

ПРООН/ГЭФ  
Проект №00077154

«Повышение энергетической эффективности жилых зданий  
в Республике Беларусь»

Отчет

**Рекомендации по дальнейшему развитию систем центрального  
отопления и горячего водоснабжения в жилых помещениях**

Исполнитель,  
Эксперт по вопросам энергетической  
эффективности в зданиях

Л. Н. Данилевский.

Минск  
ноябрь 2013

## Содержание

стр.

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1 КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ.....	4
2 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ ...	5
3 СИСТЕМА НАПОЛЬНОГО ОТОПЛЕНИЯ.....	6
4 СИСТЕМЫ ВОЗДУШНОГО ОТОПЛЕНИЯ.....	11
5 СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ И ТЕПЛОВОЙ НАСОС.....	15
6 СИСТЕМЫ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ.....	17
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	18

## Введение

Рациональное использование топливно-энергетических ресурсов представляет сегодня собой одну из глобальных мировых проблем, успешное решение которой, по-видимому, будет иметь определяющее значение не только для дальнейшего развития мирового сообщества, но и для сохранения среды его обитания.

Одним из перспективных путей решения этой проблемы является применение новых энергосберегающих технологий, использующих нетрадиционные возобновляемые источники энергии (НВИЭ). Истощение запасов традиционного ископаемого топлива и экологические последствия его сжигания обусловили в последние десятилетия значительное повышение интереса к этим технологиям практически во всех развитых странах мира. Преимущества технологий теплоснабжения, использующих нетрадиционные источники энергии, по сравнению с их традиционными аналогами связаны не только со значительными сокращениями затрат энергии в системах жизнеобеспечения зданий и сооружений, но и с их экологической чистотой, а также с новыми возможностями в области повышения степени автономности систем жизнеобеспечения. По всей видимости, в недалеком будущем именно эти качества будут иметь определяющее значение в формировании конкурентной ситуации на рынке теплогенерирующего оборудования.

Анализ возможных областей применения в экономике технологий, использующих нетрадиционные источники энергии, показывает, что в Республике Беларусь наиболее перспективной областью их внедрения являются системы жизнеобеспечения зданий. При этом весьма эффективным направлением внедрения рассматриваемых технологий в практику отечественного строительства представляется широкое применение теплонасосных систем теплоснабжения (ТСТ), использующих в качестве повсеместно доступного источника тепла низкого потенциала грунт поверхностных слоев земли, тепловые выбросы зданий и другие источники низкопотенциальной энергии.

# 1 Классификация систем отопления

Основными элементами любой системы отопления являются генератор теплоты, нагревательные приборы и теплопроводы (каналы или трубопроводы).

По расположению основных элементов системы отопления подразделяются на местные и центральные.

Местные системы, в которых три основных элемента конструктивно объединены в единую установку, обеспечивают заданную температуру только в одном помещении.

Центральные системы отопления обеспечивают теплотой несколько помещений здания от одного индивидуального теплового пункта (ИТП) или одного автономного источника теплоснабжения.

По теплоносителю центральные системы применяют преимущественно водяного, реже воздушного и в отдельных случаях парового отопления (в производственных зданиях, если целесообразно).

По способу циркуляции, перемещения теплоносителя (воды или воздуха) системы водяного и воздушного отопления разделяются на системы с естественной циркуляцией (за счет гравитационного давления) и с механическим побуждением (при помощи насоса или вентилятора). Системы с естественной циркуляцией, как правило, находят применение в зданиях с автономным источником теплоснабжения.

По типу отопительных приборов системы водяного отопления могут быть радиаторными, конвекторными, панельными и так называемые системы “теплый пол”.

Системы отопления должны отвечать следующим требованиям:

- санитарно-гигиеническим – поддержание равномерной температуры воздуха в помещении, ограниченной температуры нагревательной поверхности отопительных приборов и возможность их очистки;
- экономическим – невысокие капитальные вложения и эксплуатационные затраты;
- архитектурно – строительным – соответствие планировочным решениям, строительным конструкциям;
- производственно-монтажным – унификация узлов и деталей, механизация их изготовления, сокращение трудовых затрат, повышение производительности труда при монтаже;
- эксплуатационным – работоспособность (безотказность, долговечность), простота и удобство управления и ремонта, бесшумность, безопасность.

## 2 Экономическая эффективность использования тепловых насосов

Рассмотрим использование электро-компрессионных тепловых насосов (ТН) в системах теплоснабжения зданий. Экономическая эффективность использования тепловых насосов для отопления и горячего водоснабжения зданий зависит от многих факторов.

