–	135	78,5	56,5	31,5	14,1

Потребляемая мощность компрессоров тепловых насосов и циркуляционных насосов теплоносителей контуров тепловых насосов определяется укрупненно из соотношений:

- для компрессоров тепловых насосов –  $P_{\text{компрес.ТН}} = Q_{\text{ТН}}^{\text{расч.}} / \epsilon_{\text{ТН}}$ ;
- для циркуляционных насосов контуров ( $P_{\text{цирк.нас. ТН}}$ ): для варианта 1 – 0,09  $P_{\text{компрес.ТН}}$ ; для вариантов 2 и 3 – 0,1  $P_{\text{компрес.ТН}}$ ;

В расчетах  $P_{\text{компрес.ТН}}$  использованы значения  $Q_{\text{ТН}}^{\text{расч.}}$ , приведенные в табл. 3.1 и следующие значения  $\epsilon_{\text{ТН}}$ : при использовании теплоты грунта (зонды, сваи) и «серых» сточных вод – 3,6<sup>3</sup>, при использовании теплоты грунта (сваи) и сточных вод – 4,2<sup>4</sup>. Результаты расчетов мощности электропотребляющего оборудования ТНУ в расчетных условиях приведены в таблице 3.2.

В основу расчета годового теплопотребления положены данные о тепловых нагрузках (см. табл. 3.1), параметрах наружного воздуха ( $t_{\text{н.ср.от.}} = \text{минус } 0,5^{\circ}\text{C}$ ) и продолжительности отопительного периода (197 суток). Годовой объем выработки теплоты источником теплоснабжения (ТНУ) принят равным теплопотреблению.

<sup>3</sup> - при температуре теплоносителя на входе в испаритель 0<sup>0</sup>C, выходе из конденсатора 45<sup>0</sup>C;

<sup>4</sup> - при температуре теплоносителя на входе в испаритель 7<sup>0</sup>C, выходе из конденсатора 45<sup>0</sup>C

Результаты расчетов годового теплотребления и выработки теплоты в альтернативных вариантах ТНУ сведены в таблицу 3.3.

Таблица 3.2

Расчетная мощность электропотребляющего оборудования ТНУ (в кВт)

Варианты	Компрессоры тепловых насосов	Циркуляционные насосы контуров	Неучтенные расходы (5%)	ИТОГО
Вариант 1	41,7	3,8	2,3	47,8
Вариант 2	32,1	3,2	1,8	37,1
Вариант 3	32,1	3,2	1,8	37,1

Таблица 3.3

Годовое теплотребление и источники покрытия по рассматриваемым вариантам теплоснабжения и горячего водоснабжения

Варианты	Годовое теплотребление, Гкал				Источники покрытия, Гкал					
	Q <sub>от+в</sub>	Q <sub>ГВ</sub>		Q <sub>сум</sub>	Тепловые насосы (300,3 Гкал)			Тепловая сеть от ТЭЦ		
		Q <sub>ГВ</sub> <sup>зим/лет</sup> Q <sub>ГВ</sub>	Q <sub>ГВ</sub> <sup>сум</sup>		Q <sub>от+в</sub>	Q <sub>ГВ</sub> <sup>зим</sup>	Q <sub>ГВ</sub> <sup>лет</sup>	Q <sub>от+в</sub>	Q <sub>ГВ</sub> <sup>зим</sup>	Q <sub>ГВ</sub> <sup>лет</sup>
Вариант 1	218,3	229,7/ 145,6	375,3	593,6	209,6	183,8	116,5	8,7	45,9	29,1
Вариант 2	“-	“- “-	“-	“-	187,5	“-	“-	30,8	“-	“-
Вариант 3	“-	“- “-	“-	“-	“-	“-	“-	“-	“-	“-

Из табл.3.3 следует, что годовая выработка тепловой энергии тепловыми насосами по варианту 1 составляет 509,3 Гкал, т.е. 85,8% годового потребления теплоты на теплоснабжение и горячее водоснабжение, а по вариантам 2 и 3 – 487,8 Гкал или 82,2%.

