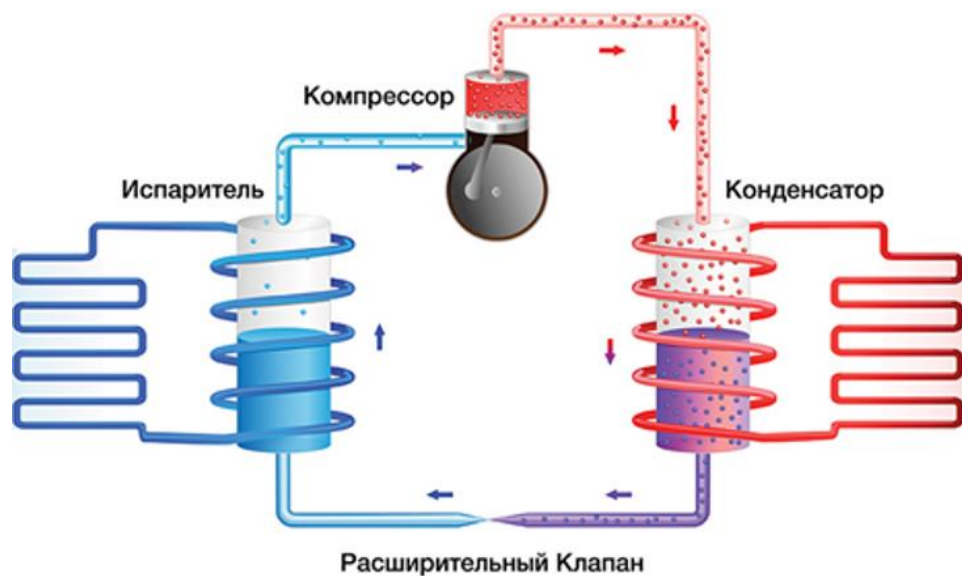


**Сулин А.Б., Кропис Ю.Н., Рябова Т.В.,
Никитин А.А., Муравейников С.С.**

ТЕПЛОВЫЕ НАСОСЫ



Санкт-Петербург

2022

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

**А.Б. Сулин, Ю.Н. Кропис, Т.В. Рябова,
А.А. Никитин, С.С. Муравейников**

ТЕПЛОВЫЕ НАСОСЫ

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

РЕКОМЕНДОВАНО К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ В УНИВЕРСИТЕТЕ
ИТМО

по направлению подготовки 16.03.03 Холодильная, криогенная
техника и системы жизнеобеспечения

в качестве Учебно-методического пособия для реализации основных
профессиональных образовательных программ высшего образования
бакалавриата

 УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Санкт-Петербург

2022

Кропис Ю.Н., Муравейников С.С., Никитин А.А., Рябова Т.В., Сулин А.Б., Тепловые насосы– СПб: Университет ИТМО, 2022. –76 с.

Рецензент(ы):

Пронин Владимир Александрович, доктор технических наук, профессор, профессор (квалификационная категория " ординарный профессор") факультета энергетики и экотехнологий, Университета ИТМО.

Тепловые насосы – это отдельный вид теплоэнергетического оборудования, которые позволяют нагревать воду для отопления и горячего водоснабжения с помощью переноса тепла от источника низкопотенциальной энергии за счет использования внешней работы. Выступают в качестве хорошей альтернативы котлам, работающим на газовом или твердом топливе, и используются как в централизованных системах, так и в системах индивидуального отопления и горячего водоснабжения.



Университет ИТМО – национальный исследовательский университет, ведущий вуз России в области информационных, фотонных и биохимических технологий. Альма-матер победителей международных соревнований по программированию – ICPC (единственный в мире семикратный чемпион), Google Code Jam, Facebook Hacker Cup, Яндекс.Алгоритм, Russian Code Cup, Topcoder Open и др. Приоритетные направления: IT, фотоника, робототехника, квантовые коммуникации, трансляционная медицина, Life Sciences, Art&Science, Science Communication. Входит в ТОП-100 по направлению «Автоматизация и управление» Шанхайского предметного рейтинга (ARWU) и занимает 74 место в мире в британском предметном рейтинге QS по компьютерным наукам (Computer Science and Information Systems). С 2013 по 2020 гг. – лидер Проекта 5–100.

© Университет ИТМО, 2022

© Сулин А.Б., Кропис Ю.Н., Рябова Т.В., Никитин А.А., Муравейников С.С., 2022

Содержание

Введение	4
1. Тепловые насосы и основные схемы работы	5
2. Расчет тепловой нагрузки на систему отопления здания	14
2.1. Этап 1. Расчет теплопотерь через стены	14
2.2. Этап 2. Расчет теплопотерь через пол	16
2.3. Этап 3. Расчет теплопотерь через покрытие	18
2.4. Этап 4. Расчет дополнительных теплопотерь	19
2.5. Этап 5. Определение общих тепловых потерь	19
3. Методика термодинамического расчета парокомпрессионного теплового насоса	20
3.1. Методика расчета для схемы №1	20
3.2. Методика расчета для схемы №2	23
3.3. Методика расчета для схемы №3	24
4. Пример расчета теплонасосной установки	27
4.1. Расчет тепловой нагрузки на систему отопления	27
4.2. Термодинамический расчет парокомпрессионного теплового насоса, работающего по схеме №1	31
Список рекомендуемой литературы	35
Литература	36
Приложение А Задание на расчет тепловой нагрузки на систему отопления	37
Приложение Б Задание на термодинамический расчет парокомпрессионного теплового насоса	42
Приложение В Выдержка из ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещении»	47
Приложение Г Выдержка из СП 131.13330.2018 «Строительная климатология»	48
Приложение Д Выдержка из СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»	52
Приложение Е Выдержка из СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»	53
Приложение Ж Выдержка из СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»	55
Приложение З Выдержка из СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»	71
Приложение И Выдержка из СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»	72
Приложение К Выдержка из СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»	74

Введение

Учебно-методическое пособие предназначено для дисциплины «Тепловые насосы в системах жизнеобеспечения».

В результате изучения учебно-методического пособия и выполнения расчетов студенты приобретают следующие знания, навыки и умения:

- знание устройства, принципа действия, классификации и особенностей конструкции тепловых насосов;
- знание профессиональных требований и технических регламентов;
- умение работать с технической документацией (проектная документация, нормативная документация, диаграммы, схемы);
- умение составлять тепловой баланс, определять эффективность тепловых насосов;
- навыки применения полученных знаний на практике.

Тепловые насосы – это отдельный вид теплоэнергетического оборудования, которые позволяют нагревать воду для отопления и горячего водоснабжения с помощью переноса тепла от источника низкопотенциальной энергии за счет использования внешней работы. Выступают в качестве хорошей альтернативы котлам, работающим на газовом или твердом топливе, и используются как в централизованных системах, так и в системах индивидуального отопления и горячего водоснабжения.

1. Тепловые насосы и основные схемы работы

История развития тепловых насосов берет свое начало с первой половины XIX века, а именно с работы французского физика и математика Сади Карно. В 1824 году Карно опубликовал работу о паровых машинах, в которой описал термодинамический цикл, ставший впоследствии теоретическим обоснованием для создания в 1852 году Уильямом Томсоном первой лабораторной модели теплового насоса. Томсон назвал свою установку «Умножитель теплоты».

Название, которое предложил Томсон, не случайно, ведь теплонасосные установки позволяют нагревать воду для отопления и горячего водоснабжения путем отбора теплоты от низкопотенциального источника (источник с температурой от 0 до 40 °С). Данное устройство не производит тепловую энергию, а за счет использования внешней работы переносит теплоту от низкопотенциального к высокопотенциальному источнику, нагревая последний до 50 ... 80 °С.

Источник низкопотенциальной тепловой энергии должен обладать такими свойствами, как [1]:

- стабильная температура на протяжении всего отопительного периода;
- не должен способствовать возникновению коррозии и загрязнения компонентов системы;
- благоприятные теплофизические характеристики;
- экономически целесообразное применение.

В зависимости от используемого низкопотенциального источника тепловые насосы делят на три основные группы:

Воздушные тепловые насосы

Воздушные тепловые насосы в качестве источника низкопотенциальной энергии используют наружный или отводимый вентиляцией воздух. Пример теплового насоса, использующего наружный воздух, приведен на рисунке 1.

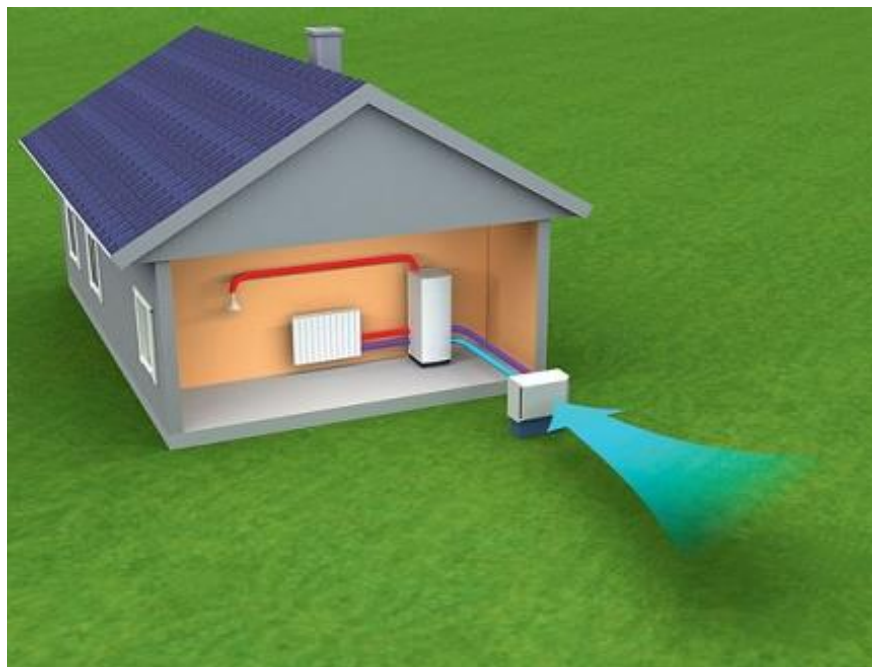


Рисунок 1 – Воздушный тепловой насос

Преимущество использования наружного воздуха заключается в том, что он совершенно бесплатный и находится в свободном доступе. Однако тепловые насосы с таким источником низкопотенциальной энергии часто являются малоэффективными. Это связано с тем, что наружный воздух не обладает стабильной высокой температурой на

протяжении всего отопительного периода. Снижение температуры наружного воздуха приводит к быстрому падению производительности теплового насоса за счет образования большой разности температур испарения и конденсации, а также из-за образования инея на поверхности испарителя [2].

Иней на поверхности испарителя чаще всего образуется в условиях теплого и влажного климата при температуре наружного воздуха в диапазоне от 0 до 6 °С. Образование инея увеличивает термическое сопротивление теплопередаче в испарителе.

Помимо наружного воздуха в тепловых насосах используется отводимый вентиляционный воздух. Тепловые насосы, работающие на таком источнике низкопотенциальной энергии, требуют постоянного вентилирования помещений в течение всего отопительного периода, а если они также используются и для подготовки горячего водоснабжения, то должно осуществляться кондиционирование помещений в летний период времени.

Водные тепловые насосы

Низкопотенциальным теплоносителем водных тепловых насосов является вода из различных источников.

Привлекательным источником низкопотенциальной теплоты для водных тепловых насосов являются реки и озера. Однако данный источник обладает важным недостатком – в холодный период года температура воды может понижаться до 0°С. Такое снижение температуры может привести к обмерзанию **теплообменной поверхности** испарителя. Пример такого теплового насоса приведен на рисунке 2.

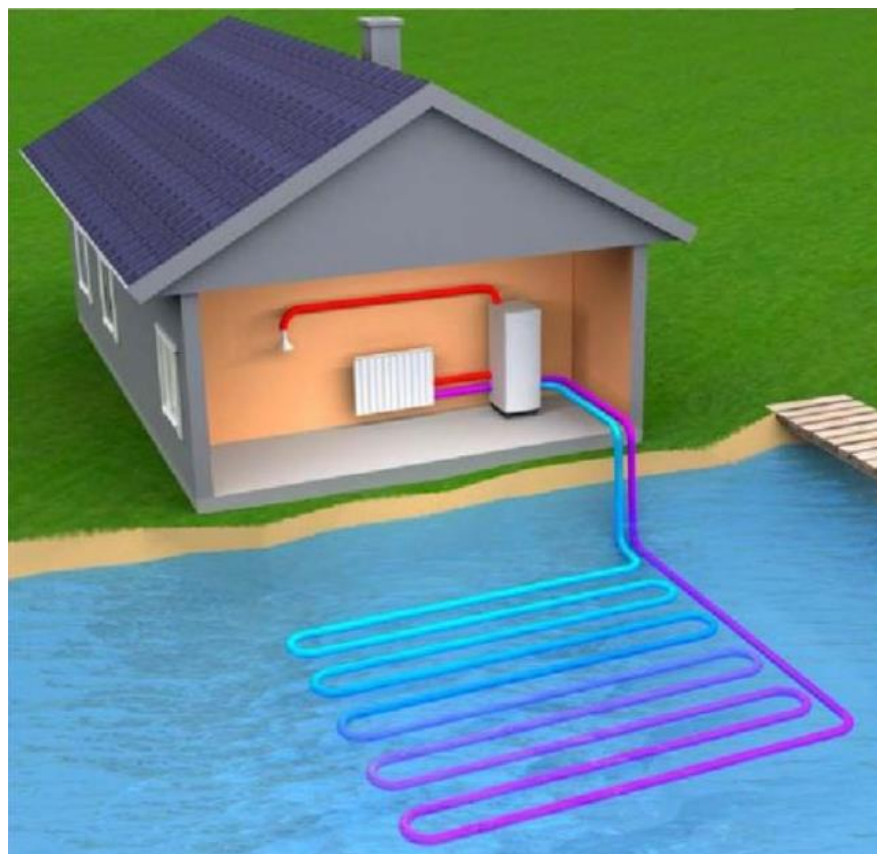


Рисунок 2 – Водный тепловой насос

В прибрежных районах часто используется морская вода. В отличие от речной или озерной воды, на глубине от 25 до 50 м морская вода имеет стабильную температуру от 5 до 8 °С, что предотвращает образование инея на стенках испарителя. Однако при проектировании подобных тепловых насосов необходимо использовать комплектующие теплового насоса стойкие к коррозии от морской воды [2].

Для зданий и сооружений, расположенных вдалеке от водоемов, используются тепловые насосы с низкопотенциальным источником теплоты – грунтовые воды. Данные воды обладают относительно высокой и стабильной температурой в течение всего года. Основной сложностью их использования является изменчивый фактический объем ресурса.

Вблизи промышленных предприятий в качестве водного ресурса могут применяться отходы теплой технической воды. Тепловые насосы, работающие на таких источниках теплоты, имеют высокую энергоэффективность.

Геотермальные тепловые насосы

В качестве естественного источника тепла применяют грунт. Тепло, получаемое от грунта, принято разделять на поверхностное и геотермальное тепло. Поверхностное тепло – это накопленное сезонное солнечное тепло. Для его использования применяют горизонтальные геотермальные коллекторы, которые укладываются на глубине от 1,2 до 1,5 м. Серьезным недостатком таких тепловых насосов является то, что они занимают большие площади, которые должны быть свободны от насаждений и застройки [2]. Пример такого теплового насоса приведен на рисунке 3.

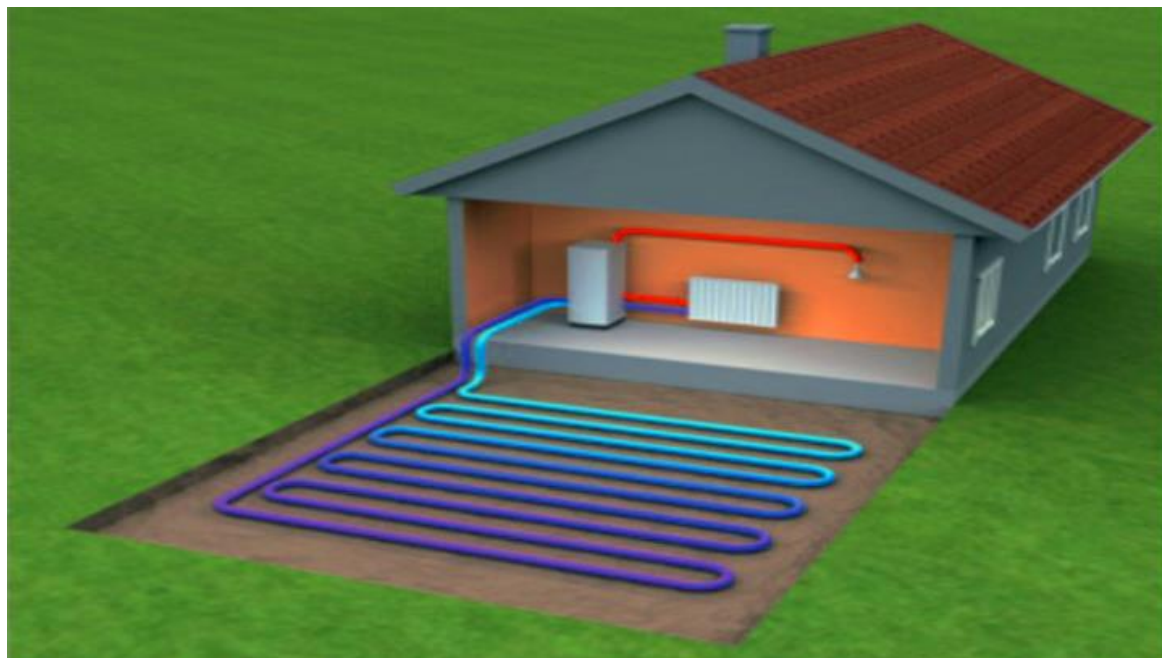


Рисунок 3 – Геотермальный тепловой насос с горизонтальным коллектором

Геотермальное тепло – это тепло, поступающее из глубины земных слоев. Для его использования применяют геотермальные зонды, которые устанавливаются вертикально на глубину от 50 до 150 м. Преимуществом данного ресурса является то, что он обладает относительно стабильной температурой в течение всего года. Пример такого теплового насоса приведен на рисунке 4.

