

ПРООН/ГЭФ
Проект №00077154

«Повышение энергетической эффективности жилых зданий
в Республике Беларусь»

ТЕХНИЧЕСКАЯ ЗАПИСКА
«Разработка и технико-экономическая оценка
эффективности полуавтономного источника теплоснабжения
и горячего водоснабжения пилотного 120 квартирного 10-ти этажного
жилого дома в г. Гродно»

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

И.С.Жидович

Минск

февраль 2013

СОДЕРЖАНИЕ

1. Условия расположения пилотного жилого дома.....	3
2. Основные показатели архитектурного проекта пилотного жилого дома	4
3. Альтернативные варианты источников теплоснабжения и горячего водоснабжения пилотного жилого дома	6
4. Расчет энергетических потоков в альтернативных вариантах работы источников теплоснабжения	10
5. Техничко-экономическое сравнение альтернативных вариантов теплоснабжения	15
Приложение.	
Выбор тепловых насосов и устройств отбора низкопотенциальной теплоты	22

1. Условия расположения пилотного жилого дома

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.

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

Через пятно застройки проходят самотечные трубопроводы ливневой канализации d300 мм и хозяйственно-бытовой канализации d150 мм, по которой отводятся дождевые и сточные воды энергоэффективного 69-ти квартирного жилого дома. При коэффициенте семейности 3,3 расчетный суточный объем отводимых хозяйственных сточных вод составляет 57,0 м³/сутки (N=250 л/чел сутки).

В 25...30 м от проектируемого жилого дома проходит канализационный коллектор d500. Длина участка между колодцами А и Б, расположенными вблизи дома – 50 м. Глубина прокладки керамической трубы d500 от существующих отметок земли (низа трубы): колодца А - 2,23 м, колодца Б – 4,5 м. По предварительной оценке специалистов УП «Институт Гродногражданпроект» по этому участку коллектора (между ул.Терешковой и ул. 17 сентября) отводится около 303л/сек производственных и коммунально-бытовых сточных вод с температурой около 27⁰С (приложение 2). По уточненным данным НИПТИС наполняемость коллектора 500 мм от 10% до 100% , температура сточных вод зимой – 12...17⁰С, летом – 17...22⁰С.

В таблице 1.1 приведены данные о значениях наполнения трубы диаметром 500 мм, скорости и площади живого сечения потока от расхода сточных вод.

Таблица 1.1

Расход, л/сек	379,5	325,0	260,8	194,1	130,8	76,0	34,0	8,11
Наполнение (h/d), %	80	70	60	50	40	30	20	10
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

2. Основные показатели архитектурного проекта пилотного жилого дома

Общие данные. Количество квартир – 120 шт., число подъездов – 3, этажность – 10 этажей, площадь квартир – 9834,85 м², число жителей по списку нуждающихся – 258 человек, число жителей по нормам Республики Беларусь – 492 человека.

Теплоснабжение и горячее водоснабжение. Расчетная нагрузка отопления с учетом естественной вентиляции жилого дома составляет 245,13 кВт, без учета нагрева воздуха на естественную вентиляцию – 165,85 кВт. Расчетные условия: температура внутреннего воздуха жилых комнат – 18/20⁰С; средняя температура наружного воздуха наиболее холодной пятидневки – минус 22⁰С; средняя температура наружного воздуха в отопительный период – минус 0,5⁰С; средняя суточная амплитуда температуры наружного воздуха (разность между суточным максимумом и минимумом температуры) в отопительный период (ноябрь-апрель) – 4,5 ... 9,4⁰С, в самый холодный месяц (январь) – 6,3⁰С; продолжительность отопительного периода – 197 суток; температурный график системы отопления 45/30⁰С.

Расчетное суточное потребление теплоты¹ на горячее водоснабжение составляет зимой (отопительный период) и летом :

- по списку нуждающихся – 1721 кВтч (1,48 Гкал) и 1384 кВтч (1,19 Гкал);
- по нормам Республики Беларусь – 3302 кВтч (2,84 Гкал) и 2639 кВтч (2,27 Гкал).

Средняя часовая за сутки нагрузка горячего водоснабжения, определенная из расчета 105 литров горячей воды с температурой 55⁰С на 1 жителя в сутки зимой (отопительный период) и летом:

- по списку нуждающихся – 70,7 кВт и 57,7 кВт;
- по нормам Республики Беларусь – 137,6 кВт и 110,0 кВт.

Нагрузка горячего водоснабжения в час наибольшего потребления горячей воды, определенная из расчета 10 литров горячей воды с температурой 55⁰С на 1 жителя в час зимой (отопительный период) и летом:

- по списку нуждающихся – 161,2 кВт и 131,6 кВт;
- по нормам Республики Беларусь – 313,7 кВт и 250,8 кВт.

Водоснабжение и водоотведение. Суточный объем потребления воды на хозяйственно-бытовые нужды жилого дома при норме потребления на 1 жителя равной 250 л/сутки составляет:

- по списку нуждающихся – 64,5 м³/сутки, в т.ч. горячей воды – 27,1 м³/сутки;
- по нормам – 123 м³/сутки, в т.ч. горячей воды – 51,66 м³/сутки.

Объемы сточных вод соответствует объемам водопотребления, а график поступления в наружную канализационную сеть соответствует (с некоторым запозданием) графику водопотребления с характерными утренними и вечерними пиками и ночными провалами.

Температура холодной воды зимой 5⁰С и летом – 15⁰С. Температура горячей воды зимой и летом – 55⁰С.

Температура сточных вод зимой и летом на выпусках зданий изменяется в интервале от 15⁰С до 30⁰С. Средняя за сутки температура в отопительный период года около 23,0⁰С.

¹ ниже в расчетах теплотребления единицей измерения количества теплоты принята **калория**, используемая в технических условиях на теплоснабжение и в расчетах с потребителями

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

При технически допустимой нагрузке 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 оборудование местных источников теплоснабжения и горячего водоснабжения на основе тепловых насосов.

3. Альтернативные варианты источников теплоснабжения и горячего водоснабжения пилотного жилого дома

С учетом данных раздела 1 и расположения пилотного жилого дома в зоне ТЭЦ, рассматриваются только энергетически эффективные варианты источника теплоснабжения и горячего водоснабжения с применением тепловых насосов, отличающиеся величиной присоединенной тепловой нагрузки, структурой теплогенерирующего оборудования и его участия в покрытии тепловой нагрузки жилого дома и используемыми источниками низкопотенциальной теплоты.

Структурные схемы двух базовых вариантов источника теплоснабжения и горячего водоснабжения с указанием направлений тепловых потоков представлены на рис. 3.1 и рис. 3.2. Экспликация оборудования, показанного на схемах, приведена в таблице 3.1.

Таблица 3.1

Экспликация основного оборудования*

№ оборудования на схемах	Наименование
1	Тепловые насосы с циркуляционными насосами в контурах испарителей и конденсаторов, объединенные в каскад
2	Теплообменник подогрева горячей воды в контуре конденсаторов
3	Теплообменник подогрева холодной воды для горячего водоснабжения от гелиосистемы
4	Теплообменник пикового подогрева горячей воды сетевой водой ЦТ
5	Теплообменник пикового подогрева теплоносителя системы отопления сетевой водой ЦТ
6	Теплообменники контура гелиоколлекторов
7	Усреднитель потока сточных вод с погружным теплообменником-утилизатором теплоты «серых» сточных вод
7 ^a	Погружной теплообменник-утилизатор теплоты городских сточных вод
8	Грунтовые скважинные теплообменники (зонды)
9	Грунтовые свайные теплообменники (сваи)
10	Гелиоколлекторы
11	Гидравлический разделитель-аккумулятор теплоты теплоносителя отопительных контуров
12	Буферная емкость теплоносителя контура горячей воды конденсатора
13	Емкость-аккумулятор теплоты контура гелиоколлекторов
14	Циркуляционные насосы контура отопления с конвекторами
15	Циркуляционные насосы контура напольного отопления
16	Циркуляционные насосы контура подогрева холодной воды для горячего водоснабжения от гелиосистемы
17	Циркуляционные насосы контура аккумулятора теплоты контура гелиоколлекторов
18	Циркуляционные насосы контура гелиоколлекторов
19	Циркуляционные насосы контура реабилитации теплового поля свайных теплообменников
20	Насосы циркуляционного контура горячего водоснабжения
21	Коллекторные колодцы грунтовых теплообменников
22, 27	Трехходовые переключающие клапаны
23, 24, 25, 26	Трехходовые регулирующие клапаны
27	Канализационный коллектор

*- уточняется после согласования расчетных тепловых нагрузок и годового теплопотребления, источников их покрытия (см. табл.4.1, 4.2 и 4.3)

