

ПРООН/ГЭФ  
Проект №00077154

«Повышение энергетической эффективности жилых зданий  
в Республике Беларусь»

**Предпроектная разработка источника теплоснабжения  
на основе тепловых насосов для отопления и горячего водоснабжения  
пилотного энергоэффективного жилого дома  
в г. Гродно  
(обосновывающие решения)**

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

И. С. Жидович

Минск  
ноябрь 2014

<b>1 ЦЕЛЕВАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПИЛОТНОГО ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО МНОГОКВАРТИРНОГО ЖИЛОГО ДОМА КАК ПОТРЕБИТЕЛЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ .....</b>	<b>3</b>
1.1 <i>Условия размещения энергоэффективного жилого дома.....</i>	3
1.2 <i>Расчетные тепловые нагрузки и параметры систем отопления и горячего водоснабжения .....</i>	4
1.3 <i>Параметры местных источников низкопотенциальной теплоты.....</i>	5
<b>2 ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВАРИАНТОВ СТРУКТУРЫ ИСТОЧНИКА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ .....</b>	<b>8</b>
2.1 <i>Альтернативные варианты структуры источника теплоснабжения .....</i>	8
2.2 <i>Основные технические характеристики тепловых насосов, возможных для применения в структуре источника теплоснабжения.....</i>	8
2.3 <i>Технические решения по контурам отбора низкопотенциальной теплоты. ....</i>	9
2.4 <i>Структурные схемы альтернативных источников теплоснабжения. ....</i>	11
2.5 <i>Расчет энергетических потоков. ....</i>	16
<b>3 РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОТОПЛЕНИЯ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ОТ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ .....</b>	<b>19</b>
3.1 <i>Расчет энергетических показателей.....</i>	19
3.2 <i>Расчет экономических показателей .....</i>	21
<b>4 РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ ДЛЯ ОТОПЛЕНИЯ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПИЛОТНОГО ЖИЛОГО ДОМА</b>	<b>24</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ .....</b>	<b>27</b>
П.1 <i>Техническое задание на проектирование теплонасосной установки для пилотного 10-ти этажного 120 квартирного жилого дома в г.Гродно (проект) .....</i>	27
П.2 <i>Форма опросного листа, рекомендуемого для передачи потенциальным поставщикам тепловых насосов .....</i>	29

# **1 Целевая характеристика пилотного энергоэффективного многоквартирного жилого дома как потребителя тепловой энергии**

## **1.1 Условия размещения энергоэффективного жилого дома**

Проектируемый пилотный энергоэффективный жилой дом расположен на юго-восточном склоне застроенной территории завода «Гродноторгмаш» (рис.1.1). Количество квартир – 120, число подъездов – 3, этажность – 10, 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 под фундамент дома из 429 свай длиной от 5 м до 13 м суммарной длины 3241 м.

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 теплоноситель: рН=6,86-7,59; жесткость общая и карбонатная – 2,8-8,6 мг-экв/дм<sup>3</sup>; уголекислота 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.

На расстоянии 25-30 м от проектируемого жилого дома проходит канализационный коллектор d500. Длина участка между ближайшими колодцами А и Б – 50 м. Глубина прокладки керамической трубы d500 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.

В 10 м от южного торца дома будет располагаться (по проекту застройки района) подстанция 10/0,4 кВ (ТП) с трансформаторами 2x1000 кВА, мощность которых рассчитана на присоединение электроприемников проектируемого жилого дома. При технически допустимой нагрузке 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. тепловые насосы.

## 1.2 Расчетные тепловые нагрузки и параметры систем отопления и горячего водоснабжения

Для обоснования структуры и параметров источника теплоснабжения на предпроектной стадии за основу приняты данные разработчика энергосберегающих решений для пилотного жилого дома – ГП «Институт жилища-НИПТИС им. Атаева А.А.» (НИПТИС):

- расчетная нагрузка отопления ( $t_p = \text{минус } 22^{\circ}\text{C}$ ) – 110 кВт;
- расчетная мощность системы ГВС в отопительный период – 56,5 кВт, в неотапительный период – 42 кВт;
- суточное потребление горячей воды с температурой  $55^{\circ}\text{C}$  – 28 м<sup>3</sup>;
- температура нагрева горячей воды в тепловом насосе –  $45^{\circ}\text{C}$ ;
- температурный график системы отопления – 50/40<sup>0</sup>С;
- температура наружного воздуха, соответствующая температуре  $45^{\circ}\text{C}$  по температурному графику 50/40<sup>0</sup>С – 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% .

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

В процессе системного анализа исходных данных было принято целесообразным рассмотреть, как альтернативный, температурный график системы отопления ( $t_p = \text{минус } 22^{\circ}\text{C}$ ) – 55/47,5<sup>0</sup>С. В этом варианте температура наружного воздуха, соответствующая температуре  $45^{\circ}\text{C}$  по температурному графику 55/47,5<sup>0</sup>С – 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%.

Следует отметить, что при проектировании температурный график систем отопления жилого дома должен обосновываться стыкуемыми расчетами параметров ТНУ и внутридомовых систем отопления, т.к. чем ниже температура в сети отопления, тем выше экономичность применения тепловых насосов, но выше затраты на устройство систем отопления.

Расчетные параметры собственного источника электроснабжения – гелиоустановки на основе 245 фотоэлектрических модулей (данные НИПТИС). Основные показатели гелиоустановки:

- суммарная мощность гелиоустановки – 61 кВт;
- ежегодный объем производства электроэнергии гелиоустановкой (оценка) – 105 МВтч, в т. ч. в отопительный период – 35 МВтч;
- единовременные капитальные вложения на сооружение гелиоустановки – 152,5 тыс. долл.;
- гарантия на солнечные модули – 12 лет.

### 1.3 Параметры местных источников низкопотенциальной теплоты

Применительно к условиям расположения энергоэффективного жилого дома местными источниками низкопотенциальной теплоты являются подземные воды, грунт, наружный воздух и сточные воды.

**Подземные воды.** Гидрогеологические особенности площадки жилого дома характеризуются высоким уровнем стояния грунтовых вод. Глубина залегания грунтовых вод от 0,2 до 1,5 м. Режим грунтовых вод формируется под влиянием инфильтрации атмосферных осадков. Максимальный подъем уровней грунтовых вод характерен в весенние месяцы, минимальные их величины отмечены летом и зимой. Годовые амплитуды колебаний уровней составляют 0,8-1,6 м. На глубине до 25 м (глубина скважин) расположены водоносные горизонты, которые представлены средними, дробными и пылеватыми песками. Наиболее перспективны для использования горизонты со стороны северного торца жилого дома, мощность которых достигает 13,0 м (см. отчет 262.12-00-1Г отдела геологии УП «Институт Гродногражданпроект»).

В отсутствии термограмм скважин для расчета теплового потенциала подземных вод можно принять их температуру на устье 20 м скважин: в отопительный период при температуре воздуха выше  $0^{\circ}\text{C}$  –  $8,0^{\circ}\text{C}$ ; в отопительный период при температуре воздуха от  $0^{\circ}\text{C}$  до минус  $22,0^{\circ}\text{C}$  и весной –  $5,0^{\circ}\text{C}$ ; в летний период и осенью –  $12,0^{\circ}\text{C}$ .

Предварительные расчеты показывают, что для устойчивой работы тепловых насосов в отопительный период с температурой наружного воздуха минус  $10^{\circ}\text{C}$  и ниже объем забора подземной воды должен составить не менее  $35\text{ м}^3/\text{час}$ .

Для принятия решения об использовании теплоты подземных вод необходимо выполнение в отопительный период года целевых инженерно-геологических исследований их определяющих параметров, включающих пробную откачку и распределение температур по глубине скважин.

**Грунт.** Как известно, отбор теплоты грунта осуществляется горизонтальными или вертикальными теплообменниками.

В условиях планировочных ограничений (дефицит свободной от застройки территории) можно рассматривать только применение вертикальных теплообменников (зондов) или закладываемых в скважины, или залитых в сваи фундаменты проектируемого жилого дома.