Независимо от источника низкопотенциального тепла, принцип действия и конструкция тепловых насосов идентичны холодильной машине и установке для кондиционирования воздуха. Но в этих установках различна задача: холодильные машины и установки для кондиционирования используют для охлаждения, а тепловые насосы – для нагрева.

Итак, тепловой насос – это установка для переноса теплоты от более холодного теплоносителя к более горячему за счет подвода внешней энергии или затраты работы.

В зависимости от вида рабочего агента тепловые насосы делятся на три основных типа.

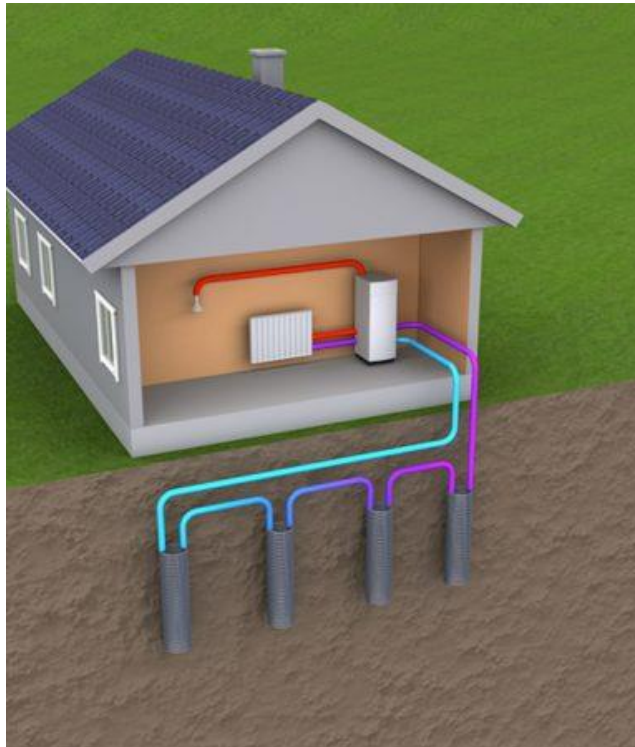


Рисунок 4 – Геотермальный тепловой насос с вертикальными зондами

Парокомпрессионные

Парокомпрессионные тепловые насосы используют теплоту испарения и конденсации хладагента. При более высоком давлении температура конденсации повышается, поэтому хладагент конденсируется при более высокой температуре, чем испаряется. В связи с этим тепловые насосы позволяют передавать теплоту от холодного теплоносителя горячему. При этом тепловой насос потребляет энергию для сжатия хладагента в компрессоре, но эта энергия всегда меньше, чем количество теплоты, получаемое горячим теплоносителем. Принципиальная схема работы парокомпрессионного теплового насоса представлена на рисунке 5.



Рисунок 5 – Принципиальная схема парокомпрессионного теплового насоса

Абсорбционный

В данных установках в качестве рабочего вещества используется смесь хладагента с его раствором в жидкости, имеющей более высокую температуру кипения. В отличие от чистых веществ, растворы обладают способностью

абсорбировать пар раствора одного состава жидким раствором другого состава даже при условии, что температура жидкости выше температуры пара. Принципиальная схема абсорбционного теплового насоса представлена на рисунке 6.

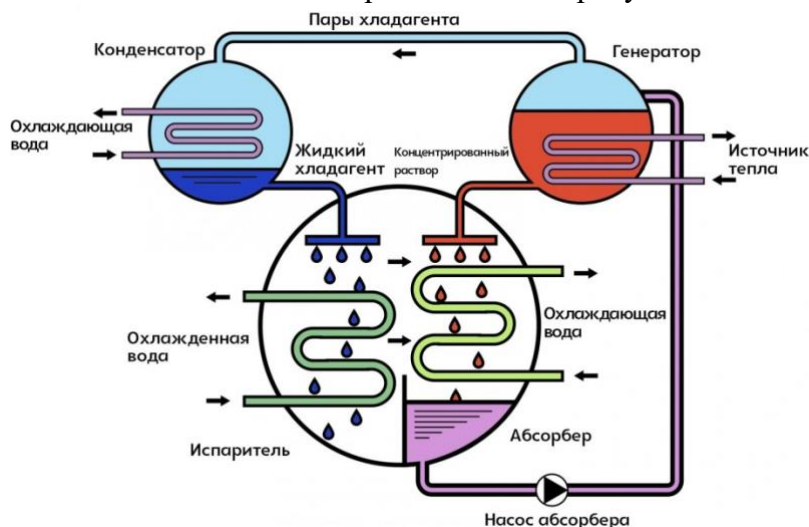


Рисунок 6 – Принципиальная схема абсорбционного теплового насоса

Преимуществом данной схемы является то, что для повышения давления используется насос. Затрата работы на привод насоса пренебрежительно мала по сравнению с затратой работы в компрессоре. Основные энергозатраты в абсорбционном тепловом насосе связаны с потреблением тепловой энергии в генераторе.

Абсорбционные установки целесообразно применять в том случае, когда может быть использован отработанный пар или другой теплоноситель низкого температурного потенциала.

Термоэлектрические

В термоэлектрических трансформаторах теплоты (охладителях и тепловых насосах) реализуется эффект Пельтье, который проявляется в охлаждении и нагреве спаев в цепи полупроводников разного типа проводимости при пропускании через нее электрического тока. Строение термоэлектрического модуля представлено на рисунке 7.

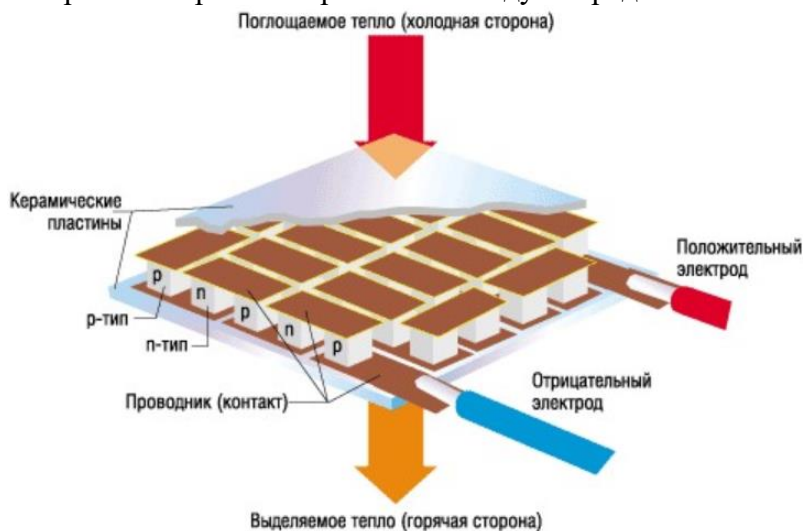


Рисунок 7 – Термоэлектрический модуль

В данном методическом пособии рассматриваются три основные схемы работы реальных парокомпрессионных насосов. Для анализа работы теплонасосной установки используются $p(h)$ и $T(s)$ -диаграммы.

В реальных тепловых насосах чаще всего вместо детандера, используемого в идеальном цикле Карно, чаще всего устанавливается дроссельный вентиль. Процесс расширения рабочего агента, протекающий в дроссельном вентиле, является необратимым. На рисунке 8 представлена принципиальная схема работы №1 реального парокомпрессионного теплового насоса, а на рисунке 9 изображен цикл работы теплового насоса на диаграммах в координатах $p(h)$ и $T(s)$.

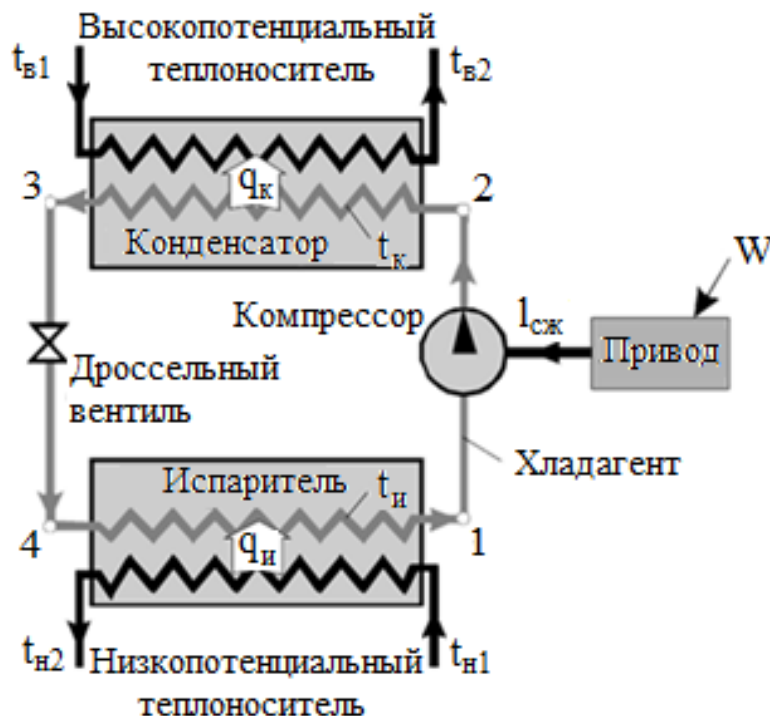


Рисунок 8 – принципиальная схема работы №1 реального парокомпрессионного теплового насоса

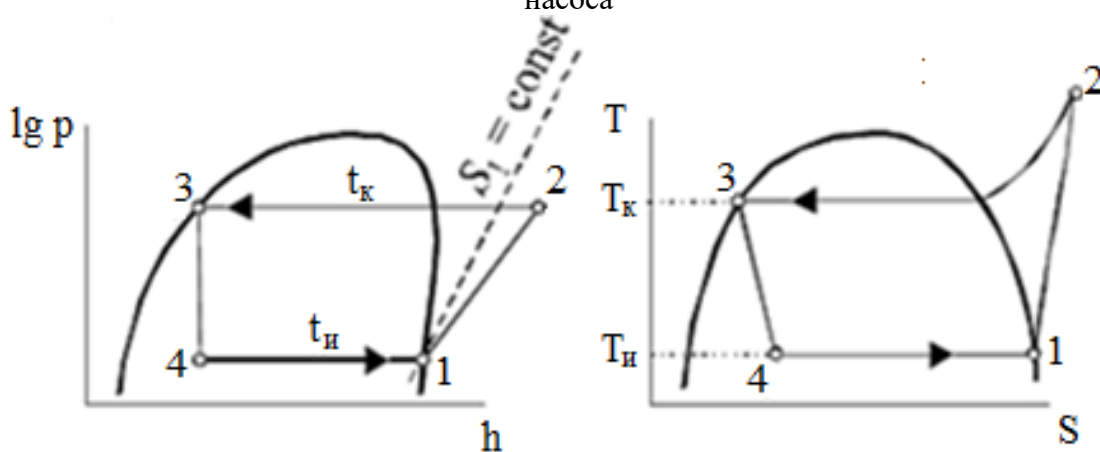


Рисунок 9 - Цикл работы теплового насоса на диаграммах в координатах $p(h)$ и $T(s)$

Данная схема имеет ряд недостатков:

- процесс кипения рабочего агента в испарителе протекает до состояния, отмеченного точкой 1 на диаграмме, то есть до линии насыщения. Рабочее вещество в таком состоянии может содержать в себе небольшие примеси жидкости. А поскольку технически возможно сжимать только вещества в газообразном состоянии, то пар, выходящий из испарителя, должен быть перегретым, чтобы избежать поломки компрессора из-за гидравлического удара.
- процесс конденсации рабочего агента в конденсаторе протекает до состояния, отмеченного точкой 3 на диаграмме, то есть до линии насыщения. Рабочее вещество в таком состоянии может содержать в себе небольшие примеси пара. Попадание

парожидкостной смеси в дроссельный вентиль приводит к снижению производительности данного аппарата. Соответственно, для решения этой проблемы после выхода рабочего агента из конденсатора его следует дополнительно охладить.

Переохлаждение жидкости в конденсаторе для тепловых насосов обычно не используется, так как это требует более высокого температурного напора между рабочим агентом и высокопотенциальным источником, что приводит к снижению температуры горячего теплоносителя или повышению температуры и давления конденсации. Также для тепловых насосов не применяется перегрев пара в испарителе, поскольку температуру низкопотенциального источника изменить нельзя. В этой связи для повышения эффективности используется промежуточный теплообменник, в котором рабочий агент после испарителя дополнительно подогревается рабочим агентом после конденсатора, при этом дополнительно снижая его температуру. Получившаяся в итоге схема №2 представлена на рисунке 10, а цикл работы теплового насоса – на рисунке 11.

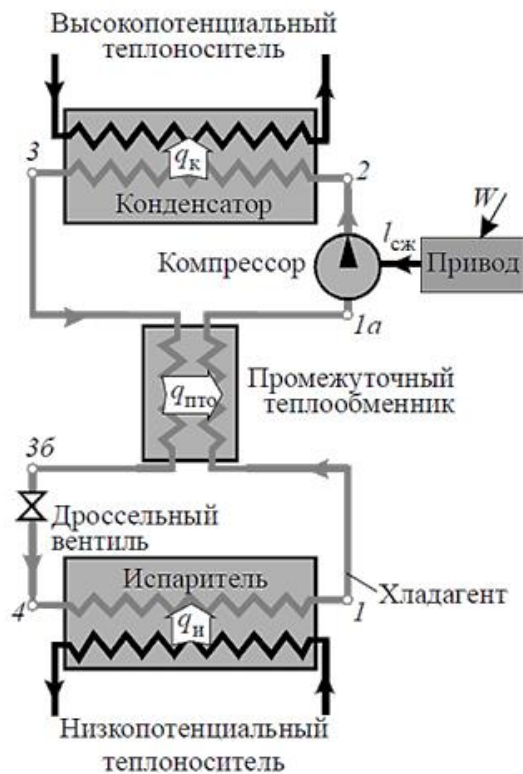


Рисунок 10 – принципиальная схема работы №2 реального парокомпрессионного теплового насоса

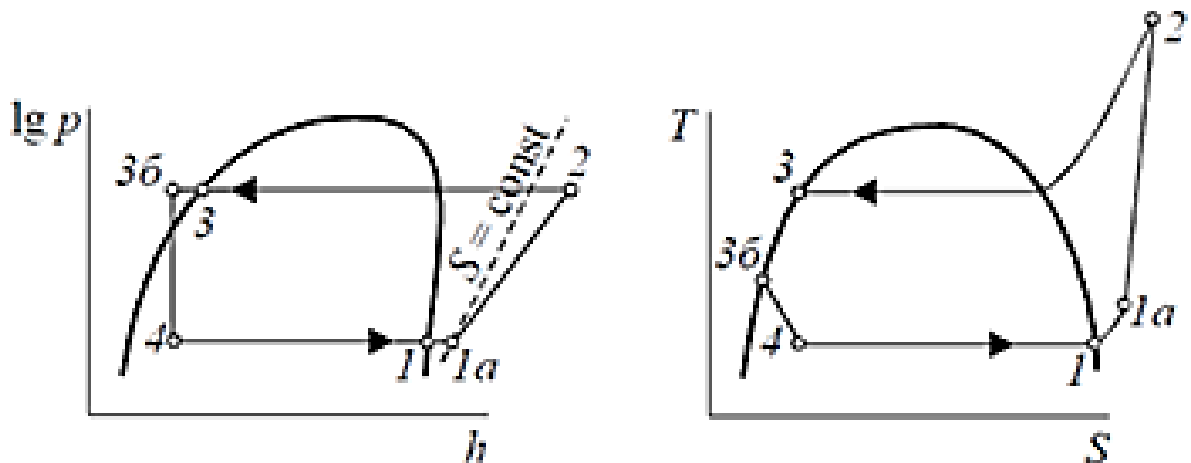


Рисунок 11 - Цикл работы теплового насоса на диаграммах в координатах $p(h)$ и $T(s)$

В случаях, когда высокопотенциальный теплоноситель используется для горячего водоснабжения, то есть должен быть холоднее, чем выходит из теплового насоса, то устанавливается дополнительный аппарат после конденсатора – переохладитель. В нем происходит переохлаждение рабочего агента перед входом в промежуточный теплообменник. Получившаяся в итоге схема №3 представлена на рисунке 12, а цикл работы теплового насоса – на рисунке 13.