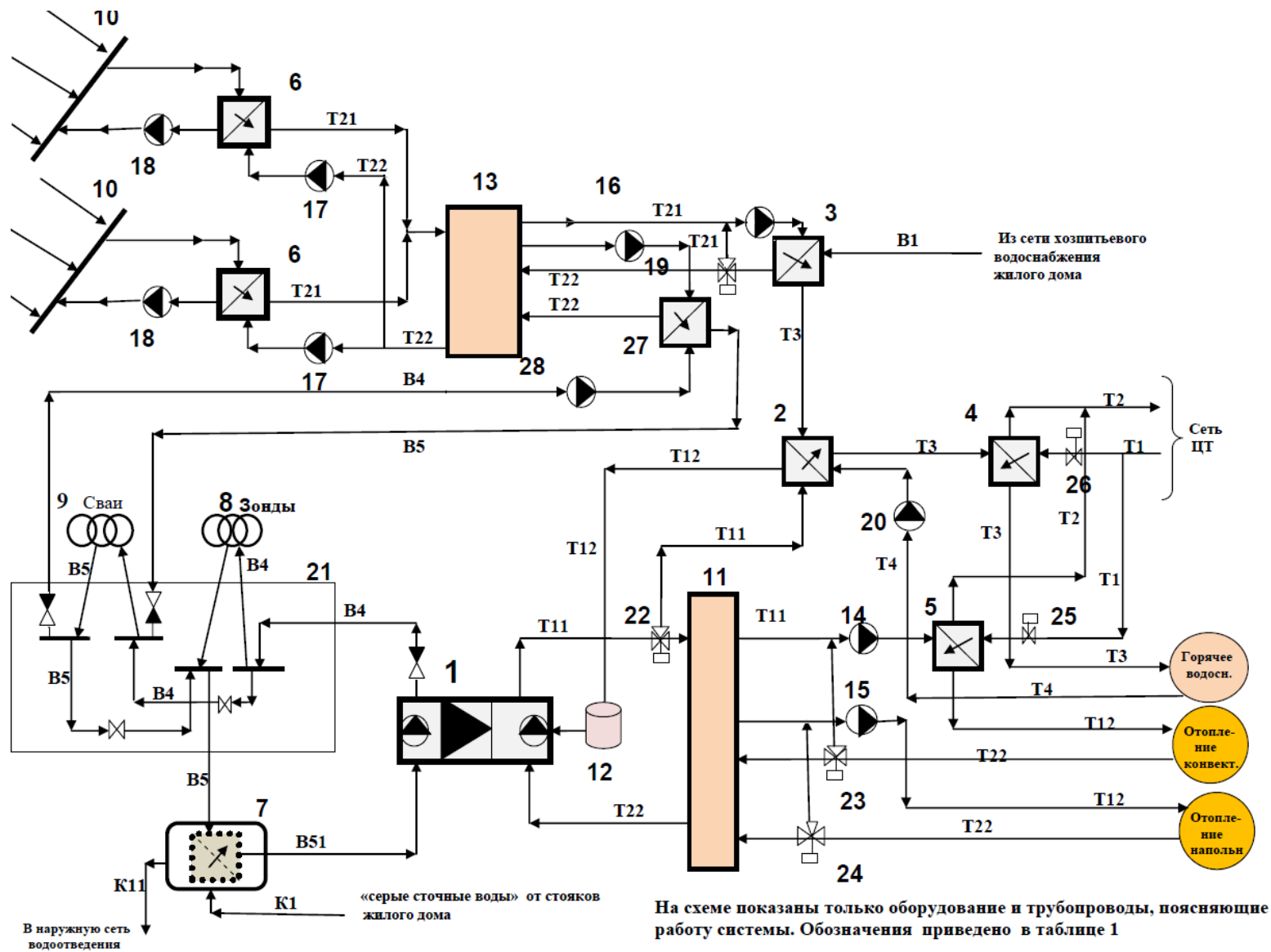


Рис. 1 Структурная схема поливалентного источника отопления и горячего водоснабжения пилотного жилого дома (вариант 1)

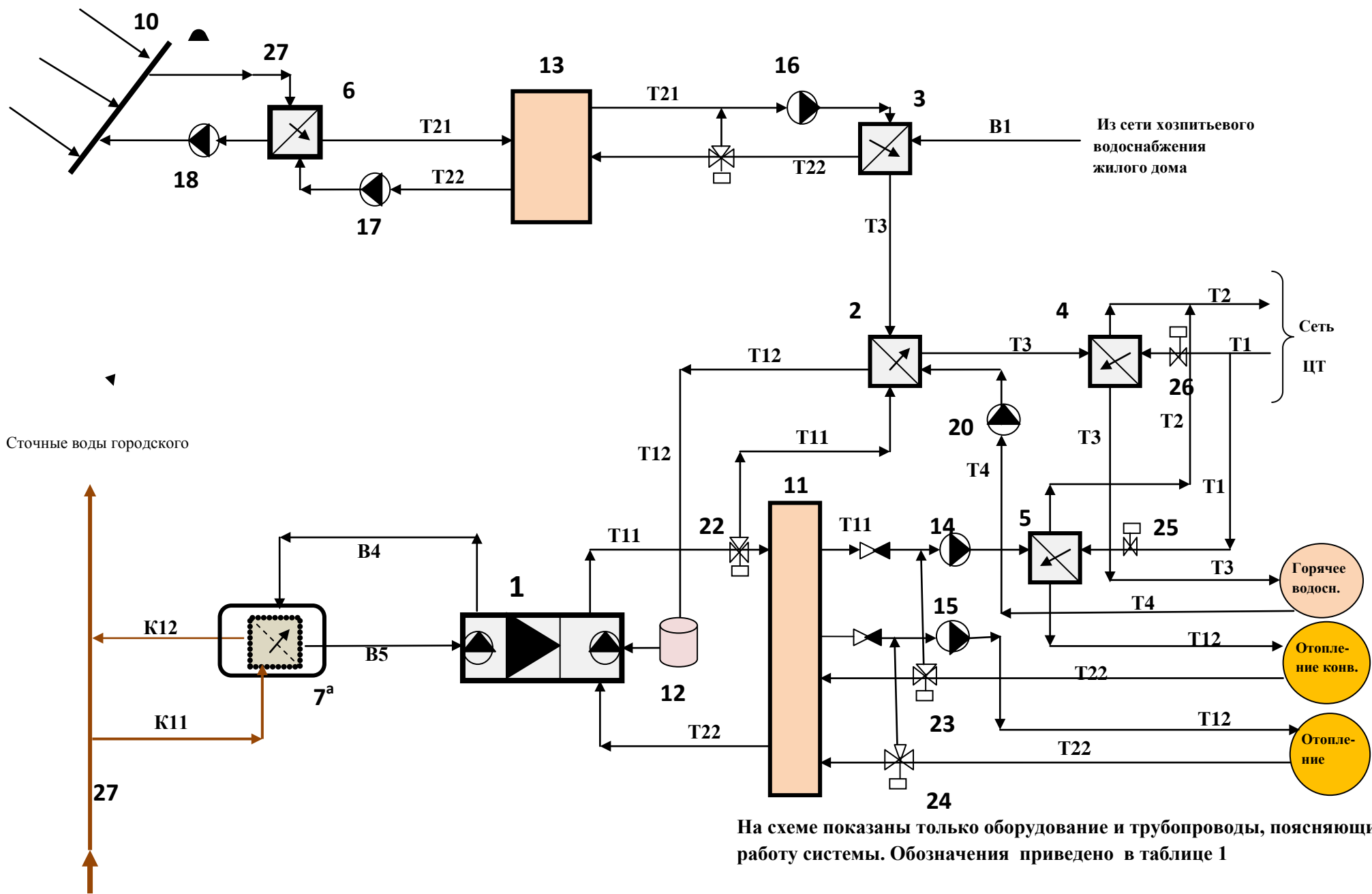


Рис. 3.2 Структурная схема поливалентного источника отопления и горячего водоснабжения пилотного жилого дома (вариант 2)

Внешнее различие структурных схем на рис. 3.1 и рис. 3.2 только основными источниками низкопотенциальной теплоты:

- на рис. 3.1 – теплота грунта, отбираемая скважинными теплообменниками (зондами) и теплообменниками в сваях проектируемого жилого дома;
- на рис. 3.2 – теплота сточных вод из городского коллектора d500, проходящего в 50 м от проектируемого жилого дома.

В таблице 3.2 приведена характеристика вариантов источника теплоснабжения и горячего водоснабжения, принятых к рассмотрению в качестве альтернативных для обоснования его структуры и параметров. Варианты учитывают возможные проектные решения по внутридомовым системам вентиляции, отопления и горячего водоснабжения, определяющие тепловые нагрузки и режимы работы теплогенерирующего оборудования. Гелиоколлекторы в покрытии тепловых нагрузок в расчетных условиях (при температуре наружного воздуха минус 22⁰С) не участвуют.

