

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

Рецензент, Руководитель механиче-

(должность)

(И.О. Ф.)

2018 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩ

Заведующий кафедр

Г.А.

06

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ-08.04.01.2018. 160.ПЗ ВКР

Руководитель работы,

Доцент кафедры СПТС

А.Е.

Автор работы

студент группы АСИ-2

К.А. К

(совместно с А.С. Вотч

27 июня

Нормоконтролер,

Доцент кафедры СПТС

А.Е.

Антиплагиат,

Доцент кафедры СПТС

А.Е.

АННОТАЦИЯ

Кириллова К.А. (совместно с Вотчаловой А.С.) Выпускная квалификационная работа. Техничко-экономический анализ энергоэффективности систем отопления – Челябинск: ЮУрГУ, АСИ, 2018, 95 с., библиограф. список – 29 наименований

В данной работе рассчитана система отопления жилого дома, рассмотрены различные системы теплоснабжения, выявлены технические возможности их использования (подключение к центральным сетям теплоснабжения, создание газовой или жидкотопливной автономной котельной, электрическое отопление от центральной сети электроснабжения и от солнечных батарей, использование теплового насоса). Рассчитаны капитальные вложения в каждую систему и эксплуатационные затраты. Приведено сравнение полученных результатов. В работе использован программный комплекс Solkane 6.0.0.3.

АСИ-179.08.04.01.2018.189.ПЗ

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Утвердил		Пикус Г.А.		
Руковод.		Русанов А.Е.		
Н.контр.		Русанов А.Е.		
Разрб.		Кириллова		

Техничко-экономический
анализ
энергоэффективности
систем отопления

Лит.	Лист	Листов
	3	95

ЮУрГУ кафедра СПТС

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	6
1 Обзор литературы с постановкой задач исследования.....	8
1.1 Подключение к централизованной сети теплоснабжения.....	8
1.2 Теплоснабжение от автономной газовой котельной.....	8
1.3 Теплоснабжение от электрической котельной.....	10
1.3.1 Подключение к сети электроснабжения.....	10
1.3.2 Использование солнечных коллекторов.....	12
1.4 Использование теплового насоса.....	18
1.4.1 Теоретические основы работы теплового насоса.....	18
1.4.2 Источники тепла для теплового насоса.....	24
1.5 Теплоснабжение от котельной на жидком топливе.....	33
1.6 Комбинированные системы.....	34
1.6.1 Комбинация газового и дизельного котельного устройства.....	35
1.6.2 Комбинация твердотопливного и электрического котлов.....	35
1.6.3 Комбинация воздушного теплового насоса и дров.....	36
1.6.4 Комбинация солнечных батарей и использования электросети.....	37
2. Результаты выполненных исследований (расчетная часть).....	38
2.1 Объект исследования – частный дом.....	38
2.2 Система отопления дома.....	41
2.2.1 Теплоснабжение от автономной газовой котельной.....	51
2.2.2 Теплоснабжение от электрической котельной.....	54
2.2.2.1 Подбор электрического котла.....	54
2.2.2.2 Подключение к сети.....	55
2.2.3 Использование солнечных батарей.....	55
2.2.4 Использование теплового насоса	61
2.2.5 Теплоснабжение от котельной на жидком топливе.....	73
2.2.6 Комбинированные системы.....	73
3 Техничко-экономическая оценка результатов исследований.....	74
3.1 Сравнение капитальных вложений.....	74

					08.04.01.2018.188 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		4

3.1.1	Подключение к централизованному источнику водоснабжения	74
3.1.2	Сооружение газовой котельной.....	74
3.1.3	Сооружение электрической котельной.....	75
3.1.4	Тепловой насос с земляным контуром.....	76
3.1.5	Сооружение жидкотопливной котельной.....	76
3.1.6	Сравнение капитальных затрат.....	77
3.2	Расчет эксплуатационных затрат	77
3.2.1	Газовая котельная.....	77
3.2.2	Электрическая котельная.....	79
3.2.3	Жидкотопливная котельная.....	80
3.2.4	Отопление тепловым насосом.....	81
3.2.5	Сравнение вариантов.....	82
	Заключение.....	88
	Библиографический список.....	89
	Приложение 1.....	91
	Приложение 2.....	92
	Приложение 3.....	93
	Приложение 4.....	94
	Приложение 5.....	95

ВВЕДЕНИЕ

На большей части территории нашей страны имеют место такие климатические условия, что некоторую часть года температура воздуха опускается ниже нуля. Для комфортного проживания людей в такой период требуется подогревать воздух в домах. Для этого проектируются и сооружаются системы отопления зданий.

Изначально, дома отапливались печами, в которых сжигалось твердое органическое топливо: дрова, уголь, всякий мусор, щепки и прочее.

В России строились даже многоквартирные двух- и трехэтажные жилые дома с печным отоплением в каждой квартире. Горячая вода готовилась в «титанах», которые так же работали на энергии сгорания топлива.

Прогресс привел электрическую энергию почти в каждый дом и системы отопления стали делать централизованными. Это позволило повысить надежность теплоснабжения и условия комфорта жителей и работников, а также улучшить экологическую обстановку в городах и поселках, поскольку источники выбросов стали удаленными от населенных районов и высокими, что увеличило рассеивание примесей в атмосфере.

При строительстве нового здания, будь то жилой дом, промышленный объект или общественное здание, возникает необходимость обеспечить его инженерными системами.

Системы отопления выполняются совершенно различными: радиаторное водяное отопление, воздушное отопление, совмещенное с вентиляцией, местное отопление с использованием инфракрасных излучателей и пр. Для отопления жилых зданий наиболее распространена водяная радиаторная система. Схемы ее организации могут быть различными, но принцип организации сохраняется. Горячая вода с источника теплоты подается в радиаторы отопления, охлаждается в них, нагревая тем самым воздух в помещении, и отправляется обратно на источник, где снова подогревается.