Для оценки количества скважинных теплообменников принимаем среднее значение удельного теплового потока на 1 метр длины зонда в скважине равном 50 Вт (влажные и водоносные грунты). Тип зонда – двойные U-образные пластиковые трубки. Глубина скважин под зонды – 50 м. Минимальное расстояние между скважинами – 6 м, от скважин до жилого дома – 10 м. Если от тепловых насосов планируется покрывать нагрузку 150 кВт, то количество скважин глубиной 50 м с двойными U-образными трубками должно быть не менее 45 шт.

При применении теплообменников залитых в сваи фундамента при расстоянии между сваями 6 м для покрытия нагрузки 150 кВт должно быть не менее 200 теплогенерирующих свай длиной 13 м (удельный тепловой поток 40 Вт/м). Такое решение предполагает существенное изменение традиционных подходов к конструкции свайного поля со значительным усложнением устройства фундамента жилого дома. Основными проблемами отбора теплоты грунта термосваями является снижение теплового потока в процессе эксплуатации.

Представленные данные являются оценочными и подлежат уточнению теплотехническими расчетами на стадии проектирования.

**Наружный воздух.** Воздух является самым доступным местным источником низкопотенциальной энергии. Эффективность использования его теплового потенциала ограничена значительной амплитудой колебания температуры в течение суток, отопительного периода и года. Основные показатели наружного воздуха в отопительный период года для условий г.Гродно следующие:

1. Средняя температура воздуха наиболее холодной пятидневки – минус 22<sup>0</sup>С.
2. Средняя температура наиболее холодных суток – минус 26<sup>0</sup>С.
3. Средняя температура периода со средней суточной температурой воздуха < 8<sup>0</sup>С – минус 0,5<sup>0</sup>С.
4. Средняя месячная температура воздуха самого холодного месяца (январь) – минус 5,1<sup>0</sup>С.
5. Средняя суточная амплитуда температуры воздуха (разность между суточным максимумом и минимумом температуры):
  - в отопительный период (ноябрь-апрель) – от 4,5 до 9,4<sup>0</sup>С;
  - в самый холодный месяц (январь) – около 6,3<sup>0</sup>С.
6. Число дней с оттепелью за декабрь-февраль – 44 дня.
7. Продолжительность отопительного периода со средней суточной температурой воздуха:
  - < 8<sup>0</sup>С – 4656 часов;
  - < 0<sup>0</sup>С – 2712 часов;
  - < минус 5<sup>0</sup>С – 864 часов;
  - < минус 10<sup>0</sup>С – 326 часов;
  - < минус 15<sup>0</sup>С – 88 часов.
8. Средняя месячная относительная влажность за отопительный период – 85%.
9. Продолжительность солнечного сияния:
  - в отопительный период (ноябрь-март) – 309 часов;
  - в самый холодный месяц (январь) – 43 часа.

Из приведенных данных видно, что с применением известного сегодня оборудования можно рассматривать использование теплоты наружного воздуха только в комбинации с другими видами НПИТ.

**Сточные воды.** Сточные воды являются теплоносителем с относительно высокой температурой, зависящей от вида водопотребляющего процесса. Как правило, бытовые сточные воды имеют загрязнения органического и минерального происхождения. Объемы и температура бытовых сточных вод зависят от специфики работы и бытовых привычек жителей дома, температуры водопроводной воды и конструктивного исполнения внутридомовой канализационной сети. График их поступление в наружную канализационную сеть соответствует (с некоторым запозданием) графику водопотребления с характерными утренними и вечерними пиками и ночными провалами. На выпусках зданий температура сточных вод изменяется в интервале от 15<sup>0</sup>С до 35<sup>0</sup>С. Средняя за сутки температура<sup>1</sup> в отопительный период года составляет около 23,0<sup>0</sup>С.

---

<sup>1</sup> при расчетной температуре водопроводной воды равной 5<sup>0</sup>С и температуре горячей воды равной 55<sup>0</sup>С

Применительно к условиям расположения пилотного жилого дома можно рассматривать возможность использования сточных вод 3-х видов.

*Сточные воды только пилотного жилого дома.* Располагаемый (технически возможный к использованию) тепловой потенциал сточных вод объемом 83,2 м<sup>3</sup>/сутки в отопительный период равен 72,6 кВт. Объем сточных вод (без туалетов) оценивается в 66,6 м<sup>3</sup>/сутки, а их располагаемый тепловой потенциал – 64,5 кВт.

*Сточные воды от пилотного дома и рядом расположенного 69-ти квартирного жилого дома.* Располагаемый тепловой потенциал бытовых сточных вод от двух этих домов объемом 156 м<sup>3</sup>/сутки составит около 125,0 кВт. При его использовании тепловыми насосами может быть выработано и передано в систему теплоснабжения пилотного жилого дома около 170 кВт.

*Производственные и бытовые сточные воды, отводимые по районному канализационному коллектору d500.* Располагаемый тепловой потенциал городских сточных вод, отводимых по районному канализационному коллектору d500, составляет более 3000 кВт, что значительно превышает потребности в тепловой энергии пилотного жилого дома.

С учетом известных технических ограничений в использовании теплоты неочищенных сточных вод, обусловленных суточной неравномерностью их отведения, биологической и коррозионной агрессивностью, можно принять в расчетах следующие значения теплового потенциала сточных вод:

- сточные воды только пилотного жилого дома – 50,8 кВт;
- сточные воды от пилотного дома и рядом расположенного 69-ти квартирного жилого дома – 87,5 кВт;
- производственные и бытовые сточные воды, отводимые по районному канализационному коллектору d500 – более 1000 кВт.

Системный анализ, выполненный с учетом результатов экспертной оценки ожидаемой эффективности применения тепловых насосов, позволяет сделать вывод о целесообразности последующего рассмотрения вариантов использования для отопления и горячего водоснабжения пилотного жилого дома в г. Гродно теплоты грунта и сточных вод.

## **2 Техническое обоснование альтернативных вариантов структуры источника теплоснабжения на основе тепловых насосов**

### **2.1 Альтернативные варианты структуры источника теплоснабжения**

Основываясь на отечественном опыте и данных раздела 1, альтернативными являются три варианта полуавтономного источника теплоснабжения и горячего водоснабжения с применением тепловых насосов (теплонасосной установки–ТНУ), отличающегося структурой теплогенерирующего оборудования и используемыми источниками низкопотенциальной теплоты. Как правило, ТНУ включает два и более тепловых насоса, объединенные технологически в каскад. С учетом расположения пилотного жилого дома в зоне ТЭЦ во всех вариантах отопление и горячее водоснабжение жилого дома планируется от тепловых насосов и сети централизованного теплоснабжения от ТЭЦ. Тепловая нагрузка на нагрев приточного воздуха не учитывается, т.к. она покрывается за счет утилизации теплоты вытяжного воздуха и электродоводчиков.

**Вариант 1.** Тепловые насосы используют теплоту грунта (зонды и сваи) и «серых» сточных вод проектируемого жилого дома.

**Вариант 2.** Тепловые насосы используют теплоту грунта (зонды и сваи) и сточных вод проектируемого и соседнего энергоэффективного 69-ти квартирного жилого дома.

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

В варианте 1 тепловые насосы рассчитываются на покрытие отопительной нагрузки при температуре наружного воздуха выше минус 16<sup>0</sup>С, а вариантах 2 и 3 – на покрытие отопительной нагрузки при температуре наружного воздуха выше минус 10<sup>0</sup>С.

Для всех вариантов тепловые насосы покрывают часть расчетной нагрузки горячего водоснабжения, обеспечивая подогрев до 45<sup>0</sup>С воды для горячего водоснабжения жилого дома. Покрытие отопительной нагрузки при понижении температуры наружного воздуха и догрев горячей воды до нормируемых 55<sup>0</sup>С – от сети централизованного теплоснабжения. Температура теплоносителя на входе в испарители тепловых насосов: 0<sup>0</sup>С – при использовании теплоты грунта и 10<sup>0</sup>С – при использовании теплоты сточных вод. Температура теплоносителя на выходе конденсаторов изменяется по графику качественного регулирования системы отопления. Независимо от температурного графика сети отопления, при переключении тепловых насосов на нагрузку горячего водоснабжения температура теплоносителя на выходе конденсаторов устанавливается равной 47<sup>0</sup>С. Расчетный перепад температур в испарителях и конденсаторах принимается по паспортным данным тепловых насосов.

