

ПРООН/ГЭФ
Проект №00077154

«Повышение энергетической эффективности жилых зданий
в Республике Беларусь»

Отчет

**Технико-экономические показатели различных типовых схем,
применяемых в жилых районах Беларуси для центрального отопления
и горячего водоснабжения, с учетом принятых технических решений**

Исполнитель,
Эксперт по вопросам энергетической
эффективности в зданиях

Л. Н. Данилевский.

Минск
ноябрь 2013

Содержание

стр.

| | |
|--|----|
| ВВЕДЕНИЕ..... | 3 |
| 1. СНИЖЕНИЕ ТЕПЛОПOTЕРЬ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗДАНИЙ ЗА СЧЕТ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛА СТОКОВ ЗДАНИЯ | 4 |
| 2. ТЕПЛОВОЙ НАСОС И СИСТЕМА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ..... | 6 |
| 3. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА | 9 |
| 4. СИСТЕМЫ ПРИТОЧНО-ВЫТЯЖНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ С РЕКУПЕРАЦИЕЙ ТЕПЛОТЫ УДАЛЯЕМОГО ВОЗДУХА | 11 |
| 5. ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ И СХЕМЫ | 12 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ..... | 17 |

Введение

Опыт строительства энергоэффективных зданий, т.е. зданий, ориентированных на эффективное использование энергетического потенциала внешней среды, показывает, что в современных условиях далеко не всегда экономически оправдано полное замещение традиционных энергоносителей возобновляемыми. В большинстве случаев это объясняется невысоким к.п.д. имеющихся сегодня технологических средств утилизации энергии природной среды при довольно значительной их стоимости. В этой связи наиболее целесообразными признаются разнообразные комбинированные схемы теплоснабжения, сочетающие использование традиционных и одного (или нескольких) видов альтернативных источников тепла.

Технико-экономический анализ показал, что наиболее эффективно при проектировании экспериментальных зданий использование следующих инженерных систем:

- системы приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией теплоты вентиляционных выбросов;
- утилизация теплоты сточных вод;
- солнечные тепловые коллекторы;
- утилизация энергии грунта в системе энергоснабжения зданий с применением теплового насоса.

Указанные инженерные системы оказывают определенное влияние на выбор системы отопления зданий.

1. Снижение тепловпотерь при эксплуатации зданий за счет утилизации тепла стоков здания

С целью экономии энергии необходимо обратить внимание на утилизацию сточных вод здания. Принципиально известны пути решения этой проблемы использованием теплообменных аппаратов и теплового насоса. На наш взгляд, возможно решить вопрос снижения затрат энергии на горячее водоснабжение зданий использованием указанных мер на 70%.

Таким образом, в энергоэффективных зданиях снижение затрат энергии на приготовление горячей воды с использованием солнечной энергии и утилизацией сточных вод в здании может обеспечить снижение расхода тепловой энергии в жилом фонде до 25%.

Для решения вопроса утилизации тепла сточных вод необходимо решить несколько технических проблем. На наш взгляд, первое, на что необходимо обратить внимание, - это смешивание фекальных и серых стоков в системе канализации. Смешивание приводит к снижению средней температуры, следовательно, к уменьшению выхода тепловой энергии при использовании теплообменников. Для устранения этого недостатка необходимо разделить в здании фекальные и серые стоки, что достаточно просто решить использованием двух канализационных систем, которые можно объединить на выходе здания.

Вторая техническая проблема, которую необходимо решить для обеспечения надежной работы системы – фильтрация сточных вод перед подачей на теплообменник. Проблема не в фильтрации как таковой, а в необходимости обслуживать фильтры, что обязательно натолкнется на организационные сложности.

Третья проблема, которую можно назвать – нерегулярность стоков и отсутствие синхронизации во времени стоков и потребления горячей воды. Для решения проблемы утилизации тепла в этих условиях необходимо использования бака-аккумулятора для накопления предварительно нагретой воды с последующим использованием.

В то же время для больших объектов с множеством потребителей, например, для многоквартирного здания, вероятно, можно будет обойтись без бака аккумулятора, т. к. в этом случае начнут работать статистические закономерности синхронизации стоков и потребления горячей воды. С целью определения этих закономерностей предполагается одним из этапов работы выполнить измерения и долговременную регистрацию температуры и объемов сточных вод для зданий различной этажности.

Важно избежать вероятности проникновения сточных вод в подогреваемую воду. С этой целью возможно использования двух последовательно установленных теплообменников, один из которых является промежуточным. Тогда вероятность попадания сточной воды в нагреваемую

будет равна произведению вероятностей смешивания сред в каждом из теплообменников, т. е. , в принципе, с учетом необходимости синхронизации этих событий во времени, исчезающее малой. С этой целью можно использовать также теплообменник с промежуточным теплоносителем, например, на тепловых трубах.

Вероятность смешивания сред очень мала также при использовании для утилизации тепла сточных вод теплового насоса, в котором обязательно присутствует промежуточный теплоноситель.

2. Тепловой насос и система теплоснабжения

Системы теплоснабжения с тепловыми насосами (СТН) должны проектироваться для каждого конкретного объекта с учетом величины тепловой нагрузки здания, необходимой для поддержания в здании нормативной температуры и воздухообмена в течение всего отопительного периода.