Источником теплоснабжения может быть центральная котельная или ТЭЦ, а также автономные источники.

					08.04.01.2018.188 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

В данной работе рассмотрено сравнение систем отопления частного двухэтажного дома, расположенного в пригороде города Саратов.

Актуальность темы обусловлена необходимостью выбора источника теплоты при создании инженерных систем вновь строящегося дома. Выбор может осуществляться по техническим и инженерным соображениям (наличию технической возможности, местным условиям, особенностям расположения и пр.), а также технико-экономическим сравнением вариантов при технической возможности их создания.

Целью работы является сравнение вариантов системы отопления частного жилого дома в окрестностях г. Саратов.

Объектом исследования является система теплоснабжения нового дома.

Задачи исследования можно сформулировать следующие:

- рассчитать систему отопления жилого дома, определить мощность системы;
- рассмотреть различные системы теплоснабжения, выявить техническую возможность их использования (подключение к центральным сетям теплоснабжения, создание газовой или жидкотопливной автономной котельной, электрическое отопление от центральной сети электроснабжения и от солнечных батарей, использование теплового насоса);
- рассчитать капитальные вложения в каждую систему и эксплуатационные затраты;
- сравнить полученные результаты.

					08.04.01.2018.188 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ С ПОСТАНОВКОЙ ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Подключение к централизованной сети теплоснабжения

Подключение к централизованной сети теплоснабжения осуществляется при соблюдении ряда обязательных условий. Первым из условий можно назвать наличие в небольшом удалении (до 500 м) тепловой сети от централизованного источника.

Вторым условие является наличие технического резерва тепловой сети для подключения нового абонента (то есть возможность пропустить увеличившийся расход воды в трубопроводах без нарушения гидравлического режима сети). Третьим условием является резерв тепловой мощности на источнике теплоснабжения, то есть возможность источника увеличить выработку тепловой энергии.

Плюс ко всему, необходимо понимать, что подключение к централизованному источнику требует вложения средств для прокладки нового участка теплотрассы, а также плату за подключение к мощностям.

1.2 Теплоснабжение от автономной газовой котельной

Для создания автономной газовой котельной нужно, во-первых, иметь техническую возможность подключению к газоснабжению с достаточным расходом газа и приемлемыми параметрами.

Во-вторых, необходимо выполнить проект подключения и самой котельной. В-третьих, нужно согласовать строительство автономной газовой котельной в соответствующих надзорных органах, которые следят за безопасностью использования газового топлива на любых, пусть даже малых, энергетических установках.

					08.04.01.2018.188 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

2. Герметичность рабочей камеры насоса, т. е. постоянное отделение линии всасывания и нагнетания. По этой причине в объемных насосах довольно часто используют обратные клапаны, поршневые объемные насосы без таких клапанов работать не смогут.

3. Самовсасывание объемных насосов можно назвать следствием предыдущего свойства. Ввиду постоянного разделения линий всасывания и нагнетания объемные насосы способны создать разрежение во всасывающем трубопроводе, достаточное для подъема жидкости до уровня расположения насоса. Высота всасывания жидкости при этом не может быть больше предельной - определяющая высота которой - давление насыщенных паров.

4. Жесткость характеристик, что означает малую зависимость подачи насоса от развиваемого им давления, некоторое падение характеристики обуславливается лишь перетечками рабочей жидкости внутри рабочей камеры насоса. Идеальная подача объемного насоса (в которой не учитываются перетечки - объемный КПД) не зависит от давления.

5. Независимость давления, создаваемого объемным насосом, от скорости движения рабочего органа (например, поршня) и скорости жидкости.

1.4.3 Режимы работы тепловых насосов

Режим работы тепловых насосов зависит главным образом [7] от выбранной или имеющейся системы распределения тепла. В зависимости от модели тепловые насосы Viessmann достигают температур подачи до 65 °С. Для покрытия теплоснабжения при более высоких температурах подачи или очень низких наружных температурах может потребоваться дополнительный теплогенератор (моноэнергетический или бивалентный режим работы).

					08.04.01.2018.188 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		30

Подключение жидкотопливной котельной с большим запасом производительности, приводит к перерасходу топлива на 10-15%. По этой причине, предварительный расчет котла, выполняет специалист. Запас по мощности, не должен превышать 10-15% от фактической потребности в тепловой энергии, с учетом горячего водоснабжения.

Частные жидкотопливные отопительные котлы, изготавливают европейские и отечественные компании. При подборе подходящей модели, учитывают несколько эксплуатационных характеристик:

- Мощность – вычисления делает специалист. Предварительный расчет выполняется по формуле $1 \text{ кВт} = 10 \text{ м}^2$.
- Функциональность – одноконтурные модели, работают на обогрев, двухконтурные, подключаются к системам отопления и ГВС.

В некоторых моделях с двумя контурами, присутствует встроенная накопительная емкость, обеспечивающая равномерную подачу горячей воды во время пиковых нагрузок на горячее водоснабжение.

Помимо подбора по мощности, функциональности и ценовой категории, теплогенератор выбирают, в зависимости от марки производителя и личных предпочтений хозяина дома.

1.6 Комбинированные системы

В пределах частного дома могут одновременно или поочередно использоваться:

- Разные источники тепла (как правило, котлы на разных видах энергии), подключенные к одной, общей отопительной системе;
- Две и более абсолютно независимых системы отопления. Они могут делить дом на несколько отапливаемых разными способами помещений или, при необходимости, заменять друг друга на всей площади здания;
- Один отопительный контур с двумя или несколькими типами отопительных приборов.

					08.04.01.2018.188 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

Поскольку работа посвящена источникам тепловой энергии, рассмотрим варианты комбинирования разных источников теплоты.

1.6.1 Комбинация газового и дизельного котельного устройства

В единственном отопительном контуре монтируется универсальный котел, предназначенный для использования обоих видов топлива. Переход с солярового масла на газ и обратно требует только замены горелки. Универсальные котлы могут перейти с дизельного топлива на магистральный газ после простой замены горелки.