Параметры работы ТНУ уточняются при проектировании внутридомовых систем отопления и горячего водоснабжения.

### **2.2 Основные технические характеристики тепловых насосов, возможных для применения в структуре источника теплоснабжения.**

В настоящее время тепловые насосы достаточно широко представлены на



белорусском рынке. Они различаются по виду используемой низкопотенциальной теплоты, тепловой мощности, комплектации и габаритным размерам, стоимостью, условиям поставки, гарантиям производителей и др.

Основными техническими требованиями к тепловым насосам, возможным для применения в структуре источника теплоснабжения жилого дома являются: класс энергетической эффективности A++, применение озонобезопасных рабочих агентов, диапазон рабочих температур, управляемость, шумовые характеристики, компактность.

Указанным параметрам отвечают тепловые насосы фирм VISSMANN (Германия), NIBE (Швеция), OCHSNER (Австрия), CLIVET (Италия), имеющие своих представителей или дилеров, обеспечивающих сервисное обслуживание устанавливаемых тепловых насосов.

На предпроектной стадии обоснования источника теплоснабжения для расчетов принимаем тепловые насосы, технические характеристики которых приведены в таблице 2.1.

*Таблица 2.1: Технические характеристики тепловых насосов типа «рассол-вода» и «вода-вода»*

Показатели	Температура теплоносителей, °С			
	на выходе конденсаторов	на входе в испарители		
		0	5	10
Тепловая мощность, кВт	35	57,82	65,53	74,16
	45	55,83	63,6	71,84
	55	54,01	61,29	69,01
Количество теплоты источника, кВт	35	45,10	52,66	61,12
	45	40,64	48,02	55,99
	55	36,13	42,85	50,12
Мощность спиральных компрессоров, кВт	35	12,72	12,88	13,04
	45	15,18	15,57	15,86
	55	17,88	18,44	18,89
Коэффициент трансформации теплоты, кВт	35	4,55	5,09	5,69
	45	3,68	4,08	4,53
	55	3,02	3,32	3,65
Вид рабочего агента (количество, кг)	R410A (4,8)			
Звуковое давление, dB(A)	43			
Габариты (ширина x глубина x высота), м	0,6 x 0,625 x 1,625			
Вес, кг	350			

В приложении П1 приведена форма опросного листа (таблица) с перечнем основных технических характеристик и параметров их управляемости, рекомендуемых для передачи потенциальным поставщикам тепловых насосов на этапе проектирования.

### **2.3 Технические решения по контурам отбора низкопотенциальной теплоты.**

*Контур отбора теплоты грунта с применением скважинных теплообменником* выполняется традиционно по известным технологическим этапам. Он включает скважины

с теплообменниками из U-образных пластиковых трубок, соединительные трубопроводы и геотермальные колодцы с гребенками, через которые выполняется гидравлическая связь скважинных теплообменников с испарителями тепловых насосов.

Техническое решение по отбору теплоты грунта с применением теплообменников залитых в сваих фундамента жилого дома сегодня еще не апробированы и являются предметом исследований НИПТИС.

*Утилизация теплоты «серых» сточных вод проектируемого жилого дома.* Конструктивно блок утилизации теплоты «серых» сточных вод проектируемого жилого дома аналогичен уже действующим в жилых домах г. Витебска и г. Гомеля. Блок утилизации, включающий резервуар-усреднитель, погружной теплообменник и насос сточных вод, предлагается разместить в подвале здания.

*Утилизация теплоты сточных вод проектируемого дома и 69-ти квартирного жилого дома.* Для возможности утилизации предлагается переложить существующий трубопровод отведения сточных вод от построенного рядом 69-ти квартирного жилого дома из-под пятна проектируемого дома. В торце проектируемого дома построить колодец-усреднитель, в который сбрасывать сточные воды из переключаемой сети и из торцевого выпуска сточных вод проектируемого жилого дома. В колодце-усреднителе разместить сетчатый фильтр, погружной теплообменник-утилизатор и насос перекачки охлажденных сточных вод в районный самотечный канализационный коллектор. Из колодца в коллектор сточные воды отводятся по напорному трубопроводу.

*Конструктивно реализация предложенного решения не представляет технической сложности.* Минус – расходы электрической энергии варианта утилизации с некоторым сокращением единовременных капитальных вложений на реконструкцию существующего и прокладку новой самотечной сети отведения сточных вод в районный канализационный коллектор.

*Утилизация теплоты потока производственных и бытовых сточных вод районного канализационного коллектора.* Предлагается схема утилизация теплоты городских сточных вод с размещением теплообменника-утилизатора непосредственно в канализационном коллекторе диаметром 500 мм. Конструктивно теплообменник-утилизатор может представлять плетень из гибких труб длиной около 50 м, положенных на дно канализационной трубы диаметром 500 мм между колодцами А и Б. Могут быть применены гибкие трубы из полиэтилена или металлопластика диаметром 40 мм или 50 мм, объединенные в технологические узлы, от которых до жилого дома (помещения с тепловыми насосами) прокладываются в земле изолированные трубы. Предварительно можно принять, что для утилизации 110 кВт, требуемых для работы тепловых насосов на покрытие нагрузки отопления и горячего водоснабжения, достаточно плетни из четырех-пяти гибких труб.

Для эксплуатационной надежности технического решения и сохранения пропускной способности канализационного коллектора важно, чтобы гибкие трубы не препятствовали транспорту загрязнений и все время находились в потоке сточных вод.

Наиболее проблемными местами, где возможно образование отложений и засорения трубы коллектора являются узлы входа и выхода гибких труб. Конструктивно снять эту проблему можно также установкой специальных смывных решеток.

Для того чтобы все трубки теплообменника находились в потоке сточных вод даже в периоды минимума расхода, необходимо, чтобы наполнение трубы (отношение высоты потока к диаметру трубы) было не менее 0,2. Если принять, что при расходе сточных вод

(303 л/сек) наполнение трубы составляет расчетные 0,75, то наполнению 0,2 соответствует расход около 40 л/сек (13,2% от расчетного). В периоды с малыми потоками сточных вод, характерными для ночных часов суток, сокращается и требуемая мощность теплообменника-утилизатора, т.к. в эти периоды сокращается потребления горячей воды. При утилизации 110 кВт температура потока сточных вод (40 л/сек) может снизиться не более чем на  $0,8^{\circ}\text{C}$ , что допускается.

Расчет требуемой поверхности погружного теплообменника-утилизатора будет представлен после уточнения исходных данных по объемам и температуре сточных вод и режимам работы канализационного коллектора.

#### **2.4 Структурные схемы альтернативных источников теплоснабжения.**

Структурные схемы трех альтернативных вариантов источника теплоснабжения на основе тепловых насосов и тепловой сети от ТЭЦ (теплонасосной установки–ТНУ) представлены на рис. 2.1 (вариант 1), рис. 2.2 (вариант 2) и рис.2.3 (вариант 3).

На схемах показаны направления тепловых потоков и оборудование, поясняющие работу ТНУ: тепловые насосы, теплообменники контура испарителей тепловых насосов (зонды, сваи, утилизаторы сточных вод), теплообменники и баки-аккумуляторы контура конденсаторов тепловых насосов, теплообменники контура тепловой сети и циркуляционные насосы.

Экспликация оборудования ТНУ и описание его функций приведена в таблице 2.2.