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 по формуле:

$$W_{\text{ТН}}^{\text{год}} = Q_{\text{ТН}}^{\text{от. периода}} / 0,86 \times \epsilon_{\text{ТН}}^{\text{зим}} + Q_{\text{ТН}}^{\text{лет}} / 0,86 \times \epsilon_{\text{ТН}}^{\text{лет}},$$

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

$\epsilon_{\text{ТН}}$  – средний за рассматриваемые периоды года коэффициент трансформации низкопотенциальной теплоты для выработки теплоты принимается равным:

- на отопление: для варианта 1 – 4,3; для варианта 2 – 4,6; для варианта 3 – 4,9;
- на горячее водоснабжение: для варианта 1 – 3,6; для варианта 2 – 4,1; для варианта 3 – 4,3.

При определении  $\epsilon_{\text{ТН}}$  учитывалось, что выработка теплоты тепловым насосом для покрытия отопительно-вентиляционной нагрузки осуществляется по

графику качественного регулирования, т.е. со снижением температуры теплоносителя при снижении тепловой нагрузки.

Годовой расход электрической энергии на работу циркуляционных насосов тепловых насосов определяется как процент от расхода электрической энергии на привод тепловых насосов: для варианта 1 – 8%, варианта 2 – 9% и варианта 3 – 10%.

Результаты расчетов годового расхода электрической энергии на выработку тепловой энергии ТНУ и расхода теплоты от ТЭЦ для пикового догрева теплоносителя системы отопления и догрева воды на горячее водоснабжение (см. табл.3.1) сведены в таблицу 3.4.