Использование такого вида комбинации позволит отапливать дом при отключении газа в магистрали, а также в тех случаях, когда дом уже построен и готов к вводу в эксплуатацию, а газовые трубопроводы еще не подведены.

Однако стоимость производимого тепла от жидкотопливного котла в 5-7 раз выше, чем при сжигании природного газа.

1.6.2 Комбинация твердотопливного и электрического котлов

Оба котла параллельно подключены к общему отопительному контуру и работают на нагрев поочередно. В качестве дополнительного элемента обвязки, общего для обоих источников тепла, может выступать теплоаккумулятор — объемный бак с теплоизоляцией, способный долгое время сохранять температуру воды постоянной. От буферной емкости (теплоаккумулятора) запитаны системы отопления и горячего водоснабжения. Можно выделить некоторые преимущества такой системы:

					08.04.01.2018.188 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35

- При длительных отключениях электроэнергии всегда можно перейти на твердое топливо (дрова, пеллеты или уголь);
- Если твердое топливо используется в качестве основного источника тепла, электродвигатель выступает в роли страхующего;
- Удобство пользования. Ночью владелец такой отопительной системы может не просыпаться для растопки: достаточно разрешить электродвигателю поддерживать заданную температуру теплоносителя;
- Экономичность при работе на электроэнергии.

На двухставочном тарифе вы можете пользоваться электричеством по более дешевой ночной ставке. Днем, когда киловатт-час стоит втрое дороже, система отопления работает на твердом топливе. Двухтарифный счетчик отдельно учитывает дневное и ночное энергопотребление. Они тарифицируются по разным ставкам.

1.6.3 Комбинация воздушного теплового насоса и дров

В качестве основного источника тепла используется тепловой насос: внешний блок отбирает тепло у окружающего воздуха, воды или земли, внутренний — отдает полученное тепло теплоносителю (воде в контуре отопительной системы). Дополнительный источник энергии — дровяной камин с водяной рубашкой вокруг топки.

Такая схема имеет ряд преимуществ:

Тепловой насос выгоднее любого прибора прямого нагрева (в том числе электродвигателя), поскольку использует низкопотенциальное тепло окружающей среды;

Зависимость эффективности теплового насоса от температуры среды-источника тепла при неизменной температуре внутри дома.;

При $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ на улице придется использовать другой источник тепла.

В этом случае подключается дополнительный теплообменник в камине, печи или твердотопливном котле.

					08.04.01.2018.188 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		36

Согласно [1] таб. 1:

1. Температура воздуха наиболее холодной пятидневки, обеспеченностью 0,92: $t_5^{0,92} = -25^\circ\text{C}$.

2. Средняя температура воздуха, $^\circ\text{C}$, периода со среднесуточной температурой воздуха $\leq 8^\circ\text{C}$: $t_{\text{от.пер.}}^8 = -3,5^\circ\text{C}$. ($\leq 8^\circ\text{C}$ – для жилых зданий по СП 23-101-200 «Проектирование тепловой защиты зданий»).

3. Продолжительность периода со среднесуточной температурой воздуха $\leq 8^\circ\text{C}$: $Z_{\text{от.пер.}}^8 = 188$ сут.

4. Максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь: $V_H = 4,4$ м/с.

5. Средняя скорость ветра за период со средней суточной температурой $\leq 8^\circ\text{C}$: 3,3 м/с.

Согласно [1] таб. 2:

Расчетные параметры внутреннего климата для каждого помещения определяем согласно [3], [6] и [7].

2.2 Система отопления дома

Тепловая мощность системы отопления Q_{co} в общем виде равна сумме потерь теплоты через отдельные ограждающие конструкции Q , для помещений, расхода теплоты Q_i на нагревание инфильтрующегося воздуха минус тепловой поток бытовых тепловыделений.

$$Q_{\text{co}} = \Sigma Q + Q_i - Q_h \quad (2.2.1)$$

где Q – основные и добавочные потери теплоты через отдельные ограждающие конструкции помещения, Вт;

Q_i – расход теплоты на нагревание инфильтрующегося наружного воздуха через ограждающие конструкции помещения, Вт;

					08.04.01.2018.188 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

Нужно вычислять число Фурье трижды, поскольку оно влияет на величины термического сопротивления грунта. Авторы методики рекомендуют при этом задаваться значениями $\tau = 365$ (а), 30 (м) и 1 (д) суток соответственно, что отвечает интервалам времени в год, один месяц и сутки. Логику такой рекомендации понять трудно. Приходится предположить, что авторы методики используют теоретически подходящее число Фурье, манипулируя им с целью подогнать вычисления под практически проверенный результат. Мы смело последуем их примеру, поскольку результат, который практически проверен – это как раз то, что нас более всего интересует.

Свойства почвы определяется на месте геологическими испытаниями, почвы влажные, суглинистые.

Для таких почв коэффициент температуропроводности $a = 0,07$ м²/сут, а теплопроводности $\lambda = 1,59$ Вт/мК.

Итак: $\tau_a = 365$ сут, $\tau_m = 30$ сут, $\tau_d = 1$ сут.

