

ПРООН/ГЭФ
Проект №00077154

«Повышение энергетической эффективности жилых зданий
в Республике Беларусь»

Отчет

**Подготовка проектных предложений, технических условий,
технических заданий на проектирование, выбор параметров
и номенклатуры тепловых насосов, а также подготовка информации
о потенциальных производителях такого оборудования**

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

И.С.Жидович

Минск
ноябрь 2013

1 ЦЕЛЕВАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПИЛОТНЫХ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ МНОГОКВАРТИРНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ КАК ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ	3
1.1 Условия размещения и основные показатели энергоэффективного жилого дома в г. Гродно	3
1.2 Основные показатели энергоэффективных жилых домов в г. Минске	4
2 ТЕХНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВАРИАНТОВ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ ДЛЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПИЛОТНЫХ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ.....	6
2.1 Оценка параметров и технической возможности использования источников низкопотенциальной теплоты для дома в г. Гродно	6
2.2 Оценка параметров и технической возможности использования источников низкопотенциальной теплоты для домов в г. Минске	9
3 НОМЕНКЛАТУРА И ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ, ВОЗМОЖНЫХ К ПРИМЕНЕНИЮ ДЛЯ ОТОПЛЕНИЯ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПИЛОТНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ.....	11
4 ВЫБОР ВАРИАНТОВ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ ДЛЯ ОТОПЛЕНИЯ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПИЛОТНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ.....	14
5 ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ ДЛЯ ОТОПЛЕНИЯ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ В ПРОЕКТАХ ПИЛОТНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ.....	21
5.1 Схемные решения и расчетные параметры ТНУ.....	21
5.2 Режимы работы ТНУ	20
5.3 Размещение основного оборудования	21
6 ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕПЛОНАСОСНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ПИЛОТНОГО 10-ТИ ЭТАЖНОГО 120 КВАРТИРНОГО ЖИЛОГО ДОМА В Г. ГРОДНО (ПРОЕКТ).....	22
7 ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕПЛОНАСОСНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ПИЛОТНОГО 19-ТИ ЭТАЖНОГО 132 КВАРТИРНОГО ЖИЛОГО ДОМА В Г. МИНСКЕ (ПРОЕКТ).....	25
ПРИЛОЖЕНИЕ	27
Исходные условия.....	28
Принципиальные решения по утилизации теплоты сточных вод	30

1 Целевая характеристика пилотных энергоэффективных многоквартирных жилых домов как потребителей тепловой энергии

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/дм³; углекислота агрессивная (СО₂) - 0-1,9 мг/дм³; NH₄⁺ - 0,1 мг/дм³; HCO₃ - 170,8-512,4 мг/дм³; Cl⁻=16,2-181,4 мг/дм³.

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 м³/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 27⁰С.

Общие данные. Количество квартир – 120., число подъездов – 3, этажность – 10 этажей, общая площадь – 10380 м², 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. Максимальный¹ суточный объем потребления воды на хозяйственно-бытовые нужды жилого дома составляет 99,0 м³, в т.ч. горячей воды – 39,6 м³/сутки. Расчетный² объем (в средние сутки) – 83,2 м³/сутки, в т.ч. горячей воды – 33,7 м³/сутки. Средний за сутки объем отведения сточных вод принят равным водопотреблению и составляет 83,2 м³/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 2x1000кВА, 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 10⁰С 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 теплотребления 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 55⁰С 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.

1.2 Основные показатели энергоэффективных жилых домов в г. Минске

Первый энергоэффективный жилой дом планируется к строительству в застраиваемом микрорайоне жилого района «Люшица».

Общие данные. Количество квартир – 132, число подъездов – 1, этажность – 19 этажей, общая площадь (предварительно) – 11200,0 м², число жителей при коэффициенте семейности 3,3 – 436 человек.

Водоснабжение и водоотведение. Максимальный суточный объем

¹ при норме потребления на 1 жителя равной 250 л/сутки, в т.ч. горячей воды с температурой 55⁰С – 100 л/сутки;

² при норме потребления на 1 жителя равной 210 л/сутки, в т.ч. горячей воды с температурой 55⁰С – 85 л/сутки

потребления воды на хозяйственно-бытовые нужды жилого дома может составить $109,0 \text{ м}^3$, в т.ч. горячей воды – $43,6 \text{ м}^3/\text{сутки}$. Расчетный объем (в средние сутки) – $91,6 \text{ м}^3/\text{сутки}$, в т.ч. горячей воды – $37,1 \text{ м}^3/\text{сутки}$.

Средний за сутки объем отведения сточных вод принят равным водопотреблению и составляет $91,6 \text{ м}^3/\text{сутки}$.

Электроснабжение. Потребляемая мощность электроприемников проектируемого жилого дома с электрическими плитами может составить 290 кВт. Покрытие электрической нагрузки планируется от проектируемой подстанции 10/0,4 кВ (ТП) с трансформаторами, мощность которых рассчитана на присоединение других жилых домов.

Теплоснабжение. По предварительным расчетам расчетная нагрузка отопления энергоэффективного жилого дома может составить 180 кВт. Средняя часовая за сутки нагрузка горячего водоснабжения, определенная из расчета 85 литров горячей воды с температурой 55°C на 1 жителя в сутки, равна 89,7 кВт. Суммарную тепловую нагрузку жилого дома в расчетных условиях можно принять равной 269,7 кВт.

Второй энергоэффективный жилой дом планируется к строительству в жилом районе «Сухарево».

Общие данные. Количество квартир – 72, число подъездов – 2, этажность – 9 этажей, общая площадь – $5900,0 \text{ м}^2$, число жителей при коэффициенте семейности 3,3 – 238 человек.

Водоснабжение и водоотведение. Максимальный суточный объем потребления воды на хозяйственно-бытовые нужды жилого дома может составить $59,5 \text{ м}^3$, в т.ч. горячей воды – $23,8 \text{ м}^3/\text{сутки}$. Расчетный объем (в средние сутки) – $50,0 \text{ м}^3/\text{сутки}$, в т.ч. горячей воды – $20,2 \text{ м}^3/\text{сутки}$.

Средний за сутки объем отведения сточных вод принят равным водопотреблению и составляет $50,0 \text{ м}^3/\text{сутки}$.

Электроснабжение. Потребляемая мощность электроприемников проектируемого жилого дома с газовыми плитами может составить 55 кВт. Покрытие электрической нагрузки планируется от проектируемой подстанции 10/0,4 кВ (ТП) с трансформаторами, мощность которых рассчитана на присоединение других жилых домов.

Теплоснабжение. По предварительным расчетам расчетная нагрузка отопления энергоэффективного жилого дома может составить 95,8 кВт. Средняя часовая за сутки нагрузка горячего водоснабжения, определенная из расчета 85 литров горячей воды с температурой 55°C на 1 жителя в сутки, равна 48,9 кВт. Суммарную тепловую нагрузку жилого дома в расчетных условиях можно принять равной 144,7 кВт.

2 Техническая оценка альтернативных вариантов применения тепловых насосов для теплоснабжения пилотных энергоэффективных жилых домов

2.1 Оценка параметров и технической возможности использования источников низкопотенциальной теплоты для дома в г. Гродно

Применительно к условиям расположения энергоэффективного жилого дома в г. Гродно в качестве местных источников низкопотенциальной теплоты могут рассматриваться грунтовые воды, грунт, наружный воздух и сточные воды.

Грунтовые 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. По данным химического анализа воды с глубины 2,4 м на этих горизонтах обладают следующими свойствами: рН=6,86; жесткость общая и карбонатная – 8,6 мг-экв/дм³; углекислота свободная (СО₂) – 100,32 мг/дм³; углекислота агрессивная (СО₂) – 0 мг/дм³; NH₄⁺ – 0,1 мг/дм³; HCO₃ – 512,4 мг/дм³; Cl⁻ = 16,2 мг/дм³.

На основании опыта проектирования для оценочных расчетов теплового потенциала грунтовых вод принимаем их температуру на устье 20 м скважин: в отопительный период при температуре воздуха выше 0⁰С – 8,0⁰С; в отопительный период при температуре воздуха от 0⁰С до минус 22,0⁰С и весной – 5,0⁰С; в летний период и осенью – 12,0⁰С. В расчетных условиях вода охлаждается в теплообменниках контура испарителей тепловых насосов на 3,5⁰С.