Таким образом, при проектировании СТН, в первую очередь, необходимо определить расчетную тепловую нагрузку здания.

Расчетная тепловая нагрузка здания – это мощность суммарных потерь тепла зданием, определенная для расчетной температуры наружного воздуха. При определении расчетной тепловой нагрузки здания учитываются как трансмиссионные теплопотери Q_{tr} , кВт, - потери тепла через все элементы ограждающей конструкции: стены, окна, перекрытие над подвалом, чердачное перекрытие, входные двери, так и инфильтрационные теплопотери Q_{inf} , кВт, - потери тепла на нагревание приточного воздуха. Мощность суммарных теплопотерь здания Q_{los} , кВт, определяют по формуле

$$Q_{los} = Q_{tr} + Q_{inf} \cdot \quad (1)$$

Числовые значения расчетных потерь тепла через ограждающие конструкции помещений здания и инфильтрационных теплопотерь определяют в соответствии с приложениями Ж и К СНБ 4.02.01.

При определении тепловой нагрузки здания из суммарных тепловых потерь здания следует вычесть тепловую мощность Q_{rec} , возвращаемую в здание системой приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией тепла удаляемого воздуха. Для рекуператора с коэффициентом энергетической эффективности η_{rec} величину возвращаемой тепловой мощности определяют по формуле

$$Q_{rec} = \eta_{rec} \cdot Q_{inf} \cdot \quad (2)$$

При определении тепловой нагрузки здания из суммарных тепловых потерь здания также следует вычесть тепловую мощность внутренних источников тепла Q_{int} , кВт, которыми являются люди, находящиеся в помещениях, работающие электроприборы, светильники. Численное значение мощности внутренних источников тепла определяется в соответствии с ТКП 45-2.04-196.

Расчетную тепловую нагрузку здания Q , кВт, определяют по формуле

$$Q = Q_{tr} + Q_{inf} \cdot (1 - \eta_{rec}) - Q_{int} \cdot \quad (3)$$

Определив расчетную тепловую нагрузку здания можно переходить к определению необходимой мощности теплового насоса. При этом следует иметь в виду следующее [12].

Во-первых, критерием эффективности теплового насоса является коэффициент преобразования COP (coefficient of performance), величина которого определяется отношением его тепловой мощности к мощности электропривода компрессора. Эта величина является функцией температуры кипения теплоносителя в испарителе t_u и температуры конденсации теплоносителя в конденсаторе t_k , а применительно к тепловым насосам «вода-вода» можно говорить о температурах жидкости на выходе из испарителя t_{2u} и на выходе из конденсатора t_{2k} . Коэффициент преобразования COP вычисляют по формуле

$$COP = \frac{Q_{hp}}{N} = f(t_{2u}, t_{2k}), \quad (4)$$

где

Q_{hp} – тепловая мощность теплового насоса, кВт;

N – мощность электропривода компрессора, кВт;

$f(t_{2u}, t_{2k})$ – некоторая функция температур t_{2u} и t_{2k} .

Анализ каталожных характеристик серийных холодильных машин и тепловых насосов «вода-вода» позволяет отобразить эту функцию в виде диаграммы, приведенной на рисунке 1.

Пользуясь электронными таблицами Excel, можно выразить функцию (4) в виде уравнения

$$\eta_{rec} = 0,1729 \cdot (41,5 + t_{2u} - 0,015 \cdot t_{2u} \cdot t_{2k} - 0,437 \cdot t_{2k}) \quad (5)$$

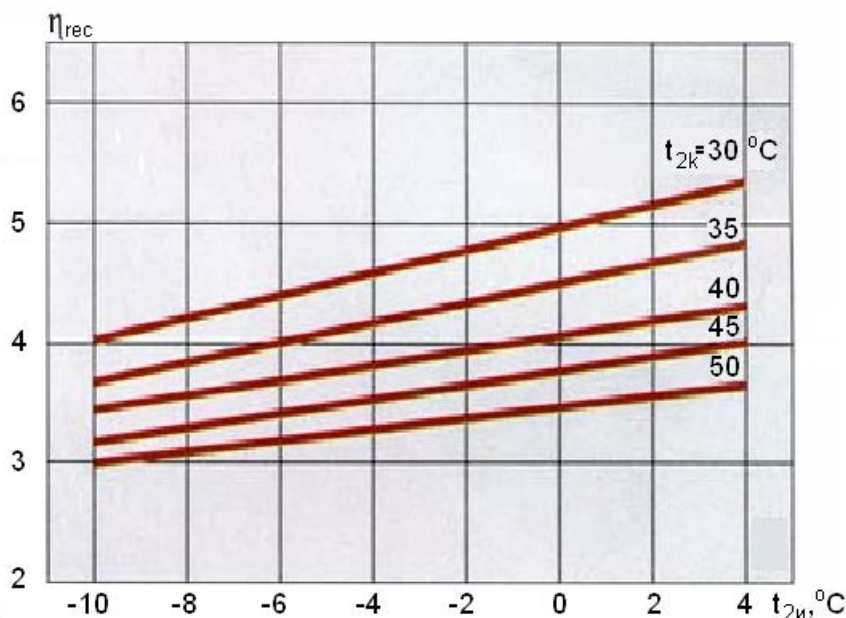


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента преобразования теплового насоса «вода-вода» от температуры гликоля на выходе из испарителя t_{2u} и температуры теплоносителя на выходе конденсатора t_{2k}

При помощи диаграммы можно определить параметры теплового насоса на самых начальных стадиях проектирования. Например, если система отопления, присоединенная к тепловому насосу, рассчитана на подачу теплоносителя с температурой в подающем трубопроводе 50°C , то максимально возможный коэффициент преобразования теплового насоса составит около 3,5. При этом температура гликоля на выходе из испарителя не должна быть ниже 3°C , а это означает, что потребуются дорогостоящий грунтовый теплообменник.