Числа Фурье:

$$Fo_a = \frac{a \cdot \tau_a}{d^2} = \frac{0,07 \cdot 365}{0,02^2} = 63875,$$

$$Fo_m = \frac{a \cdot \tau_m}{d^2} = \frac{0,07 \cdot 30}{0,02^2} = 5250,$$

$$Fo_d = \frac{a \cdot \tau_d}{d^2} = \frac{0,07 \cdot 1}{0,02^2} = 175$$

Факторы, учитывающие нестационарность теплообмена в грунте:

$$G_a = 0,0756 \cdot \ln(Fo_a) + 0,0927 = 0,0756 \cdot \ln(63875) + 0,0927 = 0,9292,$$

$$G_m = 0,0756 \cdot \ln(Fo_m) + 0,0927 = 0,0756 \cdot \ln(5250) + 0,0927 = 0,74,$$

$$G_d = 0,0756 \cdot \ln(Fo_d) + 0,0927 = 0,0756 \cdot \ln(175) + 0,0927 = 0,483.$$

Линейные термические сопротивления грунта:

$$R_a = \frac{G_a}{\lambda} = \frac{0,9292}{1,59} = 0,5844 \text{ мК/Вт},$$

					08.04.01.2018.188 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		68

$$R_m = \frac{G_m}{\lambda} = \frac{0,74}{1,59} = 0,4654 \text{ мК/Вт},$$

$$R_d = \frac{G_d}{\lambda} = \frac{0,483}{1,59} = 0,3 \text{ мК/Вт}.$$

Коэффициенты учета составляющих: $k_a = 1,04$, $k_m = 1,26$, $k_d = 1,42$.

Среднее линейное термическое сопротивление грунта:

$$\begin{aligned} R_{гр}^л &= \frac{k_a \cdot R_a + k_m \cdot R_m + k_d \cdot R_d}{3} = \\ &= \frac{1,04 \cdot 0,5844 + 1,26 \cdot 0,4654 + 1,42 \cdot 0,3}{3} = 0,54 \text{ мК/Вт} \end{aligned}$$

Термическое сопротивление грунта, приведенное к единице площади поверхности трубы:

$$R_{гр} = R_{гр}^л \cdot \pi \cdot d = 0,54 \cdot 3,14 \cdot 0,02 = 0,0339 \text{ м}^2\text{К/Вт} \quad (2.2.4.9)$$

Вторая методика, которой мы воспользуемся, изложена в книге под ред. Н.К.Громова «Водяные тепловые сети: Справочное пособие», 1988 г.

По этой методике термическое сопротивление массива грунта вокруг трубы определяется по формуле:

$$\begin{aligned} R_{гр} &= \frac{d}{2 \cdot \lambda_{гр}} \cdot \ln \left(\frac{2 \cdot h}{d} + \sqrt{\left(\frac{2 \cdot h}{d} \right)^2 - 1} \right) = \\ &= \frac{0,02}{2 \cdot 1,59} \cdot \ln \left(\frac{2 \cdot 1,2}{0,02} + \sqrt{\left(\frac{2 \cdot 1,2}{0,02} \right)^2 - 1} \right) = 0,0345 \text{ м}^2\text{К/Вт} \end{aligned}$$

Как видно, две разные методики расчета дали очень близкие результаты. За расчетное термическое сопротивление массива грунта вокруг трубы примем среднюю величину:

$$R_{гр} = (0,0339 + 0,0345) / 2 = 0,0342 \text{ м}^2\text{К/Вт} \quad (2.2.4.10)$$

Определяем режим течения раствора в трубках.

Среднелогарифмическая разность температур:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_m}{\ln \frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}} = \frac{5 - 3}{\ln \frac{5}{3}} = 3,92^\circ \text{C}.$$

Требуемая поверхность теплообмена:

$$F = \frac{Q_k}{k \cdot \Delta t} = \frac{G \cdot c_p \cdot (t_2 - t_1)}{k \cdot \Delta t} = \frac{1,1 \cdot 3,87 \cdot 10^3 \cdot (0,2 - (-2,8))}{25,5 \cdot 3,92} = 127,8 \text{ м}^2 \quad (2.2.4.14)$$

При расположении труб в один ход по раствору нужная длина трубок:

$$l_{\text{тр}} = \frac{F_{\text{тр}}}{\pi \cdot d} = \frac{127,8}{3,14 \cdot 0,02} = 2034 \text{ м} \quad (2.2.4.15)$$

В каждом контуре длина трубок:

$$l_{\text{тр}}^{\text{к}} = \frac{l_{\text{тр}}}{n} = \frac{2034}{4} = 508,5 \text{ м}. \quad (2.2.4.16)$$

Использовать грунтовый теплообменник горизонтального типа не выгодно, т.к. (это видно из расчета и конструктивно) он занимает большую площадь поверхности земли.

Использование грунтового теплообменника вертикального типа более выгодно:

1. меньшая затрата площади поверхности,
2. на глубине температура почвы более высокая,
3. в испаритель промежуточный теплоноситель придет с большим запасом температуры.

Для оценки уровня температуры на разных глубинах воспользуемся результатами работы исследования Корнеевой И.А. и Локощенко М.А. «Многолетние изменения температуры грунта на разных глубинах в Москве». По данным измерений градиент температуры на глубине от 1,6 м до 3,2 м составил $\Delta t_{\text{гр}} = 0,55^\circ \text{C}/\text{м}$.

Глубина скважины 24 метра.

За неимением других, более подробных данных, примем, что температура грунта с глубиной увеличивается линейно, тогда скважина глубиной 24 м достигнет слоя земли с температурой:

$$t_{24}^{гп} = t_{гп} + h \cdot \Delta t_{гп} = 3,2 + (24 - 1,6) \cdot 0,75 = 20^{\circ}\text{C}$$

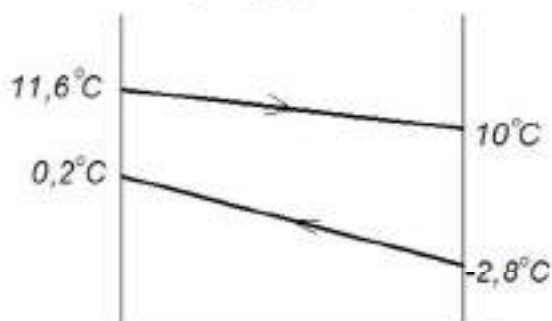
Температура теплоносителя на входе: $t_1 = -2,8^{\circ}\text{C}$

Температура на выходе: $t_2 = 0,2^{\circ}\text{C}$.