Если принять, что тепловая нагрузка здания (240,6 кВт) покрывается только от тепловых насосов, то максимальный объем забора подземной воды должен составить около 48,7 м³/час для выработки 240,6 кВт (отопление и горячее водоснабжение) и около 15,8 м³/час для выработки 81,5 кВт (только горячее водоснабжение).

Представленные данные являются оценочными и подлежат уточнению по результатам целевых инженерно-геологических исследований.

Грунт. Грунт верхних слоев земли представляет собой аккумулятор, аккумулирующий энергию Солнца. Эффективность использования теплоты грунта для теплоснабжения определяется, главным образом, температурным режимом грунта в годовом цикле и зависит от его состава, влажности, температуры наружного воздуха и др. Характерно, что колебания температуры воздуха верхних слоев грунта (до 5м) запаздывают во времени относительно колебаний температуры наружного воздуха.

В условиях дефицита свободной от застройки территории применение горизонтальных теплообменников имеет ограничения, поэтому отбор теплоты от

грунта возможен только с применением вертикальных теплообменников (зондов). Для оценочных расчетов принимаем среднее значение удельного теплового потока на 1 метр длины зонда в скважине равным 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 отопления и горячего водоснабжения здания, то количество скважин глубиной 50 м с двойными U-образными трубками должно быть не менее 32 шт., если только горячего водоснабжения – не менее 11 шт.

При применении зондов конструктивно залитых в сваях фундамента здания для покрытия нагрузки отопления и горячего водоснабжения должно быть не менее 103 теплогенерирующих свай длиной 13 м, только горячего водоснабжения – 16 свай. Шаг между сваями – 6 м.

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

Наружный воздух. Воздух является самым распространенным и доступным 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 следующие:

- i. Средняя температура воздуха наиболее холодной пятидневки - минус 22°C .
- ii. Среднее число дней с минимальной температурой воздуха равной и ниже 25°C - 2 дня.
- iii. Средняя температура наиболее холодных суток - минус 26°C .
- iv. Средняя температура периода со средней суточной температурой воздуха $< 8^{\circ}\text{C}$ - минус $0,5^{\circ}\text{C}$.
- v. Средняя месячная температура воздуха самого холодного месяца (январь) - минус $5,1^{\circ}\text{C}$.
- vi. Средняя суточная амплитуда температуры воздуха (разность между суточным максимумом и минимумом температуры):
 - в отопительный период (ноябрь-апрель) – от $4,5$ до $9,4^{\circ}\text{C}$;
 - в самый холодный месяц (январь) – около $6,3^{\circ}\text{C}$.
- vii. Число дней с оттепелью за декабрь-февраль - 44 дня.
- viii. Продолжительность отопительного периода со средней суточной температурой воздуха:
 - $< 8^{\circ}\text{C}$ 4656 часов,
 - $< 0^{\circ}\text{C}$ 2712 часов,
 - $< -5^{\circ}\text{C}$ 864 часов,
 - $< -10^{\circ}\text{C}$ 326 часов,
 - $< -15^{\circ}\text{C}$ 88 часов.
- ix. Средняя месячная относительная влажность за отопительный период - 85%.

х. Продолжительность солнечного сияния:

- в отопительный период (ноябрь-март) - 309 часов;
- в самый холодный месяц (январь) - 43 часа.

Из данных пункта viii видно, что продолжительность стояния температуры наружного воздуха ниже минус 15°C составляет 88 часов или около 1,9% от продолжительности отопительного периода, а ниже минус 10°C – 326 часов (7,0%).

Расчеты также показывают, что на периоды с температурой выше минус 10°C приходится около 92% всего теплотребления на отопление, а с температурой выше минус 15°C – около 97%, т.е. резко выраженный пиковый характер отопительной нагрузки.

Поэтому, применительно к условиям г. Гродно, эффективно использование теплоты наружного воздуха при температурах выше минус 10°C при бивалентном режиме работы тепловых насосов.

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°C до 35°C . Средняя за сутки температура³ в отопительный период года составляет около $23,0^{\circ}\text{C}$.

Применительно к условиям расположения пилотного жилого дома можно рассматривать возможность использования 3-х разных объемов и состава сточных вод.

Сточные воды только пилотного жилого дома

Располагаемый тепловой потенциал сточных вод объемом $83,2 \text{ м}^3/\text{сутки}$ в отопительный период равен $72,6 \text{ кВт}$.

Объем сточных вод (без туалетов) оценивается в $66,6 \text{ м}^3/\text{сутки}$, а располагаемый тепловой потенциал – $64,5 \text{ кВт}$.

Сточные воды от пилотного дома и рядом расположенного 69-ти квартирного жилого дома

Располагаемый тепловой потенциал бытовых сточных вод от двух этих домов объемом $156 \text{ м}^3/\text{сутки}$ составит около $125,0 \text{ кВт}$. При его использовании тепловыми насосами может быть выработано и передано в систему теплотребления пилотного жилого дома около 170 кВт .

³ при расчетной температуре водопроводной воды равной 5°C и температуре горячей воды равной 55°C

Производственные и бытовые сточные воды, отводимые по районному канализационному коллектору $d=500$

Располагаемый тепловой потенциал городских сточных вод, отводимых по районному канализационному коллектору $d=500$, составляет более 3000 кВт, что значительно превышает потребности в тепловой энергии пилотного жилого дома.

В целом, 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, наружного воздуха, бытовых и городских сточных вод.

2.2 Оценка параметров и технической возможности использования источников низкопотенциальной теплоты для домов в г. Минске

Планируемые к строительству в г. Минске два пилотных дома располагаются в новых застраиваемых жилых районах на территории, обеспеченной всеми видами централизованных систем инженерного оборудования. Предварительный анализ условий размещения этих домов позволяет сделать вывод о технической возможности использования грунта и сточных вод в качестве источников низкопотенциальной теплоты.

Грунт. В условиях дефицита свободной от застройки территории отбор теплоты от грунта возможен только с применением вертикальных теплообменников (зондов). Для оценочных расчетов принимаем среднее значение удельного теплового потока на 1 метр длины зонда в скважине равным 45 Вт. 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 при применении зондов планируется покрывать нагрузку отопления и горячего водоснабжения, то количество скважин глубиной 50 м с двойными U-образными трубками должно быть:

- для 132 квартирного жилого дома – не менее 40 скважин;
- для 72 квартирного жилого дома – не менее 13 скважин.

Если от тепловых насосов планируется покрывать только нагрузку горячего водоснабжения, то количество скважин глубиной 50 м с двойными U-образными трубками должно быть:

- для 132 квартирного жилого дома – не менее 22 скважин;
- для 72 квартирного жилого дома – не менее 8 скважин.

Количество тепловых свай длиной 13 м для покрытия нагрузки отопления и горячего водоснабжения должно быть:

- для 132 квартирного жилого дома – не менее 154 свай;
- для 72 квартирного жилого дома – не менее 52 свай.

Если с применением тепловых свай длиной 13 м планируется покрывать только нагрузку горячего водоснабжения, то их количество с шагом 6 м должно быть:

- для 132 квартирного жилого дома – не менее 83 свай;

– для 72 квартирного жилого дома – не менее 28 свай.

Расстояние между тепловыми сваями должно быть не менее 6 м.

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

Сточные воды. Тепловой потенциал бытовых сточных вод пилотных жилых домов г.Минске, зависит от тех же факторов и так же рассчитывается, как и для дома в г. Гродно:

– для 132 квартирного жилого дома в отопительный период - 80,0 кВт (71 кВт);

– для 72 квартирного – 45кВт (38 кВт).

Сравнительный анализ расчетных значений теплового потенциала грунта и бытовых сточных вод и тепловой нагрузки планируемых к строительству жилых домов в г. Минске, позволяет сделать вывод о целесообразности рассмотрения вариантов использования теплоты грунта или одновременно теплоты грунта и сточных вод для отопления и горячего водоснабжения жилых домов, а теплоты сточных вод – только горячего водоснабжения.

3 Номенклатура и основные технические характеристики тепловых насосов, возможных к применению для отопления и горячего водоснабжения пилотных жилых домов

В настоящее время тепловые насосы достаточно широко представлены на белорусском рынке. Это продукция зарубежных фирм из Австрии (OCHSNER), Германии (GEA, VIESSMANN, DANFOSS), Италии (TERMOCOLD, CLIVET), Молдавии (ALTAL), Польши (GEJZER), США (CARRIER), Швеции (IVT, NIBE, OSTOPUS), Японии (DAIKIN, MITSUBISHI) и др. Среди отечественных производителей известны только тепловые насосы фирмы «ГЕОТЕРМАТЕКС».

