

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Политехнический институт  
Кафедра теплотехники и гидрогазодинамики

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ В.А.Кулагин  
подпись                      инициалы, фамилия

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019г

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Обоснование и выбор энергосберегающих мероприятий и технических  
решений для малоэтажных жилых домов

13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

13.04.01.01 «Энергетика теплотехнологий»

Научный руководитель \_\_\_\_\_ доцент, канд.техн.наук А.Ю. Радзюк  
подпись, дата                      должность, ученая степень инициалы, фамилия

Выпускник \_\_\_\_\_ А.В. Гурьева  
подпись, дата                      инициалы, фамилия

Рецензент \_\_\_\_\_ гл. инженер «ВО» Безопасность А.В. Елизаров  
подпись, дата                      должность, ученая степень инициалы, фамилия

Красноярск 2019

## Содержание

Введение.....	4
1 Отопительные технологии в Канаде .....	6
1.1 Климатические особенности Канады .....	6
1.2 Особенности используемых видов топлива .....	7
1.3 Используемые технологические решения.....	10
2 Отопительные технологии в Финляндии .....	11
2.1 Климатические зоны Финляндии.....	11
2.3 Технологии отопления в Финляндии.....	14
3 Понятие энергоэффективности зданий.....	17
4 Зарубежный опыт в строительстве энергоэффективных зданий .....	21
4.1 Энергоэффективные решения для зданий Канады.....	21
4.2 Энергоэффективные решения Финляндии.....	26
5 Проект малоэтажного энергоэффективного здания.....	29
5.1 Исходные данные.....	29
5.2 Тепловой расчет .....	30
5.3 Расчет суточные расходы воды .....	34
5.3 Особенности использования теплового насоса .....	34
6 Система вентиляции .....	35
7 Экономический расчет использования оборудования .....	36
7.1 Система с угольным котлом .....	36
7.2 Система с тепловым насосом.....	37
8 Анализ результатов расчета отопления .....	40
Заключение .....	41

Список использованных источников .....	43
Приложение Б.....	45
Приложение В .....	48

## ВВЕДЕНИЕ

Согласно [1], в России растет доля индивидуального жилищного строительства. Для регионов с преимущественно добывающей промышленностью и не являющимся аграрным регионом характерным значением является доля индивидуального жилищного строительства в общем объеме жилой площади равное 61,2 % на срезе 2017, которое означает, что количество индивидуальных жилых зданий, возводимых в 2017 году, превышает количество многоквартирных домов, возведенных в том же году.

К области индивидуального жилищного строительства в основном относятся малоэтажные жилые здания, количество которых с каждым годом увеличивается[1]. Соответственно это ведет к росту нагрузки на энергетические системы в районах возведения зданий. С каждым новым потребителем энергетическим компаниям приходится пересматривать способы поставки электрической и тепловой энергии. В случае превышения количества потребляемой энергии и не соответствии этому значению вырабатываемой мощности на локальной станции потребуются возведения новых очередей энергетических объектов, которые являются довольно дорогостоящими для возведения объектами.

В данной работе будет сделан акцент на отопительные системы малоэтажных зданий. Для такого вида жилья обычно не характерно центральное отопление. В виду большого количества потребителей, больших площадей отопления по сравнению с многоквартирными домами, большой удаленности от объекта генерации тепловой энергии. Индивидуальное жилье в виде малоэтажных домов преимущественно отапливается с помощью котлов. Используются котлы следующих типов:

- газовые котлы;
- электрические котлы;
- угольные котлы.

Газовые котлы используются в местах, находящихся вблизи магистрального газопровода, что является, значительным недостатком, однако так же могут осуществляться поставка в виде баллонов с природным газом. Газ так же является взрывоопасным видом топлива, что является, так же недостатком.

Угольные котлы из всех видов являются наиболее распространенными, экономичными и наименее экологичными видами котлов. Продукты сгорания угля оказывают отрицательное влияние на окружающую среду. Однако неоспоримым фактом является то, что установка не зависит от наличия трубопровода, не зависит от генерирующих объектов как электрический котел, а полностью автономна и зависит только от количества угля в наличии.

Электрический котел является одновременно экологичной и экономичной альтернативой другим котлам. Однако напрямую зависит от генерирующих мощностей локальных энергетических объектов и, если случится неполадка на объекте поставщике электрической энергии потребитель рискует остаться без отопления.

Из выше приведенных примеров котлов следует, что ни один из котлов не может обеспечить непрерывность использования, а также независимость от поставляемых продуктов для осуществления процессов горения в котле. В связи с этим требуется искать системы, которые можно использовать как альтернативу уже установленным или параллельно с ними.

В связи с особенностями климата Красноярского края необходимо воспользоваться мировым опытом отопления малоэтажных зданий таких стран как Канада и Финляндия имеющие близкие к данным климатические условия. Необходимо рассмотреть технические особенности и текущие тенденции в развитии систем отопления данных стран и оценить насколько применимы данные решения к условиям зоны резкоконтинентального климата Западной Сибири.

# 1 Отопительные технологии в Канаде

## 1.1 Климатические особенности Канады

Чтобы подтвердить возможность использования технологий отоплений из Канады, для отопления малоэтажных домов в Красноярском крае воспользуемся климатическими картами на рисунках 1 и 2.

### Köppen climate types of Canada

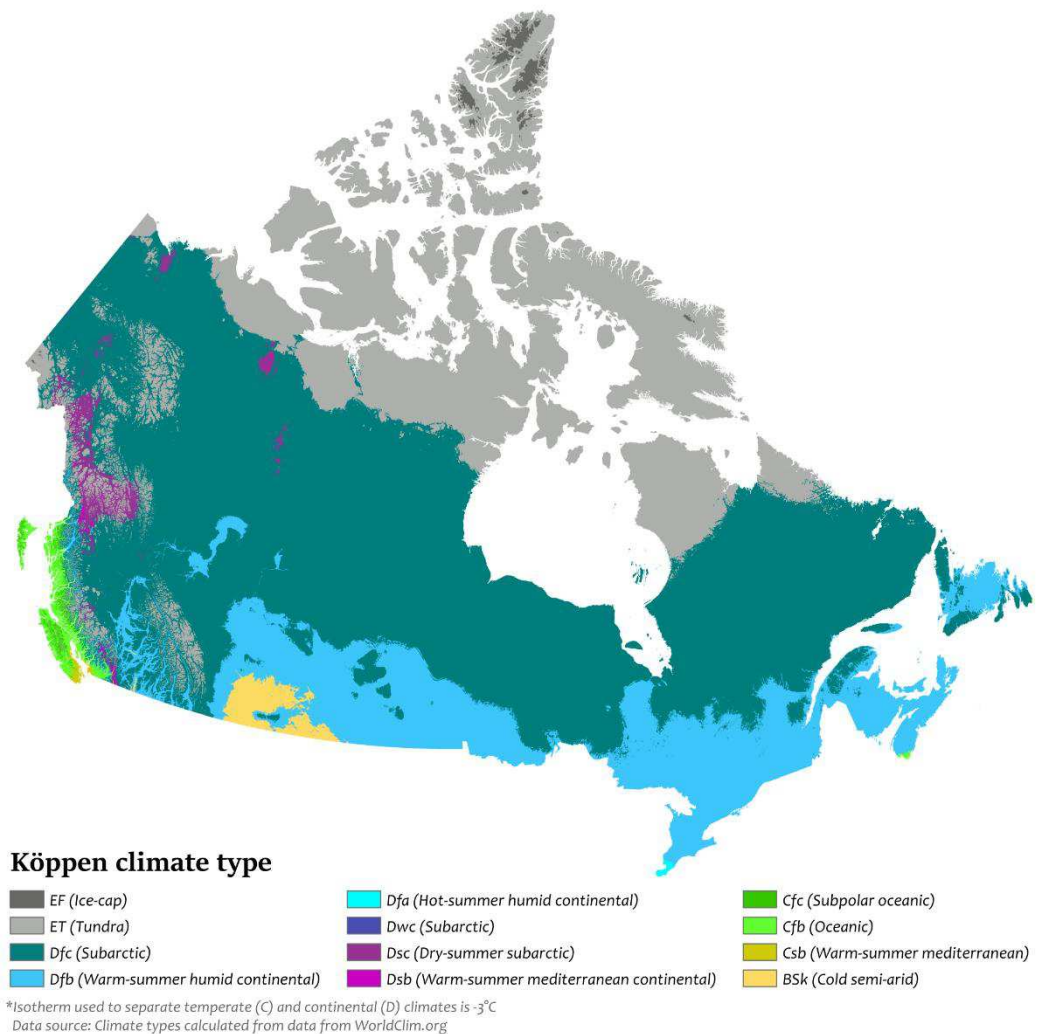


Рисунок 1 – Климатические зоны Канады

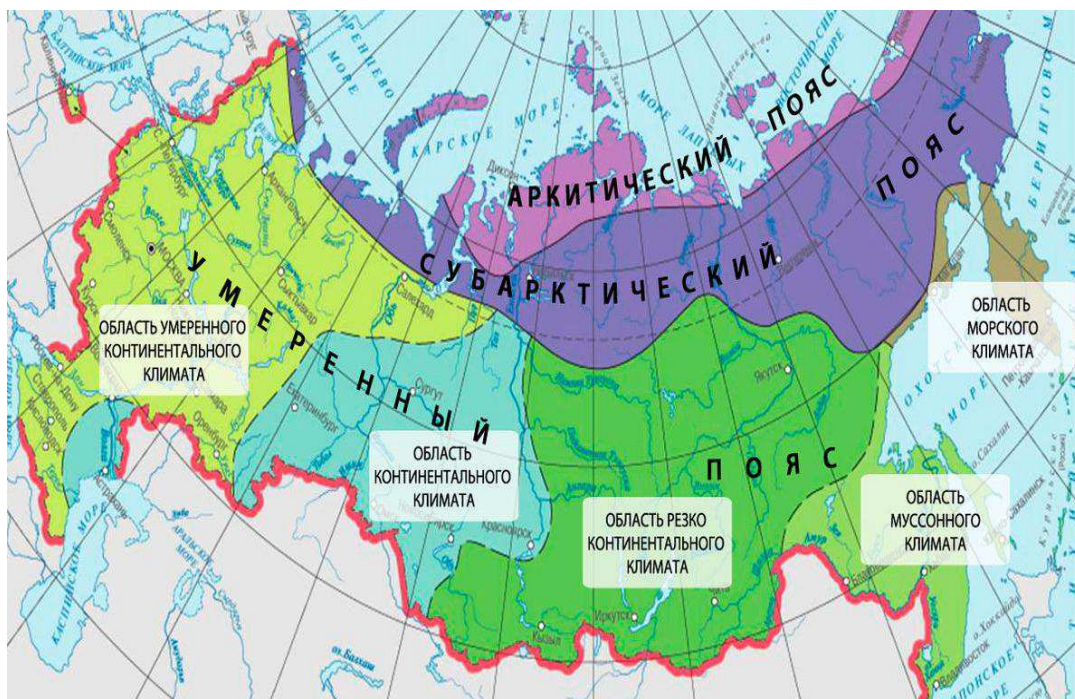


Рисунок 2 – Климатические зоны России

Как видно из рисунков 1 и 2 набор климатических зон для Канады и Красноярского края схож. На территориях присутствуют арктические, субарктические и резкоконтинентальные климатические зоны. Исходя из этих особенностей, можно использовать наработанный опыт отопления на данных территориях и применить его для отопления малоэтажных зданий Красноярского края.