В то же время, если дом обогревается системой напольного отопления, из конденсатора теплового насоса будет поступать в систему отопления теплоноситель с температурой 35°C . В этом случае тепловой насос сможет работать более эффективно, например, с коэффициентом преобразования 4,3, если температура охлажденного в испарителе гликоля будет около минус 2°C . Для тепловых насосов характерно, что чем больше разница температур теплоносителей во входном и выходном контурах, тем меньше коэффициент преобразования тепла (*COP*), то есть меньше экономия электроэнергии. Данное свойство присуще всем тепловым насосам независимо от их типа, поэтому экономически выгодно подключение теплового насоса к низкотемпературным системам отопления. Прежде всего, имеется в виду обогрев здания от подогрева полов или теплым воздухом, так как в этих случаях температура теплоносителя устанавливается в пределах от 35°C до 40°C . Если же требуется более горячая вода для выходного контура (для радиаторов или душа), то коэффициент преобразования тепла тепловым насосом будет ниже и затраты электроэнергии при работе теплового насоса будут больше.

3. Использование солнечного коллектора

На практике случается, что системы солнечного теплоснабжения изготавливают с большим запасом. Как пример приведем сравнение максимальной дневной температуры теплоносителя в солнечных коллекторах (рисунок 2). Если суточный расход горячей воды на одного человека отвечал бы нормативному (вариант 1), то максимальная температура теплоносителя не превышала бы 100°C . Но если фактический суточный расход горячей воды окажется ниже, то при общем для всего здания суточном расходе горячей воды 2100 л/сутки (вариант 2) вследствие пониженного потребления тепла с той же площади солнечных коллекторов, температура теплоносителя значительно повысится, вплоть до возникновения перегревов до 150°C в летний период.

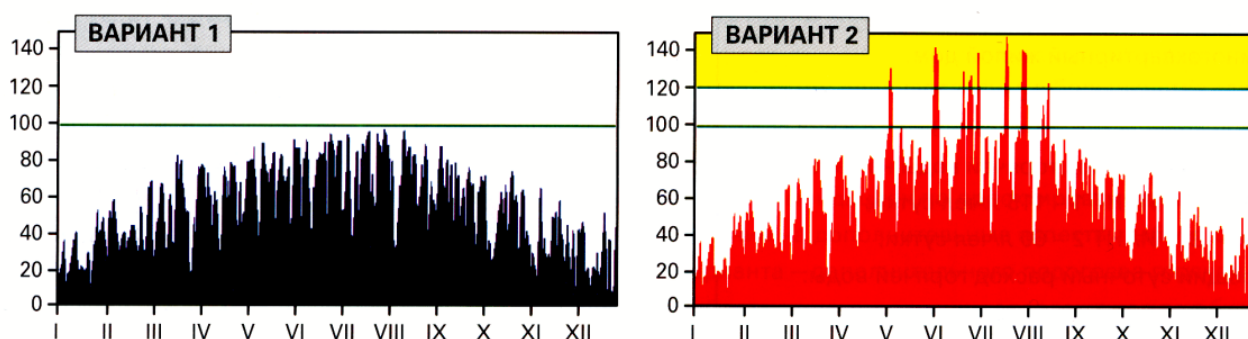


Рисунок 2 - Сравнение графиков максимальной дневной температуры теплоносителя в солнечных коллекторах

Таким образом, подтверждается принцип разграничения исходных данных для проектирования теплоснабжения системы ГВС от котельной или от системы солнечных коллекторов. Для систем теплоснабжения от солнечных коллекторов очень важным является практический опыт определения ожидаемого характера разбора горячей воды для хозяйственно-бытовых нужд, что даст возможность избежать выбора солнечных коллекторов слишком большой площади.

Основным преимуществом снабжения теплом системы ГВС от солнечных коллекторов является экономия энергии. Для малых установок, работающих на нужды одно- или двухквартирных домов (до 10 м^2 коллекторов), совершенно реально обеспечить систему энергией на уровне 60% от годовой потребности. Повышение уровня обеспечения установки энергией может привести к повышению летом температуры теплоносителя в солнечных коллекторах выше допустимого уровня (120°C). Для больших систем солнечных коллекторов нужно принимать более низкий уровень обеспечения годовой потребности в тепле системы ГВС. Обеспечение годовой потребности системы ГВС в тепле на уровне 30-40% является

безопасным с точки зрения недопущения перегрева теплоносителя в летний период и рациональным - с точки зрения эффективности инвестиций.