Таблица 2.2: 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

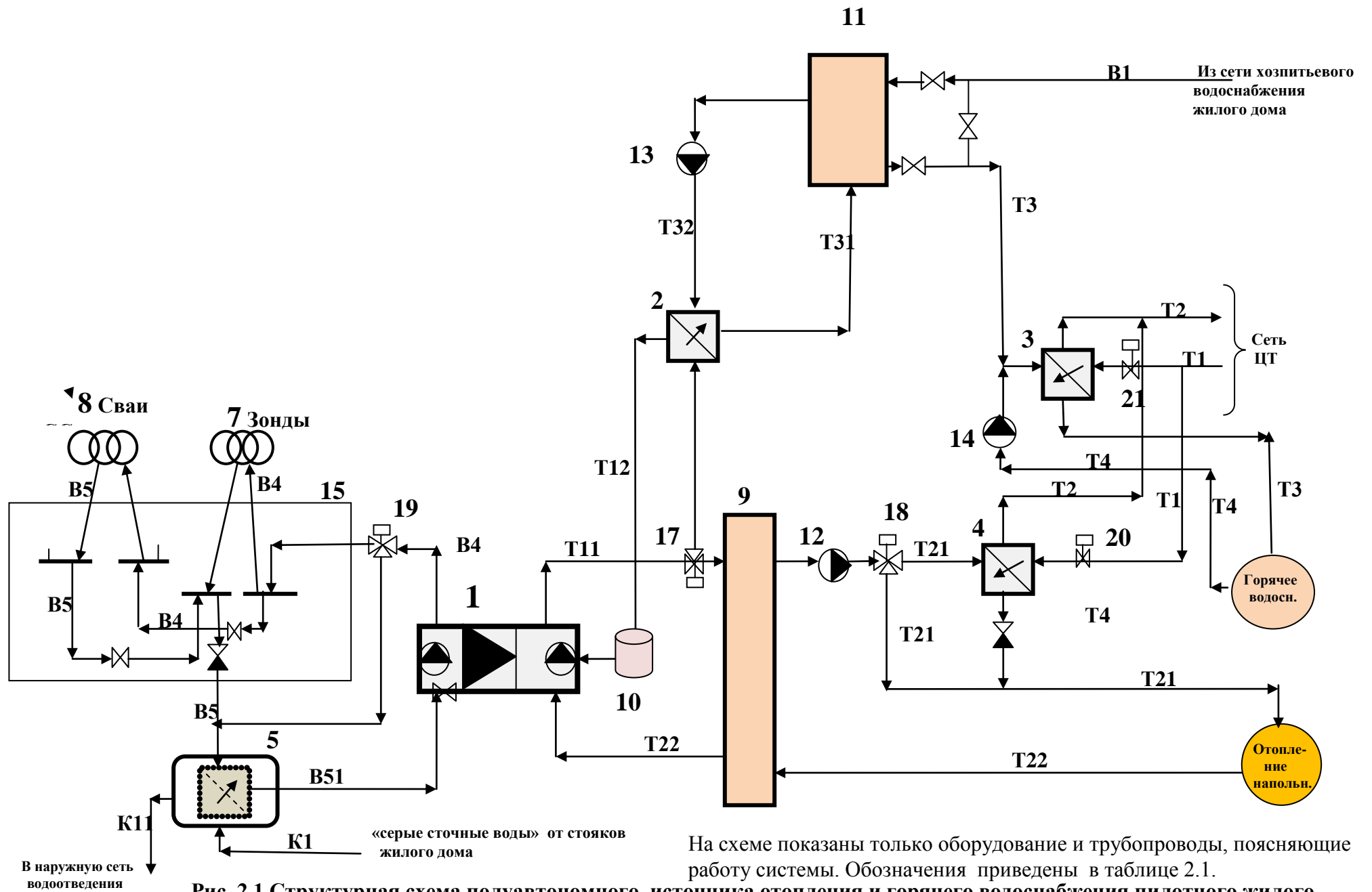
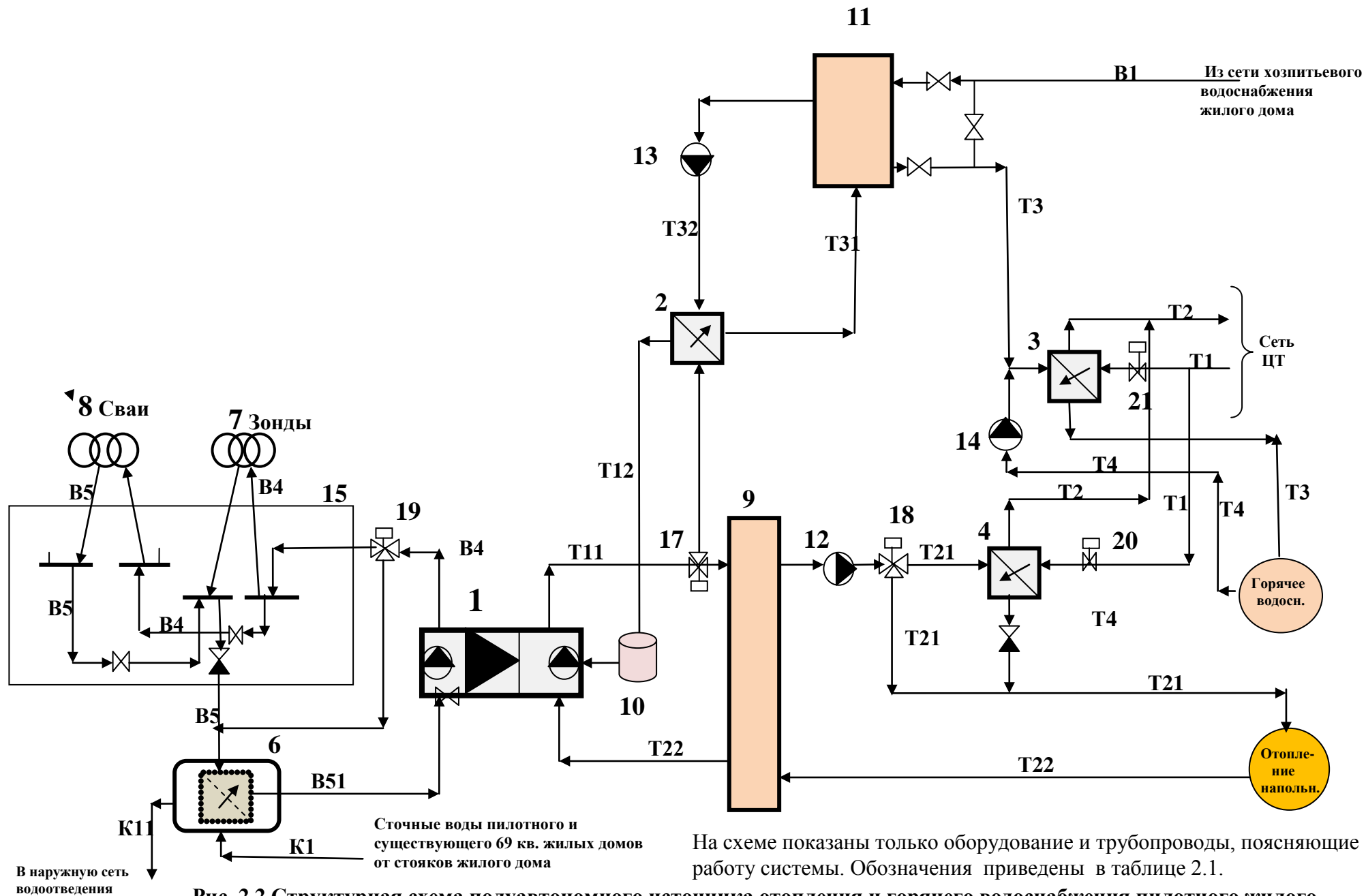
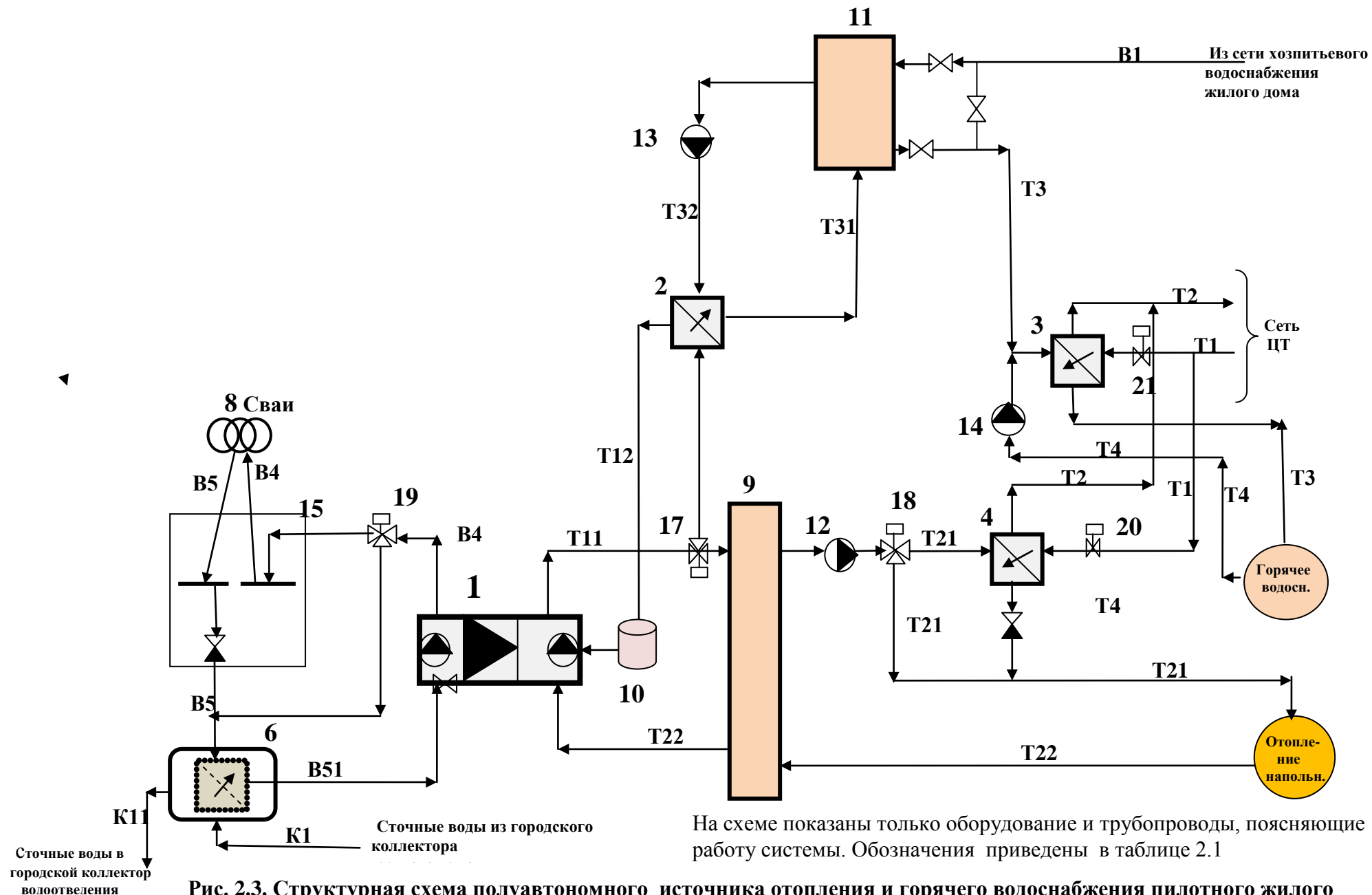