Средняя температура грунта:

$$\frac{20 + 3,2}{2} = 11,6^{\circ}\text{C}.$$

Примем, что температура грунта изменяется на $1,6^{\circ}\text{C}$, т.е. он охлаждается (по средней температуре) от $11,6$ до 10°C .



Большая разность температур:

$$\Delta t_{\delta} = t_{гп2} - t_1 = 10 - (-2,8) = 12,8^{\circ}\text{C}.$$

Меньшая разность температур:

$$\Delta t_{\mu} = t_{гп1} - t_2 = 11,6 - (0,2) = 11,4^{\circ}\text{C}.$$

Среднелогарифмическая разность температур:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_{\mu}}{\ln \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{\mu}}} = \frac{12,8 - 11,4}{\ln \frac{12,8}{11,4}} = 12,1^{\circ}\text{C}.$$

При использовании вертикального грунтового теплообменника температурный напор больше в три раза.

Более того, теплообмен интенсивнее, что оценить сложно.

Таким образом, вертикальный грунтовой теплообменник выгоднее горизонтального.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

2.2.5 Теплоснабжение от котельной на жидком топливе

На необходимую мощность подойдет котел Kiturami Turbo-30R, мощностью 30 кВт.

Жидкотопливный котёл Kiturami Turbo-30R предназначен для отопления частных домов, а также для организации горячего водоснабжения.

Для работы платы управления жидкотопливного котла требуется его подключение к электрической сети 220 В.

Закрытая камера сгорания (по-другому такие котлы называют турбированными) подразумевает наличие в данном котле вентилятора, который принудительно осуществляет забор воздуха и удаление продуктов сгорания на улицу или коллективный дымоход. Для таких котлов обычно используют коаксиальные дымоходы — «труба в трубе».

Теплота сгорания жидкого топлива: 42650 кДж/кг.

максимальный расход топлива:

$$B_p = \frac{Q}{Q_n^p \cdot \eta_k} = \frac{30}{42650 \cdot 0,9} = 0,0112 \text{ кг/с} = 40,33 \text{ кг/час} \quad (2.2.5.1)$$

Емкость топлива должна содержать 10-ти дневный запас горючего, что составит:

$$V_{\text{тоб}} = \frac{B_p \cdot 24 \cdot n_{\text{зап}}}{\rho_T} = \frac{40,33 \cdot 24 \cdot 10}{0,84} = 11522 \text{ л} = 12 \text{ м}^3 \quad (2.2.5.2)$$

2.2.6 Комбинированные системы

Для комбинирования предлагается двухтопливный котел (на газе и дизельном топливе).

Можно комбинировать солнечные панели с электрической схемой, но их требуемая площадь по расчету получилась колоссальна.

3 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Сравнение капитальных вложений

Расчет капитальных вложений в саму систему отопления с циркуляционным насосом рассчитывать не требуется, так как она сооружается в любом варианте и затраты на нее не влияют на сравнение.

3.1.1 Подключение к централизованному источнику теплоснабжения

Теплотрасса от Саратовской ТЭЦ проходит в 750 м от дома (по прямой).
Онлайн калькулятор на сайте <http://www.minstroy.saratov.gov.ru> рассчитал стоимость подключения 0,025 Гкал/час (30 кВт) с прокладкой теплотрассы диаметром 32 мм в 5 010 000 руб.

3.1.2 Сооружение газовой котельной

Подключение к газовой магистрали:

- проект газоснабжения дома 25000 р.;
- согласование проекта 2000 р.;
- подключение газопровода до участка 58000 р.;
- разводка труб до дома, необходимая арматура с монтажом (ориентировочно) 62000 р..
- Котел газовый с системой автоматики 62400 р.
- Монтаж всей системы 45000 р.
- Получение разрешения на эксплуатацию 3500 р.

Общие капитальные затраты 257 900 руб.

					08.04.01.2018.188 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		74

3.1.3 Сооружение электрической котельной

1. Сооружение электрической котельной на основе электродкотла.

Стоимость подключения:

$$S_{\text{подкл}} = N_{\text{тр}} \times C_{\text{подкл}} = 33 \times 4680 = 154\,440 \text{ р.}$$

Стоимость котла электрического 11200 р.

Стоимость кабеля (провод силовой ПуГВ 50 Ж/З (м) Альгиз):

$$S_{\text{каб}} = L_{\text{каб}} \times C_{\text{каб}} = 213 \times 357 = 76041 \text{ р.}$$

Монтаж системы 25000 р.

Общие капитальные затраты 266 681 руб.

2. Сооружение системы с солнечными панелями.

Батарея Trunsun TSM-200 стоит 14500р.

Понадобится $4 \times 3 \times 20 = 240$ шт. таких панелей.

Стоимость получается:

$$S_{\text{сп}} = 240 \times 14500 = 3\,480\,000 \text{ р.}$$

Инвертор Stark Country 3000INV стоит 31500р.

Понадобится 10 таких инвертора.

Стоимость получается:

$$S_{\text{ин}} = 10 \times 31500 = 315\,000 \text{ р.}$$

Аккумуляторы ChallengerA12-200 стоят 25850р.

Для нашей установки понадобится $4 \times 3 \times 20$ батарей, значит, суммарная стоимость аккумуляторов:

$$S_{\text{ак}} = 240 \times 25850 = 6\,204\,000 \text{ р.}$$

Суммарные затраты на оборудование системы:

$$S = S_{\text{сп}} + S_{\text{ин}} + S_{\text{ак}} = 3\,480\,000 + 315\,000 + 6\,204\,000 = 9\,999\,000 \text{ р.}$$

Суммарные затраты на оборудование составят 10 млн. руб.

Плюс нужно учесть доставку, установку и отладку режимов функционирования, что увеличит стоимость системы до 11,5 млн.руб.