Выбор элементов системы солнечного теплоснабжения осуществляется согласно выбранной площади солнечных коллекторов. Но необходимо подчеркнуть, что подбор основных элементов, обеспечивающих безопасную работу системы (предохранительного клапана и мембранного расширительного бака), отличается от принципов подбора этих элементов для традиционных отопительных установок, работающих с котлами. Подбор указанных выше устройств необходимо осуществлять согласно действующим нормам в области гелиотехники. Расширительный бак должен предохранять систему солнечных коллекторов от излишнего повышения давления даже в ситуациях, когда, при отсутствии отбора тепла, в солнечных коллекторах произойдет вскипание теплоносителя (на практике при температурах порядка (140-160)°С и рабочем избыточном давлении (0,5-0,6) МПа.

Ниже приводятся два основных показателя для ориентировочного подбора элементов солнечной установки, предназначенной для обеспечения теплом системы ГВС (таблицы 1 и 2).

Таблица 1 - Удельная (на 1 чел.) площадь солнечных коллекторов для системы ГВС

| Потребитель, удельная площадь коллектора | Уровень годового обеспечения солнечной энергией | | | | | |
|---|---|-------------|-------------|---------------|-------------|-------------|
| | 60% | | | от 40% до 50% | | |
| | Vitosol 100 | Vitosol 200 | Vitosol 300 | Vitosol 100 | Vitosol 200 | Vitosol 300 |
| Дом одно- или двухквартирный, м ² /чел | 1,50 | 0,80 | 0,80 | 1,00 | 0,60 | 0,60 |
| Дом многоквартирный, м ² /чел | 1,10 | 0,60 | 0,60 | 0,80 | 0,40 | 0,40 |

Таблица 2 - Удельный (на 1 м² солнечных коллекторов) объем бойлера системы ГВС / бака аккумулятора

| Устройство | Минимальный объем | Тип солнечного коллектора | | |
|-------------------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------|-------------|
| | | Vitosol 100 | Vitosol 200 | Vitosol 300 |
| Бойлер ГВС | л/м ² коллектора | 30 | 100 | 100 |
| Бак-аккумулятор теплоносителя | л/м ² коллектора | 30 | 100 | 100 |

4. Системы приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией теплоты удаляемого воздуха

Более 50% энергии, потребляемой зданиями, спроектированными с учетом новых нормативов по ограждающим конструкциям, теряется через системы вентиляции.

Широкое применение систем приточно-вытяжной вентиляции с механическим побуждением и утилизацией теплоты удаляемого воздуха позволит существенно снизить указанные потери.

В настоящее время в проектах жилых и административных зданий проектировщики предусматривают наличие таких систем, построенных по централизованной либо децентрализованной схеме, каждая из которых имеет свои достоинства и недостатки.

В каждом из энергоэффективных зданий будет использована система приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией теплоты вентиляционных выбросов, что делает возможным достижение уровня потребления тепловой энергии на отопление ниже 25 кВтч/м^2 в год.

5. Технические решения и схемы

На следующих рисунках представлены схемные решения различных элементов системы отопления и горячего водоснабжения зданий.

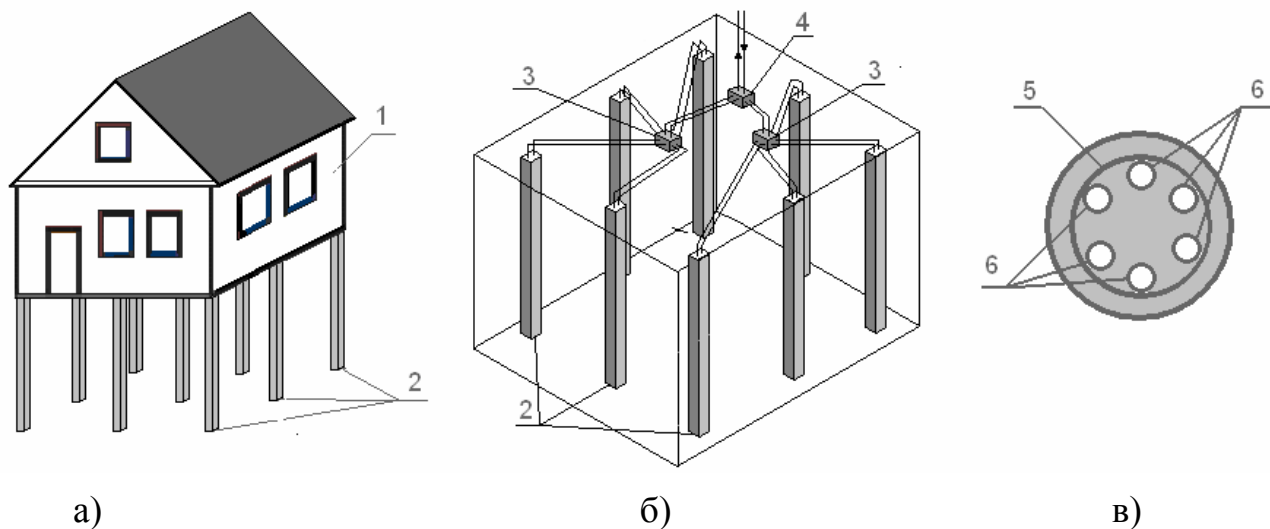


Рисунок 3 – а) схема здания с использованием термосвай;
б) грунтовые теплообменники в виде термосвай;
в) поперечное сечение сваи

