



#### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

вечная мерзлота, системы отопления зданий, активная теплозащита (АТЗ), тепловой насос, экологическая нагрузка

## АКТИВНАЯ ТЕПЛОЗАЩИТА ТЕПЛЫХ ПОЛОВ ПЕРВОГО ЭТАЖА ЗДАНИЯ, СТОЯЩЕГО НА МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ

В. П. Харитонов, профессор, доктор техн. наук (Москва), независимый эксперт

Здания на свайном фундаменте с проветриваемым подпольем – основное проектное решение, предотвращающее катастрофическое уничтожение вечной мерзлоты при строительстве зданий и сооружений. Термостабилизаторы грунта способны предотвратить оттаивание грунта вблизи свай, однако непрерывный тепловой поток сквозь ограждение представляет реальную угрозу мерзлоте под зданием и вблизи него. Решением проблемы может стать обеспечение активной теплозащиты теплого пола с применением тепловых насосов.

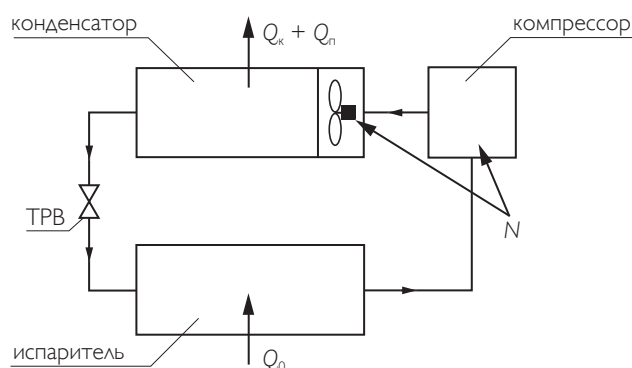
В своде правил СП 60.13330.2012<sup>1</sup> указано: «...в помещениях первых этажей жилых зданий, а также в общественных, производственных и административно-бытовых помещениях с постоянными рабочими местами, расположенных в I климатическом районе с температурой наружного воздуха минус 40 °С (параметры Б) и ниже, следует предусматривать системы отопления для равномерного прогрева поверхности пола, п. 6.21», и далее в п. 6.4.7: «Среднюю температуру поверхности строительных

<sup>1</sup> СП 60.13330.2012 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01–2003 (утв. приказом Министерства регионального развития РФ от 30 июня 2012 года № 279).

конструкций со встроенными нагревательными элементами в расчетных условиях следует принимать не выше, °С: 26 – для полов помещений с постоянным пребыванием людей». Именно для таких зданий мы предлагаем применить активную теплозащиту теплого пола с применением тепловых насосов, позволяющую значительно снизить тепловое влияние здания на многолетнемерзлый грунт с одновременным существенным снижением эконогрузки и энергозатрат на отопление здания.

### Тепловой насос – достоинства и проблемы применения

Рассмотрим устройство теплового насоса, тепловой баланс и обратный цикл Карно в диаграмме  $\log P$ - $i$ . Принципиальная схема паровой компрессионной холодильной машины (теплового насоса), осуществляющей обратный цикл Карно, ее энергетический баланс и изображение цикла в диаграмме  $\log P$ - $i$  представлены на рис. 1. Этот цикл и принципиальная схема практически одинаковы для всех видов торгового холодильного оборудования, домашних холодильников, кондиционерных сплит-систем, многозональных систем кондиционирования, льдогенераторов, систем охлаждения искусственных катков, морозильников, распределительных холодильников и т. п.