Во-первых, это значение COP, равного отношению количества тепловой энергии, отданной ТН в систему отопления здания к электрической энергии, затраченной на работу компрессора. Это значение зависит от типа теплового насоса, а также от температуры, до которой нагревается теплоноситель при подаче в систему. На рисунке 1 приведена зависимость значения COP ТН типа грунт/жидкость от температуры, до которой нагревают теплоноситель.

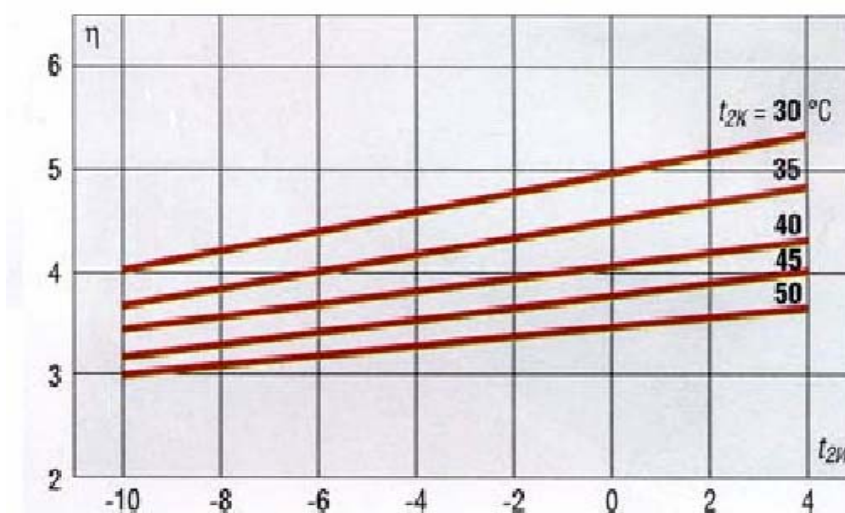


Рисунок 1 - Значение COP теплового насоса в зависимости от температуры теплоносителя в системе отопления зданий

Из рисунка можно сделать вывод, что для эффективного использования теплового насоса в системах теплоснабжения зданий необходимо использовать низкотемпературную систему отопления. Традиционная система отопления с температурой теплоносителя более 70°C при использовании теплового насоса неэффективна, т. к. в этом случае значение COP меньше 2,5. Необходимо переходить к низкотемпературным системам отопления, напольной или воздушной. Во втором случае система отопления может быть совмещена с системой приточно-вытяжной вентиляции здания.

### 3 Система напольного отопления

В последнее время все более популярными становятся системы напольного отопления, как правило, с полимерными трубами, замоноличенными в бетонную конструкцию пола. Теплоносителем в данных системах отопления является специально подготовленная вода. По своему назначению подобная система может быть двух видов. Первый выполняет чисто отопительные функции (компенсация теплопотерь помещений здания). В этом случае система работает с переменной температурой подаваемого в нее теплоносителя в соответствии с заданным графиком качественного регулирования. Вторым возможным видом – «комфортная» система (например, подогрев обходных дорожек бассейна), работающая при постоянной температуре теплоносителя. Далее рассмотрены особенности применения и конструирования первого вида подобных систем.

Основное достоинство таких систем заключается в том, что при их использовании не занимается полезная площадь помещений, снижается расход металла, уменьшается температура греющих поверхностей по сравнению с обычными радиаторными и конвекторными системами, а также выравнивается температура воздуха по высоте обогреваемых помещений. Основное достоинство таких систем заключается в том, что при их использовании не занимается полезная площадь помещений, снижается расход металла, уменьшается температура греющих поверхностей по сравнению с обычными радиаторными и конвекторными системами, а также выравнивается температура воздуха по высоте обогреваемых помещений. При этом в соответствии с российскими нормами средняя температура обогреваемого пола по санитарно-гигиеническим соображениям не должна превышать  $26^{\circ}\text{C}$ , кроме дорожек бассейнов, где допускается температура  $31^{\circ}\text{C}$  (непосредственно над трубами до  $35^{\circ}\text{C}$ ). Исходя из этого, а также для предотвращения обезвоживания и разрушения бетона, температура нагретой воды в подающем теплопроводе ограничивается величиной  $40\text{--}45^{\circ}\text{C}$ , в обратном – до  $30^{\circ}\text{C}$ .