Таблица 3.2

Общая характеристика рассматриваемых вариантов теплоснабжения и горячего водоснабжения при расчетной температуре наружного воздуха минус 22⁰С

Наименование вариантов работы источников теплоснабжения*	Характеристика теплотребляющих процессов и источников их покрытия	Источники покрытия, %			
		Тепловые насосы*		Тепловая сеть от ТЭЦ	
		О и В	ГВ	О и В	ГВ
Вариант 1а	100 % О и В с учетом естественной вентиляции и 100% ГВ 492 жителей от тепловых насосов	100	100	0	0
Вариант 1б	100% О и В с учетом естественной вентиляции и 80% ГВ 492 жителей от тепловых насосов	100	80	0	20
Вариант 1в	60% (от минус 10 ⁰ С и выше) О и В с учетом естественной вентиляции и 80% ГВ 492 жителей от тепловых насосов	60	80	40	20
Вариант 2а	100 % О и В без учета естественной вентиляции и 100% ГВ 492 жителей от тепловых насосов	100	100	0	0
Вариант 2б	100 % О и В без учета естественной вентиляции и 80% ГВ 492 жителей от тепловых насосов	100	80	0	20
Вариант 2в	60% (от минус 10 ⁰ С и выше) О и В без учета естественной вентиляции и 80% ГВ 492 жителей от тепловых насосов	60	80	40	20
Вариант 3а	100 % О и В с учетом естественной вентиляции и 100% ГВ 258 жителей от тепловых насосов	100	100	0	0
Вариант 3б	100 % О и В с учетом естественной вентиляции и 80% ГВ 258 жителей от тепловых насосов	100	80	0	20
Вариант 3в	60% (от минус 10 ⁰ С и выше) О и В с учетом естественной вентиляции и 80% ГВ 258 жителей от тепловых насосов	60	80	40	20
Вариант 4а	100 % О и В без учета естественной вентиляции и 100% ГВ 258 жителей от тепловых насосов	100	100	0	0
Вариант 4б	100% О и В без учета естественной вентиляции и 80% ГВ 258 жителей от тепловых насосов	100	80	0	20
Вариант 4в	60 % (от минус 10 ⁰ С и выше) О и В без учета естественной вентиляции и 80% ГВ 258 жителей от тепловых насосов	60	80	40	20

* - в вариантах 1а, 2а, 3а и 4а применяются тепловые насосы, обеспечивающие нагрев воды в системе горячего водоснабжения до 55⁰С

4. Расчет энергетических потоков в альтернативных вариантах работы источников теплоснабжения

В таблице 4.1 приведены значения расчетных тепловых нагрузок и показано участие тепловых насосов в их покрытии.

В расчетах учитывались технические возможности гелиоколлекторов и тепловых насосов, планировочные и конструктивные ограничения в размещении оборудования и устройств отбора низкопотенциальной теплоты.² В частности, при определении типа и мощности тепловых насосов учитывался пиковый характер отопительной нагрузки (на периоды с температурой выше минус 10⁰С приходится около 92% всего теплоснабжения) и горячего водоснабжения (максимальная часовая больше среднесуточной в 2, 28 раз).

Таблица 4.1

Расчетные тепловые нагрузки жилого дома и требуемая мощность тепловых насосов в структуре источника теплоснабжения

Варианты*	Расчетная тепловая нагрузка, кВт			Источники покрытия, кВт	
	Отопление и вентиляция (Q _{от+в})	Горячее водоснабжение (Q _{гв})	Итого (Q _{сумм.})	Тепловые насосы* (Q _{ТН расч.})	Тепловая сеть от ТЭЦ (Q _{ТЭЦ расч.})
Вариант 1а. 100 % О и В с учетом естественной вентиляции и 100% ГВ 492 жителей от ТН	245,13	137,6	382,7	382,7	0
Вариант 1б. 100% О и В с учетом естественной вентиляции и 80% ГВ 492 жителей от ТН	245,13	137,6	382,7	355,2	27,5
Вариант 1в. 60% (от минус 10 ⁰ С и выше) О и В с учетом естественной вентиляции и 80% ГВ 492 жителей от ТН	245,13	137,6	382,7	257,2	125,5
Вариант 2а. 100 % О и В без учета естественной вентиляции и 100% ГВ 492 жителей от ТН	186,21	137,6	323,81	323,81	0
Вариант 2б. 100 % О и В без учета естественной вентиляции и 80% ГВ 492 жителей от ТН	186,21	137,6	323,81	296,31	27,5
Вариант 2в. 60% (от минус 10 ⁰ С и выше) О и В без учета естественной вентиляции и 80% ГВ 492 жителей от ТН	186,21	137,6	323,81	221,8	102,01
Вариант 3а. 100 % О и В с учетом естествен. вентиляции и 100% ГВ 258 жителей от ТН	245,13	70,7	315,83	315,83	0
Вариант 3б. 100 % О и В с учетом естествен. вентиляции и 80% ГВ 258 жителей от ТН	245,13	70,7	315,83	301,69	14,14
Вариант 3в. 60% (от минус 10 ⁰ С и выше) О и В с учетом естественной вентиляции и 80% ГВ 258 жителей от ТН	245,13	70,7	315,83	203,64	112,19
Вариант 4а. 100 % О и В без учета естественной вентиляции и 100% ГВ 258 жителей от ТН	186,21	70,7	256,91	256,91	0
Вариант 4б. 100% О и В без учета естествен. вентиляции и 80% ГВ 258 жителей от ТН	186,21	70,7	256,91	242,77	14,14
Вариант 4в. 60 % (от минус 10 ⁰ С и выше) О и В без учета естественной вентиляции и 80% ГВ 258 жителей от ТН	186,21	70,7	256,91	168,29	88,62

* - в вариантах 1а, 2а, 3а и 4а применяются тепловые насосы, обеспечивающие нагрев воды для систем горячего водоснабжения до 55⁰С.

² - выбор типа и параметров тепловых насосов и устройств отбора низкопотенциальной теплоты приведен в приложении

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

- для компрессоров тепловых насосов – $P_{\text{компрес.ТН}} = Q_{\text{ТН}}^{\text{расч.}} / \epsilon_{\text{ТН}}$;
- для циркуляционных насосов контуров испарителей и конденсаторов тепловых насосов – $P_{\text{цирк.нас. ТН}} = 0,09 P_{\text{компрес.ТН}}$;
- для циркуляционных насосов контуров гелиосистем – 0,8 кВт (данные эксперта по внедрению солнечных коллекторов)

В таблицу 4.2 сведены результаты расчетов потребляемой мощности источника теплоснабжения по рассматриваемым вариантам (см. табл. 3.2). В расчетах $P_{\text{компрес.ТН}}$ использованы значения $Q_{\text{ТН}}^{\text{расч.}}$, приведенные в табл. 4.1 и следующие значения $\epsilon_{\text{ТН}}$: при использовании теплоты грунта – $3,68^3$, при использовании теплоты сточных вод – $4,26^4$.

Таблица 4.2

Расчетная мощность электропотребляющего оборудования
источника теплоснабжения (в кВт)

Варианты	Тепловые насосы при использовании теплоты:		Циркуляционные насосы контуров:		Итого при использовании тепловыми насосами теплоты (с $\kappa=1,1$):	
	грунта	сточных вод	тепловых насосов	гелиоколлекторов	грунта	сточных вод
Вариант 1а	101,7	87,8	9,2	0,8	122,9	107,6
Вариант 1б	97,1	83,9	8,7	0,8	117,3	102,7
Вариант 1в	66,8	57,7	6,0	0,8	81,1	71,0
Вариант 2а	86,5	74,7	7,8	0,8	104,6	91,6
Вариант 2б	81,9	70,8	7,4	0,8	99,1	86,9
Вариант 2в	60,7	52,4	5,5	0,8	73,7	64,6
<i>Вариант 3а</i>	<i>86,5</i>	<i>74,7</i>	<i>7,8</i>	<i>0,8</i>	<i>104,6</i>	<i>91,6</i>
<i>Вариант 3б</i>	<i>81,9</i>	<i>70,8</i>	<i>7,4</i>	<i>0,8</i>	<i>99,1</i>	<i>86,9</i>
<i>Вариант 3в</i>	<i>56,1</i>	<i>48,5</i>	<i>5,0</i>	<i>0,8</i>	<i>68,1</i>	<i>59,7</i>
<i>Вариант 4а</i>	<i>71,3</i>	<i>61,6</i>	<i>6,4</i>	<i>0,8</i>	<i>86,4</i>	<i>75,7</i>
<i>Вариант 4б</i>	<i>66,8</i>	<i>57,7</i>	<i>6,0</i>	<i>0,8</i>	<i>81,0</i>	<i>71,0</i>
<i>Вариант 4в</i>	<i>45,5</i>	<i>39,3</i>	<i>4,1</i>	<i>0,8</i>	<i>55,5</i>	<i>48,6</i>

В основу расчета годового теплоснабжения положены данные о тепловых нагрузках (см. табл. 4.1), параметрах наружного воздуха и продолжительность отопительного периода (см. раздел 2). Годовой объем выработки теплоты источником теплоснабжения принят равным теплоснабжению.

Результаты расчетов годового теплоснабжения и выработки теплоты источниками теплоснабжения в альтернативных вариантах тепловых нагрузок и режимах их покрытия сведены в таблицу 4.3.

Годовой расход электрической энергии на выработку теплоты источниками теплоснабжения определен как сумма расходов электрической энергии на выработку теплоты гелиосистемами, тепловыми насосами, циркуляционными насосами контуров гелиоколлекторов и тепловых насосов.