					08.04.01.2018.188 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		75

3.1.4 Тепловой насос с земляным контуром

В данном проекте спроектирован тепловой насос производственной мощностью 20 кВт. Таким образом, опираясь на усредненные значения цен различных фирм производителей (для примера приняты пять наиболее известных производителей) рассчитать стоимость теплового насоса исходя из средней удельной стоимости оборудования 16573 руб./кВт.

Таким образом, можно рассчитать стоимость теплового насоса:

$$C_{\text{ТН}} = Q_k \cdot S = 20 \cdot 16\,573 = 331\,460,0 \text{ руб}$$

К этой стоимости нужно добавить стоимость труб грунтового теплообменника.

Суммарная длина трубок четырех контуров:

$$L_{\text{тр}} = 500 + 500 + 513 + 514 = 2027 \text{ м.}$$

Используем трубу Hydrosta по цене 30 руб. 90 коп. за 1 метр.

Стоимость трубы:

$$C_{\text{тр}} = L_{\text{тр}} \cdot S_{\text{тр}} = 2027 \cdot 30,9 = 62\,634,0 \text{ руб.}$$

Монтаж и отладка оборудования: $C_{\text{м}} = 25000 \text{ руб}$ [28].

Суммарная стоимость одной теплонасосной установки:

$$C_{\text{ТНУ}} = C_{\text{ТН}} + C_{\text{тр}} + C_{\text{м}} = 331\,460 + 62\,634 + 25\,000 = 419\,094,0 \text{ руб.}$$

3.1.5 Сооружение жидкотопливной котельной

Стоимость котла жидкотопливного 42660 р.

Стоимость емкости объемом 12 м³, подземного исполнения 278 000 р.

Земляные работы 52000 р.

Монтаж системы 25000 р.

Общие капитальные затраты 397 660 руб.

					08.04.01.2018.188 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		76

ревизия систем, поддержание систем в рабочем состоянии, мелкий текущий ремонт и диагностирование неполадок с последующим вызовом ремонтной бригады.

Годовые издержки на заработную плату такого сотрудника:

$$C_{з.п.} = 25 \text{ тыс. руб.}$$

Затраты на текущий ремонт ($C_{т.р.}$) принимаем в размере 2% от сметной стоимости капитальных затрат.

$$C_{т.р.} = 257900 \times 0,02 \approx 5,2 \text{ тыс. руб.}$$

Амортизационные отчисления ($C_{ам.}$) рассчитываются в соответствии с «Нормами амортизационных отчислений по основным фондам народного хозяйства РСФСР», 7 % от капитальных вложений на оборудование.

$$C_{ам.} = 62400 \times 0,07 = 4,4 \text{ тыс. руб.}$$

Расход электроэнергии на циркуляционный насос не учитываем, поскольку он будет равным во всех вариантах.

Прочие расходы ($C_{пр.}$) принимаются в размере 5% от суммы амортизационных отчислений и заработной платы обслуживающего персонала.

$$C_{пр.} = 0,05 \times (C_{ам.} + C_{з.п.}), \text{ руб.,}$$

$$C_{пр.} = 0,05 \times (4,4 + 25) = 1,5 \text{ тыс. руб.}$$

Годовые эксплуатационные затраты определяются по формуле:

$$\begin{aligned} C_{г} &= C_{газ} + C_{з.п.} + C_{эл.} + C_{ам.} + C_{т.р.} + C_{пр.} = \\ &= 37,7 + 25 + 0 + 4,4 + 5,2 + 1,5 = 73,8 \text{ тыс. руб./год.} \end{aligned}$$

3.2.2 Электрическая котельная

Средняя мощность системы отопления в году:

$$Q_{\text{год}} = Q_{\text{оmax}} \cdot \frac{t_{\text{вн}} - t_{\text{ср}}}{t_{\text{вн}} - t_{\text{н5}}} =$$
$$= 28,311 \cdot \frac{18 - (-3,5)}{18 - (-25)} = 14,2 \text{ кВт}$$

Отопительный период длится 188 сут.

Число кВт х час, потребляемой котельной:

$$N_{\text{эл}} = Q_{\text{год}} \times z_{\text{оп}} \times 24 = 14,2 \times 188 \times 24 = 64070 \text{ кВтхчас/год.}$$

Тариф на электроэнергию для Саратова:

$$T_{\text{эл}} = 3,43 \text{ руб/кВт*час.}$$

Издержки на отопление здания:

$$C_{\text{эл}} = N_{\text{эл}} \cdot T_{\text{эл}} = 64070 \cdot 3,43 = 219,8 \text{ тыс. руб.}$$

Затраты на заработную плату.

Принимаем одного сотрудника для обслуживания всех инженерных систем, который будет работать неполный рабочий день. В его функции будет входить ревизия систем, поддержание систем в рабочем состоянии, мелкий текущий ремонт и диагностирование неполадок с последующим вызовом ремонтной бригады.

Годовые издержки на заработную плату такого сотрудника:

$$C_{\text{з.п.}} = 25 \text{ тыс. руб.}$$

Затраты на текущий ремонт ($C_{\text{т.р.}}$) принимаем в размере 2% от сметной стоимости капитальных затрат.

$$C_{\text{т.р.}} = 266,681 \times 0,02 \approx 5,3 \text{ тыс. руб.}$$

Амортизационные отчисления ($C_{\text{ам.}}$) рассчитываются в соответствии с «Нормами амортизационных отчислений по основным фондам народного хозяйства РСФСР», 7 % от капитальных вложений на оборудование.

$$C_{\text{ам.}} = 11200 \times 0,07 = 0,8 \text{ тыс. руб.}$$

Расход электроэнергии на циркуляционный насос не учитываем, поскольку он будет равным во всех вариантах.