Из имеющегося в настоящее время на рынке оборудования для устройства напольного отопления распространение получили трубы из сшитого полиэтилена типа PEX с покрытием из этиленвинилового спирта EVON (фирма «Wirsbo», Швеция) наружным диаметром 20 мм и толщиной стенки 2 мм. Трубы поставляются в бухтах длиной 480 м, что позволяет (по условиям допустимых гидравлических потерь) прокладывать трубные участки длиной до 120 м. Максимально допустимая температура воды для таких труб  $55^{\circ}\text{C}$ . При необходимости можно применять трубы диаметром 16 мм и длиной до 80 м.

Действующие ограничения на максимально допустимую температуру поверхности теплого пола приводят к тому, что далеко не во всех случаях такие системы способны в условиях Республики Беларусь полностью

компенсировать теплопотери отапливаемых помещений. Дело здесь в первую очередь в том, что низкая температура поверхности пола не позволяет существенно усилить теплоотдачу с  $1 \text{ м}^2$  его поверхности. Поэтому нужно увеличивать площадь обогреваемого пола, но она не может быть больше геометрической площади всего пола в помещении, и при определенных условиях система напольного отопления не справляется со своими функциями.

Основной особенностью системы напольного отопления является пониженные, по сравнению с обычной системой, расчетные значения температуры подаваемого теплоносителя (не выше  $45^\circ\text{C}$ ) и перепада температуры воды в системе (не более  $15^\circ\text{C}$ ). Расчетный расход воды при этом непосредственно в отопительном контуре увеличивается на 25%, но ее количество, поступающее от теплоисточника, снижается на  $\sim 65\%$ .

Обеспечение требуемой температуры подаваемого в систему теплоносителя  $t_{r,т.п}$  (рисунок 2, на графике прямая 3) обычно осуществляется путем подмешивания к воде, подаваемой от системы теплоснабжения здания с расходом  $G_r$  и температурой  $t_r$  (прямые 1 или 2), охлажденной воды на выходе из системы напольного отопления в количестве  $G_{охл}$  с температурой  $t_{о,т.п}$  (прямая 4). Для примера на рисунке 2 расчетные значения температурных параметров (при  $t_n = t_{н,б} = -30^\circ\text{C}$ ) приняты  $t_r = 95$ ,  $t_{r,т.п} = 45$  и  $t_{о,т.п} = 30^\circ\text{C}$ , а расчетная температура воздуха  $t_v$  в отапливаемом помещении для построения графика качественного регулирования задана  $20^\circ\text{C}$ .

Следует отметить, что, как правило, в системе теплоснабжения (централизованной или автономной, с собственным теплогенератором) регулирование температуры подаваемого теплоносителя осуществляется именно по такому графику, т. е.  $t_r = f(t_n)$  (прямая 2 на рисунке 2). Однако, особенно в автономной системе, эта температура в отдельные промежутки времени может автоматически повышаться до  $t_r = \max$  (например, при необходимости в форсированном режиме нагреть воду в емкостном водоводяном подогревателе системы горячего водоснабжения). Более того, в сложной схеме автономного теплоснабжения с большим количеством разнообразных теплопотребителей (отопление, вентиляция, горячее водоснабжение, подогрев воды в бассейне) эта температура может быть задана постоянной, т. е.  $t_r = \max = \text{const}$  (прямая 1). В схеме с зависимым присоединением к наружной тепловой сети потребляющих теплоту систем эта температура, как известно, не опускается ниже  $70^\circ\text{C}$ .