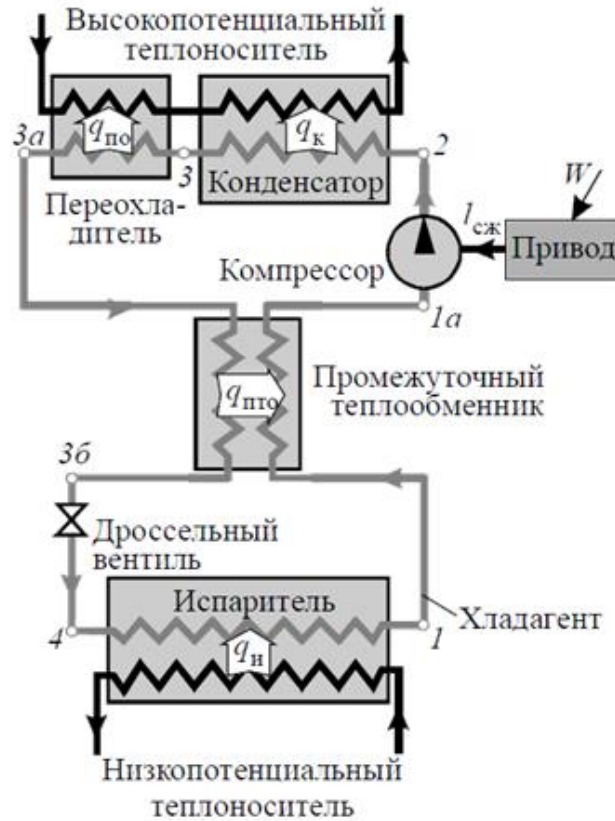


Рисунок 12 – принципиальная схема работы №3 реального парокompрессионного теплового насоса

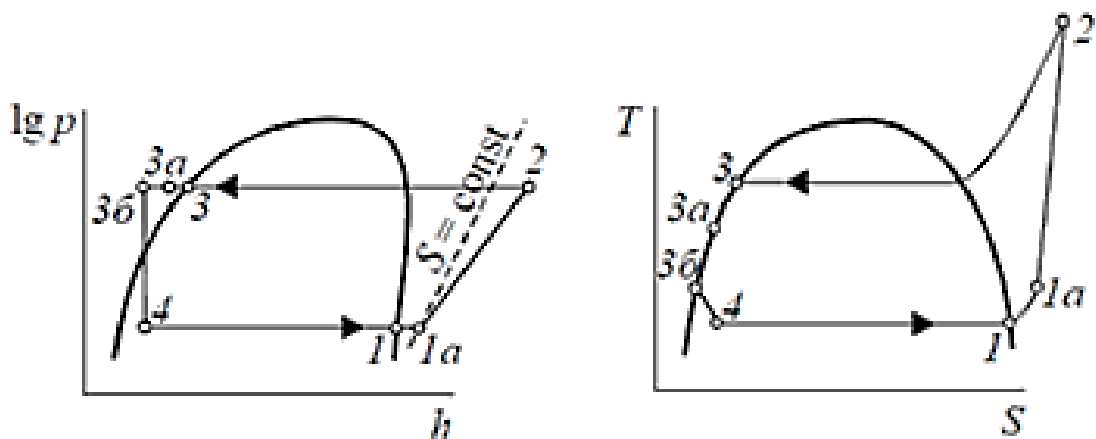


Рисунок 13 - Цикл работы теплового насоса на диаграммах в координатах $p(h)$ и $T(s)$

Широкое применение получили парокompрессионные тепловые насосы малой мощности, работающие по схеме №1. В случаях, когда требуется большая мощность, используются теплонасосные установки, работающие по схеме №2 и достаточно редко – по схеме №3.

Далее будут рассмотрены алгоритм расчета тепловой нагрузки на систему отопления здания с целью определения необходимой мощности теплового насоса и методика термодинамического расчета теплового насоса.

2. Расчет тепловой нагрузки на систему отопления здания

Теплотехнический расчет системы отопления производится согласно методике, изложенной в СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» [5].

Перед началом расчета тепловой нагрузки на систему отопления здания необходимо собрать и проанализировать исходную информацию. Для проведения правильного расчета необходимо иметь характеристику объекта, информацию о параметрах внутреннего воздуха и наружного климата. Под характеристикой объекта подразумеваются сведения о его расположении, назначении, материалах ограждающих конструкций, количестве людей и времени их нахождения в помещении и т.д. Источниками исходной информации для проведения расчетов являются техническое задание заказчика на проект, нормативная документация и справочная литература.

Собрав необходимую для расчета информацию, ее нужно проанализировать. Такие сведения, как расположение и назначение объекта, влияют на ход самого расчета. Например, при расчете теплопотерь через наружные ограждающие конструкции необходимо учитывать коэффициент запаса β , значение которого зависит от ориентации рассматриваемого помещения в пространстве (рисунок 14).

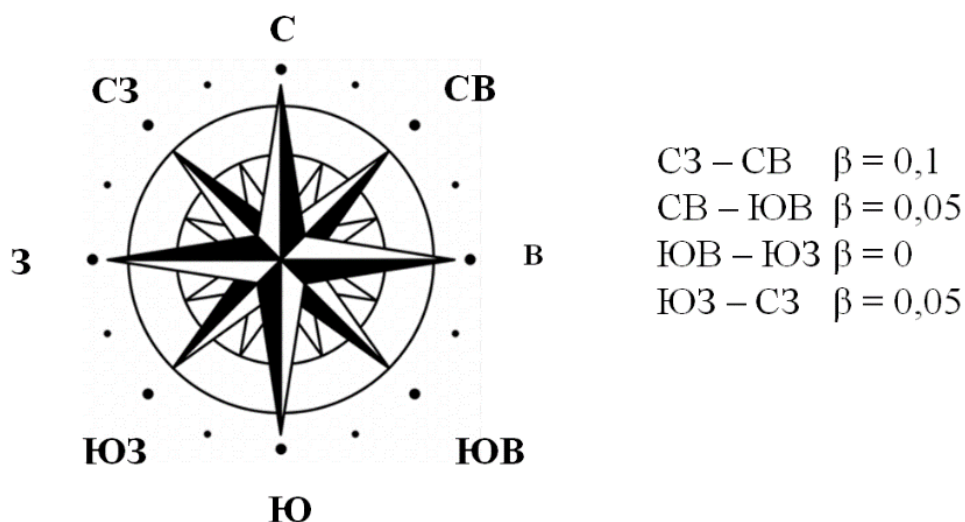


Рисунок 14 – Значение коэффициента запаса в зависимости от ориентации в пространстве наружной ограждающей конструкции.

Если рассматриваемое помещение угловое, то необходимо увеличить расчетную температуру внутреннего воздуха на $2\text{ }^{\circ}\text{C}$, а коэффициент запаса β принять равным 10 %.

Расчет тепловой нагрузки на систему отопления принято делить на этапы в зависимости от типа ограждающей конструкции: стены, пол, покрытие и дополнительные теплопотери.

2.1. Этап 1. Расчет теплопотерь через стены

Теплотехнический расчет принято начинать с вычисления теплопотерь здания через наружные ограждающие конструкции – стены, используя следующую зависимость [5]:

$$Q_{\text{ст}} = kF(t_{\text{в}} - t_{\text{н}}^{\text{р}}), \quad (1)$$

где k – коэффициент теплопередачи, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$; F – площадь ограждающей конструкции, м^2 ; $t_{\text{в}}$ – температура внутреннего воздуха, $^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{н}}^{\text{р}}$ – расчетная температура наружного воздуха, $^{\circ}\text{C}$.

Значение температуры внутреннего воздуха определяется согласно техническому заданию заказчика или по данным ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещении» [3] в зависимости от типа и категории помещения по таблицам 1–3. Для каждого населенного пункта в нормативном стандарте СП 131.13330.2018 «Строительная климатология» приведены значения параметров расчетных наружного воздуха. Значение расчетной температуры наружного воздуха принимают равным значению температуры воздуха наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92 по таблице 3.1 [4]. Коэффициент теплопередачи определяется по зависимости [5]:

$$k = \frac{1}{R_{ст}} \quad , \quad (2)$$

где $R_{ст}$ – сопротивление теплопередаче, ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}$)/Вт, определяемое по уравнению:

$$R_{ст} = \frac{1}{\alpha_{в}} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{н}} \quad , \quad (3)$$

где $\alpha_{в}$ – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, Вт/($\text{м}^2 \cdot \text{°C}$); $\alpha_{н}$ – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции, Вт/($\text{м}^2 \cdot \text{°C}$); δ_i – толщина слоя материала, из которого изготовлена ограждающая конструкция, м; λ_i – коэффициент теплопроводности материала, Вт/($\text{м} \cdot \text{°C}$).

Значения коэффициентов теплоотдачи внутренней и наружной поверхностей ограждающей конструкции определяется в соответствии с СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» по таблицам 4 и 6 [5]. Эти параметры не зависят от параметров внутреннего и наружного воздуха, они зависят только от типа ограждающей конструкции (стена, потолок, окно).

Значение коэффициента теплопроводности материала, из которого изготовлена ограждающая конструкция, можно определить тремя способами: из технического задания на проект, запросить у производителя материала или воспользоваться данными из нормативного документа. Приложение Т в СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» представляет собой таблицу, в которой дано несколько значений коэффициента теплопроводности: в сухом состоянии и расчетные значения. Сухое состояние – это состояние материала, на которое не оказывает воздействие наружный климат. В теплотехническом расчете необходимо использовать значения коэффициентов теплопроводности для материалов, на которые оказывается воздействие наружным климатом, – расчетные значения. Расчетные значения зависят от условий эксплуатации, которые условно обозначаются А и Б. Условия эксплуатации определяются с помощью СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» по таблице 2 и зависят от влажностного режима помещения и географического местоположения [5].

После того, когда все справочные значения определены, по формуле 3 вычисляется фактическое значение сопротивления теплопередаче. Полученное значение необходимо сравнить с нормируемым значением сопротивления теплопередаче.

$$R_{ст}^{\phi} \geq R_{ст}^{\text{норм}} \quad . \quad (4)$$

Фактическое значение сопротивления теплопередаче стены должно быть равно или больше нормируемого значения. Если полученное значение будет меньше нормируемого, то такая ограждающая конструкция не сможет справиться с условиями наружного климата и ее нужно заменить (утеплить или, если это еще возможно, заменить на другую).

Нормируемое значение сопротивления теплопередаче определяется по СП 50.13330.2012 согласно таблице 3. Для того, чтобы воспользоваться данной таблицей, необходимо определить такой параметр, как градусо-сутки отопительного периода (ГСОП) [5]:

$$\text{ГСОП} = (t_{в} - t_{о}^{\text{сп}}) \cdot z \quad , \quad (5)$$

где $t_{о}^{\text{сп}}$ – средняя температура воздуха отопительного периода, $^{\circ}\text{C}$; z – продолжительность отопительного периода, сут.

Значения параметров, необходимых для вычислений по уравнению (5), определяются согласно СП 131.13330.2012 «Строительная климатология» при среднесуточной температуре ниже или равной 8 °С по таблице 3.1 [4].

2.2. Этап 2. Расчет теплотерь через пол

Второй этап расчета тепловых потерь – это вычисление теплотерь через пол. Данная часть расчета зависит от исходных данных: пол может быть рассчитан по разным методикам в зависимости от того, что находится под ним. Существуют следующие варианты конструкции пола:

- перекрытие;
- пол на грунте;
- пол на лагах.

Разберем по порядку методики расчета.

2.2.1. Перекрытие

Самый простой вариант расчета пола – это когда пол является перекрытием, то есть под ним находится отапливаемое помещение или подвал. Тепловые потери через перекрытие определяются по зависимости [6]:

$$Q_{\text{пер}} = \frac{1}{R_{\text{пер}}} S_{\text{пл}} (t_{\text{в}} - t_{\text{в}}^{\text{с.п.}}), \quad (6)$$

где $R_{\text{пер}}$ – сопротивление теплопередаче перекрытия, $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$, $S_{\text{пл}}$ – площадь пола, м^2 , $t_{\text{в}}$ – температура воздуха обслуживаемого помещения, °C , $t_{\text{в}}^{\text{с.п.}}$ – температура воздуха смежного помещения, °C .

Если смежное помещение – подвал, то температуру воздуха в подвале принято принимать равной +5 °С. Данная температура обеспечивается за счет теплопритоков от инженерных сетей, проложенных в подвале.

Значение сопротивления покрытия пола определяется по зависимости [6]:

$$R_{\text{пер}} = \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i}, \quad (7)$$

Толщина каждого слоя перекрытия и его коэффициент теплопроводности определяется аналогично расчету стен.

2.2.2. Пол на грунте

Расчет тепловых потерь через пол, расположенный на грунте, начинают с определения того, в какой зоне находится рассматриваемое помещение. Для этого необходимо произвести «нарезку» пола всего здания на четыре зоны (рисунок 15).

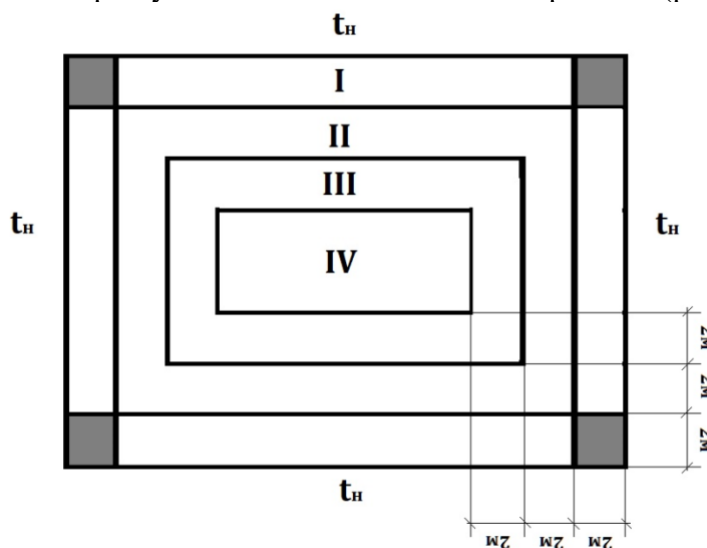


Рисунок 15 – «Нарезка» неутепленного пола на зоны

Деление на зоны производится не для отдельно взятого помещения, а для всего здания. Ширина каждой зоны (кроме IV) равна 2 м. Деление начинают от наружных стен, постепенно двигаясь вглубь здания. Количество зон не обязательно должно равняться четырем, их может быть меньше – это зависит от геометрических размеров здания. Размер зоны IV не регламентируется, поскольку это оставшаяся площадь здания, которая не вошла в первые три зоны. При расчете угловых помещений для зоны I углы учитываются дважды.

Одним из примеров пола на грунте является цокольный этаж. В этом случае на зоны необходимо делить не только пол, но и стены, начиная с того места, где начинается контакт с грунтом (рисунок 16).

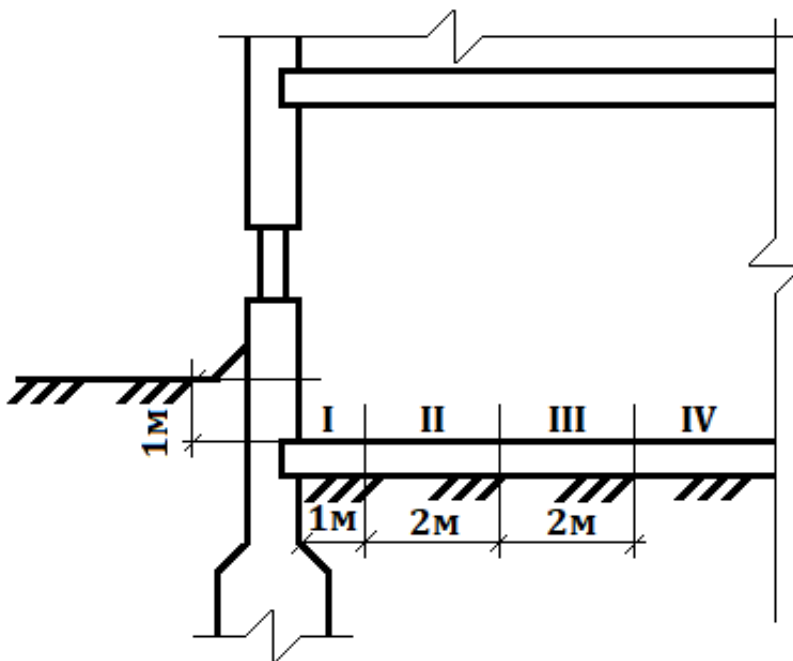


Рисунок 16 – Пример деления на зоны пола цокольного этажа

Расчет тепловых потерь через пол производится по зависимости [6]:

$$Q_{\text{пл}} = \sum Q_{\text{пл}}^i, \quad (8)$$

где $Q_{\text{пл}}^i$ – тепловые потери от каждой зоны, Вт [6]:

$$Q_{\text{пл}}^i = \frac{1}{R_{\text{пл}}^i} S_{\text{пл}}^i (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}). \quad (9)$$

Сопротивление теплопередаче пола складывается из двух параметров: сопротивление неутепленного пола ($R_{\text{нп}}$) и сопротивления утепляющего слоя ($R_{\text{ус}}$) [6]:

$$R_{\text{пл}}^{\phi} = R_{\text{нп}} + R_{\text{ус}}. \quad (10)$$

Значение термического сопротивления утепляющего слоя определяется по зависимости [6]:

$$R_{\text{ус}} = \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i}. \quad (11)$$

Толщина каждого утепляющего слоя и его коэффициент теплопроводности определяется аналогично расчету стен.