					08.04.01.2018.188 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		79

Прочие расходы ($C_{пр.}$) принимаются в размере 5% от суммы амортизационных отчислений и заработной платы обслуживающего персонала.

$$C_{пр.} = 0,05 \times (C_{ам.} + C_{з.п.}), \text{ руб.},$$

$$C_{пр.} = 0,05 \times (0,8 + 25) = 1,3 \text{ тыс. руб.}$$

Годовые эксплуатационные затраты определяются по формуле:

$$\begin{aligned} C_{г} &= C_{газ} + C_{з.п.} + C_{эл.} + C_{ам.} + C_{т.р.} + C_{пр.} = \\ &= 0 + 25 + 219,8 + 0,8 + 5,3 + 1,3 = 252,2 \text{ тыс. руб./год.} \end{aligned}$$

3.2.3 Жидкотопливная котельная

Количество тепловой энергии, потребляемое за год на отопление здания:

$$\begin{aligned} Q_{год} &= 3,6 \cdot Q_{омак} \cdot \frac{t_{вн} - t_{ср}}{t_{вн} - t_{н5}} \cdot Z_{оп} \cdot 24 = \\ &= 3600 \cdot 28,311 \cdot \frac{18 - (-3,5)}{18 - (-25)} \cdot 188 \cdot 24 \cdot 10^{-6} = 230 \text{ ГДж} = 54,9 \text{ Гкал} \end{aligned}$$

Количество топлива, сжигаемого на отопление дома:

$$B = \frac{Q_{год}}{Q_p^H \cdot \eta} = \frac{230000}{42,650 \cdot 0,9} = 6 \text{ тыс.кг/год}$$

Цена жидкого топлива в Саратове:

$$T_{г} = 42500 \text{ руб/т.}$$

Издержки на отопление здания:

$$C_{г} = B_{год} \cdot T_{г} = 6 \cdot 42500 = 255 \text{ тыс. руб.}$$

Затраты на заработную плату.

Принимаем одного сотрудника для обслуживания всех инженерных систем, который будет работать неполный рабочий день. В его функции будет входить ревизия систем, поддержание систем в рабочем состоянии, мелкий текущий ремонт и диагностирование неполадок с последующим вызовом ремонтной бригады.

Годовые издержки на заработную плату такого сотрудника:

$$C_{з.п.} = 25 \text{ тыс. руб.}$$

					08.04.01.2018.188 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		80

Затраты на текущий ремонт ($C_{т.р.}$) принимаем в размере 2% от сметной стоимости капитальных затрат.

$$C_{т.р.} = 397,66 \times 0,02 \approx 8 \text{ тыс. руб.}$$

Амортизационные отчисления ($C_{ам.}$) рассчитываются в соответствии с «Нормами амортизационных отчислений по основным фондам народного хозяйства РСФСР», 7 % от капитальных вложений на оборудование.

$$C_{ам.} = (42660 + 278000) \times 0,07 = 22,4 \text{ тыс. руб.}$$

Расход электроэнергии на циркуляционный насос не учитываем, поскольку он будет равным во всех вариантах.

Прочие расходы ($C_{пр.}$) принимаются в размере 5% от суммы амортизационных отчислений и заработной платы обслуживающего персонала.

$$C_{пр.} = 0,05 \times (C_{ам.} + C_{з.п.}), \text{ руб.,}$$

$$C_{пр.} = 0,05 \times (22,4 + 25) = 2,4 \text{ тыс. руб.}$$

Годовые эксплуатационные затраты определяются по формуле:

$$\begin{aligned} C_{г} &= C_{т} + C_{з.п.} + C_{эл.} + C_{ам.} + C_{т.р.} + C_{пр.} = \\ &= 255 + 25 + 0 + 22,4 + 8 + 2,4 = 312,8 \text{ тыс. руб./год.} \end{aligned}$$

3.2.4 Отопление тепловым насосом

Средняя мощность системы отопления в году:

$$\begin{aligned} Q_{год} &= Q_{оmax} \cdot \frac{t_{вн} - t_{ср}}{t_{вн} - t_{н5}} = \\ &= 28,311 \cdot \frac{18 - (-3,5)}{18 - (-25)} = 14,2 \text{ кВт} \end{aligned}$$

Отопительный период длится 188 сут.

Число кВт х час, потребляемой котельной:

$$N_{эл} = Q_{год} \times z_{оп} \times 24 = 14,2 \times 188 \times 24 = 64070 \text{ кВтхчас/год.}$$

$$COP = T_2 / (T_2 - T_1)$$

где COP (англ. Coefficient of Perfomance) - коэффициент преобразования или тепловой коэффициент. Это значение показывает во сколько раз тепловой насос производит больше энергии, чем потребляет сам, то есть определяет разницу между производимой и потребляемой тепловым насосом энергией;

					08.04.01.2018.188 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		81

T_1 - температура источника тепла (грунта, воды, воздуха);

T_2 - температура воды в отопительном контуре (температура воды, циркулирующей в трубках теплого пола, теплого плинтуса).

$$COP = 328 / (328 - 276,35) = 6,35$$

Такой расчет дает слишком завышенное значение, так как рассчитывается исходя из того, что все составляющие теплового насоса работают со 100% КПД, то есть сами не потребляют энергии. В реальности же, компрессор и другие составляющие значительно снижают COP теплового насоса.