### 1.2 Особенности используемых видов топлива

Согласно статистике [2] наиболее часто используемые виды топлива в Канаде – природный газ, электричество, а также дрова. Процент использования данных ресурсов указан на рисунке 3.

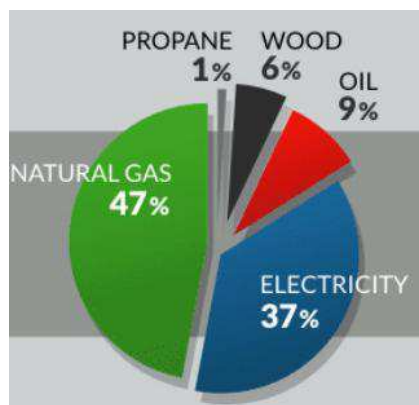


Рисунок 3 – Диаграмма видов используемого топлива

Как видно из рисунка 3 наиболее распространенным ресурсом является природный газ. За ним с разницей 10 процентов идет электричество. Остальная часть отведена на дерево, пропан и остальные виды ресурсов

На рисунке 4 изображена диаграмма используемых видов отопительных приборов.

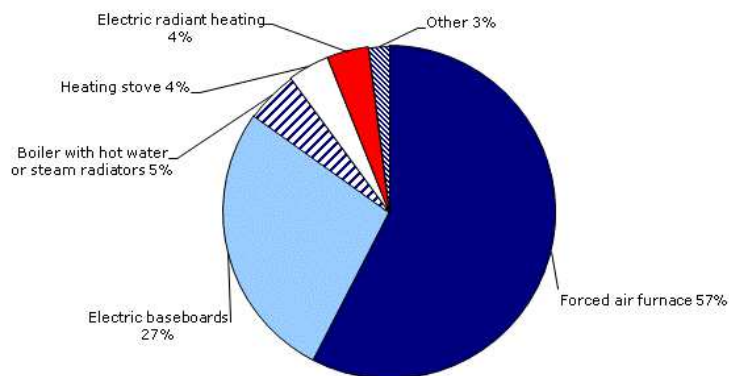


Рисунок 4 – Диаграмма используемых типов отопительных приборов в Канаде

Согласно приведенной диаграмме наиболее распространенным типом отопления является воздушное отопление. За ним идет отопление с использованием электричества. Так же используются бойлеры и паровые



радиаторы. Котлы, электрические обогреватели и другие способы отопления распространены реже.

Исходя из расположения каждой области в Канаде дается указание о том, где и какие ископаемые больше используются для отопления. Наибольший интерес для нас имеет область резкоконтинентального климата в Канаде (например, провинция Саскачеван), т.к. в средней и южной частях Красноярского края, где проживает наибольшее количество жителей данного региона [3], находится в данной климатической области.

В отчете [2] указано, что данная область преимущественно отапливается природным газом. Также в незначительной степени используются другие ресурсы (таблица 1).

Таблица 1 – Количество отопительных установок по виду используемого ресурса в провинции Саскачеван, Канада

Вид ресурса	Использование в 1990 г.	Использование в 2015 г.	Использование в 2016 г.
Натуральный газ	17,8 тыс.	180,9 тыс.	189 тыс.
Электричество	13,1 тыс.	19,7 тыс.	19,7 тыс.
Тепловые насосы	3,7 тыс.	12,2 тыс.	12,6 тыс.
Уголь, пропан	5,5 тыс.	5,1 тыс.	5,1 тыс.
Дерево	4,5 тыс.	5,5 тыс.	5 тыс.

Данные, приведенные в таблице 1, взяты с официального учета национальных ресурсов Канады ([oee.nrcan.gc.ca](http://oee.nrcan.gc.ca)). В связи с тем, что для нашего региона не характерно отопление газом из-за отсутствия вблизи зон его добычи, предлагается воспользоваться технологическими решениями не основного отопления, используемого в Канаде.

### **1.3 Используемые технологические решения**

В связи с тенденцией использования экологически чистых источников энергии, в том числе и для отопления, началось внедрение инноваций, которые помогут сократить или полностью исключить вредное влияние на природу в результате генерации необходимой энергии.

Так, например, использование в большинстве своем воздушных систем отопления позволяет отказаться от использования воды в своих системах и осуществлять запуск обогрева без дополнительной подготовки по сравнению с системами, использующими в качестве теплоносителя воду. Хотя данный тип обогрева и имеет свои недостатки, является очень экологичной альтернативой жидкостному способу передачи тепла.

Еще одним новшеством, которое вошло в быт канадцев это тепловые насосы[4].

Тепловой насос на воздушном теплоносителе позволяет осуществлять не только обогрев помещения, но и его охлаждения путем образования обратного контура (т.е. в результате циркуляции тепло дома уходит в окружающую среду, тем самым охлаждая дом).

Так в Онтарио используются тепловые насосы для извлечения энергии из нижних слоев почвы, где температура выше, чем на поверхности земли в результате накопительного эффекта после солнечного сезона или эффекта наличия геотермальных подземных источников[5, 6].

## 2 Отопительные технологии в Финляндии

### 2.1 Климатические зоны Финляндии

Не смотря на то, что большая часть Финляндии находится в субарктическом климатическом поясе, южная часть страны имеет преимущественно континентальный климат (рисунок 6).

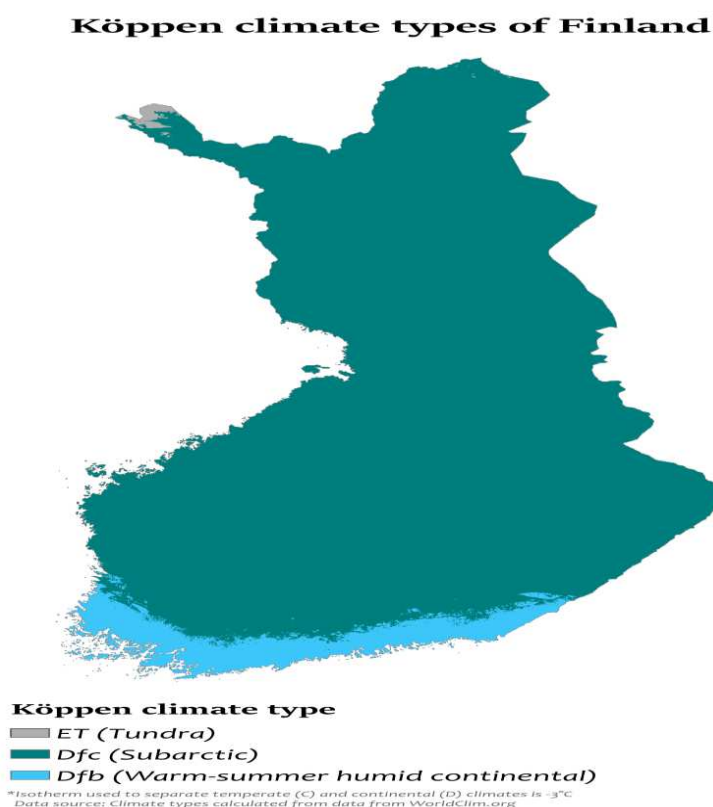


Рисунок 6 – Климатические зоны Финляндии

В то же время опыт проживания и возведения строений в субарктической зоне и используемые современные технологии данной страны заслуживают особого внимания.

### 2.2 Особенности использования ресурсов в Финляндии

Технологии выработки и генерации электрической энергии в Финляндии давно идут в сторону экологичного и устойчивого развития в соответствии с выбранным направлением Energy 2020[6]. Согласно, данному направлению, генерация электрической и тепловой энергии с использованием исчерпаемых ресурсов должно постепенно снижаться, а

использование энергии на основе альтернативных возобновляемых источников энергии должно стать тенденцией в развитии технологических аспектов Европейских стран.

Финляндия добилась весьма значимых показателей выработке энергии альтернативными возобновляемыми источниками и каждый год улучшает его [7].

Нарисунке

7

изображена диаграмма использования энергетических ресурсов.

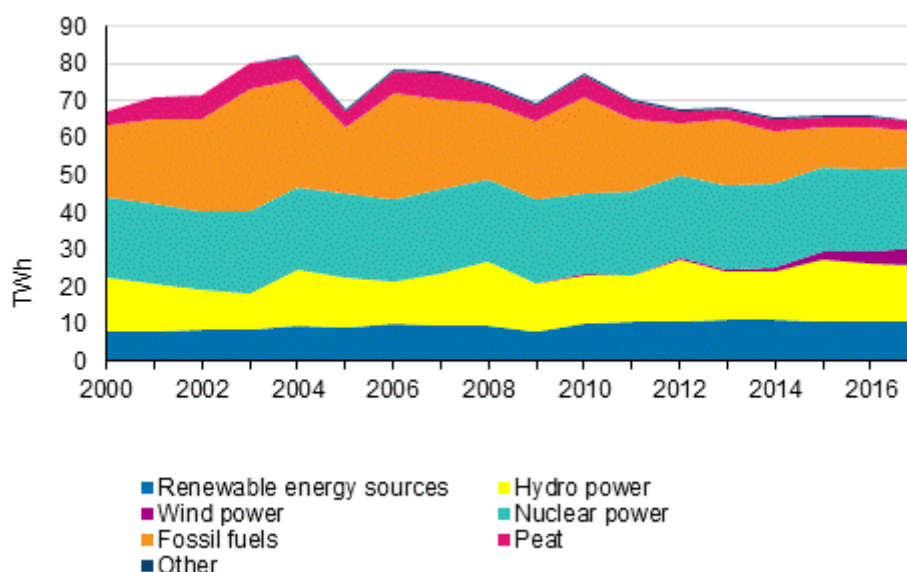


Рисунок 7 - Диаграмма использования энергетических ресурсов в Финляндии с 2000 по 2017 год

Как видно из рисунка происходит плавный рост использования возобновляемых источников энергии, возросло количество использования ветряных источников. Количество ископаемых ресурсов, например – торф, постепенно снижается. На рисунке 8 изображена диаграмма состояния потребления энергии от различных источников и уровень выброса диоксида углерода в атмосферу (парниковые газы).