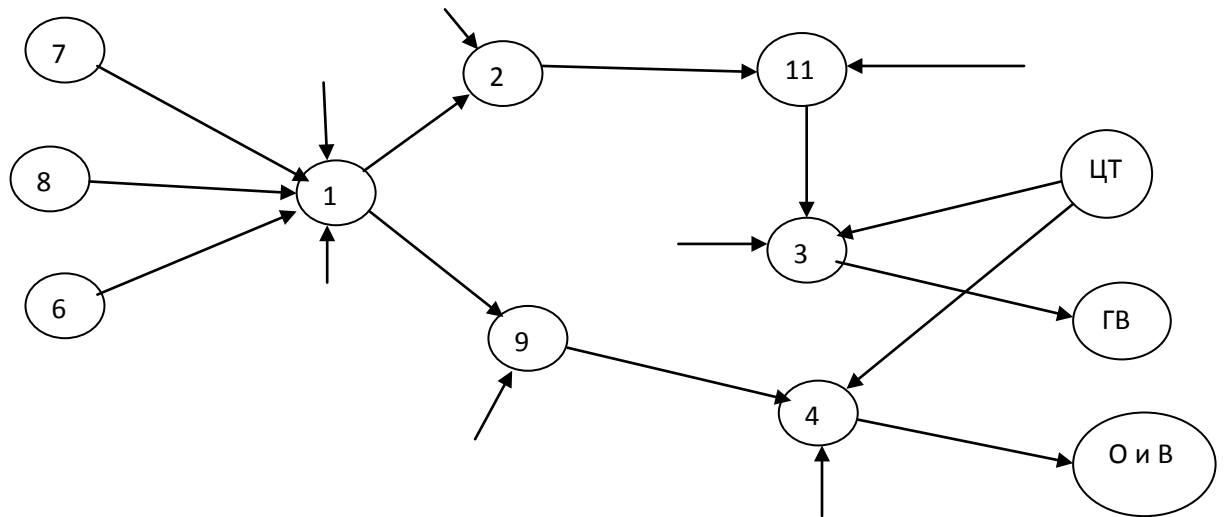
Таблица 3.4

Годовой расход электрической и тепловой энергии на теплоснабжение

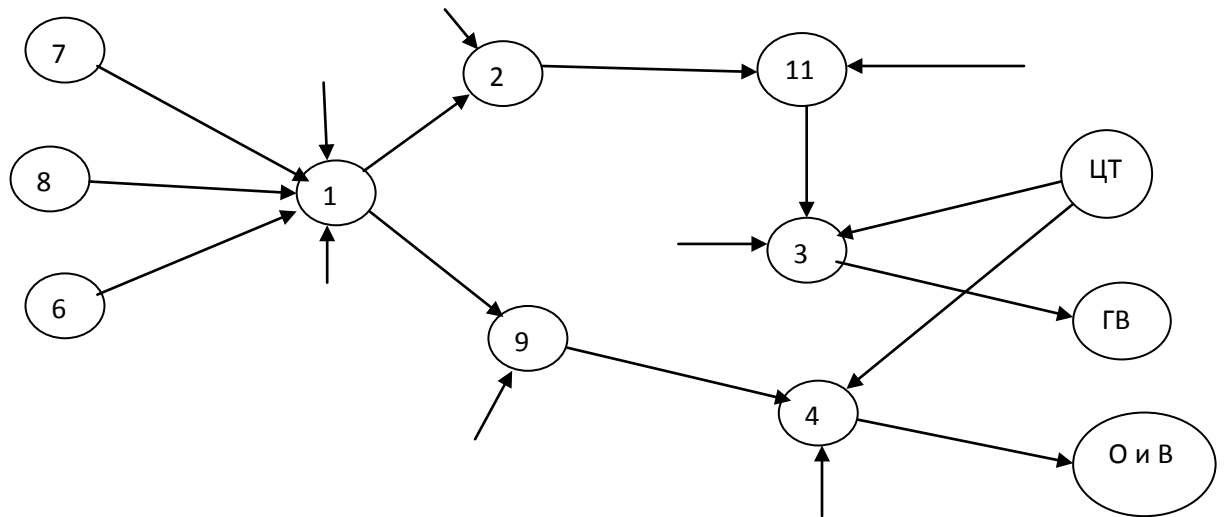
Варианты	Тепловые насосы, МВтч	в том числе				Тепловая сеть от ТЭЦ, Гкал ( $Q_{ТЭЦ}^{год}$ )
		Компрессоры			Циркуляционные насосы	
		$W_{от+в}$	$W_{ГВ}^{зима} + W_{ГВ}^{лето}$	$W_{от+в+ГВ}$		
<b>Вариант 1</b>	166,0	56,7	97,0	153,7	12,3	83,7
<b>Вариант 2</b>	144,5	47,4	85,2	132,6	11,9	105,8
<b>Вариант 3</b>	138,3	44,5	81,2	125,7	12,6	“-”

Результаты расчетов энергетических потоков в рассматриваемых вариантах источника теплоснабжения и горячего водоснабжения пилотного жилого дома (см. табл.3.1, 3.3, 3.4) приведены на рис. 3.1.

а) вариант 1



б) вариант 2



в) вариант 3

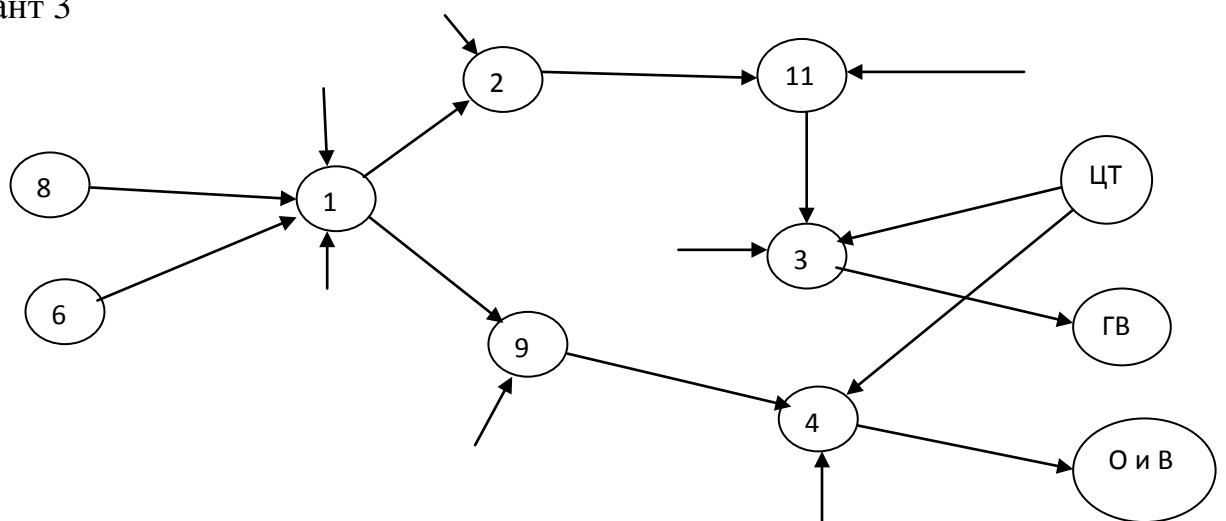


Рис. 3.1. Энергетические потоки в теплонасосных установках (обозначения узлов см. рис. 2.1-2.3)