Значения термического сопротивления неутепленного пола – это стандартные значения, которые соответствуют определенным зонам [5]:

$$\begin{aligned} R_{\text{нп}}^I &= 2,2 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}, \\ R_{\text{нп}}^{II} &= 4,3 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}, \\ R_{\text{нп}}^{III} &= 8,6 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}, \end{aligned}$$

$$R_{\text{нп}}^{IV} = 14,2 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}.$$

2.2.3. Пол на лагах

Расчет тепловых потерь через пол на лагах (рисунок 17) производится аналогично расчету пола на грунте, но с небольшой разницей при определении сопротивления теплопередаче по зонам [6]:

$$R^i = \frac{1}{0,85} (R_{\text{нп}} + R_{\text{ус}}), \quad (12)$$

$$R_{\text{ус}} = R_{\text{в.п.}} + R_{i(\text{пок})}, \quad (13)$$

где $R_{\text{в.п.}}$ – сопротивление теплопередаче воздушной прослойки, $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$, определяемое по СП50.13330.2012 (приложение Е таблица Е.1); $R_{i(\text{пок})}$ – сопротивление теплопередаче покрытия пола, $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$.

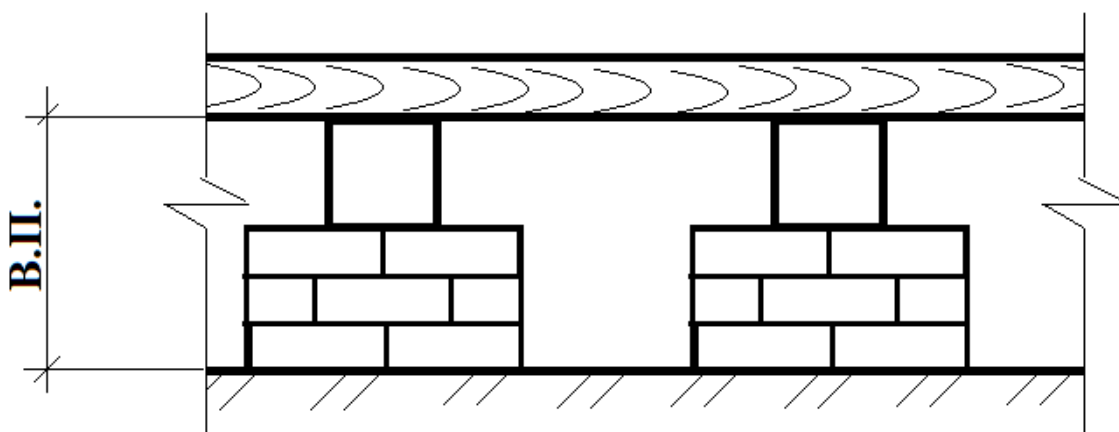


Рисунок 17 – Пол на лагах

Значение сопротивления покрытия пола определяется по зависимости [6]:

$$R_{\text{пок}} = \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i}. \quad (14)$$

Толщина каждого покрытия и его коэффициент теплопроводности определяется аналогично расчету стен.

2.3. Этап 3. Расчет теплотерь через покрытие

Наибольшие теплотери здания происходят через покрытие – это обуславливается тем, что нагретый воздух поднимается вверх. Покрытие может быть двух типов: перекрытие и кровля.

2.3.1. Перекрытие

Если в качестве покрытия выступает перекрытие, то есть над помещением находится отапливаемое помещение или чердак, то расчет теплотерь производится по методике расчета теплотерь через пол-перекрытие Температуру смежного помещения – чердака принято принимать равной $+5^\circ\text{C}$.

2.3.2. Кровля

Тепловые потери через кровлю определяются по уравнению [6]:

$$Q_{\text{пок}} = \frac{1}{R_{\text{пок}}} S_{\text{пок}} (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}^{\text{р}}), \quad (15)$$

где $R_{\text{пок}}$ – сопротивление теплопередаче покрытия, $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$, $S_{\text{пок}}$ – площадь покрытия, м^2 , $t_{\text{в}}$ – внутренняя температура воздуха обслуживаемого помещения; $^\circ\text{C}$, $t_{\text{н}}^{\text{р}}$ – расчетная температура наружного воздуха, $^\circ\text{C}$.

Значение сопротивления покрытия кровли определяется по зависимости [6]:

$$R_{\text{пок}} = \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i}, \quad (16)$$

где толщина каждого слоя покрытия и его коэффициент теплопроводности определяется аналогично расчету стен.

2.4. Этап 4. Расчет дополнительных тепловых потерь

2.4.1. Проемы

Потери тепла из помещения происходят также через такие ограждающие конструкции, как проемы дверные и/или оконные.

Расчет тепловых потерь через проемы осуществляется по формуле [6]:

$$Q_{\text{пр}} = \frac{1}{R_{\text{пр}}} S_{\text{пр}} (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}^{\text{р}}) \quad , \quad (17)$$

где $R_{\text{пр}}$ – сопротивление теплопередаче проема, $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$, $S_{\text{пр}}$ – площадь проема, м^2 , $t_{\text{в}}$ – внутренняя температура воздуха обслуживаемого помещения, °C , $t_{\text{н}}^{\text{р}}$ – расчетная температура наружного воздуха, °C .

Сопротивление теплопередаче рассматриваемого проема должно быть указано в техническом задании от заказчика, технических характеристиках устанавливаемых окон и дверей или принято согласно данным нормативного документа СП 50.13330.2012 (приложение К таблица К.1).

2.4.2. Инфильтрация

К дополнительным тепловым потерям помещения можно отнести явление инфильтрации. Инфильтрация – это процесс проникновения наружного воздуха через неплотности в ограждающих конструкциях.

$$Q_{\text{инф}} = 0,28 \cdot L \cdot \rho_{\text{н}} \cdot c \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{о}}^{\text{н}}) \quad , \quad (18)$$

где L – количество проникающего воздуха, $\text{м}^3/\text{ч}$, условно принимают равным $3 \text{ м}^3/\text{ч}$ на $1 \text{ м}^2/\text{пола}$; c – удельная теплоемкость воздуха, равная $1 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{°C})$; $\rho_{\text{н}}$ – плотность наружного воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$:

$$\rho = \frac{\gamma}{g} \quad , \quad (19)$$

где g – ускорение свободного падения, равное $9,81 \text{ м}/\text{с}^2$; γ – удельный вес, $\text{Н}/\text{м}^3$:

$$\gamma = \frac{3463}{273 + t_{\text{н}}} \quad . \quad (20)$$

2.5. Этап 5. Определение общих тепловых потерь

Общие тепловые потери помещения складываются из тепловых потерь через ограждающие конструкции (стены, пол, покрытие) и дополнительных тепловых потерь с учетом коэффициента запаса:

$$Q_{\text{общ}} = \beta \cdot (Q_{\text{огр}} + Q_{\text{доп}}) \quad . \quad (21)$$

3. Методика термодинамического расчета парокompрессионного теплового насоса

Термодинамический расчет теплового насоса производят с целью определения параметров эффективности цикла теплового насоса.

В данном разделе рассматривается методика термодинамического расчета для парокompрессионных тепловых насосов, работающих по схемам №1, №2 и №3.

Прежде, чем приступить к выполнению расчета, необходимо собрать исходные данные, а именно:

- $Q_{тн}$, кВт – тепловая нагрузка теплового насоса,
- $t_{н1}$, °C – температура низкопотенциального теплоносителя на входе в тепловой насос;
- $t_{н2}$, °C – температура низкопотенциального теплоносителя на выходе из теплового насоса;
- $t_{в1}$, °C – температура высокопотенциального теплоносителя на входе в тепловой насос;
- $t_{в2}$, °C – температура высокопотенциального теплоносителя после теплового насоса;
- t_0 , °C – температура окружающей среды
- $\Delta t_{и}$, °C – перепад температуры на выходе из испарителя (от 3 до 5 °C);
- $\Delta t_{к}$, °C – перепад температуры на выходе из конденсатора (от 3 до 5 °C);
- $\Delta t_{по}$, °C – перепад температуры в переохладителе (от 3 до 5 °C);
- $\Delta t_{п}$, °C – температура перегрева пара в промежуточном теплообменнике.

3.1. Методика расчета для схемы №1

Принципиальная схема №1 и цикл работы на диаграммах в координатах $p(h)$ и $T(s)$ парокompрессионного теплового насоса были рассмотрены в разделе 1 (рисунки 8 и 9).

После сбора исходной для расчета информации необходимо построить цикл работы теплового насоса на $p(h)$ диаграмме холодильного агента, используемого в тепловом насосе. Для этого нужно определить параметры узловых точек. Сделать это можно по следующему алгоритму.

1. Определяем температуру испарения фреона. В испарителе фреону передается теплота от низкопотенциального теплоносителя, соответственно, зная температуру низкопотенциального источника на выходе из теплового насоса и задавшись температурным перепадом на выходе из испарителя, находим температуру испарения фреона:

$$t_{и} = t_{н2} - \Delta t_{и} . \quad (22)$$

2. Определяем параметры узловой точки 1. Для этого по найденной выше температуре испарения фреона и параметрам фреона на линии насыщения пара (определяются по правой пограничной кривой $p(h)$ диаграммы или по таблицам термодинамических свойств хладагента) находятся значения давления испарения фреона $p_{и}$ и энтальпии $h_{и}$.

3. Определяем температуру конденсации фреона. В конденсаторе фреон передает теплоту высокопотенциальному теплоносителю, соответственно, зная температуру воды на выходе и задавшись температурным перепадом на выходе из конденсатора, находим температуру конденсации фреона:

$$t_{к} = t_{в2} + \Delta t_{к} . \quad (23)$$

4. Определяем параметры узловой точки 3. Для этого по найденной выше температуре конденсации фреона и параметрам фреона на линии насыщения жидкости (определяются по левой пограничной кривой $p(h)$ диаграммы или по таблицам

термодинамических свойств хладагента) находятся значения давления конденсации фреона p_k и энтальпии h_3 .

5. Определяем параметры узловой точки 2а. Данная точка соответствует концу адиабатического сжатия фреона в компрессоре и находится графическим способом: на линии пересечения постоянной энтропии, проходящей через точку 1, и линии изобары, проходящей через точку 3. Для найденной точки по диаграмме определяется значение энтальпии.

6. Определяем параметры узловой точки 2. Давление фреона в данной точке будет равняться давлению конденсации фреона, температура определяется графически или по таблицам термодинамических свойств хладагента, а значение энтальпии находится с помощью адиабатного КПД компрессора из уравнения:

$$\eta_a = \frac{h_{2a} - h_1}{h_2 - h_1}, \quad (24)$$

отсюда

$$h_2 = h_1 + \frac{h_{2a} - h_1}{\eta_a}. \quad (25)$$

Адиабатный КПД компрессора определяется по зависимости

$$\eta_a = 0,98 \frac{273 + t_0}{273 + t_k}. \quad (26)$$

7. Определяем параметры узловой точки 4. Процесс 3-4 – это необратимый процесс, протекающий в дроссельном вентиле, данный процесс происходит при постоянном значении энтальпии. Параметры данной точки находятся графическим путем на линии пересечения постоянной энтальпии, проходящей через точку 3, и линии постоянного давления, проходящей через точку 1.

Найденные параметры узловых точек заносим в таблицу 1.

Таблица 1

Параметры узловых точек цикла парокомпрессионного теплового насоса

№ узловой точки / Параметр	1	2	2а	3	4
Температура $t, ^\circ\text{C}$					
Давление $p, \text{Па}$					
Энтальпия $h, \text{кДж/кг}$					

Определив параметры узловых точек, необходимо произвести расчет удельных тепловых нагрузок в узлах парокомпрессионного теплового насоса и произвести проверку найденных значений с помощью теплового баланса.

Удельная тепловая нагрузка в испарителе, кДж/кг:

$$q_{и} = h_1 - h_4. \quad (27)$$

Удельная тепловая нагрузка в конденсаторе или удельная тепловая нагрузка теплового насоса, кДж/кг:

$$q_k = h_2 - h_3, \quad (28)$$

$$q_k = q_{тн}. \quad (29)$$

Удельная работа сжатия фреона в компрессоре, кДж/кг:

$$l_{сж} = h_2 - h_1. \quad (30)$$

Тепловой баланс:

$$q_{и} + l_{сж} = q_k. \quad (31)$$

После определения удельных тепловых нагрузок переходим к расчету показателей энергетической эффективности парокомпрессионного насоса, работающего по схеме №1, а именно коэффициентов преобразования теплоты, преобразования электроэнергии и удельный расход первичной энергии.

Коэффициент преобразования теплоты – это отношение удельной теплоты, переданной горячему теплоносителю к удельной работе сжатия в компрессоре:

$$\mu = \frac{q_k}{l_{сж}} . \quad (32)$$

Коэффициент преобразования электроэнергии – это отношение теплоты, переданной горячему теплоносителю к электроэнергии, подведенной к приводу электродвигателя:

$$\mu_{\varepsilon} = \eta_{\varepsilon,м.} \eta_{\varepsilon} \mu , \quad (33)$$

где $\eta_{\varepsilon,м.}$ – электромеханический КПД компрессора (от 0,9 до 0,95); η_{ε} – КПД электродвигателя (от 0,6 до 0,95).

Показатель удельные затраты первичной энергии на производство теплоты используется с целью оценки различных схем теплоснабжения:

$$ПЭ = \frac{1}{\eta_{\varepsilon,м.} \eta_{\varepsilon} \eta_{\varepsilon,с.} \eta_{пер} \mu} \cdot \frac{1}{\mu} , \quad (34)$$

где $\eta_{\varepsilon,с.}$ – КПД электростанции ($\approx 0,4$); $\eta_{пер.}$ – КПД систем энергоснабжения ($\approx 0,95$).

Далее рассчитывается степень повышения давления в компрессоре:

$$\varepsilon = \frac{p_k}{p_n} . \quad (35)$$

Затем производится эксергетический расчет цикла по следующему алгоритму:

1. Определяем среднюю логарифмическую температуру низкопотенциального теплоносителя.

$$T_{ср.н.} = \frac{t_{н1} - t_{н2}}{\ln \frac{t_{н1} + 273}{t_{н2} + 273}} . \quad (36)$$

2. Находим значение эксергетической функции низкопотенциального теплоносителя и проверяем, чтобы полученное значение находилось в интервале от 0 до 1.

$$\tau_n = \frac{T_{ср.н.} - (t_0 + 273)}{T_{ср.н.}} . \quad (37)$$

3. Исходя из полученных выше параметров, определяем эксергию, отданную низкопотенциальным теплоносителем в испарителе.

$$e_n = \tau_n q_n . \quad (38)$$

4. Определяем среднюю логарифмическую температуру высокопотенциального теплоносителя.

$$T_{ср.в.} = \frac{t_{в2} - t_{в1}}{\ln \frac{t_{в2} + 273}{t_{в1} + 273}} . \quad (39)$$

5. Находим значение эксергетической функции высокопотенциального теплоносителя и проверяем, чтобы полученное значение находилось в интервале от 0 до 1.

$$\tau_v = \frac{T_{ср.в.} - (t_0 + 273)}{T_{ср.в.}} . \quad (40)$$

6. Исходя из полученных выше параметров, определяем эксергию, отданную высокопотенциальным теплоносителем.

$$e_v = \tau_v q_k . \quad (41)$$

7. Определяем эксергию электроэнергии, потребляемой электродвигателем:

$$e_{\varepsilon} = W , \quad (42)$$

$$W = \frac{l_{сж}}{\eta_{\varepsilon,м.} \eta_{\varepsilon}} . \quad (43)$$

8. Рассчитываем эксергетический КПД парокompрессионного теплового насоса:

$$\eta_{\varepsilon} = \frac{e_v}{e_n + e_{\varepsilon}} . \quad (44)$$

Последним этапом расчета является вычисление тепловой нагрузки в узлах теплонасосной установки. Для этого по значению тепловой нагрузки на парокompрессионный тепловой насос определяется значение массового расхода хладагента:

$$G_{ха} = \frac{Q_{тн}}{q_{тн}} . \quad (45)$$

После определения массового расхода хладагента переходим к определению полных нагрузок на узлы парокомпрессионного теплового насоса:

- в испарителе:
$$Q_{и} = G_{ха} q_{и} , \quad (46)$$

- в компрессоре:
$$N = G_{ха} W , \quad (47)$$

- в конденсаторе:
$$Q_{к} = G_{ха} q_{к} . \quad (48)$$

3.2. Методика расчета для схемы №2

Принципиальная схема №2 и цикл работы на диаграммах в координатах $p(h)$ и $T(s)$ парокомпрессионного теплового насоса были рассмотрены в разделе 1 (рисунки 10 и 11).

Аналогично расчету схемы №1 для расчета необходимо построить цикл работы теплового насоса на $p(h)$ диаграмме холодильного агента, используемого в тепловом насосе. Для этого нужно определить параметры узловых точек и занести их в таблицу 2.

Таблица 2

Параметры узловых точек цикла парокомпрессионного теплового насоса

№ узловой точки Параметр	1	1а	2	2а	3	3б	4
Температура $t, ^\circ\text{C}$							
Давление $p, \text{Па}$							
Энтальпия $h, \text{кДж/кг}$							

Сделать это можно по следующему алгоритму.

1. Параметры узловых точек 1 и 3 находятся аналогично расчету для схемы №1.

2. Определяем параметры узловой точки 1а. Данная точка соответствует состоянию перегретого пара после промежуточного теплообменника. Температура в этой точке определяется по формуле:

$$t_{1а} = t_{и} + \Delta t_{п} . \quad (49)$$

Давление фреона в данной точке будет равняться давлению испарения фреона, значение энтальпии определяется графически или по таблицам термодинамических свойств хладагента для перегретого пара.