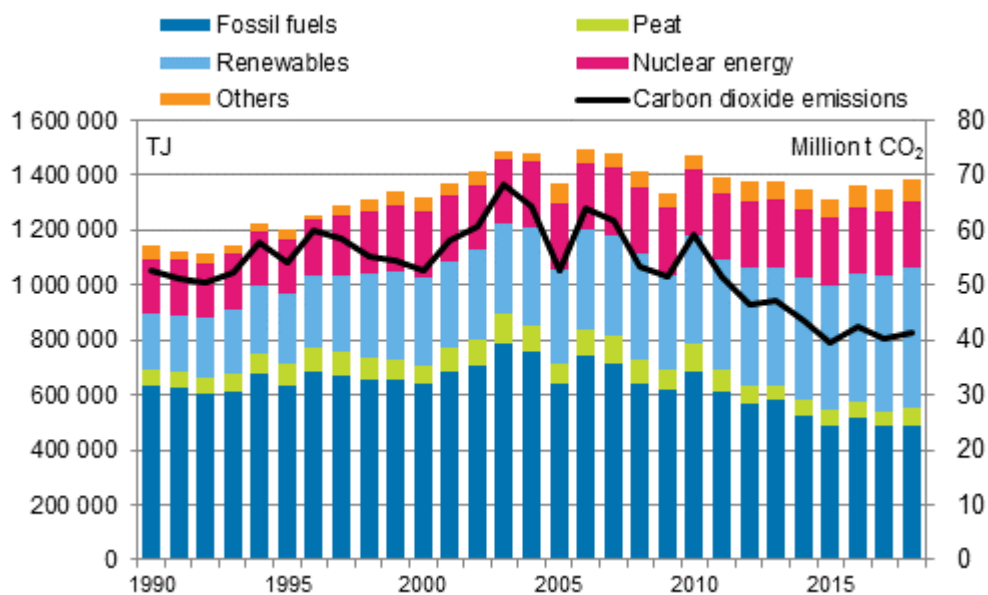


Рисунок 8 – Диаграмма потребления энергии в Финляндии 1990 – 2018 года

Согласно публикации [8] на сайте статистики Финляндии на момент 2018 года возросло потребление энергии на 2 процента, при этом уровень выбросов углекислого газа в атмосферу незначительно отклонился от отметки в 40%. Замечательно, то что согласно диаграмме (рисунок 1990-2018) количество генерируемой энергии от ископаемого топлива сократилось до отметки 500 000 ТДж, а количество энергии от возобновляемых источников увеличилось до 400 000 ТДж.

Как показывает статистика большая часть энергии расходуется на отопление помещений (рисунок 9) [9].

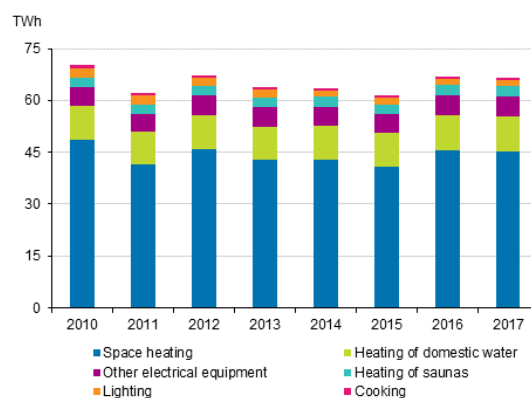


Рисунок 9 – Распределение потребляемой энергии в Финляндии

Так же в [9] указано, что с начала 2000х годов возросло количество использования тепловых насосов аналогично Канаде и в статистике учтена электроэнергия использования данного типа отопления. Также учтены климатические особенности данного региона и то, что многие владельцы домов используют термостаты для регуляции внутренней температуры дома, что значительно снижает потребление энергии.

### 2.3 Технологии отопления в Финляндии

Исходя из приведенных статических данных, можно сказать о наибольшей эффективности использования ресурсов данной страной для генерации энергии, в том числе и тепловой. Стремление создать дома с нулевым потреблением энергии (NEH) преимущественно заключена в том, чтобы извлечь максимальную выгоду для человека в виду ограниченности ресурсов в месте обитания. А для отопительных технологий это особенно тяжело в условиях резконтинентального и субарктического климатических зон.

Так же, как и Канада, в Финляндии активно используют технологии отопления на основе тепловых насосов, как альтернативу другим системам отопления [10]. На рисунке 10 изображен рост использования тепловых насосов по их типу до 2008 года

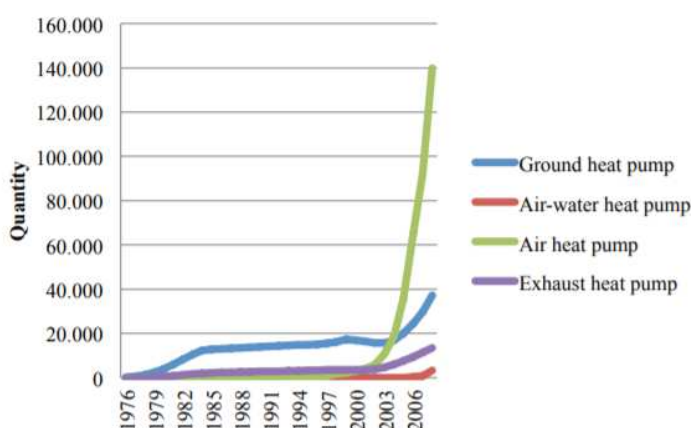


Рисунок 10 – Рост количества вырабатываемой энергии тепловыми насосами

Как видно из рисунка наибольшее распространение получили воздушные тепловые насосы, работающие по принципу обратному принципу работы холодильника: помещение отапливается за счет воздуха из внешней среды. Такие тепловые насосы характерны для южных районов Финляндии в связи с тем, что рабочая температура для таких насосов не должна быть ниже  $-20^{\circ}\text{C}$ . Также данную систему не используют как основную систему для отопления.

Обычно система отопления на тепловом насосе является системой параллельно работающей с системой отопления на основе газового или электрического котла. Данная система более экологичная с точки зрения использования ее в личном доме, однако не дает возможность удерживать температуру в доме во время сильных заморозков.

Также в широко используются тепловые насосы, осуществляющие обмен тепла с землей. В результате нагрева земли в течении теплого времени суток тепло удерживается в почве, таким образом его возможно извлекать зимой и использовать в качестве поддержки текущей отопительной системы.

#### Висследовании

[11] описан также метод отопления с использованием коллектора на основе солнечной батареи. Устанавливается коллектор тепла на основе солнечной батареи, и энергия солнечного излучения передается теплоносителю и циркулирует между коллектором и теплообменником. Теплообменник передает тепло в дом. На рисунке 11 представлена схема способа отопления с помощью солнечного коллектора.

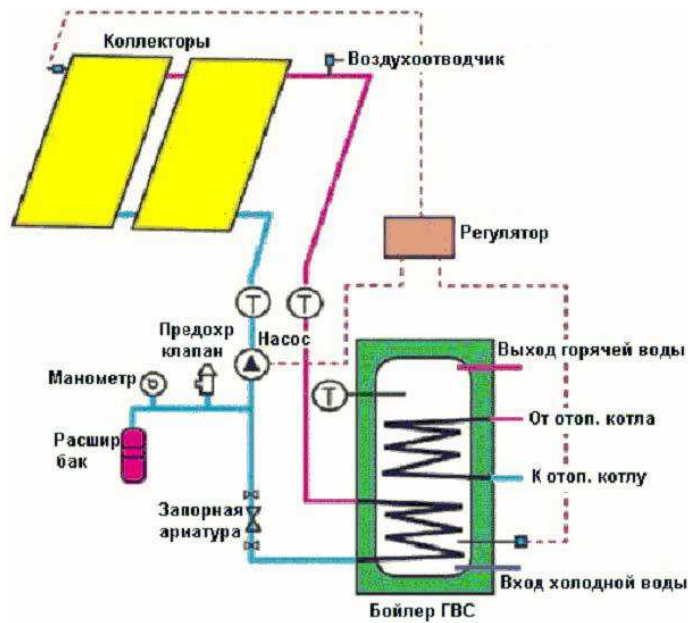


Рисунок 11 – схема отопления с помощью солнечного коллектора

Важным является то, что данный метод может быть использован в случае значительного утепления дома, установки специальных стеклопакетов и отсутствия сквозняков. Такой метод предложен для «пассивного» с точки зрения энергетики дома, т.е. дома, который потребляет незначительное количество энергии.



### **3 Понятие энергоэффективности зданий**

Существует большое количество определений энергоэффективности здания. В работе [12] произведен подробный анализ развития понятия «энергоэффективность» для различных строений и их особенностей. Автор [12] так же является соавтором труда [13], где так же изложены соображения по поводу исследуемого понятия и дано его уточненное определение с учетом всех аспектов, связанных с ним.

Предлагается использовать следующее определение: «энергоэффективное здание – это строение, отвечающее нормативным требованиям безопасности и надёжности, совокупность планировочных, конструктивных и инженерных решений которого обеспечивает необходимый потребительский уровень комфортности при нормативных или меньших затратах на энергоресурсы на протяжении всего жизненного цикла». Такое определение представляет собой гармоничное сопряжение понятий «энергоэффективность» и «здание», которое учитывает особенности данных понятий, определенными в нормативно-правовых документах (СНиП и СП).

Говоря об энергетической эффективности здания важно обратить внимание на особенности ее обеспечения. Так одним из аспектов обеспечения энергоэффективности является энергосбережение. В настоящее время энергосбережение является одной из приоритетных задач государства. Это вызвано дефицитом энергоресурсов, ростом стоимости их добычи, глобальными экологическими проблемами.

Энергосбережение, в сущности, есть эффективное использование энергоресурсов за счет применения технически осуществимых инновационных решений. Такие решения должны быть приемлемы с точки зрения экономики и экологии. Также внедрение таких решений не должно изменять привычного образа жизни людей.

Понятия энергетической эффективности и энергетического сбережения были соотнесены в [14], согласно которому было утверждено, что здание

должно быть спроектировано и возведено таким образом, чтобы при выполнении установленных требований к внутреннему микроклимату помещений и другим условиям проживания, обеспечивалось эффективное и экономное расходование энергетических ресурсов при его эксплуатации. Таким образом, в соответствии с определениями из статьи 2 [14] и [15] энергосбережение обеспечивает энергетическую эффективность, то есть определяет данную характеристику отношения использованных ресурсов к их затратам.

Исходя из приведенных выше утверждений, можно определить, что основными показателями энергетической эффективности здания являются общие теплопотери и теплопоступления, расходы тепловой и электрической энергии, сопротивление теплоотдачи. Другие показатели для оценки энергетической эффективности и формулы расчета приведены в [15].

Выполнение требований энергетической эффективности обеспечивается соблюдением удельного годового расхода: энергетических ресурсов на отопление и вентиляцию всех типов зданий, строений, сооружений, электрической энергии на общедомовые нужды и тепловой энергии на горячее водоснабжение многоквартирных домов.