Они различаются по виду используемой низкопотенциальной теплоты, значениям рабочих температур теплоносителей, тепловой мощности, комплектации и габаритным размерам, стоимостью, условиям поставки и гарантиям производителей и др.

В республике более других апробированы тепловые насосы типа «гликоль-вода», «вода-вода» и «воздух-вода», производимые фирмами CARRIER (США), GEA (Германия), NIBE (Швеция), OCHSNER (Австрия), TERMOCOLD (Италия). Указанные фирмы имеют своих представителей или дилеров, обеспечивающих сервисное обслуживание установленных тепловых насосов.

Применительно для отопления и горячего водоснабжения многоэтажных жилых домов предпочтительно применение компактных тепловых насосов, которые не требуют больших помещений для размещения и имеют низкие шумовые характеристики. Это агрегатированные тепловые насосы со спиральными или винтовыми компрессорами типа «гликоль-вода», «вода-вода» и «воздух-вода» теплопроизводительностью до 100 кВт. Максимальная рабочая температура на выходе конденсаторов 65⁰С. Рабочие агенты R410A, R407C, R134a и R 717 (CO₂).

В таблицах 3.1 и 3.2 приведены известные технические характеристики тепловых насосов белорусской фирмы ГЕОТЕРМАТЕКС и фирмы NIBE (Швеция), возможные к применению для отопления и горячего водоснабжения пилотных жилых домов.

Технические характеристики тепловых насосов фирм OCHSNER, GEA, VIESSMANN, DANFOSS, TERMOCOLD, CLIVET, ALTAL, GEJZER, NIBE, OSTOPUS, MITSUBISHI будут представлены в рамках последующих этапов работы.

Таблица 3.1: Технические характеристики тепловых насосов фирмы ГЕОТЕРМАТЕКС

Показатели	Модели тепловых насосов		
	ТН-30	ТН-36	ТН-48
Теплопроизводительность (при параметрах 0/50 ⁰ С), кВт	29,4	36,2	47,1
Количество теплоты НПИТ, кВт	20,9	24,9	33,5
Мощность спиральных компрессоров, кВт	10,0	13,3	16,0
Рабочий ток, А	19,0	24,0	29,0
Коэффициент трансформации теплоты, кВт	2,94	2,72	2,94
Количество хладагента, кг	8,5 (R407C)	9,5 (R407C)	12,0 (R407C)
G _{исп} , м ³ /час	4,5	6,0	7,2
ΔP _{испар} , кПа	6,0	6,0	6,0
G _{конд} , м ³ /час	5,2	6,2	8,3
ΔP _{конденс} , кПа	6,0	6,0	6,0
Габариты (ширина x глубина x высота), м	0,6 x 0,625 x 1,625	0,6 x 0,625 x 1,625	0,6 x 0,625 x 1,625
Вес, кг	338	356	350

Таблица 3.2: Технические характеристики тепловых насосов FIGHTER 1345 фирмы NIBE

Показатели	t _{конд} , °C	Температура теплоносителя на входе в испарители, °C								
		0	5	10	0	5	10	0	5	10
		Модель 30 кВт			Модель 40 кВт			Модель 60 кВт		
Теплопроизводительность, кВт	35	31,30	35,98	40,83	39,96	45,93	52,09	57,82	65,53	74,16
	45	30,72	35,33	40,21	39,1	44,83	51,2	55,83	63,6	71,84
	55	29,88	34,38	39,17	37,86	43,29	49,47	54,01	61,29	69,01
	65	28,75	33,14	37,7	36,24	41,3	46,91	52,39	58,62	65,67
Количество теплоты источника, кВт	35	24,63	29,3	34,14	31,78	37,66	43,72	45,10	52,66	61,12
	45	22,62	27,1	31,94	29,28	34,72	40,78	40,64	48,02	55,99
	55	20,13	24,41	29,08	26,25	31,26	37,00	36,13	42,85	50,12
	65	17,15	21,22	25,57	22,69	27,27	32,37	31,57	37,14	43,53
Мощность спиральных компрессоров, кВт	35	6,67	6,68	6,69	8,17	8,27	8,37	12,72	12,88	13,04
	45	8,09	8,23	8,28	9,82	10,11	10,41	15,18	15,57	15,86
	55	9,75	9,97	10,09	11,61	12,03	12,47	17,88	18,44	18,89
	65	11,64	11,92	12,12	13,55	14,03	14,54	20,82	21,48	22,14
Коэффициент трансформации теплоты, кВт	35	4,69	5,39	6,11	4,89	5,55	6,22	4,55	5,09	5,69
	45	3,8	4,29	4,86	3,98	4,43	4,92	3,68	4,08	4,53
	55	3,06	3,45	3,88	3,26	3,6	3,97	3,02	3,32	3,65
	65	2,47	2,78	3,11	2,67	2,94	3,23	2,52	2,73	2,97
Ток (плавный пуск), А		30			30			59		
Ток без устройств плавного пуска, А		-			-			90		
Кол-во хладагента, кг		2x2,3 (R407C)			2x2,5 (R407C)			2x2,4 (R410A)		
G _{исп} , м ³ /час		4,25			6,88			10,0		
ΔP _{испар} , кПа		15,0			17			42		
G _{конд} , м ³ /час		2,59			3,24			4,68		
ΔP _{конденс} , кПа		2,8			4,3			6,5		
Звуковое давление, дВ(А)										
Габариты (ширина x глубина x высота), м		0,6 x 0,625 x 1,625			0,6 x 0,625 x 1,625			0,6 x 0,625 x 1,625		
Вес, кг		338			356			350		

4 Выбор вариантов применения тепловых насосов для отопления и горячего водоснабжения пилотных жилых домов

Учитывая расположение пилотных жилых домов в г. Гродно и г. Минске в зоне ТЭЦ и требования к обеспечению повышенной надежности их теплоснабжения и основываясь на отечественном опыте и данных разделов 1 и 2 выше, предлагаются варианты применения тепловых насосов, отличающиеся видом присоединенной тепловой нагрузки и используемыми источниками низкопотенциальной теплоты. Покрытие нерасчетных пиков отопительной нагрузки и горячего водоснабжения предусматривается по тепловым сетям централизованного теплоснабжения на основе ТЭЦ.

Вариант 1. Тепловые насосы, рассчитанные на круглогодичное покрытие нагрузки отопления и горячего водоснабжения:

- а) при использовании теплоты грунта;
- б) при использовании теплоты сточных вод;
- в) при использовании теплоты грунта и сточных вод.

Вариант 2. Тепловые насосы, рассчитанные на покрытие нагрузки отопления в периоды с температурой наружного воздуха минус 10°C и выше и на горячее водоснабжение - круглогодично:

- а) при использовании теплоты грунта;
- б) при использовании теплоты сточных вод;
- в) при использовании теплоты грунта и сточных вод.

Вариант 3. Тепловые насосы, рассчитанные на покрытие нагрузки отопления:

- а) при использовании теплоты грунта;
- б) при использовании теплоты сточных вод;
- в) при использовании теплоты грунта и сточных вод.

Вариант 4. Тепловые насосы, рассчитанные на покрытие нагрузки отопления в периоды с температурой наружного воздуха минус 10°C и выше:

- а) при использовании теплоты грунта;
- б) при использовании теплоты сточных вод;
- в) при использовании теплоты грунта и сточных вод.

Вариант 5. Тепловые насосы, рассчитанные на круглогодичное покрытие нагрузки горячего водоснабжения:

- а) при использовании теплоты грунта;
- б) при использовании теплоты сточных вод;
- в) при использовании теплоты грунта и сточных вод;
- г) при использовании теплоты наружного воздуха.

В таблицу 4.1 сведены данные о тепловых нагрузках отопления и горячего водоснабжения пилотных домов, планируемых к покрытию от тепловых насосов для рассматриваемых вариантов их применения.