3. Определяем параметры узловой точки 2а. Данная точка соответствует концу адиабатического сжатия фреона в компрессоре и находится графическим способом: на линии пересечения постоянной энтропии, проходящей через точку 1а, и линии изобары, проходящей через точку 3. Для найденной точки по диаграмме определяется значение энтальпии.

4. Определяем параметры узловой точки 2. Давление фреона в данной точке будет равняться давлению конденсации фреона, температура определяется графически или по таблицам термодинамических свойств хладагента, а значение энтальпии находится с помощью адиабатного КПД компрессора по уравнению 26:

$$h_2 = h_{1а} + \frac{h_{2а} - h_{1а}}{\eta_a} . \quad (50)$$

5. Определяем параметры узловой точки 3б. Данная точка соответствует состоянию переохлажденной жидкости после промежуточного теплообменника. Энтальпия фреона определяется по формуле:

$$h_{3б} = h_3 - (h_{1а} - h_1) . \quad (51)$$

Давление фреона в данной точке будет равняться давлению конденсации фреона, значение температуры определяется графически.

6. Определяем параметры узловой точки 4. Процесс 3б-4 – это необратимый процесс, протекающий в дроссельном вентиле, данный процесс происходит при постоянном значении энтальпии. Параметры данной точки находятся графическим путем на линии пересечения постоянной энтальпии, проходящей через точку 3б, и линии постоянного давления, проходящей через точку 1.

Определив параметры узловых точек, необходимо произвести расчет удельных тепловых нагрузок в узлах парокомпрессионного теплового насоса и произвести проверку найденных значений с помощью теплового баланса (зависимость 31).

Удельная тепловая нагрузка в испарителе, конденсаторе и теплового насоса находятся аналогично расчету схемы №1 по формулам 27 – 29.

Удельная работа сжатия фреона в компрессоре, кДж/кг:

$$l_{сж} = h_2 - h_{1a}. \quad (52)$$

Удельная тепловая нагрузка в промежуточном теплообменнике, кДж/кг:

$$q_{пто} = h_{1a} - h_1. \quad (53)$$

После определения удельных тепловых нагрузок переходим к расчету показателей энергетической эффективности парокомпрессионного насоса, работающего по схеме №2, а именно коэффициентов преобразования теплоты, преобразования электроэнергии и удельный расход первичной энергии. Данная часть расчета полностью идентична расчету схемы №1 и выполняется по зависимостям 32 – 35.

Затем производится эксергетический расчет цикла, который полностью идентичен расчету схемы №1 и выполняется по зависимостям 36 – 44.

Последним этапом расчета является вычисление тепловой нагрузки в узлах теплонасосной установки, который выполняется аналогично расчету схемы №1 по зависимостям 45 – 48. Но поскольку в данной схеме присутствует дополнительный узел, то необходимо найти тепловую нагрузку в промежуточном теплообменнике:

$$Q_{пто} = G_{ха} q_{пто}. \quad (54)$$

3.3.Методика расчета для схемы №3

Принципиальная схема №3 и цикл работы на диаграммах в координатах $p(h)$ и $T(s)$ парокомпрессионного теплового насоса были рассмотрены в разделе 1 (рисунки 12 и 13).

Аналогично расчету схемы №1 для расчета необходимо построить цикл работы теплового насоса на $p(h)$ диаграмме холодильного агента, используемого в тепловом насосе. Для этого нужно определить параметры узловых точек. Сделать это можно по следующему алгоритму.

1. Параметры узловых точек 1, 1а, 2, 2а и 3 находятся аналогично расчету для схемы №2.

2. Определяем параметры узловой точки 3а. Данная точка соответствует состоянию переохлажденной жидкости после переохладителя. Температура в этой точке определяется по формуле:

$$t_{3a} = \frac{c'_{p3} t_k + c_b (\Delta t_{п0} + t_{в1})}{c'_{p3} + c_b} \quad (55)$$

где c'_{p3} – теплоемкость фреона после конденсатора, кДж/(кг·°C); c_b – теплоемкость воды, 4,19 кДж/(кг·°C).

Давление фреона в данной точке будет равняться давлению испарения фреона, значение энтальпии определяется графически или по таблицам термодинамических свойств хладагента.

3. Определяем параметры узловой точки 3б. Данная точка соответствует состоянию переохлажденной жидкости после промежуточного теплообменника. Энтальпия фреона определяется по формуле:

$$h_{3б} = h_{3a} - (h_{1a} - h_1) \quad (56)$$

Давление фреона в данной точке будет равняться давлению конденсации фреона, значение температуры определяется графически.

4. Определяем параметры узловой точки 4. Процесс 3б-4 – это необратимый процесс, протекающий в дроссельном вентиле, данный процесс происходит при постоянном значении энтальпии. Параметры данной точки находятся графическим путем на линии пересечения постоянной энтальпии, проходящей через точку 3б, и линии постоянного давления, проходящей через точку 1.

Найденные параметры узловых точек заносим в таблицу 3.

Таблица 3

№ узловой точки Параметр	1	1а	2	2а	3	3а	3б	4
Температура $t, ^\circ\text{C}$								
Давление $p, \text{Па}$								
Энтальпия $h, \text{кДж/кг}$								

Определив параметры узловых точек, необходимо произвести расчет удельных тепловых нагрузок в узлах парокомпрессионного теплового насоса и произвести проверку найденных значений с помощью теплового баланса.

Удельная тепловая нагрузка в испарителе и конденсаторе и теплового насоса находятся аналогично расчету схемы №1 по формулам 27, 28. Удельная работа сжатия фреона в компрессоре и удельная тепловая нагрузка в промежуточном теплообменнике находятся аналогично расчету схемы №2 по формулам 52 и 53.

Удельная тепловая нагрузка переохладителя, кДж/кг:

$$q_{\text{по}} = h_3 - h_{3a} . \quad (57)$$

Удельная тепловая нагрузка теплового насоса, кДж/кг:

$$q_{\text{тн}} = q_{\text{к}} + q_{\text{по}} . \quad (58)$$

Тепловой баланс:

$$q_{\text{и}} + l_{\text{сж}} = q_{\text{к}} + q_{\text{по}} . \quad (59)$$

После определения удельных тепловых нагрузок переходим к расчету показателей энергетической эффективности парокомпрессионного насоса, работающего по схеме №3, а именно коэффициентов преобразования теплоты, преобразования электроэнергии и удельный расход первичной энергии. Данная часть расчета полностью идентична расчету схемы №1 и выполняется по зависимостям 32 – 35.

Затем производится эксергетический расчет цикла, который проводится по изложенному для схемы №1 алгоритму и выполняется по зависимостям 36 – 38, 40 – 43.

Отличия эксергетического расчета схемы №3 и схемы №1 заключаются в определении средней логарифмической температуры высокопотенциального теплоносителя в конденсаторе, вычислении эксергии высокопотенциального теплоносителя в переохладителе и нахождении эксергетического КПД.

Средняя логарифмическая температура высокопотенциального теплоносителя в конденсаторе:

$$T_{\text{ср.в.}} = \frac{t_{\text{в2}} - t_{\text{вп}}}{\ln \frac{t_{\text{в2}} + 273}{t_{\text{вп}} + 273}} , \quad (60)$$

где $t_{\text{вп}}$ – температура воды после переохладителя, $^\circ\text{C}$:

$$t_{\text{вп}} = t_{3a} - \Delta t_{\text{по}} . \quad (61)$$

Средняя логарифмическая температура высокопотенциального теплоносителя в переохладителе:

$$T_{\text{ср.вп.}} = \frac{t_{\text{вп}} - t_{\text{в1}}}{\ln \frac{t_{\text{вп}} + 273}{t_{\text{в1}} + 273}} . \quad (62)$$

Эксергетическая функция высокопотенциального теплоносителя:

$$\tau_{\text{вп}} = 1 - \frac{t_0 + 273}{T_{\text{ср.вп.}}} . \quad (63)$$

Эксергия, полученная высокопотенциальным теплоносителем в переохладителе:

$$e_{\text{вп}} = \tau_{\text{вп}} q_{\text{по}} . \quad (64)$$

Эксергетический КПД парокompрессионного теплового насоса:

$$\eta_{\text{э}} = \frac{e_{\text{в}} + e_{\text{вп}}}{e_{\text{н}} + e_{\text{э}}} . \quad (65)$$

Последним этапом расчета является вычисление тепловой нагрузки в узлах теплонасосной установки, который выполняется аналогично расчету схемы №1 по зависимостям 45 – 48 и схемы №2 по зависимости 54. Но поскольку в данной схеме присутствует дополнительный узел, то необходимо найти тепловую нагрузку в переохладителе:

$$Q_{\text{по}} = G_{\text{ха}} q_{\text{по}} . \quad (66)$$

4. Пример расчета теплонасосной установки

4.1. Расчет тепловой нагрузки на систему отопления

Разберем методику теплотехнического расчета на примере офисного трехэтажного здания, расположенного в городе Сочи. Рассмотрим помещение номер 3 первого этажа с ориентацией окон на запад. Помещение 5x5 м с высотой потолков 2,6 м, в помещении одно окно 1,5x2 м (рисунок 18).

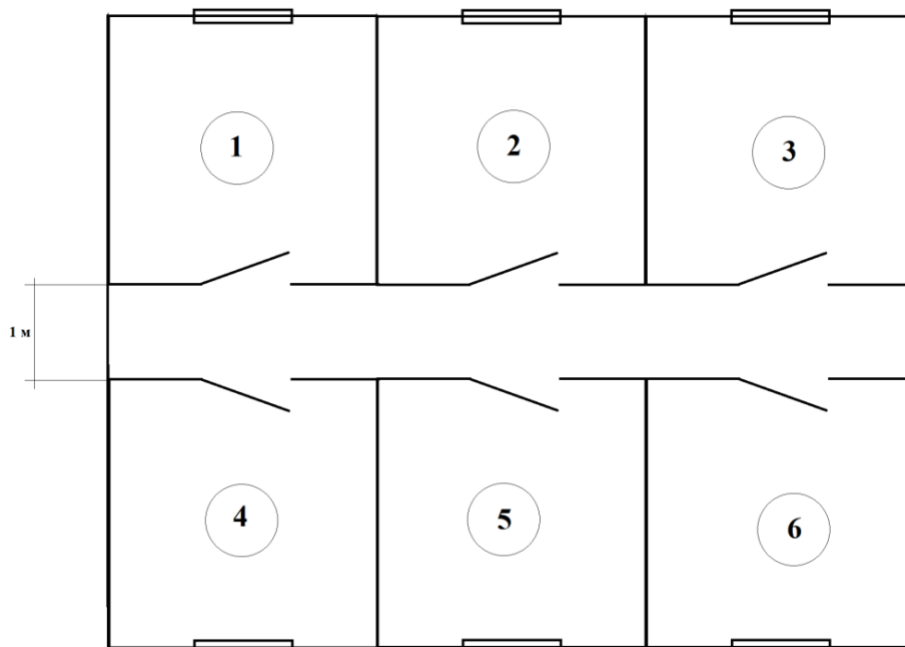


Рисунок 18 – План этажа

Наружные стены (рисунок 19) состоят из:

- (1) цементно-песчаного раствора плотностью 1800 кг/м^3 толщиной $0,03 \text{ м}$;
- (2) газобетона на цементном вяжущем плотностью 1000 кг/м^3 толщиной $0,45 \text{ м}$;
- (3) утеплителя – минеральная вата из каменного волокна плотностью 160 кг/м^3 толщиной $0,05 \text{ м}$;

- (4) цементно-песчаного раствора плотностью 1800 кг/м^3 толщиной $0,03 \text{ м}$;

Пол железобетонный плотностью 2500 кг/м^3 толщиной $0,35 \text{ м}$ с покрытием из линолеума поливинилхлоридного на тканевой подоснове плотностью 1400 кг/м^3 толщиной $0,005 \text{ м}$ располагается на грунте.

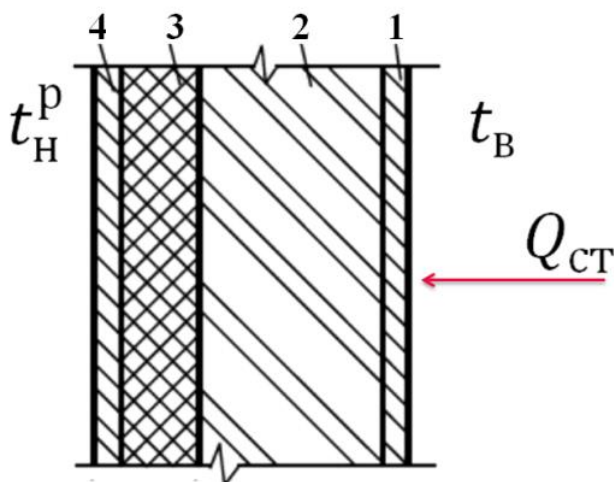


Рисунок 19 – Строение наружной ограждающей конструкции

Прежде чем приступить к расчету, необходимо сформировать исходные данные, исходя из условия задачи.

1. Определить геометрические размеры рассматриваемого помещения. Помещение 5x5 м с высотой потолков 2,6 м.
2. Определить месторасположение и ориентацию помещения в пространстве. Помещение расположено в г. Сочи и ориентировано на запад.
3. Определить назначение помещения. Административное.
4. С помощью справочной информации определить необходимые параметры наружного климата и внутреннего воздуха. Для этого обратимся к Приложениям В, Г:
 $t_n^p = -2 \text{ }^\circ\text{C}$ – расчетная температура наружного воздуха для г. Санкт-Петербург;
 $t_o^{cp} = 6,6 \text{ }^\circ\text{C}$ – средняя температура наружного воздуха за отопительный период для г. Сочи;

$z = 94$ сут – продолжительность отопительного периода в г. Сочи;

$t_b = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ – температура внутреннего воздуха, но поскольку помещение угловое, то принимаем температуру внутреннего воздуха $21 \text{ }^\circ\text{C}$.

5. С помощью Приложения Ж определить теплофизические свойства материалов, из которых изготовлена ограждающая конструкция:

$\lambda = 0,43 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C})$ – коэффициент теплопроводности газобетона $\rho = 1000 \text{ кг}/\text{м}^3$;

$\lambda = 0,93 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C})$ – коэффициент теплопроводности цементно-песчаного раствора $\rho = 1800 \text{ кг}/\text{м}^3$;

$\lambda = 0,046 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C})$ – коэффициент теплопроводности минеральной ватты $\rho = 160 \text{ кг}/\text{м}^3$;

$\lambda = 2,04 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C})$ – коэффициент теплопроводности железобетона $\rho = 2500 \text{ кг}/\text{м}^3$;

$\lambda = 0,23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C})$ – коэффициент теплопроводности линолеума поливинилхлоридного на тканевой подоснове $\rho = 1400 \text{ кг}/\text{м}^3$.

6. С помощью справочной информации определить значения коэффициентов теплоотдачи стены. Для этого обратимся к Приложениям Д.

$\alpha_b = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C})$ – коэффициент теплоотдачи внутреннего ламинарного подслоя;

$\alpha_n = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C})$ – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности стены.

После того как исходные данные сформированы, приступаем к теплотехническому расчету.

Этап 1. Расчет теплотерь через стены.

Теплопотери здания через наружные ограждающие конструкции – стены определяются с помощью зависимости (1):

$$Q_{ст} = kF(t_b - t_n^p)$$

Для того чтобы воспользоваться данной математической зависимостью, необходимо определить коэффициент теплопередачи (k , $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C})$) и площадь ограждающей конструкции (F , м^2). Площадь ограждающей конструкции равна площади наружной стены без учета площади окна:

$$F = 5 \cdot 2,6 \cdot 2 - 1,5 \cdot 2 = 23 \text{ м}^2.$$

Коэффициент теплопередачи определяем по зависимости (2):

$$k = \frac{1}{R_{ст}}$$

$R_{ст}$ – сопротивление теплопередаче, $(\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C})/\text{Вт}$, определяемый по зависимости (3):

$$R_{ст} = \frac{1}{\alpha_b} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_n}$$

$$R_{ст} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,03}{0,93} + \frac{0,45}{0,43} + \frac{0,05}{0,046} + \frac{0,03}{0,93} + \frac{1}{23} = 2,36 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}}{\text{Вт}}.$$

Полученное фактическое значение сопротивления теплопередаче необходимо проанализировать – для этого его необходимо сравнить с нормируемым значением сопротивления теплопередаче по зависимости (4):

$$R_{\text{ст}}^{\phi} \geq R_{\text{ст}}^{\text{норм}} .$$

Нормируемое значение сопротивления теплопередаче определяем по Приложению Д. Для того чтобы воспользоваться таблицей, приведенной в приложении, определяем градусо-сутки отопительного периода (ГСОП) по зависимости (5):

$$\begin{aligned} \text{ГСОП} &= (t_{\text{в}} - t_{\text{о}}^{\text{ср}}) \cdot z \\ \text{ГСОП} &= (21 - 6,6) \cdot 94 = 1353,6 \end{aligned}$$

В таблице Приложения К значения ГСОП даны кратю 2000, а также даны вспомогательные коэффициенты а и б. Для того чтобы найти нормируемое значение сопротивления теплопередаче необходимо воспользоваться зависимостью:

$$R_{\text{ст}}^{\text{норм}} = a \cdot \text{ГСОП} + b .$$

Для стен офисного помещения значения вспомогательных коэффициентов будут равны:

$$a = 0,0003; b = 1,2 .$$

$$\text{Соответственно, } R_{\text{ст}}^{\text{норм}} = 0,0003 \cdot 1353,6 + 1,2 = 1,61 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$$

Сравниваем фактическое и нормируемое значения сопротивления теплопередаче:

$$R_{\text{ст}}^{\text{факт}} = 2,36 < R_{\text{ст}}^{\text{норм}} = 1,61 .$$

Фактическое значение сопротивления теплопередаче стены меньше нормируемого значения. Это означает, что такая ограждающая конструкция не сможет справиться с условиями наружного климата и ее нужно заменить (утеплить или, если это еще возможно, заменить на другую). Поскольку расчет учебный, то мы делаем поправку, что стена была дополнительно утеплена и новое фактическое значение сопротивления теплопередаче равно нормируемому.