**Тепловой баланс:**  $Q_0 + N = Q_n + Q_k$

где  $Q_0$  – холодопроизводительность теплового насоса,  $Q_0 = i_1 - i_5$

$N$  – потребляемая мощность теплового насоса,  $N = i_2 - i_1$  ( $i_4 = i_5$ )

$Q_k$  – теплота конденсации насыщенных паров хладагента,  $Q_k = i_3 - i_4$

$Q_n$  – тепло, отводимое при охлаждении паров хладагента до состояния насыщения,  $Q_n = i_2 - i_3$

Многолетняя мерзлота (многолетняя криолитозона, вечная мерзлота, многолетнемерзлые породы) – часть криолитозоны, характеризующаяся отсутствием периодического протаивания. Вечная мерзлота – явление глобального масштаба, она занимает не менее 25 % площади всей суши земного шара. В России вечная мерзлота занимает 60 % всей территории страны: скованные льдом горные породы развиты на севере Европейской России, на Урале, севере Западной Сибири, на большей части Восточной Сибири, в Забайкалье и на Дальнем Востоке. Оттаивание мерзлоты приводит к снижению несущей способности грунта, что ведет к потере устойчивости зданий и сооружений с возможными катастрофическими последствиями.

Одним из главных достоинств тепловых насосов являются высокие значения коэффициента совершенства COP, равного отношению полученного из воздуха тепла (мощности обогрева) к потребляемой мощности. При положительных температурах наружного воздуха в отопительном периоде значения COP для серийно выпускаемых тепловых насосов лежат в диапазоне от 2 до 7. Тепловые насосы нашли широкое применение для отопления домов в районах с мягким климатом за счет тепловой энергии окружающего наружного воздуха, внося тем самым весомый вклад в повышение энергоэффективности зданий и в снижение экологической нагрузки.

Серьезным препятствием для широкого применения тепловых насосов для отопления при низких температурах наружного воздуха является то обстоя-

тельство, что запуск и работа компрессора (он находится в наружном блоке) при низких температурах наружного воздуха приводит к быстрому износу компрессора и выходу его из строя.

Предлагаем устройство тепловой защиты теплого пола, которая позволяет отказаться от традиционных источников тепла для теплого пола, снизить тепловые потери через пол и тем самым уменьшить негативное влияние теплотерь на мерзлый грунт, при этом существенно сократить энергозатраты на отопление здания.

### Активная теплозащита теплого пола с применением тепловых насосов

Технология активной тепловой защиты (АТЗ) стен и покрытий зданий благодаря энергосберегающей систе-

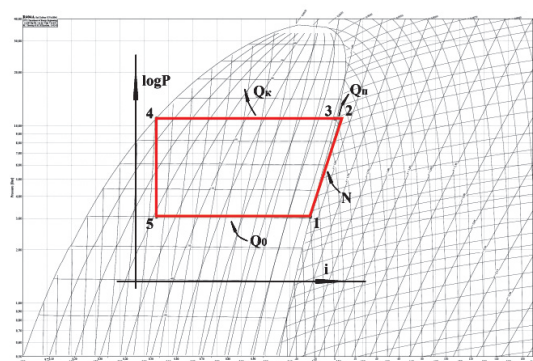


Рис. 1. Принципиальная схема, цикл и тепловой баланс теплового насоса

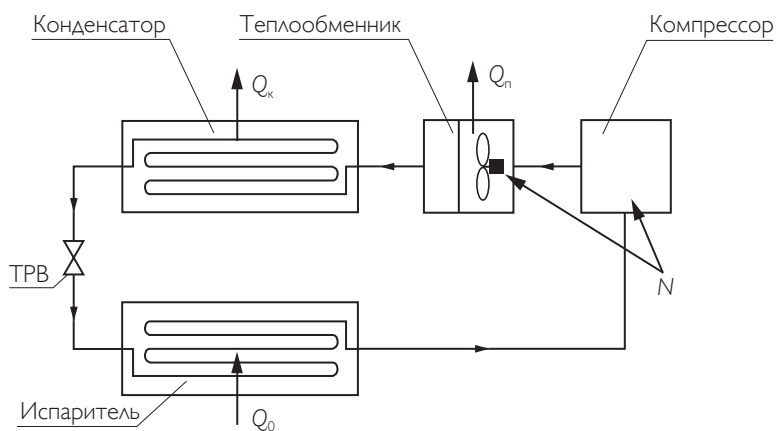


Рис. 2. Принципиальная схема теплового насоса АТЗ теплого пола

ме отопления и кондиционирования (ЭСОК) с применением тепловых насосов описана в [1–3]. Одной из отличительных черт технологии ЭСОК является работа компрессора теплового насоса внутри помещения при температурах 15–20 °С, что гарантирует благоприятные условия эксплуатации компрессора при любых погодных условиях.