При проектировании всех типов зданий, строений, сооружений и при эксплуатации зданий, строений, сооружений (за исключением многоквартирных домов) удельный расход энергетических ресурсов рассчитывается на 1 квадратный метр.

Для присвоения класса энергетической эффективности используются значения удельного годового расхода ресурсов и базового уровня годового расхода энергетических ресурсов. По отношению данных показателей в процентах определяют принадлежность к классу энергоэффективности согласно таблице 2 в соответствии с [15].

Таблица 2 – Классификация энергетической эффективности

Обозначение класса	Наименование класса	Величина отклонения расчетного значения (фактического) удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания от нормируемого, %
A++ A+ A	Очень высокий	Ниже -60 От -50 до -60 включительно От -40 до -50 включительно
B+ B	Высокий	От -30 до -40 включительно От -15 до -30 включительно
C+ C C-	Нормальный	От -5 до -15 включительно От +5 до -5 включительно От +15 до +5 включительно
D	Пониженный	От +15,1 до +50 включительно
E	Низкий	Более +50

В данной работе интерес вызывают классы от A++ до B в виду того, что здания потребляют энергии меньше, чем должны по базовому показателю удельного расхода на отопление и вентиляцию. Это означает, что в данных зданиях были проведены энергосберегающие мероприятия, включающие в себя анализ планировки внутренних помещений, учет особенностей теплообмена конструкций здания, а также анализ систем отопления, вентиляции и систем энергосбережения в здании. На данный момент действующим нормативным значением нормируемой (базовой) удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию малоэтажных жилых зданий (от 1 до 3 этажей) принимает значение от 0,420 Вт/ (м<sup>3</sup> \*°C) (для 3 этажей) до 0,455 Вт/ (м<sup>3</sup> \*°C) (для 1-2

этажей). Что соответствует удельному значению расхода энергии для жилых зданий 1-3 этажа от 205 кВт\*ч/м<sup>2</sup>/год на отопление.

Несмотря на существующие стандарты идея по сооружению энергосберегающих зданий зародилось за рубежом и хотелось бы упомянуть здания, построенные из соображений энергетической эффективности, и подчеркнуть из опыта сооружения этих зданий важные моменты, которые можно было бы использовать в работе.

#### **4 Зарубежный опыт в строительстве энергоэффективных зданий**

В соответствии с изложенным в п. 1 материалом, достаточно ограничится опытом Канады и Финляндии в части проектирования и возведения энергоэффективных зданий, в виду их схожих климатических особенностей с Красноярским краем.

##### **4.1 Энергоэффективные решения для зданий Канады**

Проблемы экономии топливных ресурсов и энергии в Канаде решаются согласно следующим критериям эффективности:

- 1) Уменьшение теплопотерь зданием;
- 2) использование энергии, выделяемой различными источниками домашнего тепла;
- 3) использование пассивной солнечной энергии.

Канадская фирма "ConceptConstruction" построила 20 домов в провинции Саскачеван, климатические условия которой характеризуются зимней расчетной температурой -34,5 и 6,1 тыс. градусо-дней отопительного периода. В домах предусмотрены различные конструктивные меры по сокращению теплопотерь. Основными из них являются: избыточная изоляция наружных стен и перекрытий; обеспечение паро- и воздухопроницаемости ограждений полиэтиленовой пленкой; применение теплообменников для нагрева поступающего свежего воздуха теплом удаляемого воздуха; пассивное использование солнечной энергии. В северной стене устраивается только одно окно для освещения кухни. Минимальное количество окон также в западной и восточной стенах. Предусмотрен входной тамбур. Все это сокращает теплопотери.

Южная стена полностью остеклена. При этом только треть остекленной поверхности используется для естественного освещения и инсоляции общей жилой комнаты. В остальной части стены за остеклением размещена железобетонная стеновая панель толщиной 25 см с окрашенной в черный цвет наружной поверхностью (стена Тромба, рисунок 12).

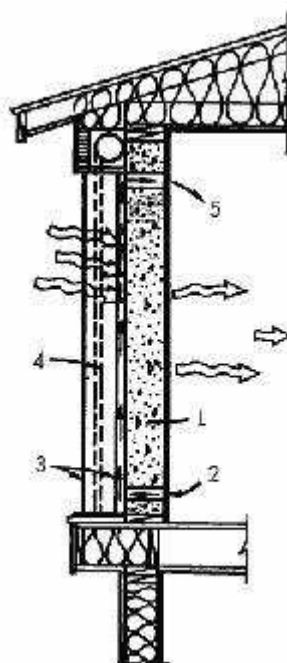


Рисунок 12 – Стена Тромба

Зазор между этой панелью и внутренним стеклом, равный 5 см, образует своего рода высокую и тонкую теплицу. Солнечная радиация, проходя через остекление, поглощается черной поверхностью бетонной стены и нагревает ее. Поперечное сечение южной стены дома: 1 - стена Тромба; 2 - холодный воздух; 3 - двойное остекление; 4 - теплоизолирующая штора; 5 - нагретый воздух. В промежутке между стеклами (15 см) двойного остекления по всей длине фасада автоматически опускаются на ночь теплоизоляционные алюминизированные нейлоновые шторы. Они приводятся в действие электродвигателем, управляемым термочувствительными элементами. Это позволяет значительно сократить теплопотери здания в холодное время суток. Летом эти шторы могут использоваться для защиты помещений от перегрева. Для этого они опускаются в дневное время и поднимаются вечером. Важно разместить шторы именно между слоями остекления, что предохранит внутреннее стекло от переохлаждения и возможного оледенения.

Важным моментом является герметизация наружных ограждающих конструкций полиэтиленовой пленкой. Помимо того, что она препятствует

теплопотерям за счет инфильтрации воздуха, в качестве пароизоляции предохраняет теплоизоляционный слой от намокания конденсатом внутреннего воздуха. Для системы вентиляции использован воздушный теплообменник в подвальном помещении, который позволяет извлечь из отработанного воздуха 80% тепла. Циркуляция воздуха в помещениях дома естественная. Лишь для кухни и ванной комнаты применяют вентилятор в системе вентиляционных каналов.

В типовом 2-этажном доме фирмы "EnerconBuildingCorporation", имеющем жилую площадь 153,5 м<sup>2</sup> и отапливаемый подвал 83,6 м<sup>2</sup> для сокращения расходов на отопление предусмотрено: теплоизоляция стен в 3,2, а чердачного перекрытия в 2,6 раза выше норматива; утепленные ставни для всех окон, закрываемые на ночь; большая площадь остекления южной стены; полиэтиленовая воздухо- и пароизоляция; воздушный теплообменник; внутренние тамбуры у входных дверей; тройное остекление окон; воздухораспределительная система со встроенным электронагревателем.

В обычном жилом доме значительная часть потерь тепла связана с прониканием холодного наружного воздуха и выходом наружу теплого внутреннего. На приведенной схеме дома "PaskaHouse" показаны меры, принятые по значительному снижению потерь (рисунок 13).



Рисунок 13 – Схема дома «PaskaHouse»

Прежде всего дом герметизируют воздухонепроницаемыми уплотнительными материалами. При этом возникающие в доме запахи и другие загрязнители воздуха становятся проблемой. Решить ее можно путем применения вентиляторов в сочетании с воздушным теплообменником, в котором выходящий теплый воздух нагревает холодный наружный отдавая ему свыше 70% своего тепла: 1 - свежий холодный наружный воздух (-18); 2 - отработанный теплый внутренний воздух (22); 3 - вентилятор; 4 - +15,6; 5 - +22; 6 - воздушный теплообменник (тепловой рекуператор); 7 - свежий, подогретый до +15,6, наружный воздух смешивается в вентиляционном канале с теплым воздухом, циркулирующим внутри дома; 8 - отработанный и охлажденный до -12 внутренний воздух; 9 - установленный в вентиляционном канале электронагреватель используется по мере необходимости.

При нагреве солнечными лучами воздуха внутри помещения выше нормы включается вентилятор, подающий теплый воздух в аккумулятор. Аккумулированное тепло используется ночью. Так как пассивная солнечная система не может нагреть равномерно все комнаты, предусмотрена воздухораспределительная система. Лишь при наружных температурах ниже -10градусов требуется периодическое включение электрического обогревателя. Принятые меры по снижению потерь энергии в изолированном доме "PaskaHouse" приводят к удорожанию дома на 7 - 8% (без учета стоимости земельного участка). Значительный интерес представляют четыре дома, построенные для индийской общины в провинции Квебек по проектам архитектурной школы университета McGill.

Проекты предусматривают использование природных источников энергии (солнечной и ветровой), местных строительных материалов, местной рабочей силы и отходов в виде пластмассовой тары из-под напитков и других жидкостей. Два здания построены в колледже Маниту в 170 км к северу от Монреаля, один дом - в пос. Мистассини в 545 км к северу от Монреаля и еще один - около 320 км к востоку от пос. Матагами.



Отличаясь по архитектурно-планировочным решениям, все здания оборудованы системой воздушного отопления с использованием солнечной энергии. Для снижения теплопотерь северные стены всех домов имеют меньшую высоту, а для теплоизоляции стен дополнительно использован мох, в изобилии растущий в этой местности.

В системах солнечного отопления применены различные конструктивные решения. Один из домов колледжа Маниту оборудован абсорбером-аккумулятором солнечного тепла в виде массивной теплоемкой стены Тромба и бетонных блоков, которая снаружи ограждена двумя слоями прозрачного стеклопластика и шторой, закрывающейся на ночь. Люки в перекрытиях регулируют подачу нагретого воздуха в помещения. Во втором доме воздух из коллектора направляется сверху вниз вентилятором в гравийный аккумулятор, расположенный в подвале. Для обогрева помещений в холодное время суток теплый воздух из аккумулятора следует по каналам, проходящим под полом, что способствует созданию более комфортных условий. Дом в разрезе представлен на рисунке 14.