Рис. 2.1 Структурная схема полуавтономного источника отопления и горячего водоснабжения пилотного жилого дома (вариант 1)

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 (вариант 2)**



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

## 2.5 Расчет энергетических потоков.

По данным разделов 1.2, 2.1 и 2.2 рассчитано участие тепловых насосов в покрытии расчетных тепловых нагрузок для альтернативных вариантов их применения. Результаты сведены в таблицу 2.3.

Таблица 2.3: Расчетные тепловые нагрузки жилого дома и структура источников их покрытия

Варианты	Расчетная тепловая нагрузка, кВт			Источники покрытия, кВт						
	Отопление	ГВ	Итого	Тепловые насосы ( $Q_{ТН}^{расч.}$ )			Тепловая сеть от ТЭЦ			
				Итого	в том числе		Отопл.	ГВ	Отопл.	ГВ
					Отопл.	ГВ				
Вариант 1. 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		
Вариант 2. Тепловые насосы используют теплоту грунта (зонды и сваи) и сточных вод проектируемого и соседнего 69-ти квартир жилого дома	-"	-"	-"	135	78,5	56,5	31,5	14,1		
Вариант 3. 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		

В расчетах тепловых потоков от источников низкопотенциальной теплоты ( $Q_{НПИТ}^{расч.}$ ) и потребляемой мощности компрессоров тепловых насосов ( $P_{компрес.ТН}$ ) использованы значения  $Q_{ТН}^{расч.}$ , приведенные в табл. 2.3 и следующие значения коэффициента трансформации низкопотенциальной теплоты –  $\epsilon_{ТН}$  (см. табл.2.1): при использовании теплоты грунта (зонды, сваи) и «серых» сточных вод (вариант 1) –  $3,6^2$ , при использовании теплоты грунта (сваи) и сточных вод (варианты 2 и 3) –  $4,2^3$ .

Расчетное количество теплоты, отбираемой от источников низкопотенциальной теплоты, определяется из соотношения  $Q_{НПИТ}^{расч.} = Q_{ТН}^{расч.} (\epsilon_{ТН}-1) / \epsilon_{ТН}$ , а потребляемая мощность компрессоров тепловых насосов и циркуляционных насосов теплоносителей контуров тепловых насосов – из соотношений:

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

<sup>2</sup> - при температуре теплоносителя на входе в испаритель 0°C, выходе из конденсатора 45°C;

<sup>3</sup> - при температуре теплоносителя на входе в испаритель 7°C, выходе из конденсатора 45°C



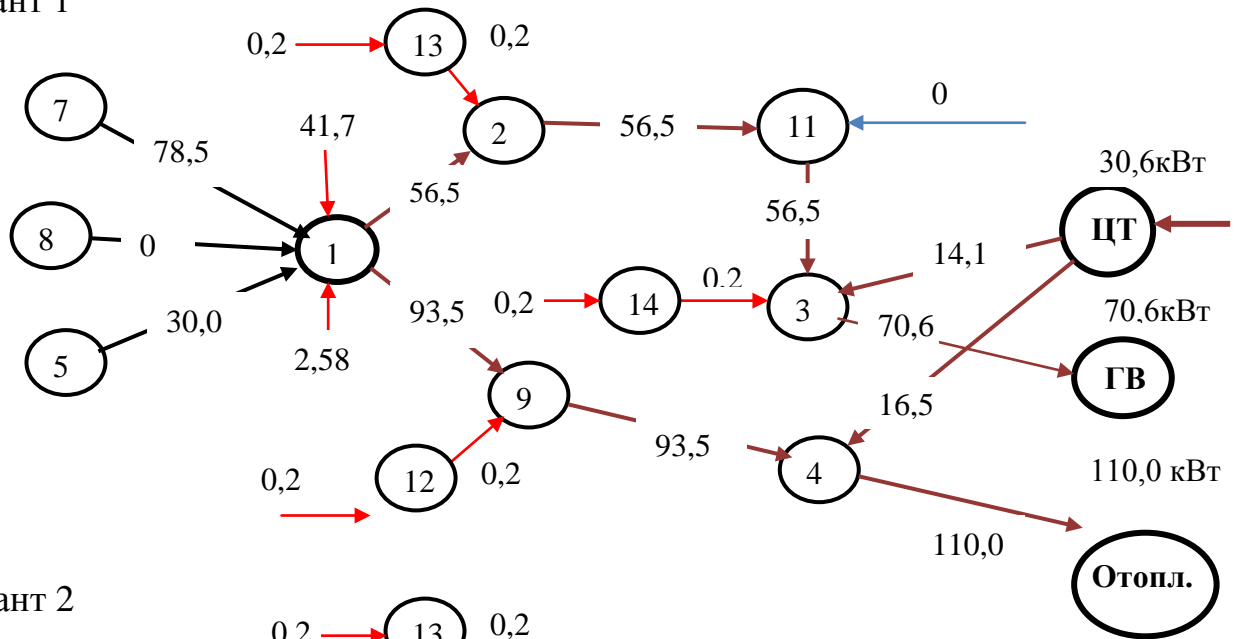
Результаты расчетов в расчетных условиях отопления ( $t_{\text{нар.}} = \text{минус } 22^{\circ}\text{C}$ ) приведены в таблице 2.4.