С учетом КПД конденсатора, компрессора, испарителя, дросселя и пр. составляющих системы понизим COP на 40%, таким образом $COP = 3,81$

Следовательно, Число кВт х час, потребляемой энергии:

$$N_{эл} = (Q_{год} \times z_{оп} \times 24) / 3,81 = (14,2 \times 188 \times 24) / 3,81 = 16\,816 \text{ кВт} \cdot \text{час} / \text{год}.$$

Тариф на электроэнергию для Саратова:

$$T_{эл} = 3,43 \text{ руб} / \text{кВт} \cdot \text{час}.$$

Издержки на отопление здания:

$$C_{эл} = N_{эл} \cdot T_{эл} = 16\,816 \cdot 3,43 = 57,6 \text{ тыс. руб.}$$

3.2.5 Сравнение вариантов систем отопления

Таблица 3.2.5.1 - Сравнение эксплуатационных затрат

№ п/п	Наименование системы	Эксплуатационные затраты, тыс.руб./год
1	Газовая котельная	73,8
2	Электрокотельная с котлом	252,2
3	Жидкотопливная котельная	312,8
4	Тепловой насос	57,6

Таблица 3.2.5.5 – Преимущества и недостатки видов систем отопления

Топливо	Природный газ	Сжиженный газ	Дизельное топливо	Электричество	Твердое топливо	Тепловой насос
Необходимость проектных работ	+	+	+	-	-	+
Техническое обслуживание	+	+	+	-	-	+
Дополнительные требования	Наличие отдельного помещения	Наличие отдельной топливной ёмкости	Наличие отдельной топливной ёмкости	Не требуется	Не требуется	Не требуется
Сложность конструкции	+	+	+	-	-	+
Экологичность	-	-	-	+	+	+
Экономичность	+	-	-	-	+	+
Транспортные недостатки	Снижение давления в сети	Наличие подъездных путей	Наличие подъездных путей	Перепады напряжения	Перепады напряжения (на работу системы не влияют)	Перепады напряжения (на работу системы не влияют)
Комфортность воздуха в помещении	Снижает влажность воздуха, конвекция	Снижает влажность воздуха, конвекция	Снижает влажность воздуха, конвекция	Снижает влажность воздуха, конвекция	Не снижает влажность воздуха, уменьшает конвекцию	Не снижает влажность воздуха, уменьшает конвекцию
Лёгкость в монтаже	-	-	-	+	+	-

Исходя из технических характеристик тепловой насос имеет преимущество перед газовым котлом в экологичности, что немаловажно в современных условиях и сложившейся экологической обстановке.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе произведено сравнение систем отопления частного двухэтажного дома, расположенного в пригороде города Саратов.

Для нового частного дома необходимо выбрать источник теплоты для системы отопления. Выбор осуществляется по техническим и инженерным соображениям (наличию технической возможности, местным условиям, особенностям расположения и пр.), а также технико-экономическим сравнением вариантов при технической возможности их создания.

Целью работы было сравнение вариантов системы отопления частного жилого дома в окрестностях г. Саратов.

В ходе работы рассчитана система отопления жилого дома, определена мощность системы, которая получилась равной 28,311 кВт.

Рассмотрены различные системы теплоснабжения, выявлены технические возможности их использования (подключение к центральным сетям теплоснабжения, создание газовой или жидкотопливной автономной котельной, электрическое отопление от центральной сети электроснабжения и от солнечных батарей, использование теплового насоса).

В работе рассчитаны капитальные вложения в каждую систему и эксплуатационные затраты в четыре наиболее реальные с точки зрения капитальных затрат.

В результате проведенных расчетов экономически целесообразными признаются система с газовым водогрейным котлом и система с тепловым насосом.

					08.04.01.2018.188 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		88

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чопра К., Дас С. Тонкопленочные солнечные элементы (Перевод с английского с сокращениями). – Москва: Мир, 1986. - 435 с.
2. В.И. Виссарионов, Г.В. Дерюгина, В.А. Кузнецова, Н.К.Малинин Солнечная энергетика. Методы расчетов, - Москва: "Солнечная энергетика" МЭИ, 2008. – 317 с.
3. Байерс Т. 20 конструкций с солнечными элементами (Перевод с английского). – Москва: Мир, 1988. – 197 с.
4. С. Гибилиско Альтернативная энергетика без тайн (Перевод с английского). – Москва: Эксмо-Пресс, 2010. – 368 с.
5. Харченко Н.В. Индивидуальные солнечные установки, - Москва: Энергоатомиздат, 1991. – 208 с.
6. Солнечный коллектор. Пособие по проектированию, Перевод с венгерского. – Будапешт: GB-GANZ Tüzelestechnikai Kft, 2007. – 32 с.
7. Германович В., Турилин А. Альтернативные источники энергии и энергосбережение практические конструкции по использованию энергии ветра, солнца, земли, воды, биомассы, - Санкт-Петербург: Наука и Техника, 2014. – 320 с.
8. Солнечная энергетика: учебное пособие для вузов /под ред. Виссарионова В. И., М.: изд. дом МЭИ, 2008
9. Челябин В. Ф. Солнечная энергетика - энергетика будущего. «Энергия: экономика, техника, экология», № 10, 2008
10. Харченко Н.В. Индивидуальные солнечные установки М.: «Энергоатомиздат», 1991
11. Н.Хайнрих Т., Найорк ., Теплонасосные установки для отопления и горячего водоснабжения. - М.: Стройиздат, 1985. - 351с.
12. Отопление вентиляция и кондиционирование воздуха. Справочное пособие. Москва "Пантори" 2003г
13. Е.Я. Соколов. Теплофикация и тепловые сети. М., МЭИ, 1999

					08.04.01.2018.188 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		89

14. С.Л. Ривкин А.А. Александров. Термодинамические свойств воды и водяного пара. Справочник. М., "Энергоатомиздат", 1984
15. Ш.И. Каганов. Охрана труда при производстве санитарно - технических работ. - М.: Стройиздат, 1980г.
16. К.С. Орлов. Монтаж санитарно - технических, вентиляционных систем и оборудования. - М.: 1999г.
17. <http://www.avante.com>
18. <http://www.greenenergy.com>
19. <http://www.energyland.info.ru>
20. <http://www.nitolsolar.com>
21. <http://www.nanonewsnet.ru>
22. <http://www.sci-lib.com>,
23. <https://rp5.ru>
24. www.energo-konsultant.ru
25. <https://energovopros.ru>
26. <http://elektrobiz.ru/zametki-elektrika>
27. <https://www.teplomatica.ru>
28. <http://www.minstroy.saratov.gov.ru>
29. <http://oaosaratovgaz.ru>