#### 4 Технико-экономическое сравнение альтернативных вариантов ТНУ

Эффективность применения полуавтономного источника теплоснабжения (ТНУ) жилого дома определяется по двум критериям: энергетическому (требования Минэнерго и Департамента по энергоэффективности Государственного комитета по стандартизации) - расходу первичного топлива и экономическому – величине экономии ежегодных эксплуатационных затрат на теплоснабжение.

В расчетах технико-экономических показателей использованы типовые методики и технические данные, приведенные в разделах 1-3.

**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:

$$V^{год} = W^{год} b_{ээ} + Q^{год} b_{тэ} / 1000,$$

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

$b_{тэ}$  – 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 электрической энергии, МВтч	Годовой расход тепловой энергии, Гкал	Годовой расход первичного топлива, ту.т		
			Тепловыми насосами	ТЭЦ	ИТОГО
<b>Вариант 1.</b> Тепловые насосы используют теплоту грунта (зонды и сваи) и «серых» сточных вод проектируемого жилого дома	166,0	83,7	42,3	14,1	56,4
<b>Вариант 2.</b> Тепловые насосы используют теплоту грунта (зонды и сваи) и сточных вод проектируемого и соседнего 69-ти квартирного жилого дома	144,5	105,8	36,8	17,8	54,5
<b>Вариант 3.</b> Тепловые насосы используют теплоту грунта (сваи) и сточных вод городского коллектора d500, проходящего в 50 м от проектируемого жилого дома	138,3	-“-	32,3	-“-	50,1

**Экономическое сравнение** рассматриваемых вариантов выполняется по методу приведенных затрат, величине экономии ежегодных эксплуатационных

затрат на теплоснабжение и сроку окупаемости единовременных капитальных вложений.

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,

$$Z_a = P_b K_a + I_a,$$

где  $Z_a$  - величина приведенных затрат на сооружение источника теплоснабжения;

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

$I_a$  - ежегодные эксплуатационные расходы;

$K_a$  - суммарные капитальные вложения на сооружение источников теплоснабжения.

Оптимальный вариант выбирается по меньшей величине приведенных затрат  $Z_a$ .

Капитальные вложения на сооружение источника теплоснабжения 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):

- приобретение и обвязка тепловых насосов: 1 вариант (3x50 кВт) – 60,0 тыс. долл.; 2 и 3 варианты (2x65 кВт) – 45,0 тыс. долл.
- устройство геотермальных контуров: 1 вариант (25 скважин x100 м + 20 свай x15м) – 79,0<sup>5</sup> тыс. долл.; 2 вариант (50 свай x 15м) – 15,0 тыс. долл. , 3 вариант (15 свай x 15м) – 5,0 тыс. долл.;
- устройство блоков утилизации теплоты сточных вод: 1 вариант – 15,0<sup>6</sup> тыс. долл.; 2 вариант – 30 тыс. долл.; 3 вариант – 40 тыс. долл.;

<sup>5</sup> - из расчета 30 долл. за 1 м длины зонда, включая устройство колодцев и трубопроводов до жилого дома и 15 долл. за 1 м длины свай с трубами;

<sup>6</sup> - затраты на устройство блока утилизации теплоты «серых» сточных вод приняты равными 15 тыс. долл. (данные НИПИТИС);



- прочие расходы, включая приобретение и обвязку теплообменников и баков-аккумуляторов, приобретение и монтаж оборудования сети электроснабжения и автоматизации, пуско-наладочные работы и др. (для всех вариантов) – 40 тыс. долл.