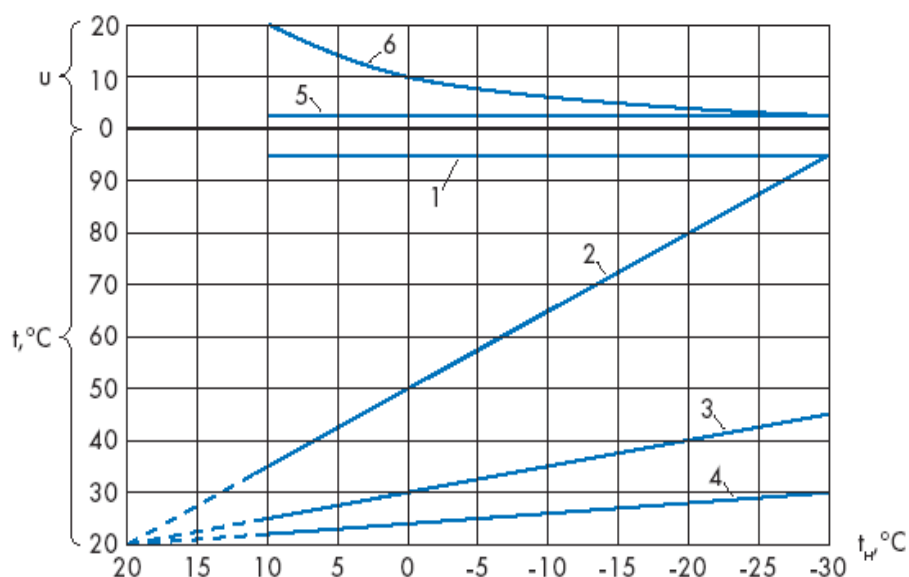


Рисунок 2 - Изменение температурных параметров теплоносителя и коэффициента смешения в системе напольного отопления в течение холодного периода года

Все это необходимо учитывать при выборе оборудования, например, циркуляционного насоса (ЦН), трехходового смесителя (ТС) и ручного вентиля (РВ) (рисунок 3), и диаметра труб узла присоединения системы напольного отопления к общей схеме теплоснабжения от ее распределительного коллектора (РК) до сборного коллектора (СК).

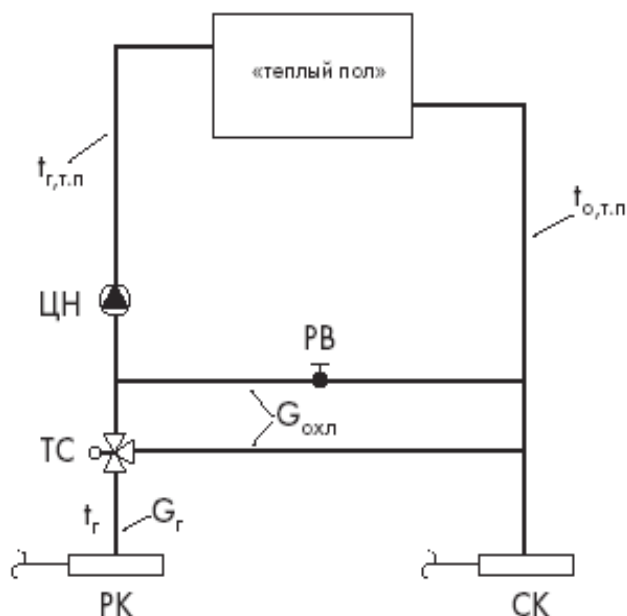


Рисунок 3 - Схема узла подключения системы напольного отопления к общей схеме теплоснабжения здания

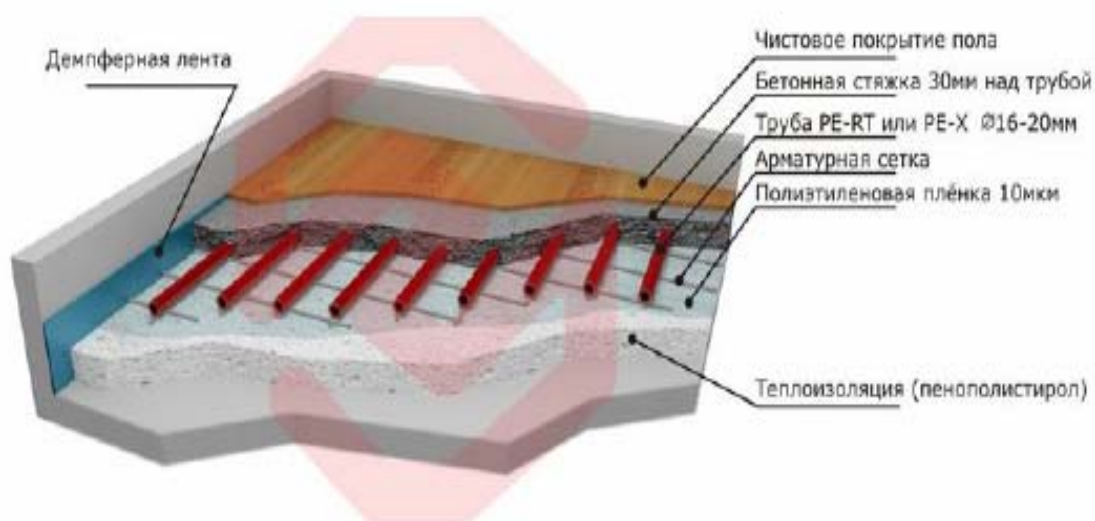
Конструктивное решение системы напольного отопления вкратце состоит в следующем. На основание перекрытия укладываются слои гидро- и теплоизоляции, а сверху – трубы для подачи горячей воды. Их заливают



слоем стяжки цементно-песчаного или бетонного состава, поверх которого настилают покрытие. Поверхность основания пола должна быть чистой и ровной, допускаются неровности и выступы не более 10 мм. Теплоизоляцию выполняют с помощью плит или панелей из полистирола, базальтового волокна или вспененного полиуретана толщиной от 30 до 80 мм. Трубы укладывают с определенным шагом и в нужной конфигурации так, чтобы покрыть ими нужную поверхность пола.