1 – здание; 2 – термосвай; 3 – коллектор; 4 – тепловой насос; 5 – стальной каркас сваи;
6 – трубы теплообменника

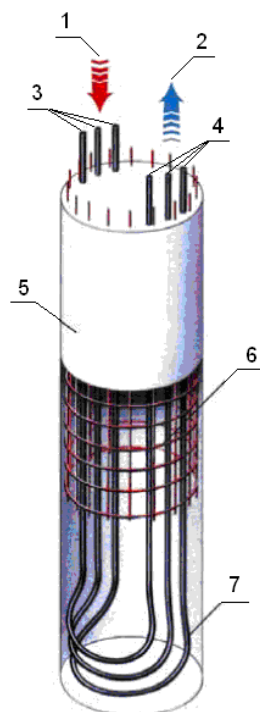


Рисунок 4 – Конструкция сваи с U-образным теплообменником

1 – вход рабочей жидкости; 2 – выход рабочей жидкости; 3 – впускные трубы для рабочей жидкости; 4 – выпускные трубы для рабочей жидкости; 5 – залитая свая; 6 – усиливающая сетка; 7 – теплообменник, зафиксированный на сетке

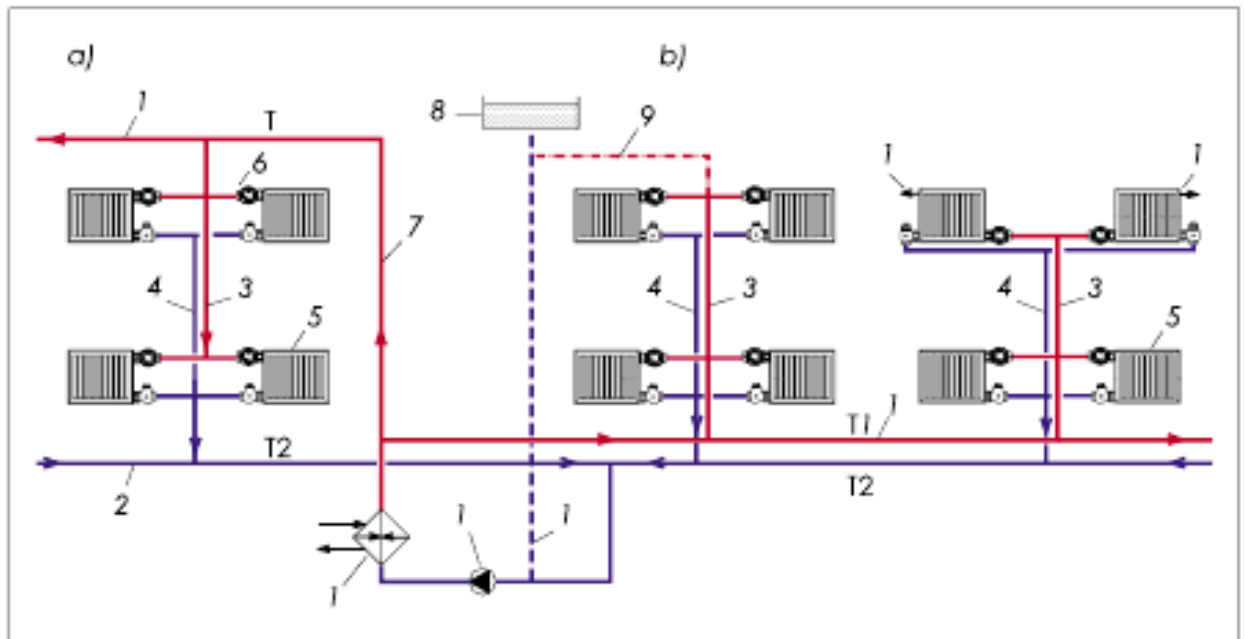


Рисунок 5 - Схемы вертикальной двухтрубной системы водяного отопления:
 а) с верхней разводкой подающей магистрали; б) с нижней разводкой обеих магистралей

1 и 2 - подающие (Т1) и обратные (Т2) магистрали; 3 и 4 - соответственно подающие и обратные части стояков; 5 - отопительные приборы; 6 – термостатический клапан; 7 - главный стояк (Г.ст); 8 - расширительный бак; 9 - воздушная линия; 10 - воздушные краны; 11 - соединительная труба расширительного бака; 12 - циркуляционный насос; 13 – теплообменник