Соответственно,

$$\begin{aligned} k &= \frac{1}{2,36} = 0,42 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}} \\ Q_{\text{ст}} &= 0,42 \cdot 23 \cdot (21 - (-2)) = 224,5 \text{ Вт} \end{aligned}$$

Этап 2. Расчет теплототерь через пол

Переходим ко второму этапу - вычислению теплототерь через пол. Эта часть расчета зависит от того, какие у нас исходные данные. В условии задачи сказано, что рассматриваемый офис располагается на 1 этаже, пол которого находится на грунте.

Для выполнения расчета необходимо произвести деление пола всего здания на зоны (рисунок 20):

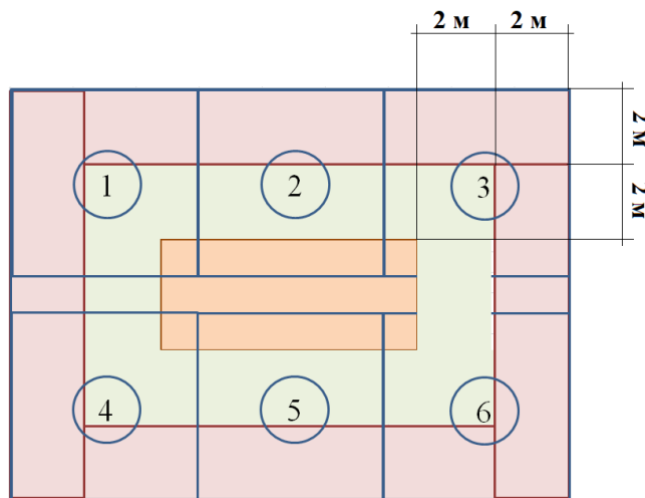


Рисунок 20 – Пол на грунте

В результате деления на зоны получилось, что в рассматриваемом помещении пол делится на 3 зоны: I, II и III.

Сопротивление теплопередаче пола определяется по зависимости:

$$R_{\text{пл}}^{\phi} = R_{\text{нп}} + R_{\text{ус}}$$

Значение сопротивления утепляющего слоя для данной задачи равно:

$$R_{\text{ус}} = \frac{0,35}{2,04} + \frac{0,005}{0,23} = 0,19 \frac{\text{м}^2\text{°С}}{\text{Вт}}.$$

Значения сопротивления неутепленного пола по зонам:

$$R_{\text{нп}}^I = 2,2 \frac{\text{м}^2\text{°С}}{\text{Вт}},$$

$$R_{\text{нп}}^{II} = 4,3 \frac{\text{м}^2\text{°С}}{\text{Вт}},$$

$$R_{\text{нп}}^{III} = 8,6 \frac{\text{м}^2\text{°С}}{\text{Вт}},$$

$$R_{\text{пл}}^I = 2,2 + 0,19 = 2,39 \frac{\text{м}^2\text{°С}}{\text{Вт}},$$

$$R_{\text{пл}}^{II} = 4,3 + 0,19 = 4,49 \frac{\text{м}^2\text{°С}}{\text{Вт}},$$

$$R_{\text{пл}}^{III} = 8,6 + 0,19 = 8,79 \frac{\text{м}^2\text{°С}}{\text{Вт}}.$$

После определения сопротивлений теплопередаче необходимо произвести расчет теплопотерь, предварительно определив площадь каждой зоны.

$$Q_{\text{пл}} = \sum Q_{\text{пл}}^i,$$

$$Q_{\text{пл}}^i = \frac{1}{R_{\text{пл}}^i} S_{\text{пл}}^i (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}),$$

$$S^I = 5 \cdot 2 + 5 \cdot 2 = 20 \text{ м}^2,$$

$$S^{II} = 3 \cdot 2 + 1 \cdot 2 = 8 \text{ м}^2,$$

$$S^{III} = 1 \cdot 1 = 1 \text{ м}^2,$$

$$Q_{\text{пл}}^I = \frac{1}{2,39} \cdot 20 \cdot (21 - (-2)) = 192,2 \text{ Вт},$$

$$Q_{\text{пл}}^{II} = \frac{1}{4,49} \cdot 8 \cdot (21 - (-2)) = 40,95 \text{ Вт},$$

$$Q_{\text{пл}}^{III} = \frac{1}{8,79} \cdot 1 \cdot (21 - (-2)) = 2,62 \text{ Вт},$$

$$Q_{\text{пл}} = 192,2 + 40,95 + 2,62 = 235,8 \text{ Вт},$$

Этап 3. Расчет теплопотерь через покрытие.

В данной задаче сказано, что рассматриваемое помещение находится на первом этаже трехэтажного здания. Из этого можно сделать вывод, что температура в смежном помещении (расположенном над офисом) равна внутренней температуре в офисе. Соответственно, теплопотери через покрытие будут равны 0 Вт.

Этап 4. Расчет дополнительных теплопотерь.

К дополнительным теплопотерям относят тепловые потери через проемы и инфильтрацию.

В рассматриваемом помещении есть один оконный проем размером 1,5 на 2 м, теплопотери через которое определяются по зависимости:

$$Q_{\text{пр}} = \frac{1}{R_{\text{пр}}} S_{\text{пр}} (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}^{\text{п}}).$$

Поскольку нам не известны характеристики материалов, из которых выполнено окно, то сопротивление теплопередаче определяем по Приложению 10:

$$R_{\text{пр}}^{\text{норм}} = a \cdot \text{ГСОП} + b.$$

Как уже было рассчитано ранее, ГСОП = 1353,6.

Согласно Приложению К вспомогательные коэффициенты равны: $a = 0,00005$; $b = 0,2$.

$$R_{\text{пр}}^{\text{норм}} = 0,00005 \cdot 1353,6 + 0,2 = 0,27 \frac{\text{м}^2\text{°С}}{\text{Вт}}.$$

Площадь оконного проема: $S_{\text{пр}} = 1,5 \cdot 2 = 3 \text{ м}^2$.

$$Q_{\text{пр}} = \frac{1}{0,27} \cdot 3 \cdot (21 - (-2)) = 256 \text{ Вт}.$$

Теплопотери через инфильтрацию:

$$Q_{\text{инф}} = 0,28 \cdot L \cdot \rho_{\text{н}} \cdot c \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{о}}^{\text{н}}),$$

$$L = 3 \cdot 25 = 75 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Плотность воздуха определяем через его удельный вес:

$$\gamma = \frac{3463}{273+t_n} = \frac{3463}{273+(-2)} = 12,8 \frac{\text{Н}}{\text{м}^3},$$

$$\rho = \frac{\gamma}{g} = \frac{12,8}{9,81} = 1,30 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3},$$

$$Q_{\text{инф}} = 0,28 \cdot 75 \cdot 1,30 \cdot 1 \cdot (21 - (-2)) = 629,2 \text{ Вт}.$$

Этап 5. Определение общих теплопотерь.

Общие теплопотери помещения складываются из теплопотерь через ограждающие конструкции (стены, пол, покрытие) и дополнительных теплопотерь с учетом коэффициента запаса:

$$Q_{\text{общ}} = \beta \cdot (Q_{\text{огр}} + Q_{\text{доп}}),$$

$$Q_{\text{общ}} = 1,05 \cdot (224,5 + 235,8 + 0 + 256 + 629,2) = 1413 \text{ Вт}.$$

Задание для самостоятельного расчета приведено в Приложении А.

4.2. Термодинамический расчет парокомпрессионного теплового насоса, работающего по схеме №1

Для расчета выбрана схема №1 парокомпрессионного теплового насоса, работающего на фреоне R152a.

Исходные данные для расчета:

- $Q_{\text{тн}} = 191 \text{ кВт}$ – тепловая нагрузка теплового насоса,
- $t_{\text{н1}} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ – температура низкопотенциального теплоносителя на входе в тепловой насос;
- $t_{\text{н2}} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ – температура низкопотенциального теплоносителя на выходе из теплового насоса;
- $t_{\text{в1}} = 46 \text{ }^\circ\text{C}$ – температура высокопотенциального теплоносителя на входе в тепловой насос;
- $t_{\text{в2}} = 61 \text{ }^\circ\text{C}$ – температура высокопотенциального теплоносителя после теплового насоса;
- $t_o = 5 \text{ }^\circ\text{C}$ – температура окружающей среды
- $\Delta t_{\text{и}} = 3 \text{ }^\circ\text{C}$ – перепад температуры на выходе из испарителя;
- $\Delta t_{\text{к}} = 3 \text{ }^\circ\text{C}$ – перепад температуры на выходе из конденсатора.

После сбора исходной для расчета информации необходимо построить цикл работы теплового насоса на $p(h)$ диаграмме холодильного агента, используемого в тепловом насосе. Для этого нужно определить параметры узловых точек.

1. Определяем параметры узловой точки 1.

Для этого необходимо найти температуру испарения фреона.

$$t_{\text{и}} = t_{\text{н2}} - \Delta t_{\text{и}},$$

$$t_{\text{и}} = 10 - 3 = 7^\circ\text{C}.$$

С помощью $p(h)$ диаграммы находим значения давления испарения фреона $p_{\text{и}}$ и энтальпии h_1 в точке 1 на пересечении изотермы, соответствующей температуре испарения фреона, и линии насыщения пара (правой пограничной кривой).

2. Определяем параметры узловой точки 3.

Для этого необходимо найти температуру конденсации фреона.

$$t_{\text{к}} = t_{\text{в2}} + \Delta t_{\text{к}},$$

$$t_{\text{к}} = 61 + 3 = 64^\circ\text{C}.$$

С помощью $p(h)$ диаграммы находим значения давления конденсации фреона $p_{\text{к}}$ и энтальпии h_3 в точке 3 на пересечении изотермы, соответствующей температуре конденсации фреона, и линии насыщения жидкости (левой пограничной кривой).

3. Определяем параметры узловой точки 2а.

Данная точка соответствует концу адиабатического сжатия фреона в компрессоре и находится графическим способом: на линии пересечения постоянной энтропии,

проходящей через точку 1, и линии изобары, проходящей через точку 3. Для найденной точки по диаграмме определяется значение энтальпии.

4. Определяем параметры узловой точки 2.

Давление фреона в данной точке будет равняться давлению конденсации фреона, температура определяется, а значение энтальпии находится с помощью адиабатного КПД компрессора.

$$h_2 = h_1 + \frac{h_{2a} - h_1}{\eta_a},$$

$$\eta_a = 0,98 \frac{273 + t_0}{273 + t_k},$$

$$\eta_a = 0,98 \frac{273 + 5}{273 + 64} = 0,81,$$

$$h_2 = 512 + \frac{569 - 512}{0,81} = 582 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Определяем параметры узловой точки 4.

Параметры данной точки находятся графическим путем на линии пересечения постоянной энтальпии, проходящей через точку 3, и линии постоянного давления, проходящей через точку 1.

Найденные параметры узловых точек заносим в таблицу 4 и изображаем получившийся цикл на $p(h)$ диаграмме (рисунок 21).

Таблица 4

Параметры узловых точек цикла парокompрессионного теплового насоса

№ узловой точки	1	2	2a	3	4
Температура $t, ^\circ\text{C}$	7	92	83	64	7
Давление $p, \text{Па}$	0,39	1,8	1,8	1,8	0,39
Энтальпия $h, \text{кДж/кг}$	512	582	569	323	323

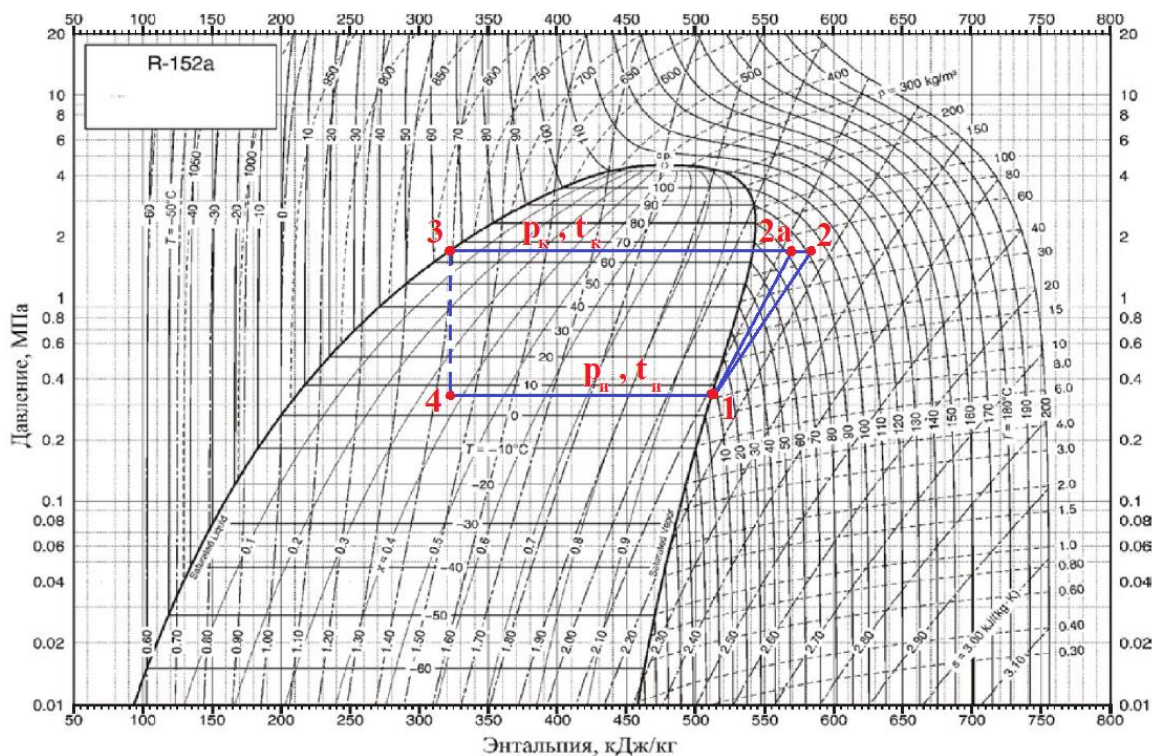


Рисунок 21 – Цикл парокompрессионного теплового насоса, работающего по схеме №1 и фреоне R152a

Найдя параметры узловых точек, выполняем расчет удельных тепловых нагрузок в узлах парокомпрессионного теплового насоса и проводим проверку найденных значений с помощью теплового баланса.

Удельная тепловая нагрузка в испарителе:

$$q_{и} = h_1 - h_4 ,$$

$$q_{и} = 512 - 323 = 189 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} .$$

Удельная тепловая нагрузка в конденсаторе:

$$q_{к} = h_2 - h_3 ,$$

$$q_{к} = 582 - 323 = 259 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} .$$

Удельная тепловая нагрузка теплового насоса:

$$q_{к} = q_{тн} ,$$

$$q_{тн} = 259 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} .$$

Удельная работа сжатия фреона в компрессоре:

$$l_{сж} = h_2 - h_1 ,$$

$$l_{сж} = 582 - 512 = 70 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} .$$

Тепловой баланс:

$$q_{и} + l_{сж} = q_{к} ,$$

$$189 + 70 = 259 .$$

Тепловой баланс сошелся, следовательно, расчет узловых точек и удельных тепловых нагрузок произведен правильно.

Далее выполняем расчет показателей энергетической эффективности парокомпрессионного насоса, работающего по схеме №1.