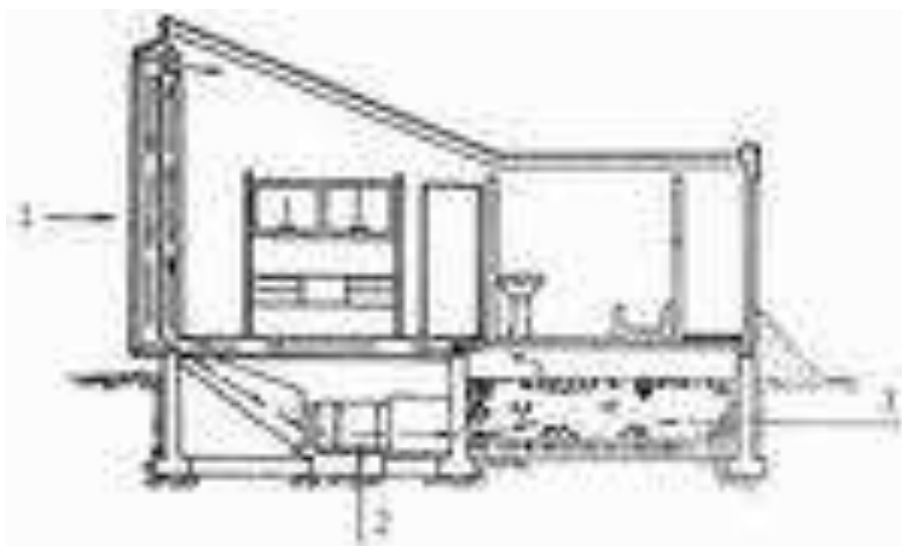


Рисунок 14 – Дом в разрезе

Поперечный разрез дома с солнечным воздушным отоплением: 1 - коллектор; 2 - вентилятор, 3 - гравийный тепловой аккумулятор.

В других домах для аккумуляции тепла используется освободившаяся тара от напитков и нефти, заполненная водой. В Мистассини в состав дома включена еще и гелиотеплица, которая также является источником тепла. Уменьшение тепловых затрат на отопление позволяет значительно сократить общественные капиталовложения на строительство теплоэлектростанций. Другими аргументами в пользу сокращения расхода топливных ресурсов являются: возможность использования топлива в качестве сырья химической промышленности; уменьшение попадания в атмосферу кислот при сжигании угля и двуокиси серы - при других процессах; сокращение загрязнения атмосферы углекислым газом, что может существенно изменить климат планеты.

#### **4.2 Энергоэффективные решения Финляндии**

Район VIIKKI - экологически чистая территория сельского типа площадью 1132 га, которую частично использовал для научных целей Технологический университет Хельсинки. Строительство демонстрационного энергоэффективного района EKOVIKKI осуществлялось в соответствии с программой Европейского сообщества Thermie, состоящей из девяти европейских экспериментальных проектов. Руководство финским проектом было возложено на Технологический университет Хельсинки [16].

Инициаторы проекта пришли к выводу, что энергосберегающие площади не легко продать клиенту, так как они требуют дополнительных затрат, которые окупятся не скоро. Поэтому к новому экспериментальному жилому району VIIKKI подошли в первую очередь не как к энергосберегающему, а как к жизнеподдерживающему (sustainable) долговременному строительству. Цель проекта - выявление эффективности энергосберегающих технологий в реальных условиях во взаимосвязи с экологическими и социальными аспектами.

Энергоснабжение района - это комбинация районного тепло- и электроснабжения Хельсинки и солнечного теплоснабжения. При разработке проекта были использованы новейшие концепции интеграции солнечных

систем в здание. В экспериментальном районе нашла применение крупнейшая в Финляндии установка по использованию солнечной энергии. Система состоит из восьми установленных на зданиях солнечных коллекторов общей площадью 1248 м<sup>2</sup>, обеспечивающих централизованное теплоснабжение и в некоторых случаях подогрев пола. В районе VIIKKI демонстрируются новые солнечные комбинированные системы, интеграция коллектора с крышей, возможности пассивного использования солнечной радиации, параллельное применение систем солнечного обогрева и систем централизованного теплоснабжения, модули солнечных коллекторов большой площади (с размером блока 10 м<sup>2</sup>). Солнечные коллекторы встроены в конструкцию крыши жилого дома под оптимальным углом 47-60°, соответствующим положению солнца осенью, зимой и весной, когда имеется наибольшая потребность в энергии.

В ходе проектирования систем отопления и вентиляции жилых домов были применены следующие технические решения, повышающие их энергетическую эффективность:

- использование тепла обратной воды системы теплоснабжения для напольного отопления;
- утилизация тепла удаляемого воздуха;
- индивидуальная механическая вентиляция с рекуперацией тепла отдельно для каждого жилого помещения;
- повышение эффективности систем естественной вентиляции за счет специальной конструкции дефлекторов;
- вентиляция помещений при помощи предварительного подогрева наружного воздуха, подаваемого через окна или остекленные балконы;
- использование низкотемпературных отопительных систем;
- использование солнечных коллекторов, подключенных к магистралям горячей воды;
- использование счетчиков тепла и индивидуальный контроль температуры в каждой квартире.

Ограждающие конструкции выполнены из энергосберегающих материалов с эффективной теплоизоляцией, наружные стены из деревянных элементов, изготовленных в заводских условиях, слоистая фасадная облицовка выполнена из бумажных отходов. Конструкция пола представляет собой комбинацию системы напольного отопления с сохраняющим тепло бетонным основанием.

В результате эксплуатации зданий в данном районе были получены следующие показатели энергетической эффективности построенных зданий (таблица 3) [16].

Таблица 3 – Показатели эффективности района Viikki, Финляндия

Вид потребляемой энергии	Контрольные показатели	Полученные значения	Разница показаний в процентах
Энергия на отопление	160 кВт*ч/м <sup>2</sup> /год	105кВт*ч/м <sup>2</sup> /год	-34 %
Электрическая энергия	45 кВт*ч/м <sup>2</sup> /год	45 кВт*ч/м <sup>2</sup> /год	-0 %

Как видно из таблицы показатели по потреблению энергии на отопление уменьшились на 1/3 от ожидаемых показателей. Таким образом подтверждается эффективность выполненных мероприятий по обеспечению энергосбережения. Подобные мероприятия могут быть использованы как основа для проектировщиков энергоэффективных строений.

## 5 Проект малоэтажного энергоэффективного здания

### 5.1 Исходные данные

Для нужд исследования разработан проект малоэтажного здания для опробования энергоэффективных решений. Количество этажей в здании – 2. Эскиз здания представлен на рисунке 15.

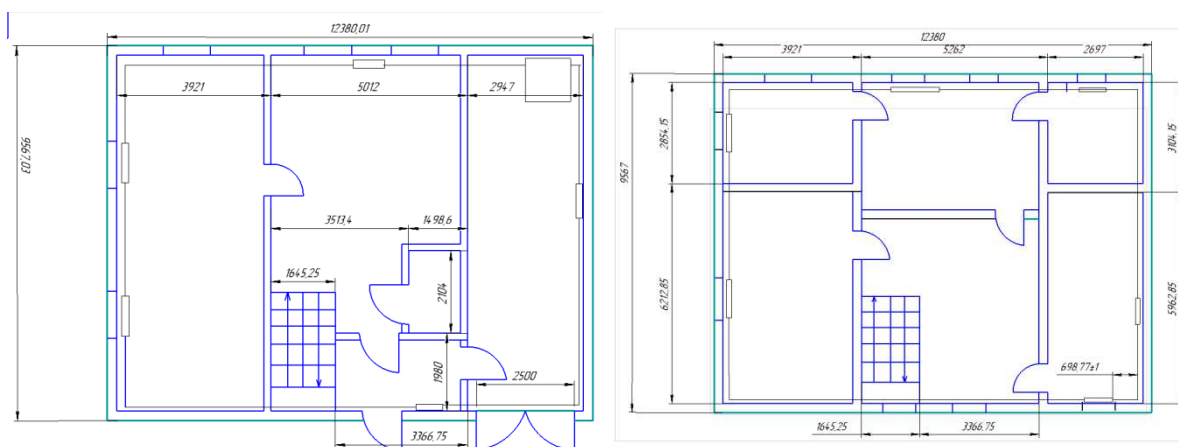


Рисунок 15 – Эскиз первого и второго этажей здания

В качестве исходных компонентов для ограждающих от внешней среды конструкций используется структура, изображенная на рисунке 16.

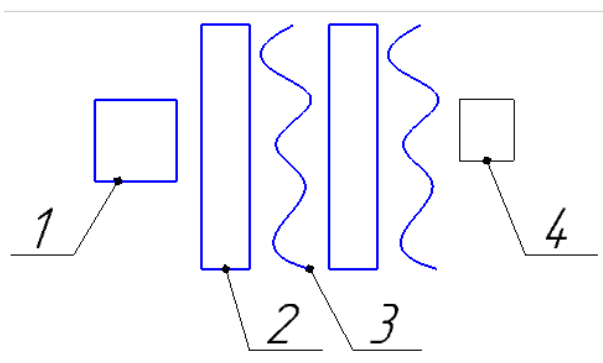


Рисунок 16 – Внутренняя структура ограждающей конструкции

На рисунке 16:

- 1) брус (сосна 180 x180 мм);
- 2) гидроизоляция;
- 3) утеплитель – каменная вата;
- 4) доска имитация бруса.

Выбор материалов обоснован их легкой доступностью на рынке и оптимальном значении тепловой изоляции тепловой изоляции, необходимой для обеспечения энергетической эффективности здания относительно тепловой энергии.

## 5.2 Тепловой расчет

Каждый этаж был разбит на отдельные помещения по соответствующему назначению (рисунок 17, 18).