При этом учитывается размер, планировка и назначение помещения, конфигурация наружных стен и наличия в них окон, место расположения коллекторного узла или стояков, а также необходимость устройства деформационных швов и их размещение. На подготовленный теплый пол сверху можно уложить практически любое покрытие (керамика, паркет, ковролин, плитка, камень и т. д.), хотя рекомендуется покрытие с хорошей теплопроводностью, т. е. лучше постелить ламинат, а не паркет. Подключается система к любому источнику горячей воды. На контур теплого пола устанавливается специальная регулирующая автоматика и система защиты от перегрева.

На рисунке 4 схематично представлено конструктивное решение системы напольного отопления.

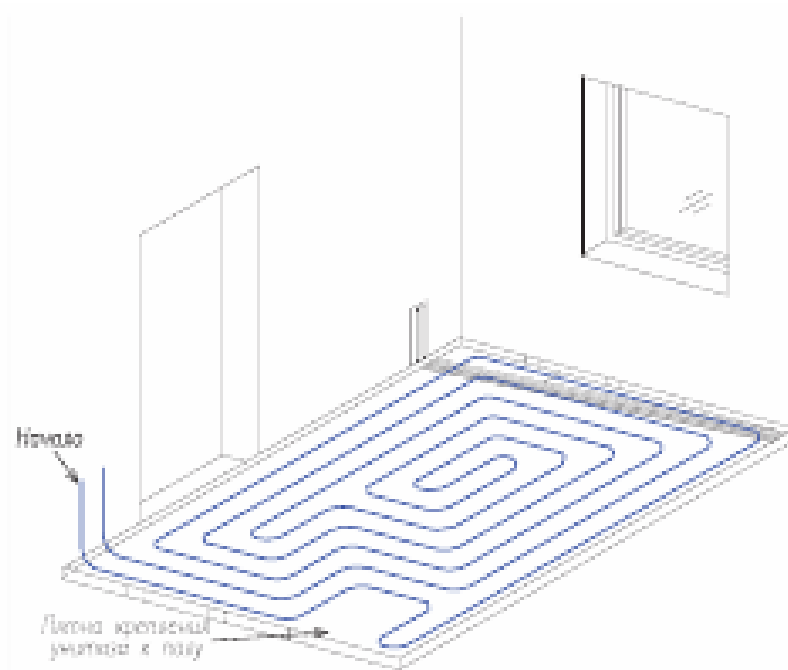


*Рисунок 4 - Конструктивное решение системы напольного отопления*

Принятие решений о конфигурации укладки труб следует поручить дизайнеру помещения и инженеру-проектировщику. По виду укладки трубы, греющие контуры разделяют на два основных вида: меандровый (другие названия – зигзагообразный, «змеевик», см. рисунок 5) и спиральный (центральный, «улитка», см. рисунок 6).



*Рисунок 5 - Фрагмент меандрового контура трубопровода напольной системы отопления*



*Рисунок 6 - Фрагмент спирального контура трубопровода напольной системы отопления*

В меандровом контуре распределение температуры неравномерное, направленное от первого витка к последнему, в спиральном – равномерное. Виды контуров и шагу кладки можно комбинировать: вблизи окон шаг сделать меньше, а для отопления больших помещений использовать несколько разных по виду контуров, которые начинаются на одном устройстве (распределителе с регулирующей арматурой) и на другом (коллекторе) заканчиваются.

## 4 Системы воздушного отопления

Воздушное отопление - система отопления помещений горячим воздухом. Основными элементами являются: воздухоподогреватели, в которых воздух может нагреваться горячей водой, паром, электричеством; воздуховоды, подводящие воздух в отапливаемые помещения; воздухоподающие и воздухозаборные решётки, через которые воздух подаётся в отапливаемые помещения и забирается для подачи к воздухоподогревателю; запорно-регулирующие клапаны в воздуховодах. При расположении воздухоподогревателя непосредственно в отапливаемом помещении воздуховоды, решётки и клапаны могут не устраиваться.