³ - при температуре теплоносителя на входе в испаритель 0°C, выходе из конденсатора 45°C;

⁴ - при температуре теплоносителя на входе в испаритель 7°C, выходе из конденсатора 45°C

Таблица 4.3

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

Варианты*	Годовое теплотребление, Гкал					Источники покрытия, Гкал / %							
	Q _{от+в}	Q _{ГВ}			Q _{сумм}	Тепловые насосы*			Геликоллекторы		Тепловая сеть от ТЭЦ		
		Q _{ГВ} ^{зим}	Q _{ГВ} ^{лет}	Q _{ГВ} ^{сумм}		Q _{от+в}	Q _{ГВ} ^{зима}	Q _{ГВ} ^{лето}	Q _{ГВ} ^{зима}	Q _{ГВ} ^{лето}	Q _{от+в}	Q _{ГВ} ^{зима}	Q _{ГВ} ^{лет}
Вариант 1а	454,0/32,5	551,0	388,2	939,2/67,5	1393,2/100	454,0/100	489,2/88,8	237,9/61,3	61,8/11,2	150,3/38,7	0	0	0
Вариант 1б	-“-	-“-	-“-	-“-	-“-	-“-	434,1/78,8	-“-	-“-	-“-	0	55,1/10	0
Вариант 1в	-“-	-“-	-“-	-“-	-“-	408,6/90	-“-	-“-	-“-	-“-	45,4/10	-“-	0
Вариант 2а	344,9/26,9	551,0	388,2	939,2/73,1	1284,1/100	344,9/100	489,2/88,8	-“-	-“-	-“-	0	0	0
Вариант 2б	-“-	-“-	-“-	-“-	-“-	-“-	434,1/78,8	-“-	-“-	-“-	0	55,1/10	0
Вариант 2в	-“-	-“-	-“-	-“-	-“-	310,4/90	-“-	-“-	-“-	-“-	34,5/10	-“-	0
<i>Вариант 3а</i>	<i>454,0/48,3</i>	<i>283,1</i>	<i>203,6</i>	<i>486,7/51,7</i>	<i>940,7/100</i>	<i>454,0/100</i>	<i>221,3/78,2</i>	<i>53,3/26,2</i>	-“-	-“-	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>
<i>Вариант 3б</i>	-“-	-“-	-“-	-“-	-“-	-“-	<i>193,0/68,2</i>	-“-	-“-	-“-	<i>0</i>	<i>28,3/10</i>	<i>0</i>
<i>Вариант 3в</i>	-“-	-“-	-“-	-“-	-“-	<i>408,6/90</i>	-“-	-“-	-“-	-“-	<i>45,4/10</i>	-“-	<i>0</i>
<i>Вариант 4а</i>	<i>344,9/41,5</i>	<i>283,1</i>	<i>203,6</i>	<i>486,7/58,5</i>	<i>831,6/100</i>	<i>344,9/100</i>	<i>221,3/78,2</i>	-“-	-“-	-“-	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>
<i>Вариант 4б</i>	-“-	-“-	-“-	-“-	-“-	-“-	<i>193,0/68,2</i>	-“-	-“-	-“-	<i>0</i>	<i>28,3/10</i>	<i>0</i>
<i>Вариант 4в</i>	-“-	-“-	-“-	-“-	-“-	<i>310,4/90</i>	-“-	-“-	-“-	-“-	<i>34,5/10</i>	-“-	<i>0</i>

* - в вариантах 1а, 2а, 3а и 4а применяются тепловые насосы, обеспечивающие нагрев воды для систем горячего водоснабжения до 55⁰С.

Годовой расход электрической энергии на выработку теплоты тепловым насосом определяется по формуле:

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

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

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

- на отопление при использовании теплоты грунта/сточных вод – 4,33/4,99;
- на горячее водоснабжение при использовании теплоты грунта/сточных вод для вариантов с пиковым догревом из тепловых сетей – 3,68/4,26;
- на горячее водоснабжение при использовании теплоты грунта/сточных вод для вариантов без пикового догрева – 2,8/3,4.

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

Годовой расход электрической энергии на работу циркуляционных насосов контура испарителей тепловых насосов определяется по формуле:

$$W_{\text{цирк.нас.ТН}} = 0,05 W_{\text{ТН}}^{\text{год}},$$

Годовой расход электрической энергии на работу циркуляционных насосов контуров гелиосистем по расчетам эксперта по внедрению солнечных коллекторов составляет 7,0 МВтч.

Результаты расчетов годового расхода электрической энергии на выработку тепловой энергии на источнике теплоснабжения и расхода теплоты от ТЭЦ для пикового догрева теплоносителя системы отопления и догрева воды на горячее водоснабжение (см. табл.4.1) сведены в таблицу 4.4.

Таблица 4.4

Годовой расход электрической и тепловой энергии на теплоснабжение

Варианты	Тепловые насосы, МВтч				Циркуляционные насосы контуров, МВтч,		Тепловая сеть от ТЭЦ, Гкал (Q _{ТЭЦ} ^{год})
	W _{от+в}	W _{ГВ зима}	W _{ГВ лето}	W _{от+в+ГВ}	Тепловых насосов	Гелиоколлекторов	
Вариант 1а	121,9/105,8	203,2/167,3	83,8/70,9	408,9/344	20,4/17,6	7,0	0
Вариант 1б	-“-	137,2/101,9	-“-	342,9/278,6	17,2/14,0	7,0	55,1
Вариант 1в	109,7/95,2	-“-	-“-	315,4/271,9	15,8/13,6	7,0	100,5
Вариант 2а	92,6/80,4	150,3/167,3	-“-	326,7/318,6	16,4/16,0	7,0	0
Вариант 2б	-“-	137,2/101,9	-“-	313,6/253,2	15,6/12,6	7,0	55,1
Вариант 2в	83,4/72,3	-“-	-“-	304,4/245,1	15,2/12,2	7,0	89,6
Вариант 3а	121,9/105,8	91,9/75,7	18,7/15,9	232,5/197,4	11,6/9,8	7,0	0
Вариант 3б	-“-	61,0/52,7	-“-	201,6/174,4	10,0/8,8	7,0	28,3
Вариант 3в	109,7/95,2	-“-	-“-	189,4/163,8	9,4/8,2	7,0	73,7
Вариант 4а	92,6/80,4	91,9/75,7	-“-	203,2/172,0	10,2/8,6	7,0	0
Вариант 4б	-“-	61,0/52,7	-“-	172,3/149,0	8,6/7,4	7,0	28,3
Вариант 4в	83,4/72,3	-“-	-“-	163,1/140,9	8,2/7,0	7,0	62,8

Результаты расчетов энергетических потоков в рассматриваемых вариантах источника теплоснабжения и горячего водоснабжения пилотного жилого дома (см. табл.4.1, 4.3, 4.4) сведены в таблицу 4.5.

Таблица 4.5

Результаты расчетов энергетических потоков

Варианты	Расчетная тепловая нагрузка жилого дома, кВт	Годовое теплопотребление жилого дома, Гкал	Годовая теплопроизводительность источника ТС (всего), Гкал	в том числе			Расход энергоресурсов на теплоснабжение жилого дома		
				тепловые насосы	гелио.	тепловая сеть от ТЭЦ	Электроэнергия (МВтч) при использовании теплоты:		Теплота от ТЭЦ, Гкал
							грунта	сточных вод	
Вариант 1а	382,7	1393,2	1393,2	1181,1	212,1	0	436,3	368,6	0
Вариант 1б	-“-	-“-	-“-	1126,0	-“-	55,1	367,1	299,6	55,1
Вариант 1в	-“-	-“-	-“-	1080,6	-“-	100,5	338,2	292,5	100,5
Вариант 2а	323,81	1284,1	1284,1	1072,0	-“-	0	350,1	341,6	0
Вариант 2б	-“-	-“-	-“-	1016,9	-“-	55,1	336,2	272,8	55,1
Вариант 2в	-“-	-“-	-“-	982,4	-“-	89,6	326,6	264,3	89,6
<i>Вариант 3а</i>	<i>315,83</i>	<i>940,7</i>	<i>940,7</i>	<i>940,7</i>	<i>-“-</i>	<i>0</i>	<i>251,1</i>	<i>214,2</i>	<i>0</i>
<i>Вариант 3б</i>	<i>-“-</i>	<i>-“-</i>	<i>-“-</i>	<i>708,3</i>	<i>-“-</i>	<i>28,3</i>	<i>218,6</i>	<i>190,2</i>	<i>28,3</i>
<i>Вариант 3в</i>	<i>-“-</i>	<i>-“-</i>	<i>-“-</i>	<i>654,6</i>	<i>-“-</i>	<i>73,7</i>	<i>205,8</i>	<i>179,0</i>	<i>73,7</i>
<i>Вариант 4а</i>	<i>256,91</i>	<i>831,6</i>	<i>831,6</i>	<i>831,6</i>	<i>-“-</i>	<i>0</i>	<i>220,4</i>	<i>187,6</i>	<i>0</i>
<i>Вариант 4б</i>	<i>-“-</i>	<i>-“-</i>	<i>-“-</i>	<i>591,2</i>	<i>-“-</i>	<i>28,3</i>	<i>187,9</i>	<i>163,4</i>	<i>28,3</i>
<i>Вариант 4в</i>	<i>-“-</i>	<i>-“-</i>	<i>-“-</i>	<i>556,7</i>	<i>-“-</i>	<i>62,8</i>	<i>178,3</i>	<i>154,9</i>	<i>62,8</i>

* - в числителе – при использовании теплоты грунта, знаменателе – сточных вод

5. Технико-экономическое сравнение альтернативных вариантов теплоснабжения

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

В расчетах технико-экономических показателей использованы типовые методики и технические данные, приведенные в разделах 1-4.

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

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

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

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

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

Результаты расчетов приведены в таблице 5.1.