Таблица 4.1: Тепловые нагрузки, планируемые к покрытию от тепловых насосов

№ вариантов	Гродно (120 квартир)			Минск (132 квартиры)			Минск (72 квартиры)		
	Q _{от}	Q _{гв}	Q _Σ	Q _{от}	Q _{гв}	Q _Σ	Q _{от}	Q _{гв}	Q _Σ
Вариант 1. Круглогодичное покрытие нагрузки отопления и горячего водоснабжения	159,1	81,5	240,6	180	89,7	269,7	95,8	48,9	144,7
Вариант 2. Покрытие нагрузки отопления в периоды с температурой наружного воздуха минус 10 ⁰ С и выше и горячего водоснабжения - круглогодично	111,4	81,5	192,9	120	89,7	209,7	63,9	48,9	112,8
Вариант 3. Тепловые насосы, рассчитанные на покрытие 100% нагрузки отопления	159,1	-	159,1	180	-	180	95,8	-	95,8
Вариант 4. Покрытие нагрузки отопления в периоды с температурой наружного воздуха минус 10 ⁰ С и выше	111,4	-	111,4	120	-	120	63,9	-	63,9
Вариант 5. Круглогодичное покрытие нагрузки горячего водоснабжения	-	81,5	81,5	-	89,7	89,7	-	48,9	48,9

Вид, расчетная величина тепловой нагрузки определяют, с учетом режимов теплотребления, необходимые для работы тепловых насосов объемы низкопотенциальной теплоты. Для оценочных расчетов этих объемов принимаем значения расчетных коэффициентов трансформации низкопотенциальной теплоты в теплоту потребительских параметров, называемых далее коэффициентами преобразования тепловых насосов (COP), равными:

- при использовании теплоты грунта – 3,0;
- при использовании теплоты бытовых сточных вод – 3,3;
- при использовании теплоты городских сточных вод – 4,0;
- при использовании теплоты грунта и сточных вод – 3,1.

Принятые значения расчетных коэффициентами преобразования COP_p учитывают величины расчетных температур теплоносителей на входе в испарители и выходе из конденсаторов тепловых насосов в расчетных условиях отопления и горячего водоснабжения.

Показателем, определяющим энергетическую эффективность рассматриваемых вариантов, является среднеотопительный $COP_{cp.om.}$ при покрытии тепловыми насосами только отопительной нагрузки, и среднегодовой $COP_{cp.god}$ - при покрытии отопительной нагрузки и горячего водоснабжения.

В таблицу 4.2 сведены результаты расчетов необходимых объемов низкопотенциальной теплоты в рассматриваемых вариантах применения тепловых насосов. Для жилого дома в г. Гродно рассматриваются варианты использования теплоты сточных вод от проектируемого жилого дома, проектируемого и соседнего существующего энергосберегающего дома, а также теплоты сточных вод городского коллектора. При этом учитывается, что все пилотные жилые дома в г. Гродно и г. Минске для надежности теплоснабжения будут присоединены к городским тепловым сетям от ТЭЦ.

Экспертная оценка данных табл. 4.2 показывают, что по доступности и располагаемым объемам низкопотенциальной теплоты на первой стадии целесообразно из рассмотрения исключить технически нереализуемые варианты из-за отсутствия достаточных объемов низкопотенциальной теплоты и варианты, имеющие в сравнении с другими очевидную более низкую энергетическую эффективность.

В таблице 4.3 приведены значения, рассчитанные для альтернативных вариантов применения тепловых насосов.

Как видно из табл. 4.3 более высокие COP , а соответственно и меньшие затраты электрической энергии на выработку тепловой энергии, имеют варианты с использованием теплоты грунта и сточных вод.

Для жилого дома в г. Гродно во всех вариантах применения тепловых насосов энергетически эффективно использование теплоты сточных вод городского коллектора или одновременно теплоты грунта и сточных вод пилотного дома. Для жилых домов в г. Минске во всех вариантах применения тепловых насосов энергетически эффективно использование одновременно теплоты грунта и сточных вод. Представляет практический интерес применения для горячего водоснабжения пилотных жилых домов тепловых насосов, использующих теплоту наружного воздуха с температурой минус $10^{\circ}C$ и выше. В этом варианте их значение COP для данного периода года практически одинаков, как и для варианта с использованием теплоты грунта.

Естественно, что все варианты отличаются значениями расчетных тепловых нагрузок потребителей (см. табл. 4.1) и, соответственно, теплопроизводительностью тепловых насосов. Принимаемые типы, технические характеристики и режимы работы тепловых насосов определяют в целом структуру источников теплоснабжения жилых домов.

Для примера, с учетом данных табл. 3.2, в таблице 4.4 приведены варианты структур источников отопления и горячего водоснабжения пилотных домов и участие тепловых насосов в покрытии их тепловых нагрузок.

Таблица 4.2: Объемы низкопотенциальной теплоты, отбираемые тепловыми насосами

Варианты	Расчетная тепловая нагрузка (см. табл. 3.1), кВт	Требуемый потенциал (оценка), кВт	Количество теплоты, отбираемой от источника в расчетных условиях (оценка), кВт				
			Грунт	Сточные воды			Наружный воздух
				пилотный дом	два жилых дома	городской коллектор	
г. Гродно (120 квартир)							
Вариант 1 а	240,6 (Q_{Σ})	160	160	-	-	-	-
Вариант 1 б	-“-	168	-	-	-	160	-
Вариант 1 в	-“-	163	98,5	64,5	-	-	-
Вариант 2 а	192,9 (Q_{Σ}^{-10})	129	129	-	-	-	-
Вариант 2 б	-“-	134	-	-	-	134	-
Вариант 2 в	-“-	131	66,5	64,5	-	-	-
Вариант 3 а	151,9 (Q_{OT})	101	101	-	-	-	-
Вариант 3 б	-“-	106	-	-	106	-	-
Вариант 3 в	-“-	109	44,5	64,5	-	-	-
Вариант 4 а	106,1 (Q_{OT}^{-10})	71	71	-	-	-	-
Вариант 4 б	-“-	74	-	-	74	-	-
Вариант 4 в	-“-	72	7,5	64,5			-
Вариант 5 а	111,4 ($Q_{ГВ}$)	74	74	-	-	-	-
Вариант 5 б	-“-	78	-	-	74	-	-
Вариант 5 в	-“-	75	10,5	64,5	-	-	-
Вариант 5 г	-“-	75	-	-	-	-	75
г. Минск (132 квартиры)							
Вариант 1 а	269,7 (Q_{Σ})	180	180	-	-	-	-
Вариант 1 б	-“-	187	-	-	-	-	-
Вариант 1 в	-“-	183					
Вариант 2 а	209,7 (Q_{Σ}^{-10})	140	140	-	-	-	-
Вариант 2 б	-“-	146	-	-	-		
Вариант 2 в	-“-	142	71	71	-	-	-
Вариант 3 а	180 (Q_{OT})	120	120	-	-	-	-
Вариант 3 б	-“-	125	-	-	-	-	-
Вариант 3 в	-“-	122	51	71	-	-	-
Вариант 4 а	120 (Q_{OT}^{-10})	80	80	-	-	-	-

Варианты	Расчетная тепловая нагрузка (см. табл. 3.1), кВт	Требуемый потенциал (оценка), кВт	Количество теплоты, отбираемой от источника в расчетных условиях (оценка), кВт				
			Грунт	Сточные воды			Наружный воздух
				пилотный дом	два жилых дома	городской коллектор	
Вариант 4 б	-“-	84	-	-	+	-	-
Вариант 4 в	-“-	81	10	71	-	-	-
Вариант 5 а	89,7 ($Q_{ГВ}$)	60	60	-	-	-	-
Вариант 5 б	-“-	63	-	63	-	-	-
Вариант 5 в	-“-	61	-	61	-	-	-
Вариант 5 г	-“-	60	-	-	-	-	60
г. Минск (72 квартиры)							
Вариант 1 а	144,7 (Q_{Σ})	96	96	-	-	-	-
Вариант 1 б	-“-	101	-	-	-	-	-
Вариант 1 в	-“-	98	59,2	38,8	-	-	-
Вариант 2 а	112,8 (Q_{Σ}^{-10})	75	75	-	-	-	-
Вариант 2 б	-“-	79	-	-	-	-	-
Вариант 2 в	-“-	76	37,2	38,8	-	-	-
Вариант 3 а	95,8 (Q_{OT})	66	66	-	-	-	-
Вариант 3 б	-“-	67	-	-	-	-	-
Вариант 3 в	-“-	65	26,2	38,8	-	-	-
Вариант 4 а	63,9 (Q_{OT}^{-10})	43	43	-	-	-	-
Вариант 4 б	-“-	45	-	-	-	-	-
Вариант 4 в	-“-	43	4,2	38,8	-	-	-
Вариант 5 а	48,9 ($Q_{ГВ}$)	33	33	-	-	-	-
Вариант 5 б	-“-	34	-	34	-	-	-
Вариант 5 в	-“-	33	-	-	-	-	-
Вариант 5 г	-“-	32	-	-	-	-	32