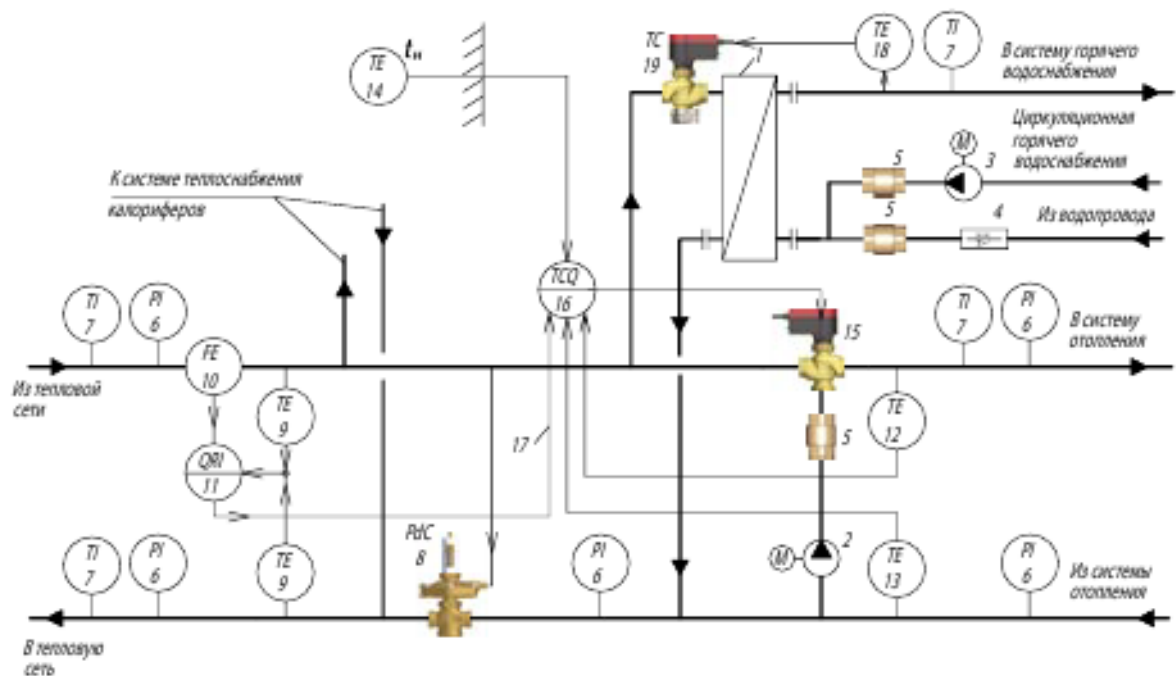


Рисунок 6 - Пример составления упрощенной функциональной схемы автоматизации ИТП с присоединением водоподогревателя горячего водоснабжения и с зависимым присоединением системы отопления

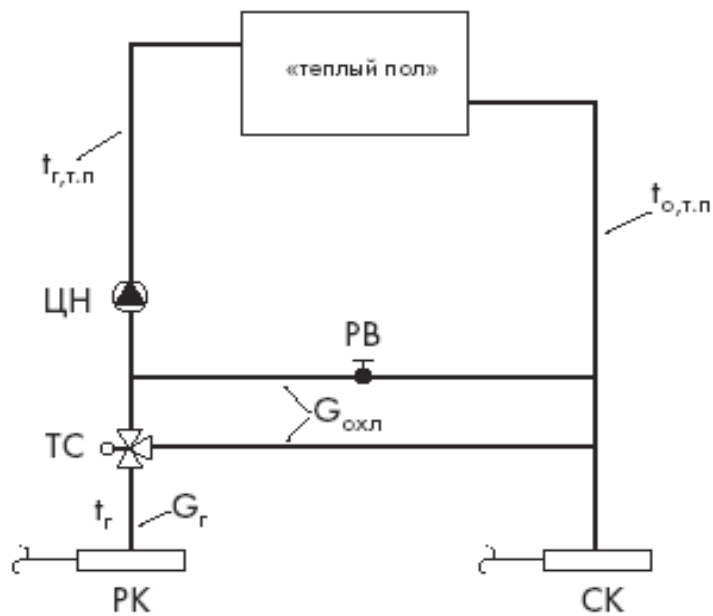


Рисунок 7 - Схема узла подключения системы напольного отопления к общей схеме теплоснабжения здания