Экономическое сравнение рассматриваемых вариантов выполняется по методу приведенных затрат, величине экономии ежегодных эксплуатационных затрат на теплоснабжение и сроку окупаемости единовременных капитальных вложений.

Рассматриваемые варианты различаются как по капитальным вложениям на их реализацию, так и по величине ежегодных эксплуатационных расходов на выработку тепловой энергии.

Соизмерение этих разных значений осуществляется с помощью метода приведенных затрат,

$$Z_a = P_b K_a + I_a,$$

где Z_a - величина приведенных затрат на сооружение источника теплоснабжения;

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

I_a - ежегодные эксплуатационные расходы;

K_a - суммарные капитальные вложения на сооружение источников теплоснабжения.

Оптимальный вариант выбирается по меньшей величине приведенных затрат Z_a . **Капитальные вложения** на сооружение источника теплоснабжения определены по результатам анализа данных, полученным от организаций, представляющих интересы фирм-изготовителей в Республике Беларусь (для импортируемых без уплаты таможенной пошлины и НДС). Исходные данные по типам и мощности тепловых насосов, устройств отбора низкопотенциальной теплоты приведены в приложении 3.

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

Результаты расчета капитальных вложений, необходимых для сооружения источника теплоснабжения жилого дома, сведены в таблицу 5.2.

Таблица 5.1

Сравнение энергетической эффективности вариантов
по расходу первичного топлива

Варианты	Расчетная тепловая нагрузка жилого дома, кВт	Потребляемая мощность (в кВт) при использовании тепловыми насосами теплоты:		Годовое теплопотребление жилого дома, Гкал	Годовой расход первичного топлива (в т.т.) при использовании тепловыми насосами теплоты:	
		Грунта	сточных вод		Грунта	сточных вод
Вариант 1а. 100 % О и В с учетом естественной вентиляции и 100% ГВ 492 жителей от тепловых насосов	382,7	122,9	107,6	1393,2	111,2	94,0
Вариант 1б. 100% О и В с учетом естественной вентиляции и 80% ГВ 492 жителей от тепловых насосов	382,7	117,3	102,7	1393,2	102,9	85,7
Вариант 1в. 60% (от минус 10 ⁰ С и выше) О и В с учетом естественной вентиляции и 80% ГВ 492 жителей от тепловых насосов	382,7	81,1	71,0	1393,2	103,0	91,4
Вариант 2а. 100 % О и В без учета естественной вентиляции и 100% ГВ 492 жителей от тепловых насосов	323,81	104,6	91,6	1284,1	89,2	87,1
Вариант 2б. 100 % О и В без учета естественной вентиляции и 80% ГВ 492 жителей от тепловых насосов	323,81	99,1	86,9	1284,1	95,0	78,8
Вариант 2в. 60% (от минус 10 ⁰ С и выше) О и В без учета естественной вентиляции и 80% ГВ 492 жителей от тепловых насосов	323,81	73,7	64,6	1284,1	98,4	82,5
<i>Вариант 3а.</i> 100 % О и В с учетом естественной вентиляции и 100% ГВ 258 жителей от тепловых насосов	315,83	104,6	91,6	940,7	64,0	54,6
<i>Вариант 3б.</i> 100 % О и В с учетом естественной вентиляции и 80% ГВ 258 жителей от тепловых насосов	315,83	99,1	86,9	940,7	60,5	53,3
<i>Вариант 3в.</i> 60% (от минус 10 ⁰ С и выше) О и В с учетом естественной вентиляции и 80% ГВ 258 жителей от тепловых насосов	315,83	68,1	59,7	940,7	64,9	58,0
Вариант 4а. 100 % О и В без учета естественной вентиляции и 100% ГВ 258 жителей от тепловых насосов	256,91	86,4	75,7	831,6	56,2	47,8
Вариант 4б. 100% О и В без учета естественной вентиляции и 80% ГВ 258 жителей от тепловых насосов	256,91	81,0	71,0	831,6	52,7	46,5
Вариант 4в. 60 % (от минус 10 ⁰ С и выше) О и В без учета естественной вентиляции и 80% ГВ 258 жителей от тепловых насосов	256,91	55,5	48,6	831,6	56,0	50,1

* - в числителе – при использовании теплоты грунта, знаменателе – сточных вод

Таблица 5.2

Капитальные вложения на сооружение источника теплоснабжения
(в тыс. долларов США)

Варианты	Использование теплоты грунта			Использование теплоты сточных вод		
	Всего	в том числе		Всего	в том числе	
		Приобретение и обвязка тепловых насосов	Затраты на устройство геотермального контура		Приобретение и обвязка тепловых насосов	Затраты на устройство контура сточных вод
Вариант 1а. 100 % О и В с учетом естественной вентиляции и 100% ГВ 492 жителей от тепловых насосов	584,78	132,8	255,1	430,28	115,5	117,9
Вариант 1б. 100% О и В с учетом естественной вентиляции и 80% ГВ 492 жителей от тепловых насосов	565,28	131,0	237,4	419,98	113,7	109,4
Вариант 1в. 60% (от минус 10 ⁰ С и выше) О и В с учетом естественной вентиляции и 80% ГВ 492 жителей от тепловых насосов	469,38	96,5	168,8	357,08	81,0	79,2
Вариант 2а. 100 % О и В без учета естественной вентиляции и 100% ГВ 492 жителей от тепловых насосов	530,8	115,8	218,1	394,78	98,2	99,7
Вариант 2б. 100 % О и В без учета естественной вентиляции и 80% ГВ 492 жителей от тепловых насосов	509,78	113,7	199,2	384,58	96,4	91,3
Вариант 2в. 60% (от минус 10 ⁰ С и выше) О и В без учета естественной вентиляции и 80% ГВ 492 жителей от тепловых насосов	427,18	82,8	147,5	344,38	79,2	68,3
<i>Вариант 3а.</i> 100 % О и В с учетом естественной вентиляции и 100% ГВ 258 жителей от тепловых насосов	523,98	115,5	211,6	392,38	98,2	97,3
<i>Вариант 3б.</i> 100 % О и В с учетом естественной вентиляции и 80% ГВ 258 жителей от тепловых насосов	512,98	113,7	202,4	386,18	96,4	92,9
<i>Вариант 3в.</i> 60% (от минус 10 ⁰ С и выше) О и В с учетом естеств. вентиляции и 80% ГВ 258 жителей от тепловых насосов	415,68	81,0	137,8	325,08	65,5	62,7
<i>Вариант 4а.</i> 100 % О и В без учета естественной вентиляции и 100% ГВ 258 жителей от тепловых насосов	463,88	98,2	168,8	356,98	81,0	79,1
<i>Вариант 4б.</i> 100% О и В без учета естественной вентиляции и 80% ГВ 258 жителей от тепловых насосов	457,08	96,5	163,7	352,68	81,0	74,8
<i>Вариант 4в.</i> 60 % (от минус 10 ⁰ С и выше) О и В без учета естественной вентиляции и 80% ГВ 258 жителей от тепловых насосов	377,68	65,5	115,3	310,58	61,9	51,8

*- включая затраты на сооружение геосистем равные 181,88 тыс. долларов, резервуара-усреднителя потока сточных вод жилого дома с погружным теплообменником-утилизатором теплоты «серых» сточных вод – 15 тыс. долларов

Ежегодные эксплуатационные расходы определяются по уравнению

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

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

$I_{\text{а}}$ - амортизационные отчисления, равные сумме отчислений на реновацию (полное восстановление основных фондов) и капитальный ремонт,

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

$I_{\text{обслуж.}}$ - расходы на обслуживание.

В расчетах $I_{\text{энерг.}}$ использованы расчетные данные о годовых расходах электрической и тепловой энергии, приведенные в табл. 4.5 и следующие значения стоимости энергоресурсов, расходуемых для выработки тепловой энергии:

- на электроэнергию из энергосистемы, обеспечивающих полное возмещение экономических обоснованных затрат энергосистемы – 97,6долл. США⁵;
- на тепловую энергию из городской тепловой сети (себестоимость) – 42,0 долл. США (2013 год).

Результаты расчета сведены в таблицу 5.3.

Для определения значений $I_{\text{а}}$ приняты следующие средневзвешенные значения отчислений от капитальных вложений на реновацию (полное восстановление основных фондов) и капитальный ремонт теплоисточников, учитывающие срок службы основного оборудования – $r_{\text{рен.}} = 4\%$; $r_{\text{кап. ремонт}} = 4\%$.

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

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

Результаты расчетов сведены в таблицу 5.3.

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 $I_{\text{тек. ремонт}}$ для различных вариантов определяется из соотношения

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

Результаты расчетов сведены в таблицу 5.3.

Расходы на обслуживание $I_{\text{обслуж.}}$ (включая сервисное производителей оборудования) приняты равными 5 тыс. долларов в год при использовании теплоты грунта и 7,5 тыс. долларов – теплоты сточных вод. 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.