В данном случае устройство тепловой защиты теплого пола заключается в том, что теплоизолирующий слой теплого пола размещают между конденсатором (расположенным сверху, под чистым полом, на теплоизоляционном слое) и испарителем (расположенным снизу, под теплоизоляцией, на основании пола) (рис. 2).

Активная теплозащита теплого пола предназначена для достижения следующих целей:

- отопление теплого пола теплотой конденсации насыщенных паров хладагента;
- равномерное распределение температуры по всей поверхности пола;
- возврат в здание теплового потока, прошедшего сквозь теплоизоляцию пола;
- охлаждение горячих паров хладагента, выходящих из компрессора, до температуры, близкой к температуре конденсации, но не превышающей допустимую по величине температуру теплоносителя теплого пола (26 °С).

В предлагаемой схеме теплового насоса (рис. 2) в отличие от схемы, представленной на рис. 1, конденсатор заменен двумя самостоятельными теплообменными аппаратами: теплообменником предварительного охлаж-

дения паров хладагента и собственно конденсатором. Диаграмма  $\log P-i$  (рис. 1) показывает, насколько теплопроизводительность теплообменника  $Q_n$  меньше теплопроизводительности конденсатора  $Q_k$ . Но теплообменник предварительного охлаждения необходим, поскольку температура горячих паров хладагента на выходе из компрессора порой превышает 100 °С. В качестве теплообменника предварительного охлаждения может быть использован (причем с большим запасом) штатный конденсатор компрессорно-конденсаторного блока, выпускаемого серийно.

А вот конденсатор и испаритель теплового насоса изготавливают в виде листотрубных теплообменных аппара-

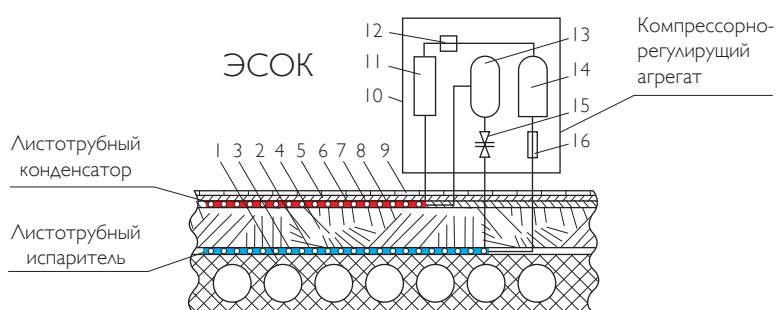
тов, диаметр медных труб и площадь теплопередающих поверхностей которых подбираются с учетом согласования технических характеристик компрессорного блока и требований по отоплению теплого пола.

Размещение элементов тепловой защиты смотрите на рис. 3.

### Выбор параметров

**Давление конденсации** следует выбирать по таблицам термодинамических свойств применяемого хладагента для выбранного значения температуры греющей поверхности теплого пола. Например, для 24 °С давление конденсации паров хладагента R404A равно 1 208 кПа (12 атм). Регулятор давления конденсации устанавливают на нагнетательной линии компрессора.

**Температура кипения в испарителе** должна автоматически поддерживаться близкой к температуре наружного воздуха. С этой целью можно использовать регулятор давления кипения, который устанавливают на линии всасывания между испарителем и компрессором и используют для поддержания давления кипения хладагента, которое соответствует температуре, близкой к температуре наружного воздуха. Например, при температуре наружного воздуха –10 °С давление кипения R404A в испарителе должно быть равным 4,25 атм.