Таблица 4.3: Расчетные значения средних за рассматриваемые периоды COP для альтернативных вариантов применения тепловых насосов

Наименование вариантов	Города	Грунт		Сточные воды		Грунт + сточные воды		Наружный воздух
		65 ⁰ С*	55 ⁰ С	65 ⁰ С	55 ⁰ С	65 ⁰ С	55 ⁰ С	55 ⁰ С
Вариант 1. Круглогодичное покрытие нагрузки отопления и горячего водоснабжения	Гродно	3,0	3,4	3,6	4,2	3,2	3,7	-
	Минск			-	-	3,1	3,3	-
Вариант 2. Покрытие нагрузки отопления в периоды с температурой наружного воздуха минус 10 ⁰ С и выше и горячего водоснабжения - круглогодично	Гродно	2,8	3,2	3,4	3,9	3,0	3,6	-
	Минск			-	-	2,9	3,1	-
Вариант 3. Тепловые насосы, рассчитанные на покрытие 100% нагрузки отопления	Гродно	3,9	4,1	4,9	5,2	4,2	4,5	-
	Минск			-	-	4,0	4,2	-
Вариант 4. Покрытие нагрузки отопления в периоды с температурой наружного воздуха минус 10 ⁰ С и выше	Гродно	3,3	3,5	4,1	4,3	3,6	3,9	-
	Минск			-	-	3,4	3,6	-
Вариант 5. Круглогодичное покрытие нагрузки горячего водоснабжения	Гродно	2,5	3,0	3,0	3,7	3,1	3,8	3,1**
	Минск			2,6	3,0	2,9	3,2	3,0**

* температура теплоносителя на выходе конденсаторов тепловых насосов;

** тепловые насосы работают в периоды от минус 10⁰С и выше.

Таблица 4.4: Структура источников покрытия тепловых нагрузок пилотных жилых домов

Наименование вариантов	Город	Расчетная тепловая нагрузка, кВт	Тепловые насосы		Сеть ЦТ, кВт / % покрытия тепловой нагрузки
			Нагрузка, кВт / % покрытия	шт. X кВт производительности	
Вариант 1. Круглогодичное покрытие нагрузки отопления и горячего водоснабжения	Гродно	240,6	240,6/100	4x60	-
	Минск (132 кв.)	269,7	269,7/100	5x60	-
	Минск (72 кв.)	144,7	144,7/100	3x60	-
Вариант 2. Покрытие нагрузки отопления в периоды с температурой наружного воздуха минус 10 ⁰ С и выше и горячего водоснабжения - круглогодично	Гродно	240,6	192,9/80,3	4x40	47,4/19,7
	Минск (132 кв.)	269,7	209,7/77,8	4x60	60/22,2
	Минск (72 кв.)	144,7	112,8/78,0	3x40	31,9/22,0
Вариант 3. Тепловые насосы, рассчитанные на покрытие 100% нагрузки отопления	Гродно	240,6	159,1/66,1	3x40	81,5/33,9
	Минск (132 кв.)	269,7	180/66,7	4x40	89,7/33,3
	Минск (72 кв.)	144,7	95,8/66,2	3x40	48,9/33,8
Вариант 4. Покрытие нагрузки отопления в периоды с температурой наружного воздуха минус 10 ⁰ С и выше	Гродно	240,6	111,4/46,3	3x30	129,2/53,7
	Минск (132 кв.)	269,7	120/44,5	4x30	149,7/55,5
	Минск (72 кв.)	144,7	63,9/44,2	2x30	80,9/55,8
Вариант 5. Круглогодичное покрытие нагрузки горячего водоснабжения	Гродно	240,6	81,5/34,1	2x40	158,5/65,9
	Минск (132 кв.)	269,7	89,7/33,3	2x40	180/66,7

Представленные в разделе 4 расчеты и выводы подлежат уточнению на стадии проектирования при конкретизации условий размещения пилотных домов, их расчетных тепловых нагрузок и др. Тем не менее, они дают основание рекомендовать применение в проектах пилотных домов тепловых насосов, использующих в г. Гродно теплоту сточных вод, а в г. Минске – теплоту грунта и сточных вод одновременно, а также теплоту наружного воздуха для горячего водоснабжения с установкой тепловых насосов на крыше 72-х квартирного жилого дома в г. Минске (экспериментальная система).

Техническое обоснование принципиальных технических решений по утилизации теплоты сточных вод для отопления и горячего водоснабжения проектируемого 10-ти этажного 120 квартирного жилого дома в г. Гродно приведено в **Приложении**.

5 ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ ДЛЯ ОТОПЛЕНИЯ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ В ПРОЕКТАХ ПИЛОТНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ

5.1 Схемные решения и расчетные параметры ТНУ

В основу выбора схемных решений положены данные разделов 1-4 и общие требования к эффективности работы тепловых насосов и устройства отбора теплоты от низкопотенциальной источников с сохранением общей надежности работы внутридомовых и наружных инженерных систем без вредного влияния на окружающую среду. Габариты и шумовые характеристики оборудования должны допускать его размещение в подвалах, желательно в помещениях, стыкуемых с тепловым узлом жилых домов. Резервирование и покрытие пиков тепловых нагрузок должно предусматриваться по сети централизованного теплоснабжения.

На рис. 5.1 и 5.2 показаны упрощенные функциональные схемы источников отопления и горячего водоснабжения с применением тепловых насосов в качестве основного источника теплоснабжения – теплонасосных установок. Структура теплонасосных установок (ТНУ) отличается видом присоединенной тепловой нагрузки и используемыми источниками низкопотенциальной теплоты. Как правило, ТНУ включает два и более тепловых насоса, объединенные технологически в каскад.

На схемах показаны элементы ТНУ и направления тепловых потоков, только поясняющие работу ТНУ. Основные элементы ТНУ: тепловые насосы, теплообменники, циркуляционные насосы, трехходовые переключающие клапаны, гидравлический разделитель (гидравлическая стрелка), буферные емкости, аккумулятор горячей воды, трубопроводы и арматура. Экспликация оборудования и условные обозначения трубопроводов, показанных на рис. 5.1 и 5.2, приведены в таблице 5.1.

Работа ТНУ планируется с параметрами, которые уточняются при проектировании внутридомовых систем отопления и горячего водоснабжения.

Температуры теплоносителя на входе в испарители тепловых насосов: 0°C - при использовании теплоты грунта и 10°C – при использовании теплоты сточных вод.

Температура теплоносителя на выходе конденсаторов изменяется от 35°C до 65°C по графику качественного регулирования. Управление микропроцессором головного теплового насоса (каскада) по датчику температуры наружного воздуха или температуры внутри показательного помещения. Независимо от температурного графика сети отопления, при переключении теплоносителя на нагрузку горячего водоснабжения температура теплоносителя на выходе конденсаторов устанавливается равной 55°C .

Расчетный перепад температур в испарителях и конденсаторах принимается по паспортным данным тепловых насосов, но не должен быть менее $2,5^{\circ}\text{C}$.

Таблица 5.1: Экспликация оборудования и условные обозначения трубопроводов, приведенные на рисунках 5.1 и 5.2 ниже

№ оборудования на схемах	Наименование	№ оборудования на схемах	Наименование
1	Тепловые насосы, объединенные в каскад	10	Аккумулятор горячей воды
2	Теплообменник подогрева горячей воды в контуре конденсаторов	11	Гидравлический разделитель
3	Теплообменник пикового подогрева горячей воды сетевой водой ЦТ	12	Циркуляционный насос системы отопления
4	Теплообменник пикового подогрева теплоносителя системы отопления сетевой водой ЦТ	13	Циркуляционные насосы контура испарителей
5	Проточный теплообменник-утилизатор теплоты бытовых сточных вод	14	Циркуляционные насосы контура конденсаторов
6	Погружной теплообменник-утилизатор теплоты городских сточных вод	15, 16, 17	Трехходовые переключающие клапаны
7	Грунтовые теплообменники (зонды, тепловые сваи)	18, 19	Трехходовые регулирующие клапаны
8	Коллекторный колодец	20	Обратный клапан
9	Буферная емкость		

Температурные графики систем отопления устанавливаются 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. Расходы теплоносителей и производительность циркуляционных насосов ТНУ выбираются в увязке с результатами гидравлических расчетов контуров источника низкопотенциальной теплоты и систем отопления. Для сглаживания суточной неравномерности потребления горячей воды планируется установка баков-аккумуляторов горячей воды. По приведенным на рис. 5.1 и 5.2 схемам ТНУ работает в автоматическом режиме и не потребует постоянного обслуживающего персонала. Контроль и переключение на разные режимы осуществляется дежурным персоналом, прошедший соответствующее обучение.