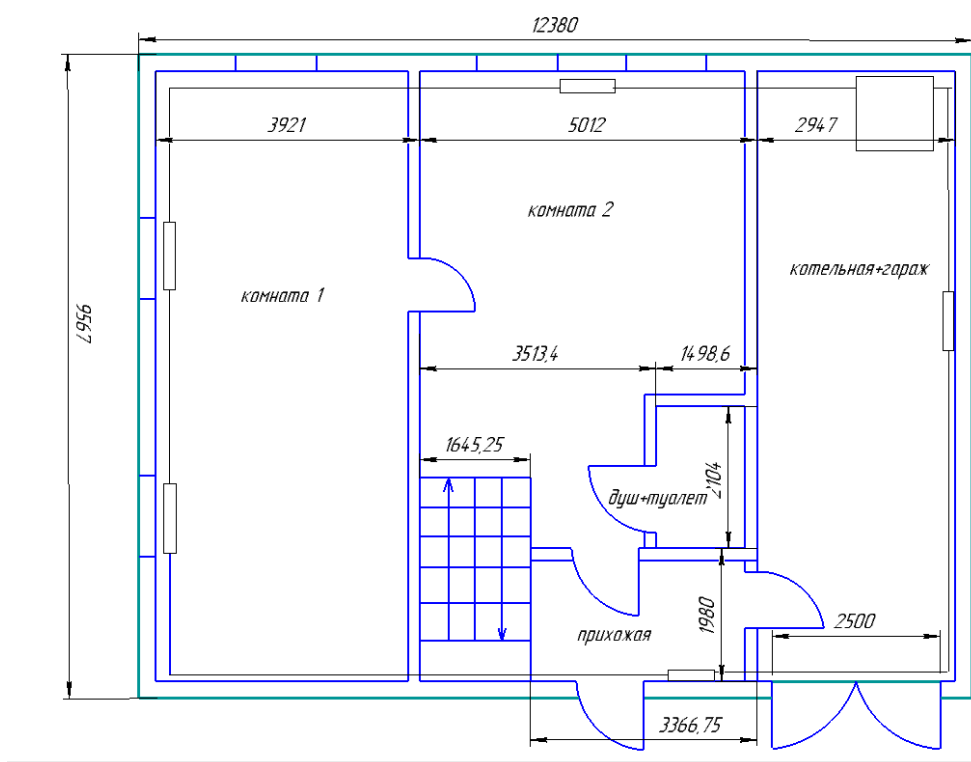


Рисунок 17 – Разбиение на помещения первого этажа

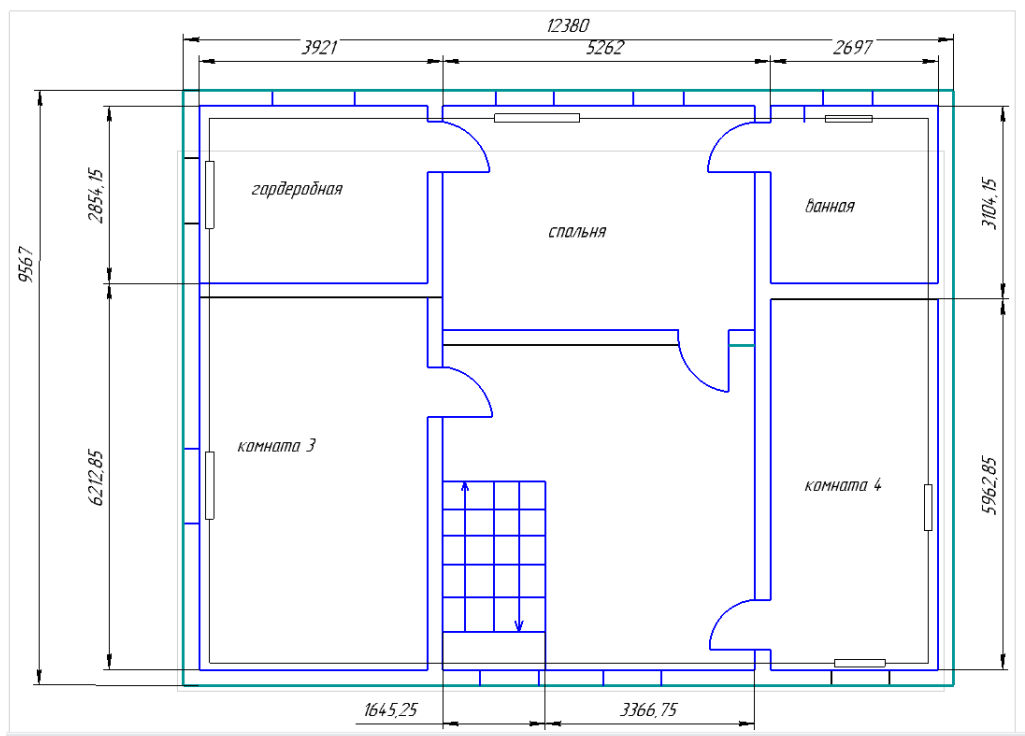


Рисунок 18 – Разбиение на помещения второго этажа

Для каждой комнаты был осуществлен расчет необходимой энергии для отопления по СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий. Полученные данные приведены в таблице Б.1 приложения Б. На рисунках 19, 20 наглядно изображены тепловые потери для каждого помещения.

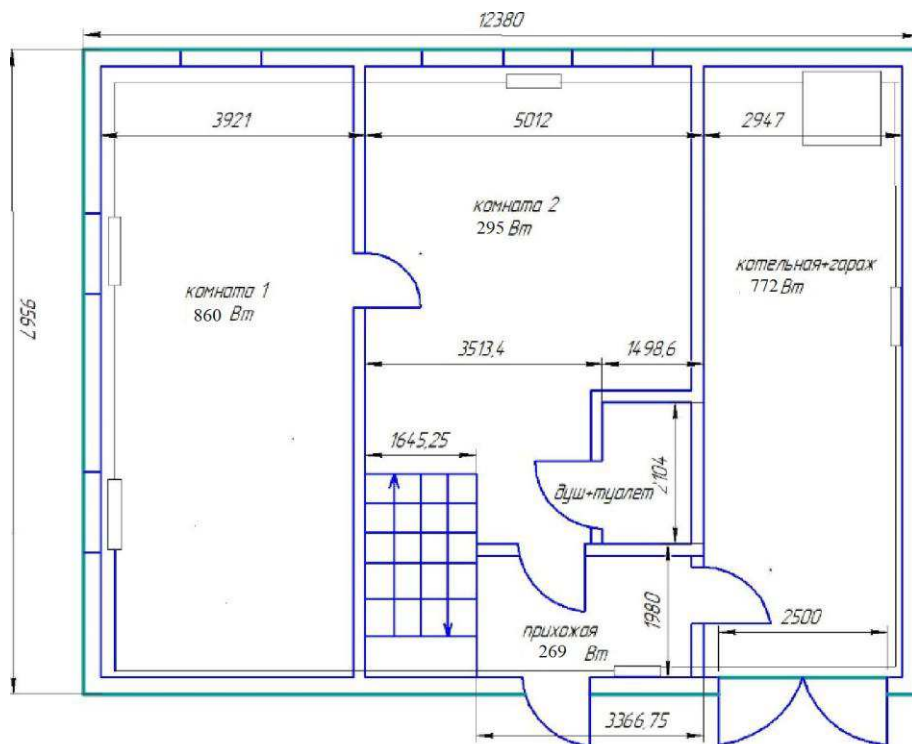


Рисунок 19 – Тепловые потери первого этажа

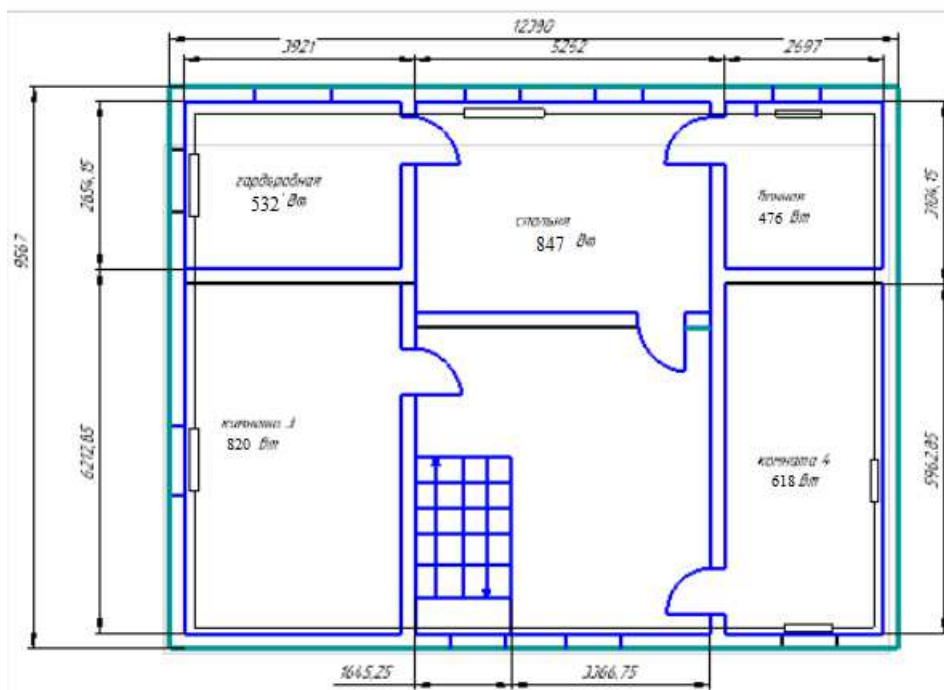


Рисунок 20 – Тепловые потери второго этажа

Суммарное значение тепловых потерь всего дома составляет 5 кВт. По полученным значениям принято решение об установке алюминиевых радиаторов для отопления помещений с необходимым количеством секций. Данные приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Используемые радиаторы

Помещение	Количество радиаторов	Количество секций на радиаторе
1 этаж		
Комната 1	2	3
Комната 2	1	3
Прихожая	1	3
Гараж+ котельная	2	3
2 этаж		
Гардероб	1	3



Продолжение таблицы 4

Помещение	Количество радиаторов	Количество секций на радиаторе
Комната 3	1	5
Ванная	1	4
Комната 4	2	3
Спальня	1	5

В приложении В представлен теплогидравлический расчет предполагаемой системы отопления. Полученные в результате этих расчетов данные использованы для подбора необходимого оборудования для сборки системы отопления.

Получены следующие данные. Необходимая длина трубопровода равна 200 м. диаметр трубопровода равен 25 мм. Также были подобран насос с напором на выходе 12 кПа, что соответствует разработанной системе. С учетом возможных тепловых потерь рассмотрены два варианта генерации тепловой энергии:

1. При помощи угольного котла;
2. При помощи теплового насоса система грунт – вода

Изначально система выполнена для работы с угольным котлом, мощность которого 5 кВт. Выбран угольный котел ZOTASOLO. Выбор данного котла обоснован наиболее подходящими параметрами для работы в разработанной системе.

Выбран тепловой насос Danfoss Solo. Данный тепловой насос по указанию производителя является универсальным и применяется на замену котлам, работающим на угле, газе и электричестве. Параметры данного котла удовлетворяют необходимым требованиям для поддержания температуры в помещениях.

### **5.3 Расчет суточные расходы воды**

Расчет холодного водоснабжения и горячего водоснабжения рассчитывается в соответствии со СНиП 2.04.01-85 Внутренний водопровод и канализация зданий. Холодное водоснабжение 100 л/сут на 1 жителя, следовательно, 500 л/сут на 5 человек нужно каждый день. Горячее водоснабжение 70 л/сут на 1 жителя, следовательно, 350 л/сут каждый день на 5 человек.

### **5.3 Особенности использования теплового насоса**

В случае использования теплового насоса как источника тепловой энергии необходимо учитывать то, что внедрение такого типа оборудования требует значительных первоначальных затрат из-за сложности внедрения и особенности эксплуатации подобного типа оборудования.

Как указано в п. 5.2 выбран тепловой насос DHP –Lorti бмарки Danfoss. Номинальная тепловая мощность данного насоса составляет 6 кВт. Этого достаточно для того, чтобы покрыть тепловые потери всего дома и обеспечить запасом дополнительной мощности. Также выбор данного насоса обусловлен простотой его подключения, т.к. он осуществляет свою работу от сети 220 В (однофазный).

Учитывая то, что данные по разработанной системе отопления уже известны, для теплового насоса необходимо также рассмотреть вторую часть системы, которая осуществляет обмен тепловой энергии.

Для осуществления работы теплового насоса во внешней схеме обмена теплом со средой необходимо использовать соответствующие материалы и оборудования, позволяющие с помощью хладагента эффективно обеспечивать генерацию тепловой энергии в насосе.