*Таблица 2.4: Значения расчетных потоков низкопотенциальной теплоты и мощности электропотребляющего оборудования ТНУ*

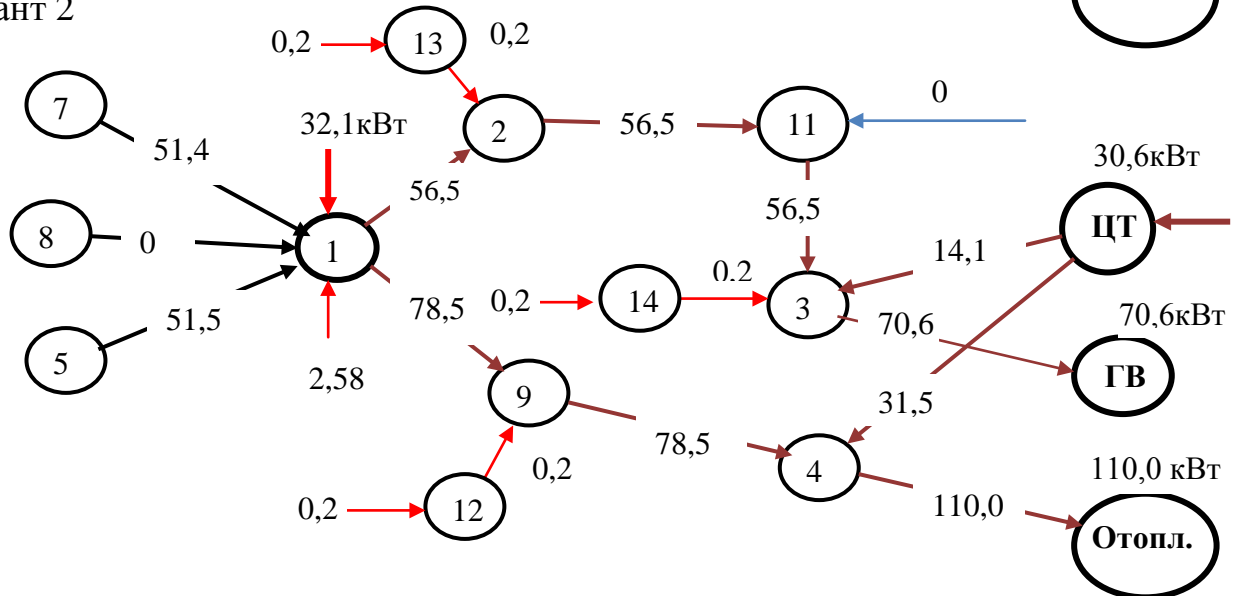
Варианты	Потоки низкопотенциальной теплоты, кВт	Мощности электропотребляющего оборудования, кВт			
		Компрессоры тепловых насосов	Циркуляционные насосы контуров	Неучтенные расходы (5%)	ИТОГО
Вариант 1	108,3	41,7	3,8	2,3	47,8
Вариант 2	102,9	32,1	3,2	1,8	37,1
Вариант 3	102,9	32,1	3,2	1,8	37,1

Значения расчетных энергетических потоков (в кВт) в элементах структурных схем рассматриваемых вариантов источника отопления и горячего водоснабжения (ТНУ) пилотного жилого дома (см. рис. 2.1-2.3) показаны на рис. 2.4.

а) вариант 1



б) вариант 2



в) вариант 3

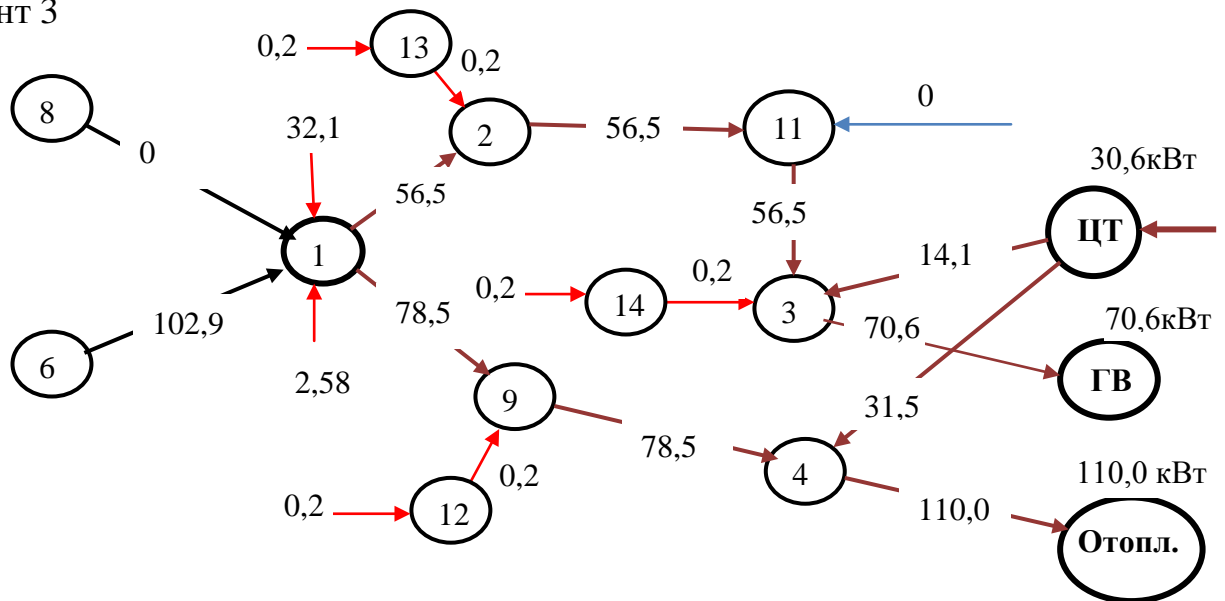


Рис. 2.4: Энергетические потоки в теплонасосных установках (обозначения узлов см. рис. 2.1-2.3)

### 3 Расчет основных показателей отопления и горячего водоснабжения от альтернативных источников теплоснабжения

#### 3.1 Расчет энергетических показателей

В основу расчета годового теплопотребления положены данные о тепловых нагрузках (см. табл. 2.3), параметрах наружного воздуха ( $t_{н.ср.от.} = \text{минус } 0,5^{\circ}\text{C}$ ) и продолжительности отопительного периода (197 суток). Годовой объем выработки теплоты источником теплоснабжения (ТНУ) принят равным теплопотреблению.

Результаты расчетов годового теплопотребления и выработки теплоты в альтернативных вариантах ТНУ сведены в таблицу 3.1.

Таблица 3.1: Годовое теплопотребление и источники покрытия по рассматриваемым вариантам теплоснабжения и горячего водоснабжения

Варианты	Годовое теплопотребление, Гкал				Источники покрытия, Гкал					
	Q <sub>от+в</sub>	Q <sub>гв</sub>		Q <sub>сум</sub>	Тепловые насосы			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</sub>	Q <sub>гв</sub> <sup>зим</sup>	Q <sub>гв</sub> <sup>лет</sup>	Q <sub>от</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.3.1 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:

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

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

$\epsilon_{\text{тн.ср.}}$  – средний за рассматриваемые периоды года коэффициент трансформации низкопотенциальной теплоты для выработки теплоты.

В расчетах принимается значения  $\epsilon_{\text{тн.ср.}}$  равными:

- 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  $\epsilon_{\text{тн.ср.}}$  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 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 3.2.

Таблица 3.2: Годовой расход электрической и тепловой энергии на теплоснабжение

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

Системное 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:

$$B^{год} = W^{год} b_{ээ} + Q^{год} b_{ТЭ} / 1000,$$

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 3.3.

Таблица 3.3: 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
Вариант 1. 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
Вариант 2. 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
Вариант 3. 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

### 3.2 Расчет экономических показателей

Основными экономическими показателями для сравнения рассматриваемых вариантов ТНУ, как объекта нового строительства, являются величины необходимых капитальных вложений на сооружение и ежегодных эксплуатационных затрат на теплоснабжение.

Капитальные вложения на сооружение ТНУ определены по результатам анализа данных, полученным от организаций, представляющих интересы фирм-изготовителей в Республике Беларусь (без уплаты таможенной пошлины и НДС) и на основании опыта монтажа и наладки ТНУ на объектах водопроводно-канализационного хозяйства. В расчетах использованы приведенные ниже данные:

- 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>4</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>5</sup> тыс. долл.; 2 вариант – 30 тыс. долл.; 3 вариант – 40 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 всех вариантов) – 40 тыс. долл.

Результаты расчета капитальных вложений, необходимых для сооружения источника теплоснабжения жилого дома, сведены в таблицу 3.4.