Предлагаемые для проектирования ТНУ являются экологически чистыми установками, так как для привода оборудования используется электрическая энергия, а тепловые насосы заправлены озонобезопасными фреонами.

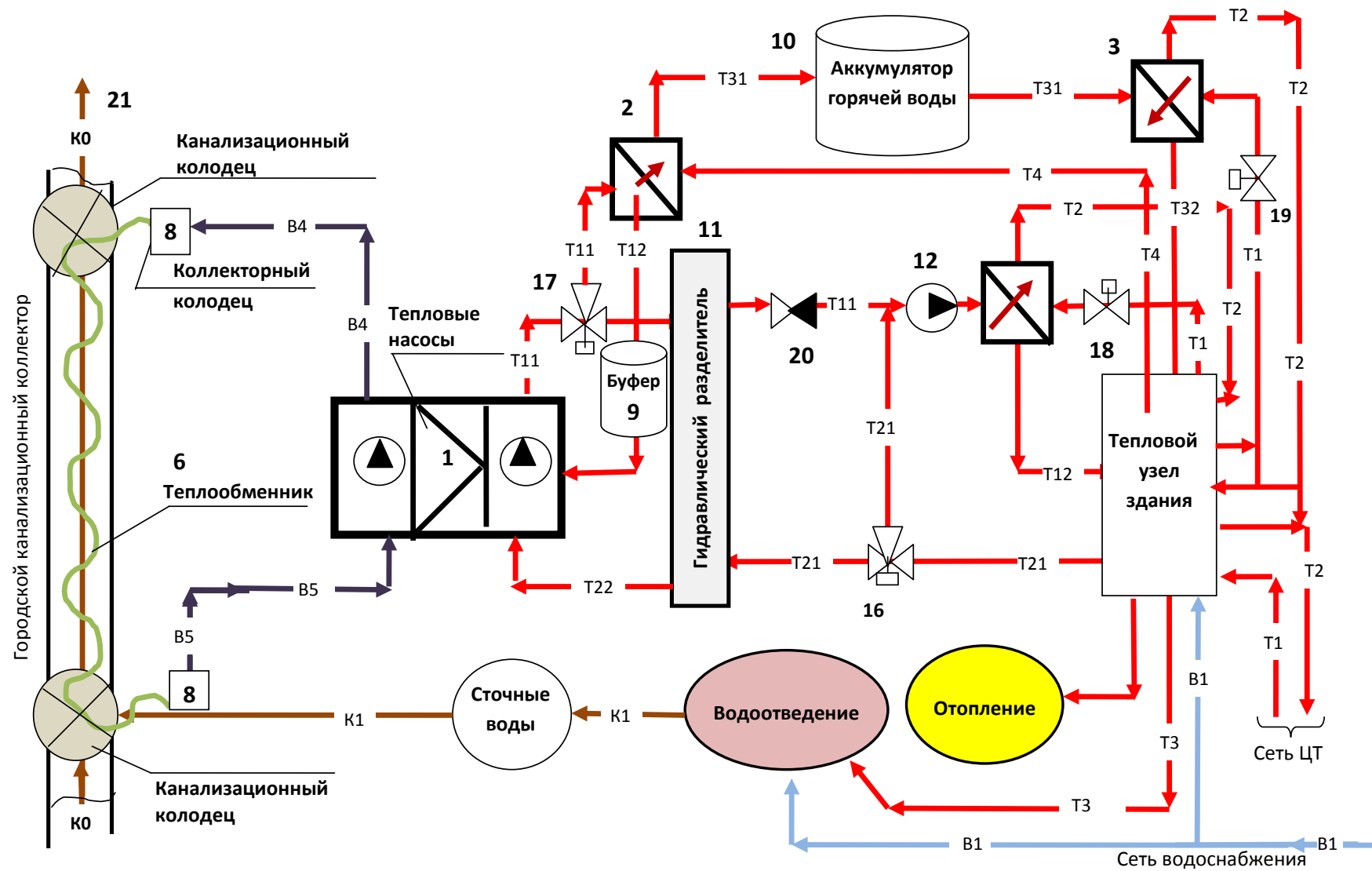


Рис. 5.1: Схема работы ТПУ с канализационным коллектором в качестве источника низкопотенциальной теплоты

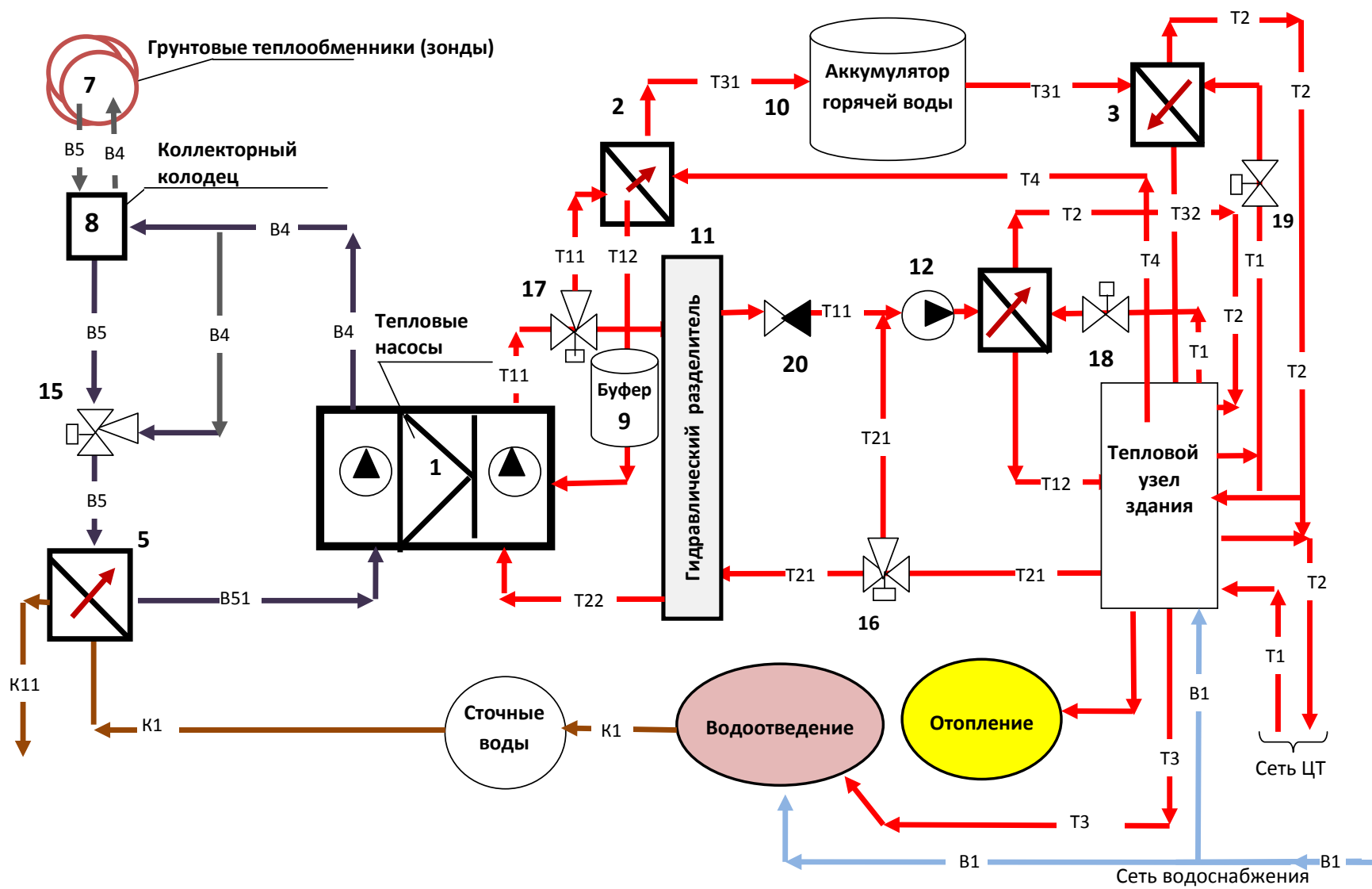


Рис. 5.2: Схема работы ТНУ с грунтовыми зондами в качестве источника низкопотенциальной теплоты

5.2 Режимы работы ТНУ

Режимы работы ТНУ, согласно схемам, приведенным на рис. 5.1 и 5.2, следующие.