Малоэтажное здание занимает площадь равную 237м<sup>2</sup>. Необходима мощность теплонасоса в 5кВт, то есть необходимо предусмотреть систему геозондов, которая должна выдать необходимое количество энергии для показателя насоса. Средняя отдача теплосонда - 50 Вт на 1 погонный метр.

Следовательно, для обеспечения тепловой мощности 5кВт необходимо 100 погонных метров. Требуется пробурить 1 скважину в 100 метров. В данные скважины поместить геозонды в виде труб диаметром 32 мм с U – образными наконечниками.

Для подобранных материалов и оборудования произведен экономический расчет.

## **6 Система вентиляции**

Предварительно осуществлена оценка вентиляции исследуемого здания. В соответствии со СНиП 2.04.05-91 на каждый 1 м<sup>2</sup> жилого помещения приходится 3 м<sup>3</sup>/ч расхода воздуха, также на ванную комнату приходится расход воздуха 50 м<sup>3</sup>/ч.

Предполагается, что циркуляция воздуха будет производиться естественным путем без использования специальных вытяжных устройств. Это позволяет исключить дополнительные затраты на электроэнергию для обеспечения искусственной вентиляции помещения.

С учетом того, что ванны комнаты занимают 10 м<sup>2</sup>, суммарный расход воздуха равен  $50 \cdot 10 = 500$  м<sup>3</sup>/ч. На основе этого значения подобран размер воздуховодов 100x150 мм. Используя воздуховоды данного размера, доступная скорость вывода воздуха 2 м/с рекомендованного в СНиП.

Воздуховоды размещаются в стене помещения ванны и душевой с туалетом в направлении крыши. В остальных помещениях воздухообмен предполагается при помощи естественного ежедневного проветривания.

## 7 Экономический расчет использования оборудования

Рассмотрен экономический расчет для использования системы отопления, ГВС, с использованием двух различных генераторов тепловой энергии

### 7.1 Система с угольным котлом

В таблице 5 приведен состав оборудования системы с угольным котлом.

Таблица 5 – Состав системы для угольного котла

Марка оборудования	Кол-во, шт.	Цена, руб.	Общая стоимость, руб.
Насос Grundfos MAGNA3 40 - 60 F	1	47943	47943
Расширительный бак Э 005P UNIGB	1	850	850
Котел ZOTA Solo	1	20000	20000
Водонагреватель Garanterm ER 120 V	2	9630	19260
Alberg RKO S 500	60	360	21600
Труба полипропиленовая PN20 25x4,2 (3/4») L-4,0м	25	205	5945
Тройник комбинированный (внутренняя резьба) полипропиленовый Д-25*1/2»	24	44	1056
Кран шаровой наружная резьба 1203 STC-Faro (ручка-рычаг, сальник) Ду-25	22	425	9350
Отвод полипропиленовый	54	4,75	256,5
Итого		126260 руб.	

На основе имеющихся данных произведен расчет по формуле (1):

$$Z = Z_A + Z_Э + Z_T, \quad (1)$$

где,  $Z_A$  - амортизационные затраты,

$Z_Э$  – затраты на электроэнергию,

$Z_T$  – затраты на топливо

Амортизационные затраты рассчитываются по формуле (2)

$$Z_A = \frac{K}{T} = \frac{126260}{30} = 4208 \text{ руб} \quad (2)$$

где,  $K$  – капитальные затраты,

$T$  – период эксплуатации.

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле (3)

$$Z_{\text{Э}} = (N_{\text{нас}} \cdot \tau_{\text{нас}} + N_{\text{вод}} \cdot \tau_{\text{вод}}) \cdot = 24137 \text{ руб.} \quad (3)$$

где  $N_{\text{нас}}$  – мощность насоса, Вт;

$N_{\text{вод}}$  – мощность водонагревателя;

$\tau$  – время работы, ч.

Топливные затраты рассчитываются по формуле (4)

$$Z_{\text{T}} = \int \frac{Q}{\eta} dt = 25536 \text{ руб.} \quad (4)$$

где  $Q$  – мощность котла, кВт;

$\eta$  – КПД котла.

Тогда общие затраты на использование отопительной системы для угольным котлом в соответствии с формулой (1) равны

$$Z = 4208 + 15566 + 25536 = 45578 \text{ руб.}$$

## 7.2 Система с тепловым насосом

Также произведен экономический расчет использования системы отопления с генератором тепловой энергии типа тепловой насос. В систему добавлены дополнительно элементы: тепловой насос, дополнительный насос для циркуляции хладагента, хладагент и геозонды. Данное оборудование необходимо для организации части системы отопления, обеспечивающей обмен тепла с грунтом. В таблице приведен состав оборудования системы угольным котлом.

Таблица 6 – Состав системы для теплового насоса

Марка оборудования	Кол-во, шт.	Цена, руб	Общая стоимость, руб.
Насос GrundfosMAGNA3 40 – 60 F	2	47943	95886
Расширительный бак Э 005P UNIGB	1	850	850

Продолжение таблицы 6

Марка оборудования	Кол-во, шт.	Цена,руб	Общая стоимость, руб.
Тепловой насос DanfossDHP –Lopti 6	1	400000	400000
Водонагреватель Garanterm ER 120 V	2	9630	19260
Геозонд	1	10000	10000
Хладагент ХНТ-НВ	240 л.	100	24000
Alberg RKO S 500	60	360	21600
Труба полипропиленовая PN20 25x4,2 (3/4") L-4,0м	25	205	5945
Тройник комбинированный (внутренняя резьба) полипропиленовый Д-25*1/2"	24	44	1056
Кран шаровой наружная резьба1203 STC-Fargo (ручка-рычаг, сальник) Ду-25	22	425	9350
Отвод полипропиленовый	54	4,75	256,5
Итого	491467 руб.		

В данном случае необходимо упростить формулу (1) исключив из нее затраты на топливо. Таким образом, получаем формулу (5).

$$Z = Z_A + Z_{\text{Э}}, \quad (5)$$

Амортизационные затраты рассчитываем по формуле (2) и получаем значение равное:

$$Z_A = \frac{K}{T} = \frac{491467}{30} = 16382 \text{ руб.}$$

В затраты на электроэнергию требуется дополнить значением мощности теплового насоса и дополнительного циркуляционного насоса :

$$Z_{\text{Э}} = (2 * N_{\text{нас}} \cdot \tau_{\text{нас}} + N_{\text{вод}} \cdot \tau_{\text{вод}} + N_{\text{ТН}} \cdot \tau_{\text{ТН}}) \cdot \text{тарифЭЭ} = (0,456 \cdot 6700 + 24,2 \cdot 150 + 3,2 \cdot 6700 \cdot 2,34) = 74342 \text{ руб.}$$

где  $N_{\text{нас}}$  – мощность насоса, Вт;

$N_{\text{вод}}$  – мощность водонагревателя;

$\tau$  – время работы, ч.

С использованием формулы (5) получаем следующее значение затрат на использование системы с тепловым насосом:

$$3 = 16382 + 74342 = 90724 \text{ руб.}$$

## **8 Анализ результатов расчета отопления**

В результате полученных расчетов, сделаны следующие выводы. Использование тепловых насосов при текущей стоимости угля не является экономически целесообразным в виду превышения затрат в два раза. Тем не менее использование угольного котла в качестве отопительного прибора не является экологически эффективным, требует постоянного пополнения топлива. Также данный вид отопительного прибора делает потребителя зависимым от полезных ископаемых (угля). Угольный котел требует дополнительного ухода – прочистки от золы, таким образом необходимо дополнительное время для обслуживания котла во время отопительного периода для корректной работы.

Таких проблем лишен способ отопления при помощи теплового насоса. Аппарат не производит продуктов сгорания, автоматически осуществляет контроль уровня хладагента и оповещает потребителя по необходимости обновления о пополнения жидкости. Отсутствие риска возникновения пожара.

Система такого рода не производит выбросов, которые могут пагубно влиять на состояние окружающей среды. Не требуется также частый контроль состояния оборудования. В большинстве случаев встроенные в систему диагностические элементы помогают контролировать процесс эксплуатации.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведено исследование использование энергоэффективного и экологичного теплового обеспечения малоэтажного здания. Рассмотрены различные решения энергоэффективного отопления и мероприятий. Связанных с экономичным и эффективным потреблением энергии в странах со схожими климатическими условиями – Канада и Финляндия. В результате рассмотрения и учета сырьевого обеспечения данных стран принято решение о применении финского подхода к проектированию малоэтажного здания с использованием отопительного прибора типа тепловой насос.

Для проведения исследования разработан проект малоэтажного здания в два этажа с отопительной системой. В качестве ограждающих конструкций будет использоваться древесина, а именно брус из сосны, как один из самых доступных материалов в России. В качестве утеплителя будет использоваться каменная вата (базальтовое волокно), как одна из самых эффективных изолирующих материалов. Нежилые помещения (гараж, котельная) будут ограждены кирпичом, так как они не требуют значительной теплозащиты. Окна требуется использовать трехкамерные для лучшей тепловой изоляции. В качестве вентиляционной системы использовать рекуператор с забором воздуха сверху и охлаждения его при помощи трубопровода холодной воды.

Для сравнения рассмотрены в использовании в системе отопления генератора типа угольный ZOTASolомощность 5 кВт. и теплового насоса типаDanfossDHP –Lopti 6. Полученные системы сравнены между собой по экологичности по экономическим параметрам, количеству используемого оборудования в системе и экологическому влиянию. Также рассмотрен фактор затрат по обслуживанию системы.

В результате анализа исследуемых параметров получено, что наиболее эффективным с точки зрения обслуживания и экологического влияния наиболее предпочтительным будет использование теплового насоса. В тоже время в соответствии с текущей ценой на ископаемое топливо и количествооборудования, используемого в системе выигрывает угольный

котел. Тем не менее использование угольного котла требует большого внимания на обслуживание и оказывает вредное влияние на окружающую среду.

Таким образом, несмотря на сложность и затратность использования системы на тепловом насосе, это является наилучшим вариантом обеспечения поддержания температуры на определенном уровне в виду неисчерпаемости ресурсов и не требует частого обслуживания.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1Бюллетень о текущих тенденциях российской экономики. Динамика индивидуального жилищного строительства. Сентябрь 2018 // Аналитический центр при правительстве Российской Федерации. – 2018.

2Environment Accounts and Statistics Division. Households and the Environment: Energy Use// Statistics Canada. – 2011.

3Heating and Cooling With a Heat Pump// Natural Resources Canada's Office of Energy Efficiency. –2004

4Szekeres, A.Heat pumps in Ontario. Effects of hourly temperature changes and electricity generation on greenhouse gas emissions/ Alex Szekeres, Jack Jeswiet. – 2018.–март

5Effects of technological development and electricity price reductions on adoption of residential heat pumps in Ontario, Canada/Alex Szekeres, Jack Jeswiet. – 2018. - январь

6Communication from the commission to the European parliament, the council, the European economic and social committee and the committee of the regions// Energy 2020 A strategy for competitive, sustainable and secure energy. – Brussels. – 2010.