Таким образом, отличительной особенностью систем воздушного отопления является то, что в качестве теплоносителя используется воздух, причем отопительные приборы отсутствуют. Отдача тепла от горячего воздуха осуществляется непосредственно в процессе перемешивания его с воздухом помещения.

Квартирные системы воздушного отопления, совмещенные с вентиляцией, должны позволять работать в режиме полной циркуляции (люди отсутствуют) только на наружной вентиляции (интенсивные бытовые процессы) или на смеси наружной и внутренней вентиляции в любых желаемых соотношениях.

Подача и забор воздуха в Ваших помещениях осуществляется через настенные или напольные решетки на низкой скорости. Это позволяет качественно перемешивать воздух, не создавая сквозняков (скорость движения воздуха всего 2 м/с). В помещении устанавливается термостат, на котором задается желаемая температура, при ее достижении печь отключается, при понижении температуры на один градус система запускается снова. Термостат может быть программируемый по времени суток, дням недели.

Приточный воздух проходит следующую обработку:

- забирается снаружи (в объеме санитарной нормы на человека 30 м<sup>3</sup>/ч) смешивается с рециркуляционным воздухом;
- очищается в фильтрах;
- подогревается в калориферах;
- подается в обслуживаемые помещения по сети воздуховодов, выполненных из металла или заложённых в строительные конструкции.

В зависимости от наружных условий, система должна обеспечивать работу установки в 3 режимах:

- на наружном воздухе;
- на полной рециркуляции;

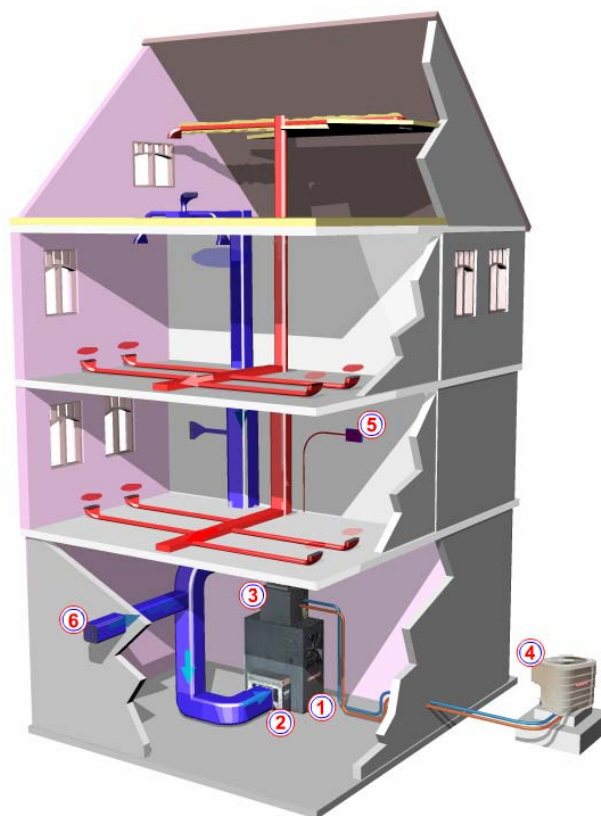
– на смеси наружной рециркуляции воздуха.

Системы воздушного отопления различают в зависимости от способа создания циркуляции воздуха: естественные (гравитационные) и принудительные (с применением вентиляторов). Гравитационная воздушная система отопления основана на разности плотности воздуха при различных температурах. В процессе прогрева возникает естественная циркуляция воздуха в системе. В принудительной системе используется электрический вентилятор, который повышает давление воздуха и распределяет его по воздуховодам и помещениям (принудительная механическая циркуляция).

Воздух нагревается в калориферах, подогреваемых изнутри водой, паром, электричеством или горячими газами. Калорифер размещается либо в отдельной вентиляционной камере (центральная система отопления), либо непосредственно в помещении, которое отапливается (местная система).

Отсутствие замерзающего теплоносителя делает удачным этот вид отопления для домов с непостоянным использованием. Воздушное отопление быстро прогреет дом, а автоматические регуляторы будут поддерживать заданную температуру.

Принцип работы системы воздушного отопления представлен на рисунке 7.



*Рисунок 7 - Система 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%

Предельная температура воздуха, поступающего в помещения из систем воздушного отопления, зависит от того, насколько удалены места ввода воздуха от мест постоянного пребывания людей.