На железобетонном основании 1 (плиты перекрытия) уложены листотрубные теплообменники (испарители 2, 3), соединенные в единый контур, либо змеевик из медных труб 2, уложенных в теплораспределительные пластины 3, поверх которых размещен теплоизоляционный слой 4. На теплоизоляцию укладывают листотрубные теплообменники (конденсаторы 7, 8), соединенные в единый контур, либо змеевик из медных труб 7, уложенных в теплораспределительные пластины 8. Поверх конденсатора укладывают подстилающий слой 5 и чистый пол 9. Компрессорный блок 10 содержит компрессор 14, теплообменник предварительного охлаждения 11 со встроенным регулятором температуры паров на выходе из теплообменника, ресивер 13, регулятор давления кипения 16, регулятор давления конденсации 12, терморегулирующий вентиль 15.

Рис. 3. Размещение элементов теплового насоса АТЗ теплого пола



**Температура паров хладагента на выходе из теплообменника** (на входе в конденсатор) выбирается в диапазоне 22–26 °С и поддерживается с помощью регулятора частоты вращения вентилятора теплообменника с датчиком температуры, установленным на выходе паров хладагента из теплообменника.

### Пример применения АТЗ теплого пола

Рассмотрим новое здание класса энергетической эффективности А с проектными значениями сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций, совпадающими с нормируемыми значениями СП 60.13330.2012. Здание на свайном фундаменте с административными, бытовыми и производственными помещениями спроектировано для арктических районов в зонах вечномёрзлых грунтов с величиной градусо-суток отопительного периода  $D_{от}$  до 12000 °С•сут. В этом случае, согласно СП 50.13330.2010 (табл. 4)<sup>2</sup>, нормируемое значение сопротивления теплопередаче пола над неотапливаемыми подпольями равно:  $= 6,4 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$ . В данном примере во внутреннем помещении площадью 280 м<sup>2</sup> на первом этаже этого здания с помощью системы отопления поддерживают температуру воздуха 20 °С. Температура наружного воздуха в рассматриваемый момент времени принята равной –20 °С.

При традиционном способе устройства системы отопления пола при указанных данных теплототери через пол будут равны:

$$Q_{\text{тп}} = \frac{S \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{н}})}{R_{\text{рег}}} = \frac{280 \cdot (20 - (-20))}{6,4} = 1750 \text{ Вт},$$

где  $Q_{\text{тп}}$  – величина теплототери, Вт,  
 $S$  – площадь пола, м<sup>2</sup>,

$R_{\text{рег}}$  – нормируемое значение сопротивления теплопередаче, м<sup>2</sup>•°С/Вт,

$t_{\text{вн}}$  – температура внутреннего воздуха, °С,

$t_{\text{н}}$  – температура наружного воздуха, °С.

В предлагаемом примере компрессорно-регулирующий блок выполнен на базе серийного агрегата и оснащен дополнительно регулятором давления конденсации, регулятором давления кипения и регулятором температуры паров хладагента на выходе из блока.

Основные технические характеристики агрегата для условий примера: холодопроизводительность агрегата 1790 Вт, потребляемая мощность 770 Вт.

При работе предлагаемого устройства системы отопления пола величина тепловых потерь из помещения в окружающую среду через пол близка к 0, так как на нижней поверхности теплоизоляционного слоя температура поддерживается равной температуре наружного воздуха с помощью регулятора температуры кипения.

Тепло, уходящее из помещения через пол, расходуется на кипение хладагента при температуре кипения –20 °С и переносится парами хладагента в компрессор и далее в помещение, в основном на обогрев теплого пола. В итоге теплототери мощностью 1,75 кВт возвращаются в помещение и, кроме того, помещение получает дополнительный источник тепла, эквивалентный мощности компрессора, равный 0,77 кВт.