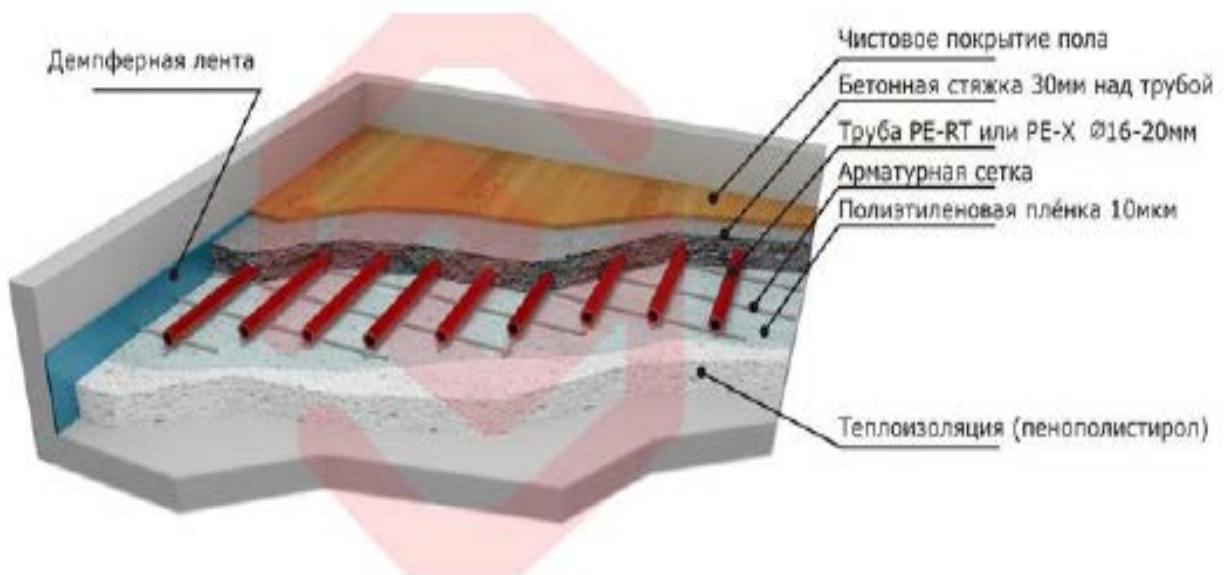


Рисунок 8 - Конструктивное решение системы напольного отопления

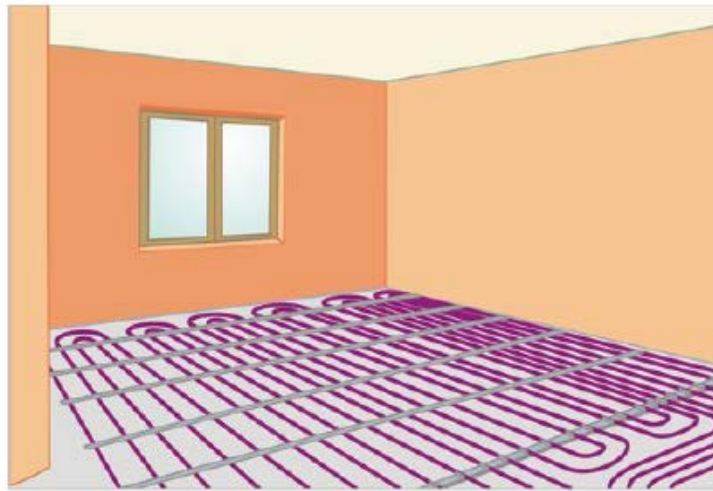


Рисунок 9 - Фрагмент меандрового контура трубопровода напольной системы отопления

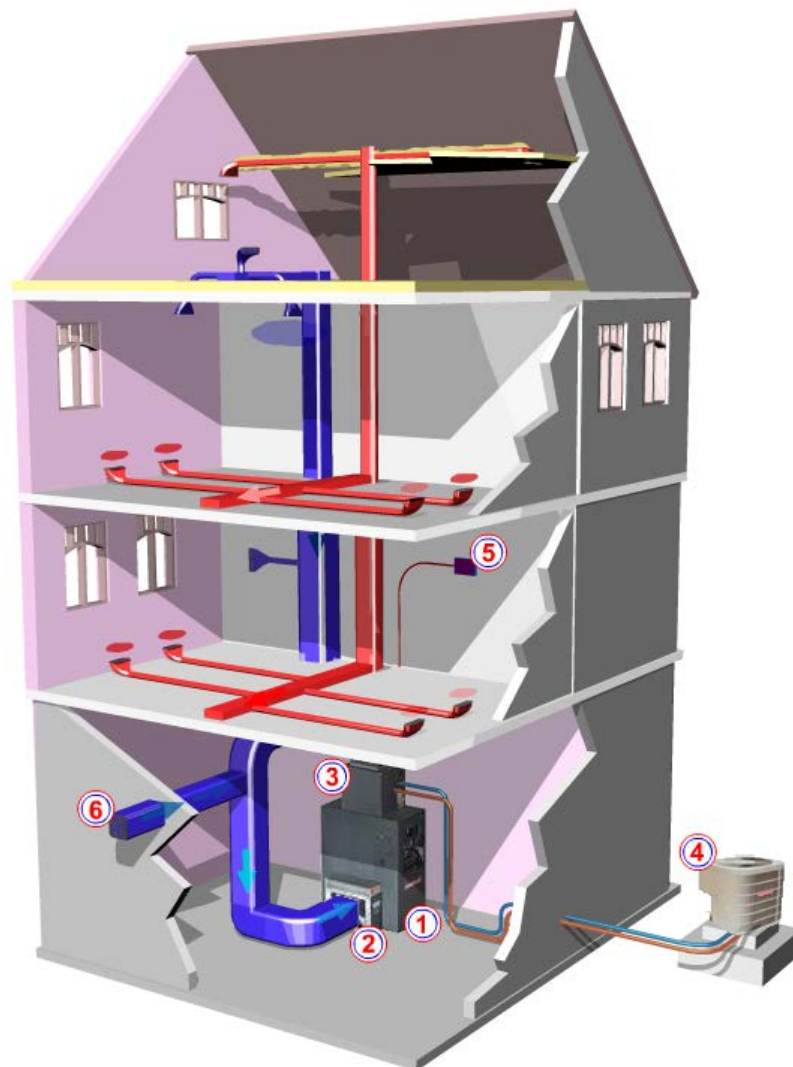


Рисунок 10 - Схема системы воздушного отопления

1 - газовый обогреватель серии G7; 2 - электронный фильтр серии GSAS; 3 - трубчато-ребристый испаритель серии CAPF; 4 - конденсатор серии СКФ; 5 - термостат PSP511L; 6 - забор наружного воздуха 15-20%