5.2.1 Включение ТНУ в работу

- a) Тепловые насосы каскада **1** и циркуляционные насосы контуров испарителей **13** и конденсаторов **14** выключены.
- b) Включается контур наружной тепловой сети.
- c) Включается насос **12** контура отопления от теплового насоса и насосы контура конденсаторов **14**. Трехходовой клапан **16** находится в положении пропуска теплоносителя в направлении гидравлической стрелки. Теплоноситель в контуре конденсаторов нагревается до температуры 30-35⁰С.
- d) Включаются насосы **13** контура испарителей, последовательно запускаются компрессоры тепловых насосов и открывается арматура контуров отопления дома.
- e) Микропроцессором головного теплового насоса каскада **1** устанавливаются параметры рабочего режима, а системным контроллером параметры пикового нагрева теплоносителей контуров отопления и горячего водоснабжения в теплообменниках **3** и **4** сетевой водой наружной тепловой сети. Регулирование объемов подачи сетевой воды в **3** и **4** для поддержания нормируемых температур воды в контурах отопления и горячего водоснабжения жилого дома осуществляется трехходовыми клапанами **18** и **19**.

5.2.2 Расчетные режимы работы ТНУ

Режим работы установки в течение отопительного периода

- a) Включены тепловые насосы **1**, циркуляционные насосы контуров испарителей **13**, насосы **14** контуров конденсаторов и насос **12** контура систем отопления дома. Тепловые насосы **1** работают на отпуск теплоносителя в систему отопления по заданному температурному графику. Для гидравлической устойчивости контуров конденсаторов тепловых насосов и контура отопления и др. применен гидравлический разделитель **11**.
- b) При снижении температуры горячей воды в аккумуляторе **10** до 53⁰С клапаном **17** переключается теплоноситель контура конденсаторов на нагрев воды системы горячего водоснабжения дома в теплообменнике **2**. Причем, тепловые насосы **1** переключаются на работу с температурой от 55⁰С и выше независимо от температурного графика систем отопления. Если теплопроизводительности тепловых насосов **1** недостаточно для поддержания температуры горячей воды после теплообменника **2** на уровне 55⁰С, открывается клапан **19** и горячая вода догревается до 55⁰С в теплообменнике **3** сетевой водой из тепловой сети. Буфер **9** контура конденсаторов обеспечивает сглаживание неравномерность температур теплоносителя на выходе теплообменника **2**.

2. Режим работы установки в межотопительные периоды года.

- a) В межотопительный период тепловые насосы работают только на нагрузку горячего водоснабжения. Логика поддержания расчетной температуры горячей воды равной 55⁰С такая, как и в отопительный период.
- b) Насос **12** отключен.

5.2.3 Нерасчетные режимы.

Температуры теплоносителя на входе испарителей ниже расчетных

- a) При снижении температуры на входе испарителей снижается теплопроизводительность тепловых насосов и включается догрев теплоносителя системы отопления и горячей воды системы горячего водоснабжения в теплообменниках **3** и **4**.

Отказ в работе теплового насоса.

- a) При отказе в работе одного или нескольких тепловых насосов снижается теплопроизводительность каскада и включается догрев теплоносителя системы отопления и горячей воды системы горячего водоснабжения в теплообменниках **3** и **4**.

5.2.4 Аварийный режим.

Отключение сети электроснабжения.

- a) На время ликвидации аварии в сети электроснабжения включается тепловая сеть по традиционной схеме теплоснабжения жилого дома.

5.3 Размещение основного оборудования

Все оборудование ТНУ, приведенное на рис. 5.1 и 5.2, исключая только теплообменники-утилизаторы теплоты сточных вод и геотермальные зонды, размещается в подвале жилого дома в специально отведенном помещении, которое максимально приближено к тепловому пункту жилого дома.

Теплообменники-утилизаторы теплоты бытовых сточных вод проектируемого жилого дома (исключая сточные воды туалетов) также размещаются в подвале в местах, отведенных в проектах внутридомовых систем канализации.

В зависимости от места вывода трубопроводов тепловые насосы могут устанавливаться в линию около стенки или на расстояниях, необходимых для обслуживания. Габариты одного теплового насоса (ширина x глубина x высота) теплопроизводительностью от 30 до 70 кВт – 0,6x0,625x1,625 м, вес – около 350 кг. Звуковое давление – около 45дВ(А). Для исключения передачи вибрации на здание и трубы при работе компрессоров тепловые насосы устанавливаются на antivибрационных ножках, а трубопроводы присоединяются гибкими вставками.

Теплообменники горячей воды и баки-аккумуляторы горячей воды полной заводской готовности, включая отводы, и патрубки слива, устанавливаются на гладких бетонных основаниях.

6 ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕПЛОНАСОСНЫХ УСТАНОВОК 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	Около 250 кВт
10. Годовая теплопроизводительность ТНУ	Около 0,9 тыс. Гкал
10. Численность работающих	Прошедший обучение дежурный персонал домоуправления.
11. Технологическая схема, размещение оборудования	<p>Функциональная схема ТНУ приведена на рис. 5.1. Все оборудование ТНУ, приведенное на рис. 5.1, 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 в линию около стенки 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>Теплообменники горячей воды и баки-аккумуляторы горячей воды полной заводской готовности, включая отводы и патрубки слива, устанавливать на гладких бетонных основаниях.</p> <p>Погружные теплообменники-утилизаторы теплоты сточных вод городского канализационного коллектора присоединить к головным</p>

	<p>трубопроводам контура испарителей тепловых насосов в специальных коллекторных колодцах. Коллекторные колодцы разместить в районах существующих канализационных колодцев городского коллектора.</p> <p>Головные трубопроводы низкопотенциальной теплоты проложить в траншеях.</p>
12. 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>
13. Сметная стоимость строительства	Определить в строительном проекте
14. Сроки строительства	Начало - 2014 г. Окончание – 2014 г.
15. 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.
16. Строительно-монтажная организация	
17. Инженерное обеспечение ТНУ:	
17.1. 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.
17.2. Автоматизация	<p>Автоматическое управление работой ТНУ с передачей текущей информации на панель главного щита домоуправления.</p> <p>Режимы работы ТНУ приведены в отдельной записке, подготовленной с учетом данных раздела 5.2.</p>
17.3. Отопление и вентиляция	Отопление и вентиляцию решить по нормативным требованиям безопасной эксплуатации.
17.3. Водоснабжение	Предусмотреть водоснабжение ТНУ из хозяйственно-питьевого водопровода. Расход воды определить проектом.

17.5. Водоотведение	В существующую сеть водоотведения жилого дома.
18. Проект-аналог	Проект-аналог отсутствует.
20. Требования к разработке мероприятий по охране окружающей среды	Отсутствуют

Техническое обоснование принципиальных технических решений по утилизации теплоты сточных вод для отопления и горячего водоснабжения проектируемого 10-ти этажного 120 квартирного жилого дома в г. Гродно приведено в **Приложении**.