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

Таблица 4.2

Капитальные вложения на сооружение источника теплоснабжения\*  
(тыс. долл. США)

Варианты	Всего	в т. ч. приобретение и обвязка			
		тепловых насосов	геотермальных контуров (зонды, сваи)	устройств утилизации сточных вод	прочие расходы
<b>Вариант 1.</b> Тепловые насосы используют теплоту грунта (зонды и сваи) и «серых» сточных вод проектируемого жилого дома	184	60	79	15	30
<b>Вариант 2.</b> Тепловые насосы используют теплоту грунта (зонды и сваи) и сточных вод проектируемого и соседнего 69-ти квартирного жилого дома	110	45	15	20	30
<b>Вариант 3.</b> Тепловые насосы используют теплоту грунта (сваи) и сточных вод городского коллектора d500, проходящего в 50 м от проектируемого жилого дома	110	45	5	30	30

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

**Ежегодные эксплуатационные расходы** определяются по уравнению

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

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

$I_{\text{а}}$  - 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<sup>7</sup>;

<sup>7</sup> - перерасчет тарифов в долларový эквивалент при курсе 1 доллар = 9400 рублей

- 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, которые учитывают нормативные технические требования и местные особенности эксплуатации теплоисточников –  $p_{\text{тек. ремонт}} = 10\%$ .

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 производство оборудования) приняты равными 5 тыс. долларов в год. Учитывалось, что источник теплоснабжения во всех вариантах работает в автоматизированном режиме и не требует постоянного присутствия персонала. Периодическое контролирование параметров работы может быть поручено специалистам по обслуживанию сети отопления и электроснабжения здания.

Результаты расчетов сведены в таблицу 4.3.

Результаты технико-экономических расчетов, выполненные по формуле приведенных затрат ( $Z_a = \Pi_6 K_a + I_a$ ), приведены в таблице 4.4.

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). Лучшие по принятым критериям эффективности являются варианты 2 и 3, в которых предусматривается совместная работа сети централизованного теплоснабжения и тепловых насосов, использующие теплоту грунта (сваи) и сточных вод, которые можно рассматривать как альтернативные.

Таблица 4.3

Результаты расчетов ежегодных эксплуатационных расходов  
(в тыс. долл. США)

Варианты	$I_{\Sigma}$	в том числе			
		$I_{\text{энерг.}}$	$I_a$	$I_{\text{тек.рем.}}$	$I_{\text{обслуж.}}$
<b>Вариант 1.</b> Тепловые насосы используют теплоту грунта (зонды и сваи) и «серых» сточных вод проектируемого жилого дома	40,9	19,7	14,7	1,5	5,0
<b>Вариант 2.</b> Тепловые насосы используют теплоту грунта (зонды и сваи) и сточных вод проектируемого и соседнего 69-ти квартирного жилого дома	33,2	18,5	8,8	0,9	5,0
<b>Вариант 3.</b> Тепловые насосы используют теплоту грунта (сваи) и сточных вод городского коллектора d500	32,6	17,9	8,8	0,9	5,0

Таблица 4.4

## Результаты технико-экономического сравнения вариантов (тыс. долл. США)

Варианты	$Z_{\Sigma}$	в том числе	
		$K_{\Sigma}$	$I_{\Sigma}$
<b>Вариант 1.</b> Тепловые насосы используют теплоту грунта (зонды и сваи) и «серых» сточных вод проектируемого жилого дома	59,3	184	40,9
<b>Вариант 2.</b> Тепловые насосы используют теплоту грунта (зонды и сваи) и сточных вод проектируемого и соседнего 69-ти квартирного жилого дома	44,2	110	33,2
<b>Вариант 3.</b> Тепловые насосы используют теплоту грунта (сваи) и сточных вод городского коллектора d500	43,6	110	32,6

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 теплоснабжения и горячего водоснабжения жилого дома

Варианты	$Q_{\text{Год}}$ , Гкал	Расход первичного топлива, т у.т./год		Эксплуатационные расходы, тыс. долл./год	
		ТНУ*	ТЭЦ**	ТНУ***	ТЭЦ****
<b>Вариант 2.</b> Тепловые насосы используют теплоту грунта (зонды и сваи) и сточных вод проектируемого и соседнего 69-ти квартирного жилого дома	593,6	54,5	100,0	33,2	24,9
<b>Вариант 3.</b> Тепловые насосы используют теплоту грунта (сваи) и сточных вод городского коллектора d500	593,6	50,1	100,0	32,6	24,9

\* - 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 несколько ниже.

Принятие решения о выборе варианта для проектирования определяется с учетом стратегических преимуществ каждого.