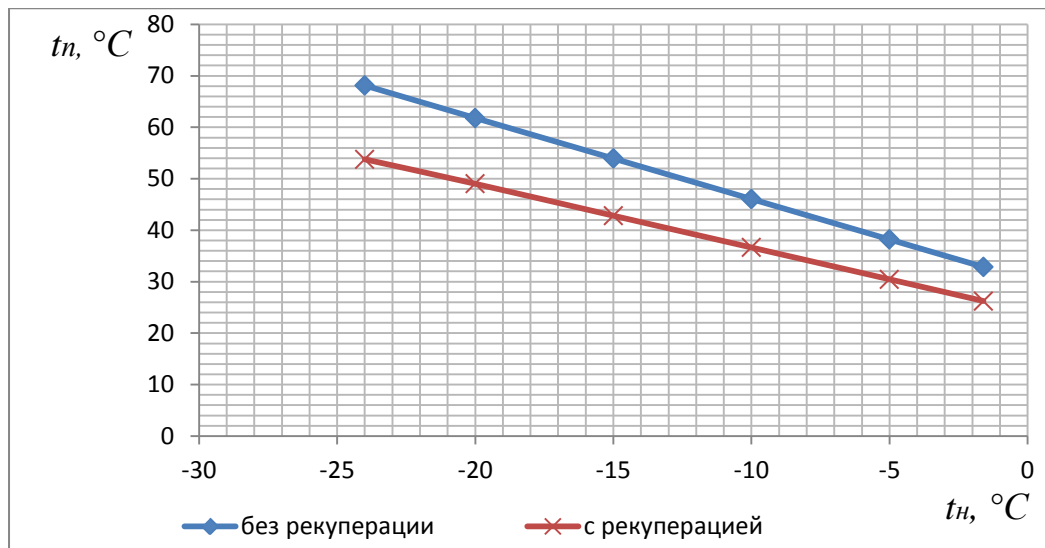


Рисунок 11 - Зависимость температуры приточного воздуха воздушного отопления от температуры наружного воздуха

Примерная схема ГВС

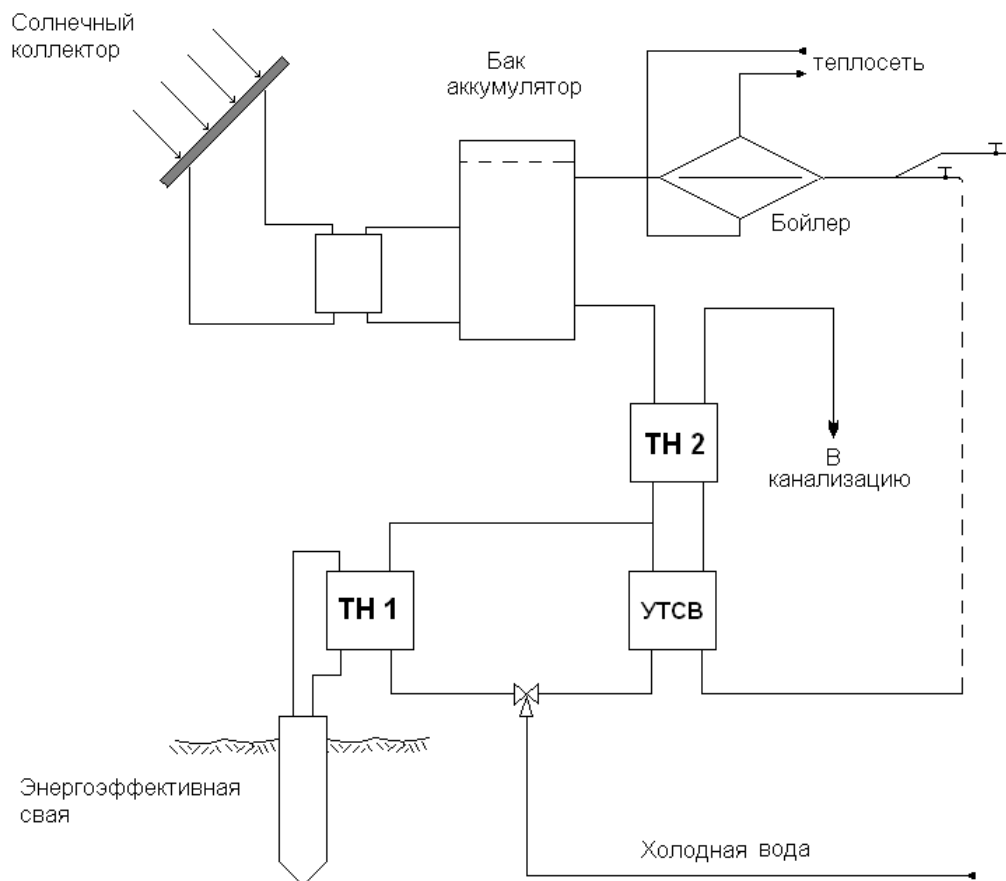


Рисунок 12 - Предварительная схема системы ГВС в экспериментальных зданиях

Заключение

В отчете дан краткий анализ использования в экспериментальных зданиях следующих инженерных систем:

- системы приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией теплоты вентиляционных выбросов;
- утилизация теплоты сточных вод;
- солнечные тепловые коллекторы;
- утилизация энергии грунта в системе энергоснабжения зданий с использованием теплового насоса.

Показано, что использование теплового насоса в качестве источника теплоснабжения требует перехода к низкотемпературным системам отопления: напольной или воздушной. Приведены материалы, позволяющие оценить необходимые технические характеристики системы солнечных коллекторов, указаны особенности использования системы утилизации теплоты сточных вод.