Таблица 3.4: 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
Вариант 1. Тепловые насосы используют теплоту грунта (зонды и сваи) и «серых» сточных вод проектируемого жилого дома	184	60	79	15	30
Вариант 2. Тепловые насосы используют теплоту грунта (зонды и сваи) и сточных вод проектируемого и соседнего 69-ти квартирного жилого дома	110	45	15	20	30
Вариант 3. 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

<sup>4</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>5</sup> - затраты на устройство блока утилизации теплоты «серых» сточных вод приняты равными 15 тыс. долл. (данные НИПИТИС);

**Ежегодные эксплуатационные расходы** определяются по уравнению:

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

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. 3.3 и следующие значения стоимости энергоресурсов<sup>6</sup>, 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  $I_{\text{а}}$  приняты следующие средневзвешенные значения отчислений от капитальных вложений на реновацию (полное восстановление основных фондов) и капитальный ремонт оборудования ТНУ, учитывающие его срок службы –  $r_{\text{рен.}}=4\%$ ;  $r_{\text{кап. ремонт}}=4\%$ .

Расчет значений  $I_{\text{а}}$  для различных вариантов выполним из соотношения

$$I_{\text{а}} = (r_{\text{рен.}} + r_{\text{кап. ремонт}}) K$$

Значения  $I_{\text{тек. ремонт}}$  определяются в % от амортизационных отчислений, которые учитывают нормативные технические требования и местные особенности эксплуатации теплоисточников –  $r_{\text{тек. ремонт}} = 10\%$ .

Величина  $I_{\text{тек. ремонт}}$  определяется из соотношения

$$I_{\text{тек. ремонт}} = r_{\text{тек. ремонт}} I_{\text{а}}$$

Расходы на обслуживание  $I_{\text{обслуж.}}$  (включая сервисное производителей 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 3.5.

*Таблица 3.5: Результаты расчетов ежегодных эксплуатационных расходов (в тыс. долл. США)*

Варианты	$I_{\Sigma \text{ ТНУ}}$	в том числе			
		$I_{\text{энерг.}}$	$I_{\text{а}}$	$I_{\text{тек.рем.}}$	$I_{\text{обслуж.}}$
Вариант 1. 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
Вариант 2. 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
Вариант 3. Тепловые насосы используют теплоту грунта (сваи) и сточных вод городского коллектора d500	32,6	17,9	8,8	0,9	5,0

<sup>6</sup> перерасчет тарифов в долларовой эквивалент при курсе 1 доллар = 9400 рублей

**Экономическое сравнение** рассматриваемых вариантов ТНУ, как объекта нового строительства, выполняется по методу приведенных затрат на теплоснабжение, т.к. 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.

Результаты технико-экономических расчетов, выполненные по формуле приведенных затрат ( $Z_a = P_b K_a + I_a$ ), приведены в таблице 3.6.

*Таблица 3.6: Результаты технико-экономического сравнения вариантов ТНУ (тыс. долл. США)*

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

Анализ выше приведенных значений основных технико-экономических показателей показал, что рассматриваемые варианты различаются как по техническим (см. табл. 3.3-3.3), так и экономическим показателям (см. табл.3.4-3.6). 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.

Системный анализ эффективности и надежности теплоснабжения дает предпочтение принятию к проектированию источник теплоснабжения по варианту 3. В этом варианте отсутствует зависимость надежной и эффективной работы тепловых насосов от непредсказуемых изменений расчетных объемов и режимов отведения сточных вод от проектируемого и соседнего 69-ти квартирного жилого дома.

Представленные в разделе 3 расчеты и выводы подлежат уточнению на стадии проектирования при конкретизации расчетных тепловых нагрузок жилого дома, параметров источников низкопотенциальной теплоты и др. Тем не менее, они дают основание рекомендовать применение в проекте тепловых насосов, использующих теплоту свай и городских сточных вод.

#### 4 Расчет эффективности применения тепловых насосов для отопления и горячего водоснабжения пилотного жилого дома

Эффективность применения тепловых насосов в структуре источника отопления и горячего водоснабжения жилого дома определяется по двум критериям: расходу первичного топлива (энергетический эффект), приведенным затратам (народно-хозяйственный эффект) и величине экономии ежегодных эксплуатационных затрат на теплоснабжение (эффект для потребителей жилого дома). Исходные данные для расчетов приведены в разделе 3.

Результаты сравнения рекомендуемого варианта сооружения собственного энергоэффективного теплоисточника (ТНУ) и традиционного решения (только от ТЭЦ), приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1: Результаты технико-экономического сравнения эффективности источников отопления и горячего водоснабжения жилого дома

Варианты	$Q^{год}$ , Гкал	Расход первичного топлива, т у.т./год	Эксплуатационные расходы, тыс. долл./год
Отопление и горячее водоснабжение от ТНУ (вариант 3)	593,6	50,1*	32,6***
Отопление и горячее водоснабжение от ТЭЦ	593,6	100,0**	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.4.1, 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 только от ТЭЦ. Однако, эксплуатационные расходы при теплоснабжении только от ТЭЦ при действующих соотношениях стоимости 1 МВтч и 1 Гкал, потребляемой населением, несколько ниже.

Приведенные значения не учитывают энергетическую и экономическую эффективность работы планируемого собственного источника электроснабжения – гелиоэлектростанции, размещаемой на крыше проектируемого дома. Из оценки баланса выработки электрической энергии гелиоэлектростанцией и потребляемой жилым домом следует, что технически реализуем вариант использования этой выработки не только на собственные нужды, включая оборудование ТНУ, но и передача избытков в энергосистему.

В таблицу 4.2 сведены результаты оценки комплексной эффективности применения собственных источников тепловой и электрической энергии – ТНУ и гелиоэлектростанцией для версии, когда произведенная электроэнергия потребляется только ТНУ (единый энергокомплекс), а избытки передаются в энергосистему по цене, равной обычному тарифу энергосистемы (худший сценарий).



По исходным данным (см. раздел 1) электрическая энергия, произведенная гелиоэлектростанцией в отопительный период года равная 35 МВтч, будет полностью использоваться непосредственно в структуре энергокомплекса. В остальное время года избытки электрической энергии равные 42,9 МВтч (70 МВтч – 27,1 МВтч) могут быть переданы в энергосистему. По худшему сценарию стоимость этого объема электрической энергии может составить не менее 4,2 тыс. долл./год.

При определении ежегодных расходов на эксплуатацию гелиоэлектростанции приняты значения отчислений от капитальных вложений на реновацию (полное восстановление основных фондов) и капитальный ремонт оборудования, учитывающие срок службы –  $r_{\text{рен.}} = 4\%$ ;  $r_{\text{кап. ремонт}} = 2\%$ . Значения  $I_{\text{тек. ремонт}}$  определены в процентах от амортизационных отчислений –  $r_{\text{тек. ремонт}} = 5\%$ . Расходы на обслуживание  $I_{\text{обслуж.}}$  приняты равными 1 тыс. долларов в год.

С использованием исходных данных об объемах производства электроэнергии гелиоэлектростанцией (105 МВтч) и капитальных вложениях на сооружение гелиоустановки (152,5 тыс. долл.) определены значения ежегодных расходов на производство электрической энергии равные:

$$.; I_a = 9,2 \text{ тыс. долл.}; I_{\text{тек.рем.}} = 0,5 \text{ тыс. долл.}; I_{\text{обслуж.}} = 0,5 \text{ тыс. долл.}$$

$$I_{\Sigma \text{ гелио}} = - 4,2 + 9,2 + 0,5 + 0,5 = 6,0 \text{ тыс. долл.}$$

Суммарный расход первичного топлива и энергоснабжение жилого дома от энергокомплекса (ТНУ + гелиоэлектростанция):

$$V_{\text{компл.}}^{\text{год}} = (W^{\text{год}} b_{\text{эз}} + Q^{\text{год}} b_{\text{тэ}}/1000) - W_{\text{гелио}} b_{\text{эз}} = 50,1 - 105 \times 0,2549 = 50,1 - 26,8 = 23,3 \text{ т.т.}$$

Суммарные ежегодные эксплуатационные расходы:

$$I_{\Sigma \text{ компл.}} = I_{\Sigma \text{ ТНУ}} - I_{\Sigma \text{ гелио}} = 32,6 - 6,0 = 26,6 \text{ тыс. долл.}$$

В таблице 4.2 приведены результаты технико-экономического сравнения эффективности сооружения собственных полуавтономных источников выработки тепловой и электрической энергии для сценария, когда в энергосистему передаются только избытки и по цене отпускаемой энергосистемой.