⁵ - перерасчет тарифов в долларový эквивалент при курсе 1 доллар = 9400 рублей

Таблица 5.3

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

Варианты	НПИТ	I_{Σ}	в том числе			
			$I_{\text{энерг.}}$	I_a	$I_{\text{тек.рем.}}$	$I_{\text{обслуж.}}$
Вариант 1а. 100 % О и В с учетом ест. вент. и 100% ГВ 492 жителей	Грунт	99,1	42,6 (0)	46,8	4,7	5,0
	Ст. воды	81,3	36,0 (0)	34,4	3,4	7,5
Вариант 1б. 100% О и В с учетом ест. вент. и 80% ГВ 492 жителей	Грунт	92,8	38,1 (2,3)	45,2	4,5	5,0
	Ст. воды	75,1	30,8 (2,3)	33,5	3,4	7,5
Вариант 1в. 60% (от минус 10 ⁰ С и выше) О и В с учетом естественной вентиляции и 80% ГВ 492 жителей	Грунт	83,8	37,4 (4,4)	37,6	3,8	5,0
	Ст. воды	71,9	32,9 (4,4)	28,6	2,9	7,5
Вариант 2а. 100 % О и В без учета ест. вент. и 100% ГВ 492 жителей	Грунт	86,0	34,2 (0)	42,5	4,3	5,0
	Ст. воды	75,6	33,3 (0)	31,6	3,2	7,5
Вариант 2б. 100 % О и В без учета ест. вент. и 80% ГВ 492 жителей	Грунт	85,0	35,1 (2,3)	40,8	4,1	5,0
	Ст. воды	70,3	28,9 (2,3)	30,8	3,1	7,5
Вариант 2в. 60% (от минус 10 ⁰ С и выше) О и В без учета ест. вентиляции и 80% ГВ 492 жителей	Грунт	78,3	35,7 (3,8)	34,2	3,4	5,0
	Ст. воды	67,5	29,6 (3,8)	27,6	2,8	7,5
Вариант 3а. 100 % О и В с учетом ест. вент. и 100% ГВ 258 жителей	Грунт	70,7	24,5 (0)	41,9	4,2	5,0
	Ст. воды	62,9	20,9 (0)	31,4	3,1	7,5
Вариант 3б. 100 % О и В с учетом ест. вент. и 80% ГВ 258 жителей	Грунт	72,6	22,5 (1,2)	41,0	4,1	5,0
	Ст. воды	61,3	19,8 (1,2)	30,9	3,1	7,5
Вариант 3в. 60% (от минус 10 ⁰ С и выше) О и В с учетом естественной вентиляции и 80% ГВ 258 жителей	Грунт	64,8	23,2 (3,1)	33,3	3,3	5,0
	Ст. воды	56,7	20,6 (3,1)	26,0	2,6	7,5
Вариант 4а. 100 % О и В без учета ест. вент. и 100% ГВ 258 жителей	Грунт	67,3	21,5 (0)	37,1	3,7	5,0
	Ст. воды	57,3	18,3 (0)	28,6	2,9	7,5
Вариант 4б. 100% О и В без учета ест. вент. и 80% ГВ 258 жителей	Грунт	64,8	19,5 (1,2)	36,6	3,7	5,0
	Ст. воды	55,7	17,2 (1,2)	28,2	2,8	7,5
Вариант 4в. 60 % (от минус 10 ⁰ С и выше) О и В без учета естеств. вентиляции и 80% ГВ 258 жителей	Грунт	58,2	20,0 (2,6)	30,2	3,0	5,0
	Ст. воды	52,5	17,7 (2,6)	24,8	2,5	7,5

*- в скобках стоимость тепловой энергии от ТЭЦ, включенная в сумму $I_{\text{энерг.}}$.

Результаты технико-экономических расчетов, выполненные по формуле приведенных затрат ($Z_a = \Pi_6 K_a + I_a$), приведены в таблице 5.4.

Таблица 5.4

Результаты технико-экономического сравнения вариантов
(в тыс. долларов США)

Варианты	НПИТ	Z_{Σ}	в том числе	
			K_{Σ}	I_{Σ}
Вариант 1а. 100 % О и В с учетом ест. вент. и 100% ГВ 492 жителей	Грунт	157,6	584,78	99,1
	Ст. воды	124,3	430,28	81,3
Вариант 1б. 100% О и В с учетом ест. вент. и 80% ГВ 492 жителей	Грунт	149,3	565,28	92,8
	Ст. воды	117,1	419,98	75,1
Вариант 1в. 60% (от минус 10 ⁰ С и выше) О и В с учетом естественной вентиляции и 80% ГВ 492 жителей	Грунт	130,7	469,38	83,8
	Ст. воды	107,6	357,08	71,9
Вариант 2а. 100 % О и В без учета ест. вент. и 100% ГВ 492 жителей	Грунт	139,1	530,8	86,0
	Ст. воды	115,1	394,78	75,6
Вариант 2б. 100 % О и В без учета ест. вент. и 80% ГВ 492 жителей	Грунт	136,0	509,78	85,0
	Ст. воды	108,8	384,58	70,3
Вариант 2в. 60% (от минус 10 ⁰ С и выше) О и В без учета естественной вентиляции и 80% ГВ 492 жителей	Грунт	121,0	427,18	78,3
	Ст. воды	101,9	344,38	67,5
Вариант 3а. 100 % О и В с учетом ест. вент. и 100% ГВ 258 жителей	Грунт	123,1	523,98	70,7
	Ст. воды	102,1	392,38	62,9
Вариант 3б. 100 % О и В с учетом ест. вент. и 80% ГВ 258 жителей	Грунт	123,9	512,98	72,6
	Ст. воды	99,9	386,18	61,3
Вариант 3в. 60% (от минус 10 ⁰ С и выше) О и В с учетом естественной вентиляции и 80% ГВ 258 жителей	Грунт	106,4	415,68	64,8
	Ст. воды	89,2	325,08	56,7
Вариант 4а. 100 % О и В без учета ест. вент. и 100% ГВ 258 жителей	Грунт	113,7	463,88	67,3
	Ст. воды	93,0	356,98	57,3
Вариант 4б. 100% О и В без учета ест. вент. и 80% ГВ 258 жителей	Грунт	110,5	457,08	64,8
	Ст. воды	91,0	352,68	55,7
Вариант 4в. 60 % (от минус 10 ⁰ С и выше) О и В без учета естественной вентиляции и 80% ГВ 258 жителей	Грунт	96,0	377,68	58,2
	Ст. воды	83,6	310,58	52,5

Анализ выше приведенных значений основных технико-экономических показателей показал, что рассматриваемые варианты различаются как по техническим (см. табл. 4.1 - 4.5 и 5.1), так и экономическим показателям (см. табл.5.2 - 5.4).

Лучшие для всех версий заселения жилого дома и систем вентиляции по принятым критериям эффективности являются варианты 1в, 2в, 3в, и 4в, в которых предусматривается совместная работа тепловых насосов, гелиосистем и сети централизованного теплоснабжения. Меньшие расходы первичного топлива и более низкие годовые эксплуатационные расходы достигаются при использовании тепловыми насосами теплоты городских сточных вод.

Указанные варианты рекомендуются как базовые для выбора в качестве проектного решения по источнику теплоснабжения и горячего водоснабжения пилотного жилого дома.

Результаты сравнения рекомендуемых вариантов сооружения собственного энергоэффективного теплоисточника (ТНУ) и традиционного решения, согласно техническим условиям Гродненских тепловых сетей из городской тепловой сети (ТЭЦ), приведены в таблице 5.5.

Таблица 5.5

Результаты технико-экономического сравнения эффективности источников теплоснабжения и горячего водоснабжения жилого дома

Варианты	Расход первичного топлива, ту.т./год		Эксплуатационные расходы, тыс. долл./год	
	ТНУ*	ТЭЦ**	ТНУ***	ТЭЦ****
Вариант 1в. 60% (от минус 10 ⁰ С и выше) О и В с учетом естественной вентиляции и 80% ГВ 492 жителей от тепловых насосов	91,4	234,6	71,9	58,5
Вариант 2в. 60% (от минус 10 ⁰ С и выше) О и В без учета естественной вентиляции и 80% ГВ 492 жителей от тепловых насосов	82,5	216,2	67,5	53,9
Вариант 3в. 60% (от минус 10 ⁰ С и выше) О и В с учетом естеств. Вентиляции и 80% ГВ 258 жителей от тепловых насосов	58,0	158,4	56,7	39,5
Вариант 4в. 60% (от минус 10 ⁰ С и выше) О и В без учета естественной вентиляции и 80% ГВ 258 жителей от тепловых насосов	50,1	140,0	52,5	34,9

*- 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.5.5, при принятых в энергосистеме на 2013 год удельных расходах топлива на выработку электрической и тепловой энергии, расходы первичного топлива при теплоснабжении жилого дома с применением тепловых насосов значительно ниже, чем при теплоснабжении от ТЭЦ, хотя эксплуатационные расходы при теплоснабжении от ТЭЦ ниже.

Однако, применение предлагаемого для проектирования источника теплоснабжения эффективно и по другим стратегическим факторам:

- по экономической устойчивости, как обеспечивающий меньшую зависимость от изменений ценовой политики на энергоресурсы (при ожидаемом росте энергоресурсов);
- по экологическим соображениям: как в меньшей степени влияющий на окружающую среду;
- по социальному фактору: как стимулирующий экономию энергии в других сферах деятельности;
- по конъюнктурным соображениям: т.к. в результате достигается экономия первичного топлива и используются местные энергетические ресурсы (сточные воды), что дает основание рассматривать его в качестве демонстрационного объекта энергосбережения в Гродненской области.