7 ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕПЛОНАСОСНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ПИЛОТНОГО 19-ТИ ЭТАЖНОГО 132 КВАРТИРНОГО ЖИЛОГО ДОМА В Г. МИНСКЕ (проект)

1. Заказчик	
2. Район и пункт строительства	г. Минск
3. Вид строительства	Теплонасосная установка (ТНУ), интегрируемая в системы отопления и горячего водоснабжения пилотного жилого дома в г. Минске
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	Около 270 кВт.
10. Годовая теплопроизводительность ТНУ	Около 1,0 тыс. Гкал.
10. Численность работающих	Прошедший обучение дежурный персонал домоуправления.
11. Технологическая схема, размещение оборудования	<p>Функциональная схема ТНУ приведена на рис. 5.2. Все оборудование ТНУ, приведенное на рис. 5.2, исключая грунтовые теплообменники, разместить в подвале в специально отведенном помещении, которое максимально приближено к тепловому пункту жилого дома.</p> <p>Каскад из тепловых насосов установить в линию около стенки 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>Теплообменники горячей воды и баки-аккумуляторы горячей воды полной заводской готовности, включая отводы и патрубки слива, устанавливать на гладких бетонных основаниях.</p>
12. 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>

	Предусмотреть автоматическое управление режимом работы ТНУ с размещением блока текущей информации на панель главного щита домоуправления.
13. Сметная стоимость строительства	Определить в строительном проекте
14. Сроки строительства	Начало - 2014 г. Окончание – 2014 г.
15. Данные об особых условиях строительства	Размещение оборудования и трубопроводов в стесненных условиях подвала жилого дома с монтажом проточного теплообменника-утилизатора теплоты сточных вод. Бурение скважин под грунтовые теплообменники на дворовых территориях жилых домов.
16. Строительно-монтажная организация	
17. Инженерное обеспечение ТНУ:	
17.1. 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.
17.2. Автоматизация	Автоматическое управление работой ТНУ с передачей текущей информации на панель главного щита домоуправления. Режимы работы ТНУ приведены в отдельной записке, подготовленной с учетом данных раздела 5.2.
17.3. Отопление и вентиляция	Отопление и вентиляцию решить по нормативным требованиям безопасной эксплуатации.
17.3. Водоснабжение	Предусмотреть водоснабжение ТНУ из хозяйственно-питьевого водопровода. Расход воды определить проектом.
17.5. Водоотведение	В существующую сеть водоотведения жилого дома.
18. Проект-аналог	Проект-аналог отсутствует. В работе учесть опыт разработки системы утилизации теплоты сточных вод в жилых домах в г. Витебске и г. Гомеле.
20. Требования к разработке мероприятий по охране окружающей среды	Отсутствуют

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ
принципиальных технических решений
по утилизации теплоты сточных вод
для отопления и горячего водоснабжения
проектируемого 10-ти этажного 120 квартирного жилого дома
в г. Гродно

Исходные условия

Для отопления и горячего водоснабжения данного пилотного жилого дома с применением теплонасосных установок могут быть использованы согласно оценкам, сделанным в разделах 2 и 4 выше, несколько источников низкопотенциальной теплоты.

Сточные воды проектируемого жилого дома

Расчетные⁴ объемы (в средние сутки) – 83,2 м³/сутки, в т.ч. сточных вод туалетов – 16,6 м³/сутки (20%). Суточный график водоотведения согласно нашим оценкам составляет:

утренний максимум – в периоды с 7.00 до 9.00 часов – 5,6 м³/час (130%);

вечерний максимум с 18.00 до 22.00 часов – 5,6 м³/час (160 %);

дневной минимум с 10.00 до 11.30 и с 14.00 до 16.00 – 1,3 м³/час (40 %);

ночной минимум с 23.30 до 6.00 – 0,7 м³/час (20%).

Средний часовой за сутки расход сточных вод составляет 3,5 м³/час, расчетная температура (в средние сутки) – 23⁰С.

Располагаемый тепловой потенциал всех сточных вод равен 72,6 кВт. При его использовании тепловыми насосами может быть выработано около 100 кВт.

Располагаемый тепловой потенциал условно чистых «серых» сточных вод (кроме туалетных) 64,5 кВт. При его использовании тепловыми насосами может быть выработано около 90 кВт.

Сравнение показывает, что объема суточного отведения даже условно чистых сточных вод (66,6 м³/сутки) достаточно для работы тепловых насосов на покрытие нагрузки горячего водоснабжения (81,5 кВт).

Технически реализуемо использование сточных вод с применением известного оборудования, привязанного с учетом особенностей сточных вод как теплоносителей. Известную сложность представляет только суточная неравномерность отведения сточных вод и потребления горячей воды, что требует применение аккумулирующих емкостей.

Сточные воды с учетом расположенного рядом 69-ти квартир жилого дома

Расчетные суммарные объемы сточных вод от двух домов (в средние сутки) – 156,0 м³/сутки и 6,5 м³/час. Принималось, что режим водоотведения в течение суток и температура сточных вод существующего дома такие же, как и для проектируемого жилого дома.

Очевидно, что этих объемов сточных вод достаточно для работы тепловых насосов на покрытие нагрузки горячего водоснабжения (81,5 кВт) и части отопления (159,1 кВт) проектируемого жилого дома.

⁴ при норме потребления на 1 жителя равной 210 л/сутки, в т.ч. горячей воды с температурой 55⁰С – 85л/сутки

Производственные и бытовые сточные воды, отводимые по районному канализационному коллектору $d=500$

Использование теплоты сточных вод, текущих по безнапорному канализационному коллектору, привлекательно близостью проектируемого жилого дома от коллектора.

Расстояние от дома до ближайших колодцев коллектора (А, Б) и длина участка между колодцами – 50 м (см. ситуационный план на рис. П1). 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»⁵ 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 27⁰С.

Располагаемый тепловой потенциал сточных вод оценивается в 3000 кВт, что значительно превышает значение суммарной тепловой нагрузки проектируемого жилого дома, равной 240,6 кВт.

⁵ Письмо УП «Институт Гродногражданпроект» с данными о параметрах канализационного коллектора:
От кого: УП "Институт Гродногражданпроект" <ggp@mail.grodno.by>
Кому Ivan Zhidovich <gis46@mail.ru>
4 ноября, 14:17

1. Год строительства: 1964 г.
2. Планируется ли реконструкция коллектора на участке вдоль жилого дома: нет
3. Источники сточных вод, отводимых коллектором: бытовые и производственные
4. Оценка фактических объемов сточных вод, отводимых коллектором (на участке вдоль жилого дома): 303л/сек, в т.ч. в ночной период суток: нет данных
5. Оценка значения температуры сточных вод: 27 градусов.

Сачко А.В.

Принципиальные решения по утилизации теплоты сточных вод

Утилизация теплоты сточных вод проектируемого жилого дома

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

Для проектирования не требуется предварительного согласования решения с предприятием «Водоканал».

Утилизация теплоты сточных вод проектируемого дома и 69-ти квартирного жилого дома, расположенного рядом

Для возможности утилизации предлагается переложить существующий трубопровод отведения сточных вод от построенного рядом 69-ти квартирного жилого дома из-под пятна проектируемого дома по трассе, показанной на фрагменте генплана (рис. П1). 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 предлагается 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.

Для проектирования требуется предварительное согласование данного решения с предприятием «Водоканал» в части реконструкции существующей канализационной сети 69-ти квартирного жилого дома, расположенного рядом с проектируемым.

Утилизация теплоты потока производственных и бытовых сточных вод районного канализационного коллектора

С учетом оценок, изложенных в разделах 2 и 4, предлагается схема утилизации 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 (рис. П1). Могут быть применены гибкие трубы из полиэтилена или металлопластика наружным диаметром 32 мм и 40 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 170 кВт, требуемых для работы тепловых насосов на покрытие нагрузки отопления и горячего водоснабжения, достаточно плетни из трех 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. Частично препятствуют засорению высокие скорости потока сточных вод благодаря уклону трубы коллектора на участке между колодцами А и Б, равному 0,012. 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. В таблице П1 приведены данные о значениях наполнения трубы диаметром 500 мм, скорости и площади живого сечения потока от расхода сточных вод.

Таблица П1

Расход, л/сек	379,5	325,0	260,8	194,1	130,8	76,0	34,0	8,11
Наполнение (h/d)	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
Скорость при уклоне 0,012, м/сек	2,25	2,21	2,12	1,98	1,78	1,53	1,22	0,79
Площадь живого сечения потока, м ²	0,1684	0,1468	0,123	0,0982	0,0734	0,0496	0,028	0,0102

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 125 кВт температура потока сточных вод (40 л/сек) может снизиться не более чем на 0,8⁰С, что допустимо.

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

Для проектирования предлагаемого технического решения по утилизации теплоты потока производственных и бытовых сточных вод районного канализационного коллектора требуется предварительное согласование этого решения с предприятием «Водоканал».

Рис. III: Фрагмент генплана проектируемого жилого дома (М 1:50)