При постоянном или длительном (более двух часов) пребывании людей в помещениях с воздушным отоплением и при выпуске воздуха в верхнюю зону помещения (выше 4 м от пола при горизонтальных и наклонных струях и 6 м при струях, направленных вертикально вниз, воздух можно нагревать до 70°C с тем, однако, условием, чтобы его температура на расстоянии 2 м от рабочих мест не превышала 40...45°C, а при длительном воздействии струи не должна быть более 25°C. Эти требования не распространяются на воздушно-тепловые завесы, действие которых на человека кратковременно.

На рисунке 8 приведена зависимость температуры приточного воздуха воздушного отопления от температуры наружного воздуха для случаев, когда применяется и не применяется рекуперация тепла вытяжного воздуха

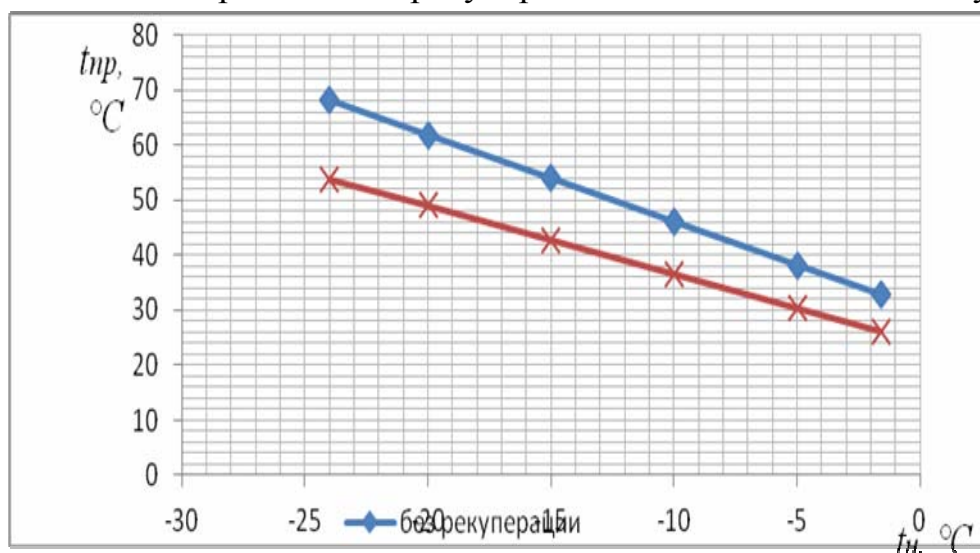


Рисунок 8 - Зависимость температуры приточного воздуха воздушного отопления от температуры наружного воздуха

В случае применения системы приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией теплоты удаляемого из помещений воздуха, которая используется, как правило, при строительстве энергоэффективных зданий, температура воздуха в системе отопления находится в диапазоне от 35 до 55°C.

К достоинствам применения систем воздушного отопления относятся: большая гибкость в управлении при изменении нагрузки, меньшие затраты на устройство систем микроклимата, так как система воздушного отопления, совмещенная с вентиляцией, имеет практически те же элементы, что и система вентиляции в первом варианте.

Недостатками этого варианта являются: меньшая (в сравнении с водяной системой) надежность системы отопления здания вследствие возможной вероятности выхода из строя вентилятора или замораживания

калориферов, а также дополнительные затраты тепловой энергии на нагрев наружного воздуха в режиме «натопа» и при подогреве здания в нерабочее время.

Надежность работы систем воздушного отопления и вентиляции во многом зависит от работы калорифера. Значительным недостатком является завышенная поверхность нагрева калориферов:

- трудно подобрать закон регулирования;
- при температуре наружного воздуха  $-5-0^{\circ}\text{C}$  регулирование температуры приточного воздуха осуществляется «пропусками», то есть клапан на некоторое время полностью останавливает циркуляцию теплоносителя, что грозит замораживанием калорифера;
- при температурах наружного воздуха близких к  $0^{\circ}\text{C}$  температура обратного теплоносителя снижается до  $5-10^{\circ}\text{C}$ , что приводит к частым срабатываниям защиты от замораживания со всеми негативными последствиями (подгорание контактов от частого включения и выключения электродвигателя, пусковые токи и прочее).

Воздуховоды систем воздушного отопления из-за больших расходов воздуха имеют большой размер, поэтому часть площадей пола (вентиляционные шахты) и высоты потолка задействуются под них. Очень важно, чтобы это было заложено на этапе архитектурного и конструкторского проектов дома. Не желательно, чтобы подающие вентиляционные решетки находились в зоне длительного пребывания людей.