Стоимость компрессорного блока меньше 120 000 руб. Стоимость 1 кВт•ч менее 6 руб. Стоимость электроэнергии, эквивалентной возвращенным за месяц теплототерям, превысит 7,5 тыс. руб. Отсюда следует, что срок окупаемости капитальных затрат на компрессионно-регулирующий агрегат составит 2–3 отопительных периода.

Но главным результатом, на мой взгляд, следует считать снижение удельной тепловой экологической нагрузки на окружающую среду в размере 6,25 Вт/м<sup>2</sup> пола. В приведенном примере в помещении размером 16×18 м выбросы тепла в подполье снижены на 1,75 кВт.

Дополнительным достоинством активной теплозащиты теплого пола является равномерность распределения температуры поверхности пола. Это обусловлено тем обстоятельством, что процесс кипения хладагента про-

исходит при давлении кипения, которое практически одинаково по всей длине труб испарителя.

Область применения АТЗ пола определяется техническими характеристиками серийно выпускаемых тепловых насосов: в настоящее время на рынке присутствуют модели, работающие при температурах кипения до –32 °С, двухступенчатые модели – до –40 °С. Если температура наружного воздуха падает ниже этих значений, АТЗ автоматически отключается и теплототери возрастают до нормативных значений по СП 50.13330.2010 (табл. 4).

При некоторых конструктивных добавлениях в схему теплового насоса рабочий диапазон применения АТЗ пола может быть расширен в область положительных температур наружного воздуха, например до 7 °С. В этом варианте тепловой насос может служить достаточно большим и очень эффективным источником тепла, отбираемого от наружного воздуха. Потребителем этого тепла могут быть его внутренние потребители, например тамбуры, шлюзы, теплицы и т. п., что позволит временно отключать штатные средства обогрева. В конечном счете это тепло покинет дом, но данные теплототери не следует считать на все сто процентов тепловой эконезагрузкой, так как большая часть энергии возвращается туда, откуда она была экспортирована.

### Литература

1. Харитонов В. П. Энергосберегающая система отопления и кондиционирования для объектов Арктической зоны // Энергосбережение. 2020. № 6. С. 46–51.

2. Харитонов В. П. Способ и устройство отопления и кондиционирования здания. Патент № RU 2 725 127 С1, МПК F24D3/18, F24F 1/00, F24F 7/00.

3. Харитонов В. П. Активная теплозащита зданий – перспективное решение для развития северных регионов России // Энергосбережение. 2021. № 6. С. 18–22.

4. СНиП 23-02-2003 (СП 50.13330.2010) Тепловая защита зданий. ■

<sup>2</sup> СП 50.13330.2010 Свод правил «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003». Таблица 4. Нормируемые значения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций.

РЕКОМЕНДАЦИИ НП «АВОК» 6.4.2-2021

# «КОМПЕНСАТОРЫ СИЛЬФОННЫЕ И ОПОРЫ ДЛЯ ВНУТРЕННИХ ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ»

НОВИНКА



Реклама



В рекомендациях приведены общие схемы расстановки сильфонных компенсаторов в системах отопления, горячего водоснабжения и холодоснабжения, рассмотрены примеры подбора необходимого количества компенсаторов (неподвижных опор) и расчета нагрузок на неподвижные опоры. Разработаны указания по расчету систем теплоснабжения, отопления, горячего водоснабжения и холодоснабжения с сильфонными компенсаторами, а также рекомендации по эксплуатации и проведению регламентных работ. В разработке рекомендаций приняла участие компания ООО «АЛЬТЕЗА».

Приобрести или заказать рекомендации можно на сайте [abokbook.ru](http://abokbook.ru) или по электронной почте [s.mironova@abok.ru](mailto:s.mironova@abok.ru)

РЕКОМЕНДАЦИИ НП «АВОК»

[abokbook.ru](http://abokbook.ru)

[s.mironova@abok.ru](mailto:s.mironova@abok.ru)

+7 (495) 621-8048, доб. 218