Коэффициент преобразования теплоты:

$$\mu = \frac{q_{к}}{l_{сж}} ,$$

$$\mu = \frac{259}{70} = 3,7 .$$

Коэффициент преобразования электроэнергии:

$$\mu_{э} = \eta_{э.м.} \eta_{э} \mu ,$$

$$\mu_{э} = 0,95 \cdot 0,8 \cdot 3,7 = 2,8 .$$

Удельные затраты первичной энергии на производство теплоты:

$$\text{ПЭ} = \frac{1}{\eta_{э.м.} \eta_{э} \eta_{э.с.} \eta_{пер} \mu} ,$$

$$\text{ПЭ} = \frac{1}{0,4 \cdot 0,8 \cdot 0,95 \cdot 0,95 \cdot 3,7} = 0,94 .$$

Далее рассчитывается степень повышения давления в компрессоре:

$$\varepsilon = \frac{p_{к}}{p_{и}} ,$$

$$\varepsilon = \frac{1,8}{0,39} = 4,6 .$$

Затем производим эксергетический расчет цикла:

1. Определяем среднюю логарифмическую температуру низкопотенциального теплоносителя.

$$T_{ср.н.} = \frac{t_{н1} - t_{н2}}{\ln \frac{t_{н1} + 273}{t_{н2} + 273}} ,$$

$$T_{ср.н.} = \frac{25 - 10}{\ln \frac{25 + 273}{10 + 273}} = 290^{\circ}\text{C} .$$

2. Находим значение эксергетической функции низкопотенциального теплоносителя и проверяем, чтобы полученное значение находилось в интервале от 0 до 1.

$$\tau_{н} = \frac{T_{ср.н.} - (t_0 + 273)}{T_{ср.н.}} ,$$

$$\tau_H = \frac{290 - (5 + 273)}{290} = 0,04.$$

3. Определяем эксергию, отданную низкопотенциальным теплоносителем в испарителе.

$$e_H = \tau_H q_H,$$

$$e_H = 0,04 \cdot 189 = 7,56 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

4. Определяем среднюю логарифмическую температуру высокопотенциального теплоносителя.

$$T_{\text{ср.в.}} = \frac{t_{B2} - t_{B1}}{\ln \frac{t_{B2} + 273}{t_{B1} + 273}},$$

$$T_{\text{ср.в.}} = \frac{61 - 46}{\ln \frac{61 + 273}{46 + 273}} = 326^\circ\text{C}.$$

5. Находим значение эксергетической функции высокопотенциального теплоносителя и проверяем, чтобы полученное значение находилось в интервале от 0 до 1.

$$\tau_B = \frac{T_{\text{ср.в.}} - (t_0 + 273)}{T_{\text{ср.в.}}},$$

$$\tau_B = \frac{326 - (5 + 273)}{326} = 0,15.$$

6. Определяем эксергию, отданную высокопотенциальным теплоносителем.

$$e_B = \tau_B q_K,$$

$$e_B = 0,15 \cdot 259 = 38,9 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

7. Определяем эксергию электроэнергии, потребляемой электродвигателем:

$$e_3 = W = \frac{l_{\text{сж}}}{\eta_{\text{э.м.}} \eta_{\text{э}}},$$

$$e_3 = W = \frac{70}{0,95 \cdot 0,8} = 92,1 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

8. Эксергетический КПД парокompрессионного теплового насоса:

$$\eta_{\text{э}} = \frac{e_B}{e_H + e_3},$$

$$\eta_{\text{э}} = \frac{38,9}{7,56 + 92,1} = 0,39.$$

Вычисляем тепловые нагрузки в узлах теплонасосной установки. Для этого по значению тепловой нагрузки на парокompрессионный тепловой насос определяется значение массового расхода хладагента:

$$G_{\text{ха}} = \frac{Q_{\text{тн}}}{q_{\text{тн}}},$$

$$G_{\text{ха}} = \frac{191}{259} = 0,74 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

Определяем полные нагрузки на узлы парокompрессионного теплового насоса:

- в испарителе:

$$Q_H = G_{\text{ха}} q_H,$$

$$Q_H = 0,74 \cdot 189 = 139 \text{ кВт}.$$

- в компрессоре:

$$N = G_{\text{ха}} W,$$

$$N = 0,74 \cdot 189 = 139 \text{ кВт}.$$

- в конденсаторе:

$$Q_K = G_{\text{ха}} q_K,$$

$$Q_K = 0,74 \cdot 259 = 192 \text{ кВт}.$$

Задание для самостоятельного расчета приведено в Приложении Б.

Список рекомендуемой литературы

1. Столетов В. М. Системы динамического охлаждения и отопления: комфортное жизнеобеспечение. – 2009.
2. Бабыкин Б.С., Суслов А.Э., Фатыхов Ю.А., Эрлихман В.Н. Теплонасосные установки в отраслях агропромышленного комплекса. – 2021.
3. ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещении».
4. СП 131.13330.2012 «Строительная климатология».
5. СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий».
6. Справочник проектировщика «Внутренние санитарно-технические устройства» ч.1 «Отопление, водопровод, канализация» под ред. И.Г. Староверова, «Стройиздат», Москва, 1975.

Литература

1. Столетов В. М. Системы динамического охлаждения и отопления: комфортное жизнеобеспечение. – 2009.
2. Бабыкин Б.С., Суслов А.Э., Фатыхов Ю.А., Эрлихман В.Н. Теплонасосные установки в отраслях агропромышленного комплекса. – 2021.
3. ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещении».
4. СП 131.13330.2012 «Строительная климатология».
5. СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий».
6. Справочник проектировщика «Внутренние санитарно-технические устройства» ч.1 «Отопление, водопровод, канализация» под ред. И.Г. Староверова, «Стройиздат», Москва, 1975.

Приложение А

Задание на расчет тепловой нагрузки на систему отопления

Офисное помещение располагается на одном этаже с другими офисными помещениями. План этажа изображен на рисунке А1. Наружная стена помещения состоит из 4 слоев. В помещении есть 1 окно с размерами 1,5х2м – однокамерный стеклопакет (с одним стеклом с низкоэмиссионным мягким покрытием с заполнением воздухом). Геометрические размеры помещения: $D \times Ш \times В = 5 \times 5 \times 2,6$ м. Остальные исходные данные для расчета выбрать из таблицы А1 в соответствии с вариантом.

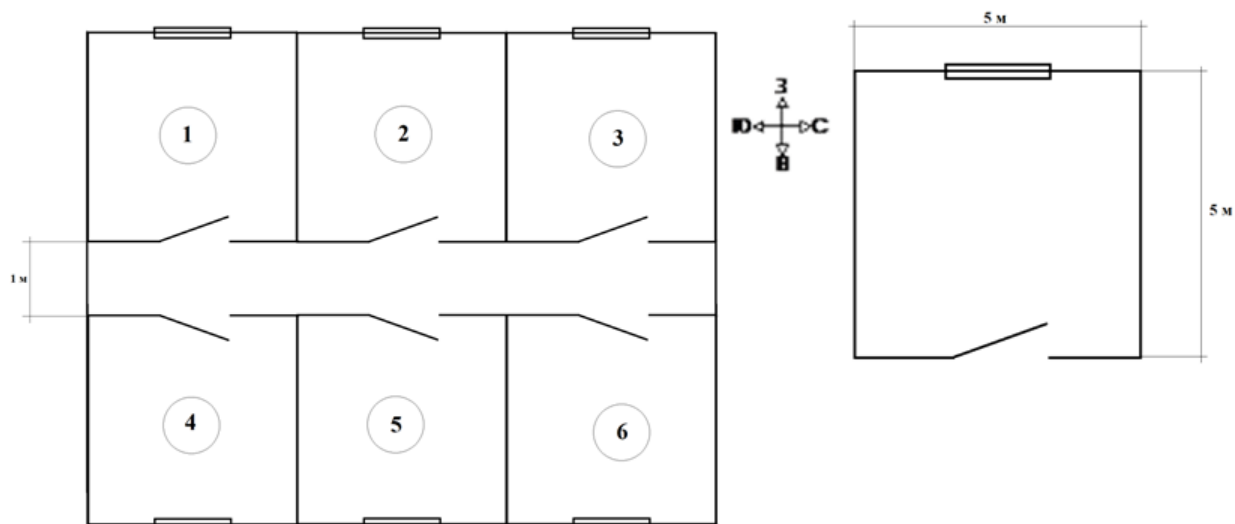


Рисунок А1– План этажа здания

Определить тепловую нагрузку помещения на систему отопления в здании.

В решении задачи должен быть приведен подробный расчет с пояснениями (ссылками на нормативную документацию). Ответом на данную задачу считается сумма всех теплопотерь помещения.

Таблица А1

Исходные данные для расчета

№ вар.	Город	№ пом	Информация о материалах			Дополнительная информация
			Стены наружные	Пол	Потолок	
1	Мурманск	2	1. Цементно-песчаный раствор 1800 кг/м ³ , 0,02м 2. Газо- и пенобетон на цементном вяжущем 1000 кг/м ³ , 0,4м 3. Плиты минераловатные из каменного волокна 180 кг/м ³ , 0,05м 4. Цементно-песчаный раствор 1800 кг/м ³ , 0,03м	1. Линолеум поливинилхлоридный на тканевой подоснове 1800 кг/м ³ , 0,005м 2. Железобетон 2500 кг/м ³ , 0,35м 3. Воздушная прослойка 0,2м	1. Железобетон 2500 кг/м ³ , 0,3м 2. Рубероид 0,01м	1. Температура внутри помещения 19°С 2. . Пол на лагах (температура в воздушной прослойке положительная) 3. Потолочное перекрытие - крыша
2	Сочи	3	1. Цементно-песчаный раствор 1800 кг/м ³ , 0,03м 2. Газо- и пенобетон на цементном вяжущем 1000 кг/м ³ , 0,45м 3. Плиты минераловатные из каменного волокна 160 кг/м ³ , 0,05м 4. Цементно-песчаный раствор 1800 кг/м ³ , 0,03м	1. Линолеум поливинилхлоридный на тканевой подоснове 1400 кг/м ³ , 0,005м 2. Железобетон 2500 кг/м ³ , 0,35м	Железобетон 2500 кг/м ³ , 0,3м	1. Температура внутри помещения 21°С 2. Пол на грунте 3. Смежное помещение сверху – чердак

№ вар.	Город	№ пом	Информация о материалах			Дополнительная информация
			Стены наружные	Пол	Потолок	
3	Санкт-Петербург	1	1. Цементно-песчаный раствор 1800 кг/м ³ , 0,02м	1. Линолеум поливинилхлоридный на	Железобетон 2500 кг/м ³ , 0,3м	1. Температура внутри помещения

			2. Керамзитобетонный блок на кварцевом песке 1000 кг/м ³ , 0,4м 3. Пенополистирол 36 кг/м ³ , 0,06м 4. Силикатный кирпич 1400 кг/м ³ , 0,12м	теплоизолирующей подоснове 1600 кг/м ³ , 0,005м 2. Железобетон 2500 кг/м ³ , 0,3м		20°С 2. Смежное помещение снизу – подвал 3. Смежное помещение сверху – чердак
4	Краснодар	4	1. Цементно-песчаный раствор 1800 кг/м ³ , 0,02м 2. Керамзитобетонный блок на кварцевом песке 800 кг/м ³ , 0,4м 3. Пенополистирол 36 кг/м ³ , 0,06м 4. Силикатный кирпич 1400 кг/м ³ , 0,12м	1. Линолеум поливинилхлоридный на теплоизолирующей подоснове 1800 кг/м ³ , 0,005м 2. Железобетон 2500 кг/м ³ , 0,4м	1. Железобетон 2500 кг/м ³ , 0,3м 2. Рубероид 0,01м	1. Температура внутри помещения 22°С 2. Пол на грунте 3. Потолочное перекрытие - крыша
5	Москва	5	1. Цементно-песчаный раствор 1800 кг/м ³ , 0,02м 2. Керамзитобетонный блок на кварцевом песке 800 кг/м ³ , 0,4м 3. Пенополистирол 36 кг/м ³ , 0,06м 4. Силикатный кирпич 1400 кг/м ³ , 0,12м	1. Линолеум поливинилхлоридный на тканевой подоснове 1400 кг/м ³ , 0,005м 2. Железобетон 2500 кг/м ³ , 0,35м	Железобетон 2500 кг/м ³ , 0,3м	1. Температура внутри помещения 19°С 2. Пол на грунте 3. Смежное помещение сверху – чердак
№ вар.	Город	№ пом	Информация о материалах			Дополнительная информация
			Стены наружные	Пол	Потолок	
6	Омск	6	1. Цементно-песчаный раствор 1800 кг/м ³ , 0,025м 2. Газо- и пенобетон	1. Линолеум поливинилхлоридный на теплоизолирующей подоснове 1800 кг/м ³ ,	Железобетон 2500 кг/м ³ , 0,4м	1. Температура внутри помещения 21°С 2. Пол на лагах

			на цементном вяжущем 1000 кг/м ³ , 0,45м 3. Плиты минераловатные из каменного волокна 180 кг/м ³ , 0,06м 4. Цементно-песчаный раствор 1800 кг/м ³ , 0,03м	0,005м 2. Железобетон 2500 кг/м ³ , 0,4м 3. Воздушная прослойка 0,15м		(температура в воздушной прослойке положительная) 3. Смежное помещение сверху – чердак
7	Екатеринбург	2	1. Цементно-песчаный раствор 1800 кг/м ³ , 0,03м 2. Газо- и пенобетон на цементном вяжущем 800 кг/м ³ , 0,4м 3. Плиты минераловатные из каменного волокна 160 кг/м ³ , 0,05м 4. Цементно-песчаный раствор 1800 кг/м ³ , 0,03м	1. Линолеум поливинилхлоридный на теплоизолирующей подоснове 1600 кг/м ³ , 0,006м 2. Железобетон 2500 кг/м ³ , 0,3м	1. Железобетон 2500 кг/м ³ , 0,3м 2. Рубероид 0,01м	1. Температура внутри помещения 20°С 2. Смежное помещение снизу – подвал 3. Потолочное перекрытие - крыша

№ вар.	Город	№ пом	Информация о материалах			Дополнительная информация
			Стены наружные	Пол	Потолок	
8	Хабаровск	3	1. Цементно-песчаный раствор 1800 кг/м ³ , 0,02м 2. Керамзитобетонный блок на кварцевом песке 1000 кг/м ³ , 0,4м 3. Пенополистирол 36 кг/м ³ , 0,06м 4. Силикатный кирпич	1. Линолеум поливинилхлоридный на теплоизолирующей подоснове 1600 кг/м ³ , 0,005м 2. Железобетон 2500 кг/м ³ , 0,3м	Железобетон 2500 кг/м ³ , 0,3м	1. Температура внутри помещения 21°С 2. Смежное помещение снизу – подвал 3. Смежное помещение сверху –

			1400 кг/м ³ , 0,12м			чердак
9	Барнаул	4	1. Цементно-песчаный раствор 1800 кг/м ³ , 0,02м 2. Керамзитобетонный блок на кварцевом песке 800 кг/м ³ , 0,4м 3. Пенополистирол 36 кг/м ³ , 0,06м 4. Силикатный кирпич 1400 кг/м ³ , 0,12м	1. Линолеум поливинилхлоридный на теплоизолирующей подоснове 1800 кг/м ³ , 0,005м 2. Железобетон 2500 кг/м ³ , 0,4м	1. Железобетон 2500 кг/м ³ , 0,3м 2. Рубероид 0,01м	1. Температура внутри помещения 20°С 2. Пол на грунте 3. Потолочное перекрытие - крыша
10	Воркута	1	1. Цементно-песчаный раствор 1800 кг/м ³ , 0,02м 2. Керамзитобетонный блок на кварцевом песке 800 кг/м ³ , 0,4м 3. Пенополистирол 36 кг/м ³ , 0,06м 4. Силикатный кирпич 1400 кг/м ³ , 0,12м	1. Линолеум поливинилхлоридный на тканевой подоснове 1400 кг/м ³ , 0,005м 2. Железобетон 2500 кг/м ³ , 0,35м	Железобетон 2500 кг/м ³ , 0,3м	1. Температура внутри помещения 21°С 2. Смежное помещение снизу – подвал 3. Смежное помещение сверху – чердак

Приложение Б

Задание на термодинамический расчет парокompрессионного теплового насоса

По исходным данным, приведенным в таблице Б1, необходимо произвести термодинамический расчет парокompрессионного теплового насоса.