7Useofrenewableenergysourcesgrewinelectricityandheatproductionin 2017 // Statistic Finland. – 2018.

8Totalconsumptionofenergyincreasedby 2 percentin 2018// Statistic Finland. – 2019.

9 Energy consumption in households fell slightly in 2017// Statistic Finland. – 2018.

10PippuriP.  
HeatingmodechoicesofFinnishhouseholdsandtheEnergyParadoxEconomics / PaulaPippuri // DepartmentofEconomicsAaltoUniversitySchoolofEconomics. – 2012

11HEATINGSYSTEMFORAPASSIVEHOUSEINFINLAND// BuildingServicesEngineering. – 2012

12 Опарина, Л.А. Определение понятия «энергоэффективное здание» / Л.А. Опарина // Жилищное строительство. – 2010. – № 8. – С. 2-4

13 Алоян, Р.М. Энергоэффективные здания – состояние, проблемы и пути решения : учеб. пособие / Р. М. Алоян, С. В. Федосов, Л. А. Опарина – Иваново: ПресСто, 2016. – 276 с.

14 Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: федер. закон Российской Федерации от 23.11.2009 № 261-ФЗ // Российская газета. – 2009. – 27 нояб.

15 СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. – Введ. 01.07.2013. – М.: Минрегион России, 2012.

16 Табунщиков, Ю. А. Энергоэффективные здания / Табунщиков, Ю. А., Бродач М. М., Шилкин Н. В. – Москва: АВОК-ПРЕСС, 2003.

17. СНиП

## Приложение Б

### Таблица расчета отопления для малоэтажного дома

Таблица Б.1 – Расчет тепловых потерь помещений

Тип поверхности	Площадь	Термическое сопротивление	T напора	Тепловые потери, Вт
Комната 1 (этаж 1)				
Окно	1,44	1,1764706	60	73,44
Окно	1,44	1,1764706	60	73,44
Стена	24,321	5,9022804	60	247,2366427
Стена	10,323	5,9022804	60	104,9391005
Стена	11,763	5,9022804	60	119,5775103
Окно	1,44	1,1764706	60	73,44
Пол	35,551707	3,18	15	167,56
Сумма				859,64
Комната 2 (этаж 1)				
Окно	1,44	1,1764706	60	73,44
Окно	1,44	1,1764706	60	73,44
Пол	5,3361	3,18	15	75,01546392
Стена	12,156	5,9022804	60	123,5725763
Сумма				295,60
Душ и туалет (этаж 1)				
Пол	3,153896	3,18	15	14,86
Сумма				14,86
Прихожая (этаж 1)				
Стена	6,117	5,9022804	60	62,18274509
Пол	5,3361	3,18	15	113,6095
Дверь	1,968	1,2695319	60	93,01066002
Сумма				268,8029051
Гараж и котельная (этаж 1)				
Стена	8,841	5,9022804	60	89,87373703
Пол	26,720449	3,18	15	125,94

Продолжение таблицы Б.1

Тип поверхности	Площадь	Термическое сопротивление	Т напора	Тепловые потери, Вт
Двери	5,125	1,2695319	60	242,2152605
Стена	3,716	5,9022804	60	37,77522981
Сумма				772,32
Гардероб (этаж 2)				
Окно	1,44	1,176471	60	73,44
Окно	1,44	1,176471	60	73,44
Стена	7,122	5,90228	60	72,39914
Стена	10,323	5,90228	60	104,9391
Потолок	11,19053	3,2259	60	208,135
Сумма				532,3539
Комната 3 (этаж 2)				
окно	1,44	1,176471	60	73,44
стена	17,196	5,90228	60	174,807
потолок	24,35725	3,2259	60	453,026
стена	11,763	5,90228	60	119,5775
Сумма				820,85
Ванная (этаж 2)				
стена	8,091	5,90228	60	82,24957
потолок	8,371488	3,2259	60	155,70
окно	1,44	1,176471	60	73,44
стена	16,23	5,90228	60	164,9871
Сумма				476,3801
Комната 4 (этаж 2)				
окно	1,44	1,176471	60	73,44
стена	17,886	5,90228	60	181,8212
стена	6,651	5,90228	60	67,61116
потолок	69,502	3,2259	60	295,45

Продолжение таблицы Б.1

Тип поверхности	Площадь	Термическое сопротивление	T напора	Тепловые потери, Вт
Сумма				618,32
Спальня (этаж 2)				
стена	окно	2,88	1,176471	60
потолок	стена	34,26	5,90228	60
окно	потолок	44,55562	3,2259	60
стена	окно	2,88	1,176471	60
Сумма				847,3838

Суммарные тепловые потери – 5,2 кВт.

## Приложение В

### Гидравлический расчет системы отопления

Таблица В.1 – Гидравлический расчет системы отопления

Мощность	Расход	Скорость	Длина, м	Диаметр, м	Объем	Рейнольдс	Лямда	Линейные сопр	Коэф местных сопр	Местные сопр	Сумма сопр
14,45	0,14	0,28	3624,80	0,03	1,78	30819,03	0,04	243,19	1,70	67,15	310,34
0,36	0,00	0,01	1305,17	0,03	0,64	768,08	0,06	0,08	2,60	0,06	0,14
14,09	0,13	0,27	7798,00	0,03	3,83	30050,96	0,04	497,75	1,60	60,09	557,83
0,54	0,01	0,01	1779,19	0,03	0,87	1152,11	0,06	0,23	2,60	0,14	0,37
13,55	0,13	0,26	2888,00	0,03	1,42	28898,84	0,04	170,65	1,60	55,57	226,22
0,54	0,01	0,01	1305,17	0,03	0,64	1152,11	0,06	0,17	2,60	0,14	0,31
13,01	0,12	0,25	9215,00	0,03	4,52	27746,73	0,04	502,50	1,60	51,23	553,73
0,36	0,00	0,01	1149,52	0,03	0,56	768,08	0,06	0,07	2,60	0,06	0,14
12,65	0,12	0,25	8219,00	0,03	4,03	26978,65	0,04	424,05	1,00	30,27	454,32
0,90	0,01	0,02	1137,41	0,03	0,56	1920,19	0,05	0,37	2,60	0,40	0,77
11,75	0,11	0,23	3025,00	0,03	1,48	25058,47	0,04	134,93	1,60	41,78	176,72
2,88	0,03	0,06	1305,17	0,03	0,64	6144,60	0,05	3,79	2,60	4,08	7,87
8,87	0,08	0,17	5272,00	0,03	2,59	18913,86	0,04	135,26	2,20	32,73	167,99



Продолжение таблицы В.1

Мощность	Расход	Скорость	Длина, м	Диаметр, м	Объем	Рейнольдс	Лямда	Линейные сопр	Коэф местных сопр	Местные сопр	Сумма сопр
0,90	0,01	0,02	1305,17	0,03	0,64	1920,19	0,05	0,43	2,60	0,40	0,83
7,97	0,08	0,15	3594,00	0,03	1,76	16993,67	0,04	74,75	2,80	33,63	108,38
1,62	0,02	0,03	1771,51	0,03	0,87	3456,34	0,05	1,73	2,60	1,29	3,02
6,35	0,06	0,12	12357,00	0,03	6,06	13537,33	0,04	164,81	0,60	4,57	169,38
1,98	0,02	0,04	1305,00	0,03	0,64	4224,42	0,05	1,86	2,60	1,93	3,79
4,37	0,04	0,08	2833,00	0,03	1,39	9312,92	0,04	18,28	2,20	7,94	26,21
1,98	0,02	0,04	1305,00	0,03	0,64	4224,42	0,05	1,86	2,60	1,93	3,79
2,39	0,02	0,05	6785,00	0,03	3,33	5088,50	0,05	13,74	2,20	2,37	16,11
0,72	0,01	0,01	1305,00	0,03	0,64	1536,15	0,06	0,28	2,60	0,26	0,54
0,36	0,00	0,01	7006,38	0,03	3,44	768,08	0,06	0,43	2,30	0,06	0,49
0,54	0,01	0,01	2018,41	0,03	0,99	1152,11	0,06	0,26	2,90	0,16	0,42
0,90	0,01	0,02	3121,00	0,03	1,53	1920,19	0,05	1,02	1,80	0,28	1,30
0,54	0,01	0,01	1581,32	0,03	0,78	1152,11	0,06	0,20	2,90	0,16	0,36
1,44	0,01	0,03	4683,59	0,03	2,30	3072,30	0,05	3,67	1,80	0,71	4,37
0,36	0,00	0,01	1457,03	0,03	0,71	768,08	0,06	0,09	2,90	0,07	0,16

Продолжение таблицы В.1

Мощность	Расход	Скорость	Длина, м	Диаметр, м	Объем	Рейнольдс	Лямда	Линейные сопр	Коэф местных сопр	Местные сопр	Сумма сопр
1,80	0,02	0,04	3475,48	0,03	1,71	3840,38	0,05	4,13	1,20	0,74	4,87
0,90	0,01	0,02	1457,03	0,03	0,71	1920,19	0,05	0,48	2,90	0,44	0,92
2,70	0,03	0,05	7684,36	0,03	3,77	5760,57	0,05	19,70	1,80	2,48	22,19
2,88	0,03	0,06	1584,86	0,03	0,78	6144,60	0,05	4,60	2,90	4,55	9,15
5,58	0,05	0,11	3464,94	0,03	1,70	11905,17	0,04	35,98	2,40	14,15	50,13
0,90	0,01	0,02	1581,32	0,03	0,78	1920,19	0,05	0,52	2,90	0,44	0,96
6,48	0,06	0,13	5234,00	0,03	2,57	13825,36	0,04	72,73	3,00	23,85	96,58
1,62	0,02	0,03	2010,73	0,03	0,99	3456,34	0,05	1,96	2,90	1,44	3,40
8,10	0,08	0,16	3112,16	0,03	1,53	17281,70	0,04	66,90	1,20	14,90	81,80
1,98	0,02	0,04	2018,11	0,03	0,99	4224,42	0,05	2,87	2,90	2,15	5,02
10,08	0,10	0,20	1643,24	0,03	0,81	21506,12	0,04	54,25	1,80	34,62	88,88
1,98	0,02	0,04	1305,00	0,03	0,64	4224,42	0,05	1,86	1,20	0,00	1,86
12,06	0,12	0,23	1607,00	0,03	0,79	25730,53	0,04	75,52	2,90	0,00	75,52
0,72	0,01	0,01	5016,00	0,03	2,46	1536,15	0,06	1,09	1,80	0,00	1,09
14,45	0,14	0,28	2318,00	0,03	1,14	30819,03	0,04	155,52	1,20	0,00	155,52