## 5 Системы отопления и тепловой насос.

Определение среднего значения COP в течение отопительного сезона можно выполнить по формуле (1):

$$COP = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^K COP(T_k) \cdot N_k \quad (1)$$

где  $T_k$  – значение температуры наружного воздуха в  $k$ -ом интервале температур;

$N_k$  – количество дней отопительного периода с значением температуры  $T_k$ ;

$N$  - общее количество дней отопительного периода;

$K$  - количество температурных интервалов.

На рисунке 9 приведены графики зависимости  $COP(T_k)$  от температуры наружного воздуха для трех типов систем отопления: традиционного водяного с отопительными элементами, напольной системы отопления, и воздушного отопления. Средние значения COP, рассчитанные по формуле (1) для указанных типов отопления приведены в таблице.

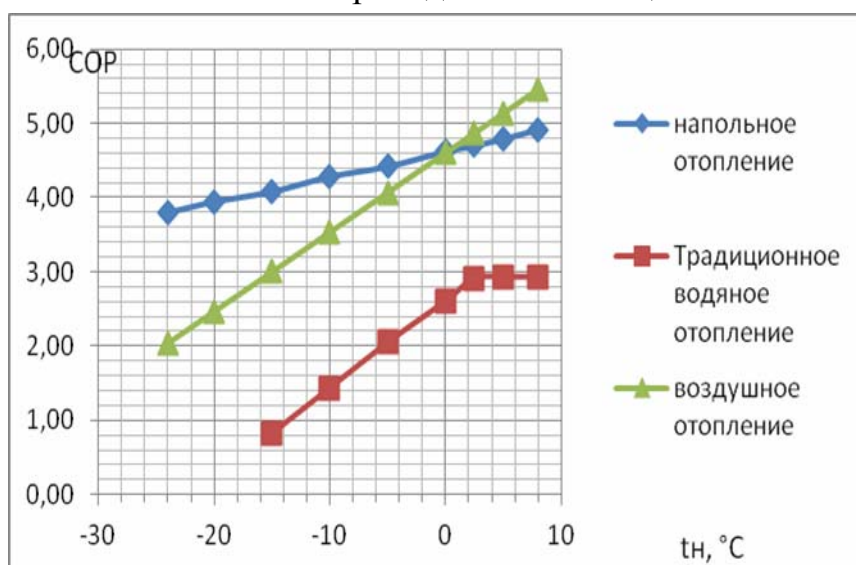


Рисунок 8 - Графики зависимости  $COP(T_k)$  от температуры наружного воздуха

Тип отопления	традиционное	напольное	воздушное
COP	2,29	4,57	4,44

Из графика видно, что наиболее высокое значение COP в диапазоне от 0°C до минус 25°C имеет система напольного отопления с применением тепловых насосов, при этом даже при снижении температуры наружного воздуха до минус 25, значение COP не становится ниже 3,8. Соответственно

систему напольного отопления можно использовать без дополнительных источников энергии на протяжении всего отопительного периода.

Эффективность применения систем воздушного отопления с тепловыми насосами приемлема при температуре наружного воздуха до минус 15°C, при дальнейшем снижении температуры наружного воздуха целесообразно комбинированное применение систем воздушного отопления с другими системами отопления или использование рециркуляции воздуха в системе.

Применение систем традиционного водяного отопления не целесообразно.



## **6 Системы горячего водоснабжения.**

Перспективы развития систем горячего водоснабжения сточных вод следует, на наш взгляд, увязать с использованием систем утилизации теплоты сточных вод и применением солнечных коллекторов. Утилизация теплоты сточных вод позволит обеспечить снижение нагрузки на систему теплоснабжения на 40%, а солнечные коллекторы - на 50% оставшейся энергии. Следовательно, система горячего водоснабжения с утилизацией теплоты сточных вод и использованием солнечных коллекторов может снизить на 70% потребность в дополнительной тепловой энергии для этой цели.

## **Заключение**

Таким образом, на наш взгляд, развитие систем горячего водоснабжения и отопления зданий следует увязывать с расширяющимся применением альтернативных источников энергии.

Перспективы расширения использования тепловых насосов в качестве источника теплоснабжения требует перехода к низкотемпературным системам отопления: напольного или воздушного.

Система горячего водоснабжения с утилизацией теплоты сточных вод и использованием солнечных коллекторов может снизить на 70% потребность в дополнительной тепловой энергии для этой цели.