С учетом изложенных преимуществ, для более глубокой разработки и проектирования предлагается собственный полуавтономный источник теплоснабжения и горячего водоснабжения на основе тепловых насосов, использующих теплоту сточных вод, гелиоколлекторов и тепловой сети.

Выбор тепловых насосов и устройств отбора низкопотенциальной теплоты

В проекте планируется применить **агрегатированные тепловые насосы типа «рассол-вода» или «вода-вода»**, конструктивно приемлемые для размещения в стесненных условиях подвала жилого дома и не имеющие проблем в их монтаже и обслуживании.

Технические данные таких тепловых насосов фирм-изготовителей, имеющие своих представителей в Республике Беларусь, приведены в таблице П.1.

Таблица П.1

Технические характеристики тепловых насосов «рассол-вода» и «вода-вода»*

Показатели	Наименование фирм-изготовителей				
	Altal*** (Молдавия)	Геотерматекс (Беларусь)	Clivet (Италия)	Nibe (Швеция)	Ochsner** (Австрия)
1. При использовании теплоты грунта и параметрах 0/45⁰С («рассол-вода»)					
Тепловая мощность, кВт	54,2/66,8	37,8/	40,2/67,9	39,0/55,1	38,0/60,7
Количество теплоты НПИТ, кВт	40,6/50,0	27,1/	27,9/48,1	28,4/38,6	24,9/39,0
Мощность спиральных компрессоров, кВт	13,6/16,8	10,7/	12,3/19,8	10,6/16,5	13,1/21,7
Рабочий ток, А	41,4/50,0	32/	32,9/53,8	30,9/47,1	17,7/38,3
Коэффициент трансформации теплоты, кВт	3,99/3,98	3,54/	3,26/3,43	3,68/3,35	2,9/2,8
Количество компрессоров, шт	2		1/1	2/2	1/1
Тип хладагента	R22	R407C	R407C	R407C/410 А	R407C
Количество хладагента, кг	18,0/19,4	6,8/	-	2,4/2,4	8,8/13,2
G _{исп} , м ³ /час	10,16/12,56	6,7/	10,48/17,39	7,52/10,44	10,2/17,5
G _{конд} , м ³ /час	9,91/11,06	7,8/	8,0/13,36	3,34/4,82	6,9/11,3
Габариты (ширина x глубина x высота), м	0,64x0,64x1,75	0,8x0,5x1, 2	1,2x0,66x1,4	0,6x0,62x1,8	0,7x0,6x1,84
Вес, кг	570/585		487/520	352/353	238/320
Выходная мощность шумов, dB(A)	55/55		52/53	49/51	-
2. При использовании теплоты сточных вод и параметрах 10/45⁰С («вода-вода»)					
Тепловая мощность, кВт	52,7/68,09	52,5/	46,4/75,1	50,9/72,7	50,4/66,4
Количество теплоты НПИТ, кВт		40,9/	35,7/58,0	40,78/55,99	36,4/48,1
Мощность спиральных компрессоров, кВт	14,65/19,3	11,6/	10,7/17,1	11,7/18,4	14,0/18,3
Рабочий ток, А	29,8/41,4	32	28,6/46,2	30,9/47,1	16,6/30,5
Коэффициент трансформации теплоты, кВт	3,6/3,53	4,49/	4,34/4,39	4,34/3,95	3,6/3,6
Количество компрессоров, шт	2/2		2/2	2/2	1/1
Тип хладагента	R22	R407C	*	R407C/410A	R407C
Количество хладагента, кг	10,8/14,4	6,8/	*	2,4	8,8/10,2
G _{исп} , м ³ /час	8,0/10,16	6,7/	8,71/14,0	7,52/10,44	9,5/12,7
G _{конд} , м ³ /час	5,14/8,91	7,8/	7,24/11,52	3,34/4,82	9,4/12,5
Габариты (ширина x глубина x высота), м	0,64x0,64x1,75	0,8x0,5x1, 2	1,2x0,66x1,4	0,6x0,62x1,8	0,7x0,6x1,84
Вес, кг	425/570		439/509	352/353	238/
Выходная мощность шумов, dB(A)	55/55		52/53	49/51	-

* - в числителе для модуля 40 кВт, знаменателе - 60 кВт;

** - при параметрах 0/50⁰С и 10/50⁰С;

*** - при параметрах 0/35⁰С и 10/50⁰С

В зависимости от принятого к проектированию варианта структурной схемы источника теплоснабжения тепловые насосы рассчитываются на покрытие тепловой нагрузки жилого дома (см. табл. 3.1 и 3.2) с параметрами: температура теплоносителя на

входе в испарители – 0⁰С (рассол) и 7⁰С (вода); температура теплоносителя на выходе конденсаторов – 45⁰С. Причем, температуры теплоносителя на входе в испарители (0⁰С и 7⁰С) являются минимальными в расчетных условиях и могут изменяться неуправляемо в зависимости от изменения температуры грунта или сточных вод. Температура теплоносителя на выходе конденсаторов, равная 45⁰С – максимальная для проектируемых систем напольного отопления (35...45⁰С) и изменяется по заданной зависимости. На основании принятой кривой нагрева микропроцессор теплового насоса должен устанавливать температуру теплоносителя в системе отопления. Переключение теплоносителя на нагрузку горячего водоснабжения (с температурой 55⁰С) выполняется независимо от температурного графика сети отопления.

Для определения стоимости приобретения и обвязки тепловых насосов выполнен расчет их количества и тепловой мощности. Из соображений эксплуатационной надежности и экономической эффективности комбинировались модули из тепловых насосов усредненной мощности 40 кВт и 60 кВт при параметрах теплоносителей 0/45⁰С и 7/45⁰С.

В таблицу П.2 систематизированы результаты, применительно к каждому рассматриваемому варианту тепловых нагрузок и участия тепловых насосов в их покрытии.

Таблица П.2

Выбор количества и тепловой мощности тепловых насосов

Варианты*	Q _{ТН} ^{расч.} , кВт (см.табл.4.1)	Количество и мощность тепловых насосов (шт x кВт) при использовании теплоты:	
		грунта	сточных вод
Вариант 1а. 100 % О и В с учетом естественной вентиляции и 100% ГВ 492 жителей	382,7	6x60 + 1x40	5x60+1x40
Вариант 1б. 100% О и В с учетом естественной вентиляции и 80% ГВ 492 жителей	355,2	5x60 + 2x40	4x60+2x40
Вариант 1в. 60% (от минус 10 ⁰ С и выше) О и В с учетом естественной вентиляции и 80% ГВ 492 жителей	257,2	3x60 + 2x40	3x60+1x40
Вариант 2а. 100 % О и В без учета естественной вентиляции и 100% ГВ 492 жителей	323,81	5x60 + 1x40	4x60+1x40
Вариант 2б. 100 % О и В без учета естественной вентиляции и 80% ГВ 492 жителей	296,31	4x60 + 2x40	3x60+2x40
Вариант 2в. 60% (от минус 10 ⁰ С и выше) О и В без учета естественной вентиляции и 80% ГВ 492 жителей	221,8	4x60	2x60+2x40
Вариант 3а. 100 % О и В с учетом естественной вентиляции и 100% ГВ 258 жителей	315,83	5x60 + 1x40	4x60+1x40
Вариант 3б. 100 % О и В с учетом естественной вентиляции и 80% ГВ 258 жителей	301,69	4x60 + 2x40	3x60+2x40
Вариант 3в. 60% (от минус 10 ⁰ С и выше) О и В с учетом естественной вентиляции и 80% ГВ 258 жителей	203,64	3x60 + 1x40	3x60
Вариант 4а. 100 % О и В без учета естественной вентиляции и 100% ГВ 258 жителей	256,91	4x60 + 1x40	3x60+1x40
Вариант 4б. 100% О и В без учета естественной вентиляции и 80% ГВ 258 жителей	242,77	3x60 + 2x40	3x60+1x40
Вариант 4в. 60 % (от минус 10 ⁰ С и выше) О и В без учета естественной вентиляции и 80% ГВ 258 жителей	168,29	3x60	1x60+2x40

Источниками низкопотенциальной теплоты для всех вариантов применения тепловых насосов рассматриваются грунт и сточные воды проектируемого жилого дома и, проходящего возле площадки дома сточные воды городского коллектора (см. разделы 1 и 2).

Использование теплоты грунта возможно применением вертикальных грунтовых теплообменников-зондов. Исходными данными для расчетов являются: теплофизические характеристики грунта и требуемое количество теплоты, отбираемой от грунта.

Для оценочных расчетов принимаем среднее значение удельного теплового потока на 1 метр длины зонда в скважине равным 40 Вт. Тип зонда – U-образные пластиковые трубки наружного диаметра 40 мм. Глубина скважин под зонды – 100 м. Минимальное расстояние между скважинами – 6 м, от скважин до жилого дома – 10 м. Зонды группируются в коллекторных колодцах, из которых рассол (водный раствор гликоля) по сборным трубопроводам поступает к тепловым насосам и обратно. Расчетные параметры рассола: температура на входе в испаритель теплового насоса 0⁰С, на выходе – минус 4⁰С.

Результаты расчетов контура отбора теплоты грунта (геотермального контура) приведены в таблице П.3.