*Таблица 4.2: Результаты технико-экономического сравнения эффективности собственных источников энергоснабжения пилотного жилого дома*

Варианты	Расход первичного топлива, т.т./год	Эксплуатационные расходы, тыс. долл./год	
		Всего	в т.ч. ТЭЦ
<b>Традиционное решение.</b> Теплоснабжение от ТЭЦ (100%). Электроснабжение – от энергосистемы.	100,0	24,93	24,93
<b>Альтернативное решение (вариант 3).</b> Теплоснабжение (74,8%) от тепловых насосов, использующих теплоту грунта (сваи) и сточных вод городского коллектора d500 . Электроснабжение – от гелиоустановки и энергосистемы.	23,3	26,6	4,4

Из табл. 4.2 очевидна энергетическая эффективность сооружения собственного энергокомплекса на основе тепловых насосов и гелиоэлектростанции. Экономическая эффективность зависит от значений тарифов за электрическую энергию, потребляемую из энергосистемы, и тепловую энергию, потребляемую от ТЭЦ, а также цена за электрическую энергию, произведенную гелиоэлектростанцией и переданную в энергосистему.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### П.1 Техническое задание на проектирование теплонасосной установки для пилотного 10-ти этажного 120 квартирного жилого дома в г.Гродно (проект)

1. Заказчик	
2. Район и пункт строительства	г. Гродно
3. Вид строительства	Теплонасосная установка (ТНУ), интегрируемая в системы отопления и горячего водоснабжения пилотного жилого дома в г. Гродно
4. Источник финансирования	Проект ПРООН/ГЭФ №00077154
5. Организация-проектировщик	Республиканское унитарное предприятие «Институт жилища – НИПТИС им. Атаева С.С.»
6. Стадия	Строительный проект
7. Режим работы ТНУ	365 суток в году
8. Номенклатура и характеристика продукции	Тепловая энергия в виде горячей воды для отопления и горячего водоснабжения
9. Тепловая мощность ТНУ, в т.ч. тепловых насосов	Около 180 кВт около 140 кВт
10. Теплопроизводительность ТНУ, в т.ч. тепловыми насосами	Около 0,6 тыс. Гкал/год Около 0,5 тыс. Гкал/год
11. Численность работающих	Прошедший обучение дежурный персонал домоуправления.
12. Технологическая схема, размещение оборудования	<p>Схема ТНУ приведена на рис. 2.3.</p> <p>Все оборудование ТНУ, приведенное на рис. 2.3, исключая только теплообменники-утилизаторы теплоты сточных вод, разместить в подвале в специально отведенном помещении, которое максимально приближено к тепловому пункту жилого дома.</p> <p>Каскад из тепловых насосов установить с обеспечением зоны обслуживания. Для исключения передачи вибрации на здание и трубы при работе компрессоров предусмотреть установку тепловых насосов на антивибрационных ножках, а трубопроводы присоединять гибкими вставками.</p> <p>Погружные теплообменники-утилизаторы теплоты сточных вод городского канализационного коллектора присоединить к головным трубопроводам контура испарителей тепловых насосов через специальные коллекторные колодцы. Коллекторные колодцы разместить около канализационных колодцев городского коллектора.</p> <p>Головные трубопроводы низкопотенциальной теплоты проложить в траншеях.</p>

13. Механизация и автоматизация производственных процессов	<p>Учет электрической энергии, потребляемой оборудованием ТНУ.</p> <p>Учет тепловой энергии, потребляемой жилым домом и произведенной тепловыми насосами.</p> <p>Предусмотреть автоматическое управление режимом работы ТНУ с размещением блока текущей информации на панель главного щита домоуправления.</p>
14. Сметная стоимость строительства	Определить в строительном проекте
15. Сроки строительства	Начало - 2014 г. Окончание – 2015 г.
16. Данные об особых условиях строительства	Размещение оборудования и трубопроводов в стесненных условиях подвала жилого дома и монтаж погружного теплообменника-утилизатора теплоты сточных вод в канале действующего городского коллектора.
17. Строительно-монтажная организация	Определить в строительном проекте
18. Инженерное обеспечение ТНУ:	
18.1. Электроснабжение	От вводного щита 0,4 кВ жилого дома по двум питающим кабельным линиям. Сечение кабелей определить проектом. Шкафы 0,4 кВ разместить в помещении с тепловыми насосами.
18.2. Автоматизация	Автоматическое управление работой ТНУ с передачей текущей информации на панель главного щита домоуправления.
18.3. Отопление и вентиляция	Отопление и вентиляцию решить по нормативным требованиям безопасной эксплуатации.
18.4. Водоснабжение	Предусмотреть водоснабжение ТНУ из хозяйственно-питьевого водопровода. Расход воды определить проектом.
18.5. Водоотведение	В существующую сеть водоотведения жилого дома.
19. Проект-аналог	Проект-аналог отсутствует.
20. Требования к разработке мероприятий по охране окружающей среды	Отсутствуют

## П.2 Форма опросного листа, рекомендуемого для передачи потенциальным поставщикам тепловых насосов

№ п/п	Показатель	Ед. изм.	Значение	
			0/35 <sup>0</sup> С	7/45 <sup>0</sup> С
1	2	3	4	5
1	Наименование модели	-		
2	Показатели теплового насоса без учета работы циркуляционных насосов контуров испарителя и конденсатора: <ul style="list-style-type: none"> <li>• тепловая мощность</li> <li>• потребляемая электрическая мощность</li> <li>• коэффициент преобразования</li> </ul>	кВт		
		“ – “		
		-		
3	Показатели теплового насоса с учетом работы циркуляционных насосов контуров испарителя и конденсатора: <ul style="list-style-type: none"> <li>• тепловая мощность</li> <li>• потребляемая электрическая мощность</li> <li>• коэффициент преобразования</li> </ul>	кВт		
		“ – “		
		-		
4	Рабочий агент	-		
5	Максимальная температура теплоносителя на выходе из конденсатора	°С		
6	Максимальная температура теплоносителя на входе в конденсатор (в обратном трубопроводе)	“ – “		
7	Тип и количество циркуляционных насосов для контура испарителя, их класс энергопотребления	-		
8	Тип и количество циркуляционных насосов для контура конденсатора, их класс энергопотребления	-		
9	Наличие штатной каскадной автоматики	-		
10	Описание возможности дистанционного контроля и управления (возможности автоматики стандартной комплектации и дополнительно устанавливаемого оборудования)	-		
11	Алгоритм работы системы автоматики по поддержанию требуемой температуры теплоносителя в контуре отопления (описание процесса включения/выключения ступеней мощности по температуре и времени)	-		
12	Язык меню автоматики управления.	-		
13	Наличие системы плавного пуска компрессоров.	-		
14	Звуковое давление	дБа		
15	Описание технических решений, способствующих снижению уровня шума и вибрации, монтируемых вне корпуса теплового насоса.	-		
16	Компоновка теплового насоса: количество компрессоров, испарителей, конденсаторов, количество и расположение циркуляционных насосов (внутренняя/наружная установка)	-		
17	Габариты (ширина x глубина x высота)	мм		

1	2	3	
18	Размеры зоны обслуживания	мм	
19	Минимальные размеры проема для доставки оборудования к месту монтажа.	мм	
20	Вес	кг	
21	Источник данных, представленных в п.1-п.20	-	
22	Наличие действующих сертификатов (европейских, российских или белорусских) на предлагаемое оборудование.	-	
23	Наличие технической документации на русском языке.	-	
21	Страна и фирма-изготовитель	-	
22	Количество тепловых насосов аналогичного типа, установленных в Республике Беларусь (указать назначение, источник низкопотенциальной теплоты и способ отбора, год установки)	-	
23	Стоимость поставки, евро в т.ч. НДС	евро	
		“ _ “	
24	Стоимость монтажа и пусконаладочных работ	евро	
25	Условия поставки	-	
26	Гарантия	месяцы	