Таблица П.3

Выбор параметров геотермального контура

Варианты*	$Q_{\text{ГН}}^{\text{расч.}}$, кВт (см.табл.4.1)	$Q_{\text{геотерм.}}$ *, кВт	Количество скважин, шт	Количество коллектор- ных колодцев, шт
Вариант 1а. 100 % О и В с учетом естественной вентиляции и 100% ГВ 492 жителей	382,7	271,7	76	3
Вариант 1б. 100% О и В с учетом естественной вентиляции и 80% ГВ 492 жителей	355,2	252,2	71	3
Вариант 1в. 60% (от минус 10 ⁰ С и выше) О и В с учетом естественной вентиляции и 80% ГВ 492 жителей	257,2	182,6	51	2
Вариант 2а. 100 % О и В без учета естественной вентиляции и 100% ГВ 492 жителей	323,81	229,9	65	3
Вариант 2б. 100 % О и В без учета естественной вентиляции и 80% ГВ 492 жителей	296,31	210,4	59	2
Вариант 2в. 60% (от минус 10 ⁰ С и выше) О и В без учета естественной вентиляции и 80% ГВ 492 жителей	221,8	157,5	44	2
Вариант 3а. 100 % О и В с учетом естественной вентиляции и 100% ГВ 258 жителей	315,83	224,2	63	3
Вариант 3б. 100 % О и В с учетом естественной вентиляции и 80% ГВ 258 жителей	301,69	214,2	60	2
Вариант 3в. 60% (от минус 10 ⁰ С и выше) О и В с учетом естественной вентиляции и 80% ГВ 258 жителей	203,64	144,6	41	2
Вариант 4а. 100 % О и В без учета естественной вентиляции и 100% ГВ 258 жителей	256,91	182,4	51	2
Вариант 4б. 100% О и В без учета естественной вентиляции и 80% ГВ 258 жителей	242,77	172,4	49	2
Вариант 4в. 60 % (от минус 10 ⁰ С и выше) О и В без учета естественной вентиляции и 80% ГВ 258 жителей	168,29	119,5	34	2

* - при коэффициенте трансформации равном 3,5;

Использование теплоты «серых» сточных вод жилого дома. По данным архитектурного проекта расчетный объем отведения бытовых сточных вод составляет для вариантов 1а, 1б, 1в, 2а, 2б, 2в – 123 м³/сутки, для вариантов 3а, 3б, 3в, 4а, 4б, 4в – 64,5 м³/сутки. Принимаем, что объем «серых» сточных вод составляет 80% всех сточных вод, а их температура на выпусках стояков в отопительный период года – около 23,0⁰С.

При температуре охлажденных сточных вод равной 8⁰С и утилизации 90% теплоты всего объема «серых» сточных вод в резервуаре-усреднителе потока тепловая мощность теплообменника-утилизатора в расчетных условиях составит:

- в вариантах 1а, 1б, 1в, 2а, 2б, 2в (492 жителя дома) –

$$Q_{\text{ТО}}^{\text{P}} = [123 \cdot 0,8 / 24 \cdot (23 - 8)] \cdot 0,9 / 0,86 = 64,4 \text{ кВт.}$$

- в вариантах 3а, 3б, 3в, 4а, 4б, 4в (258 жителей дома) –

$$Q_{\text{ТО}}^{\text{P}} = [64,5 \cdot 0,8 / 24 \cdot (23 - 5)] \cdot 0,9 / 0,86 = 33,8 \text{ кВт.}$$

Технически возможно применение двух видов конструкций блоков утилизации теплоты «серых» сточных вод: конструкция НИПТИС, апробированная на объектах республики и серийно производимые зарубежными фирмами. Они могут быть как интегрированы в систему отбора с другими источниками низкопотенциальной теплоты, так и работать автономно в контуре с собственным тепловым насосом.

Включение теплообменника-утилизатора сточных вод последовательно может быть рекомендовано только в контур отбора низкопотенциальной теплоты грунта при расчетной температуре рассола из скважин равной 0⁰С.

Применение теплообменника-утилизатора при использовании теплоты городских сточных вод требует технико-экономического обоснования.

Использование теплоты производственных и бытовых сточных вод, отводимых по районному канализационному коллектору.

Располагаемый тепловой потенциал городских сточных вод, отводимых по районному канализационному коллектору диаметром 500 мм, значительно превышает потребности в тепловой энергии пилотного жилого дома. Гидравлические параметры потока сточных вод в коллекторе приведены в разделе 1 отчета.

В условиях расположения и прокладки коллектора технически возможны две конструкции теплообменника-утилизатора теплоты сточных вод: теплообменник местного изготовления из полиэтиленовых труб, проложенных в трубе d500 коллектора (вариант 1) и теплообменник серийного производства, размещаемый в бетонном резервуаре, который заполняется проточным потоком сточных вод из городского коллектора (вариант 2).

Вариант 1. Конструкция из гибких полиэтиленовых труб d50, прокладываемых между существующими колодцами А и Б, непосредственно в потоке сточных вод практически без изменения конструкции коллектора d500. Частично реконструируются только колодцы А и Б для размещения узлов ввода и отведения сборных трубопроводов с коллекторами присоединения теплообменных труб. Длина участка между колодцами А и Б – 50 м. Протяженность сборных трубопроводов диаметром 110 мм – около 120 м.

Расчетные параметры сточных вод (греющая среда): расход – 130...1300 м³/час, наполняемость коллектора 10...100% , температура зимой – 15⁰С, летом – 20⁰С. Расчетные параметры теплоносителя контура испарителя теплового насоса (нагреваемая среда): расход – 22...50 м³/час, температура – 5/10⁰С.

Результаты тепловых расчетов параметров теплообменника-утилизатора (расчеты у автора) приведены в таблице П.4.

Таблица П.4

Выбор параметров теплообменников-утилизаторов теплоты городских сточных вод

Варианты*	$Q_{ТН}^{расч.}$, кВт (см.табл.4.1)	$Q_{ст. вод.}^*$, кВт	Расчетный расход теплоносителя в ТО**, м ³ /час/л/сек	Колич-во труб d 50 мм (Вариант 1), шт x м	Поверхность теплообменника-утилизатора вариант 2), м ²
Вариант 1а. 100 % О и В с учетом естественной вентиляции и 100% ГВ 492 жителей	382,7	294,7	50,7/14,1	6x50	150
Вариант 1б. 100% О и В с учетом естественной вентиляции и 80% ГВ 492 жителей	355,2	273,5	47,0/13,1	5x50	130
Вариант 1в. 60% (от минус 10 ⁰ С и выше) О и В с учетом естественной вентиляции и 80% ГВ 492 жителей	257,2	198,0	34,1/9,5	4x50	100
Вариант 2а. 100 % О и В без учета естественной вентиляции и 100% ГВ 492 жителей	323,81	249,3	42,9/11,9	5x50	120
Вариант 2б. 100 % О и В без учета естественной вентиляции и 80% ГВ 492 жителей	296,31	228,2	39,2/10,9	5x50	110
Вариант 2в. 60% (от минус 10 ⁰ С и выше) О и В без учета естественной вентиляции и 80% ГВ 492 жителей	221,8	170,8	29,4/8,2	4x50	90
Вариант 3а. 100 % О и В с учетом естественной вентиляции и 100% ГВ 258 жителей	315,83	243,2	41,8/11,6	5x50	120
Вариант 3б. 100 % О и В с учетом естественной вентиляции и 80% ГВ 258 жителей	301,69	232,3	40,0/11,1	5x50	115
Вариант 3в. 60% (от минус 10 ⁰ С и выше) О и В с учетом естественной вентиляции и 80% ГВ 258 жителей	203,64	156,8	27,0/7,5	4x50	80
Вариант 4а. 100 % О и В без учета естественной вентиляции и 100% ГВ 258 жителей	256,91	197,8	34,0/9,4	4x50	100
Вариант 4б. 100% О и В без учета естественной вентиляции и 80% ГВ 258 жителей	242,77	186,9	32,2/8,9	4x50	95
Вариант 4в. 60 % (от минус 10 ⁰ С и выше) О и В без учета естественной вентиляции и 80% ГВ 258 жителей	168,29	129,6	22,3/6,2	3x50	70

* - при коэффициенте трансформации равном 4,3;

** при $\Delta t = 5^0C$;

Вариант 2. Конструкция, включающая сетчатый фильтр, теплообменные трубы и насос очистки фильтра, взмучивания и удаления осадка, размещается в бетонном резервуаре, который заполняется проточным потоком сточных вод из городского коллектора (рис. ПЗ.1, ПЗ.2, ПЗ.3 и ПЗ.4).



Рис. П.1. Сооружение резервуара сточных вод.



Рис. П.2. Монтаж погружного теплообменника-утилизатора теплоты сточных вод



П.3. Вид на теплообменник-утилизатор перед обвязкой



Рис. П.4. Вид на блок утилизации теплоты городских сточных вод



Рис. П.5. Вид крышки резервуара с теплообменником-утилизатором теплоты сточных вод

Бетонный резервуар с погружным в стоки теплообменником-утилизатором размещается рядом с колодцем А коллектора. От резервуара до жилого дома прокладываются изолированные трубопроводы диаметром 120 мм.

Конструкторские расчеты блока утилизации теплоты городских сточных вод будут выполнены при поддержке фирмы-изготовителя подобных блоков (см. рис П.1-П.4).

Результаты расчетов контура отбора теплоты грунта (геотермального контура) приведены в таблице П.4.