Таблица Б1

Исходные данные для расчета

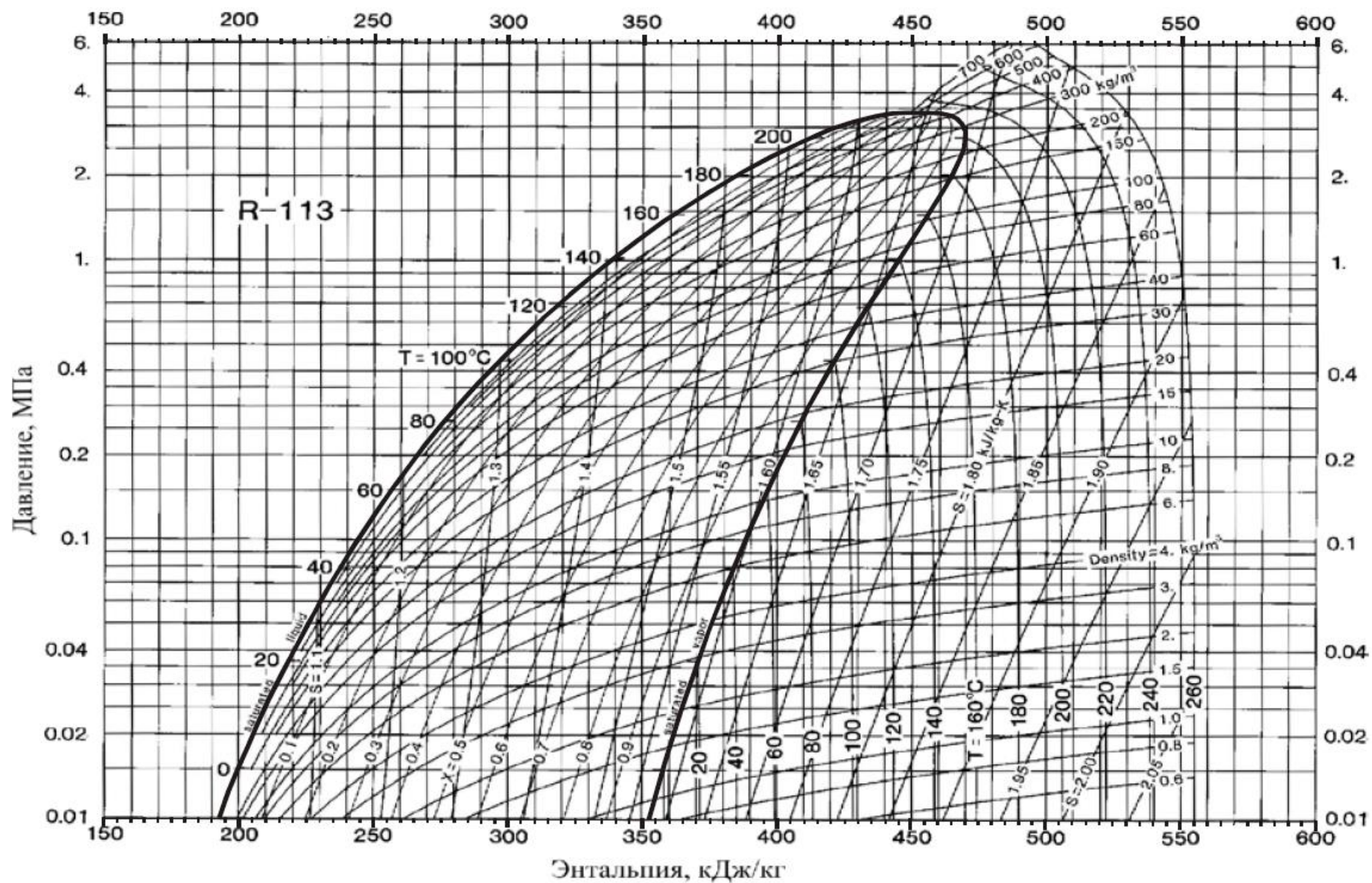
№ вар.	Температура низкопотенциального теплоносителя		Температура высокопотенциального теплоносителя		Температура окружающей среды $t_o, ^\circ\text{C}$	№ схемы	Фреон
	до ТН $t_{н1}, ^\circ\text{C}$	после ТН $t_{н2}, ^\circ\text{C}$	до ТН $t_{в1}, ^\circ\text{C}$	после ТН $t_{в2}, ^\circ\text{C}$			
1	31	16	53	68	11	3	R113
2	32	17	45	60	12	2	R134a
3	29	14	47	62	9	1	R123
4	30	15	49	64	10	2	R114
5	27	12	51	66	7	3	R134a
6	28	13	54	69	8	3	R114
7	26	11	48	63	6	2	R134a
8	33	18	50	65	13	1	R113
9	25	10	46	61	5	1	R134a
10	31	16	52	67	11	2	R113

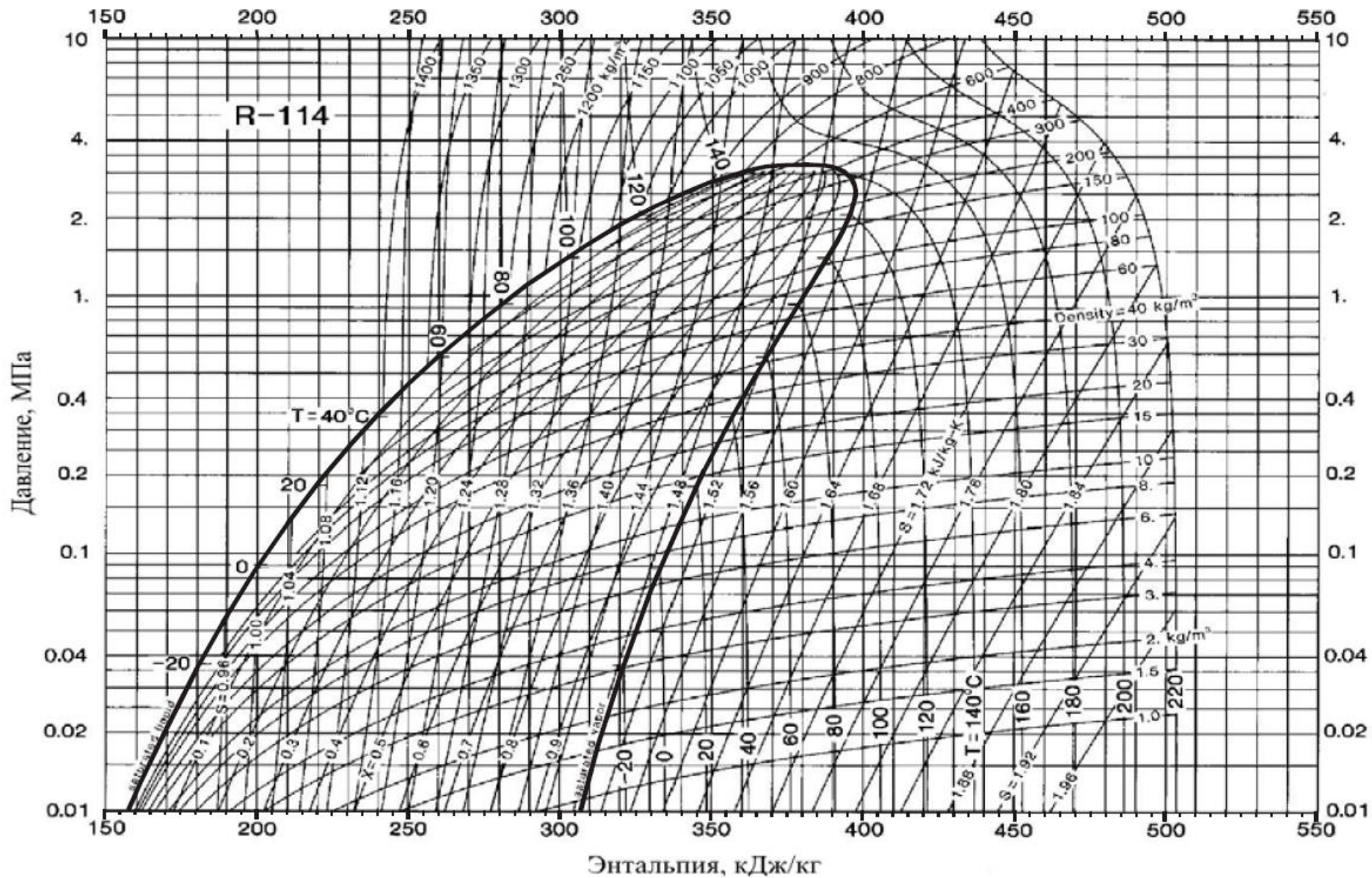
Значение тепловой нагрузки теплового насоса принять равной тепловой нагрузке помещения на систему отопления, рассчитанную по Приложению А.

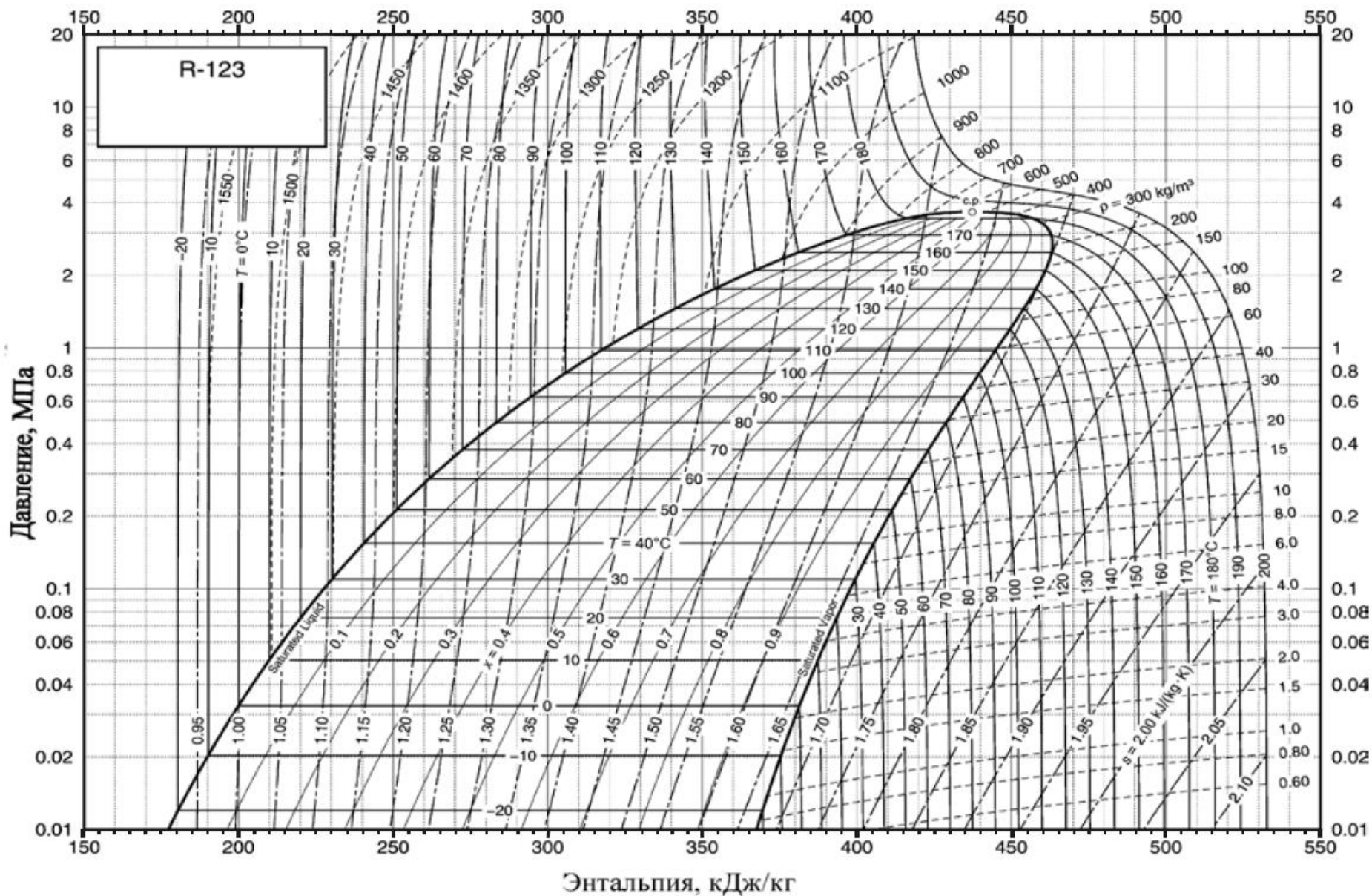
Перегрев пара в промежуточном теплообменнике принять равным $\Delta t_n = 5 ^\circ\text{C}$.

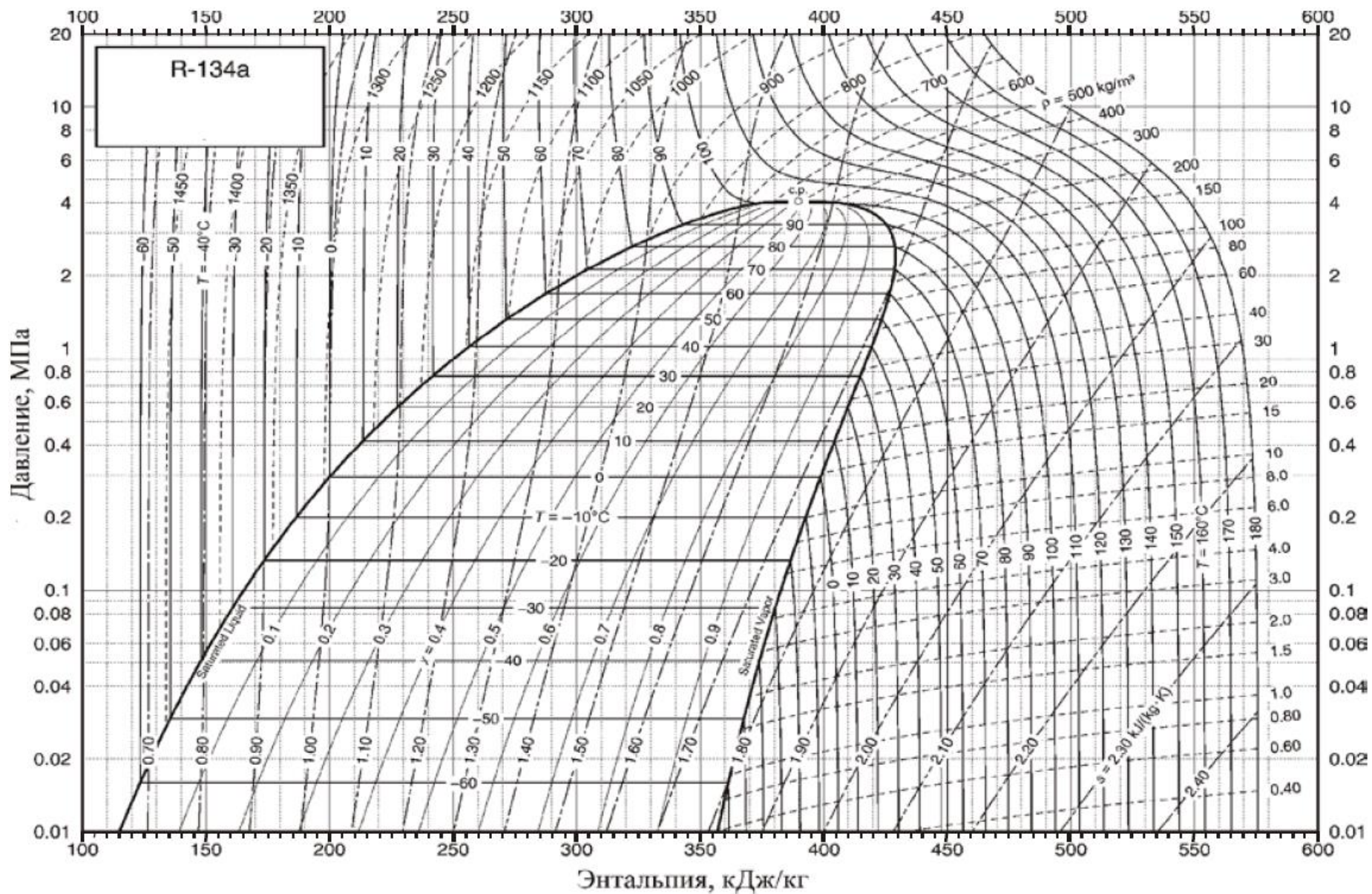
Перепад температур в испарителе, конденсаторе и переохладителе принять равными $\Delta t_u = \Delta t_k = \Delta t_{no} = 3 ^\circ\text{C}$.

Ответом на данную задачу считается построенный на $p(h)$ диаграмме цикл работы теплового насоса, заполненная таблица параметров узловых точек и предоставленный полный термодинамический расчет.









Приложение В

Выдержка из ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещении»

Таблица В.1

Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха
в обслуживаемой зоне общественных и административных зданий [3]

Период года	Наименование помещения или категория	Температура воздуха, °С		Результирующая температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
		оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая, не более	оптимальная, не более	допустимая, не более
Холодный	1	20-22	18-24	19-20	17-23	45-30	60	0,2	0,3
	2	19-21	18-23	18-20	17-22	45-30	60	0,2	0,3
	3а	20-21	19-23	19-20	19-22	45-30	60	0,2	0,3
	3б	14-16	12-17	13-15	13-16	45-30	60	0,3	0,5
	3в	18-20	16-22	17-20	15-21	45-30	60	0,2	0,3
	4	17-19	15-21	16-18	14-20	45-30	60	0,2	0,3
	5	20-22	20-24	19-21	19-23	45-30	60	0,15	0,2
	6	16-18	14-20	15-17	13-19	Не нормируется	Не нормируется	Не нормируется	Не нормируется
	Ванные, душевые	24-26	18-28	23-25	17-27	Не нормируется	Не нормируется	0,15	0,2
Теплый	Помещения с постоянным пребыванием людей	23-25	18-28	22-24	19-27	60-30	65	0,15	0,25

Приложение Г
Выдержка из СП 131.13330.2018 «Строительная климатология»

Таблица Г.1

Климатические параметры холодного периода года [4]

Республика, край, область, пункт	Температура воздуха наиболее холодных суток, °С, обеспеченностью				Температура воздуха, °С, обеспеченностью 0,94	Абсолютная минимальная температура воздуха, °С	Средняя суточная амплитуда температуры воздуха наиболее холодного месяца, °С	Продолжительность, сут, и средняя температура воздуха, °С, периода со средней суточной температурой воздуха						Средняя месячная относительная влажность воздуха наиболее холодного месяца, %	Средняя месячная относительная влажность воздуха в 15 ч наиболее холодного месяца, %	Количество осадков за ноябрь - март, мм	Преобладающее направление ветра за декабрь - февраль	Максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь, м/с	Средняя скорость ветра, м/с, за период со средней суточной температурой воздуха ≤ 8 °С
	0,9		0,9					≤ 0 °С		≤ 8 °С		≤ 10 °С							
	8	2	8	2				продолжительность	средняя температура	продолжительность	средняя температура	продолжительность	средняя температура						
	2	3	4	5				6	7	8	9	10	11						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Алтайский край																			
Республика Алтай																			
Алейск	-44	-42	-41	-38	-23	-46	9,5	164	-11,5	216	-7,8	230	-6,7	80	78	130	ЮЗ	6,8	—
Барнаул* ¹	-44	-40	-39	-36	-21	-52	9,3	163	-11,1	213	-7,5	230	-6,3	78	75	117	ЮЗ	4	3,4
Бея	-27	-26	-25	-23	-14	-35	5,9	149	-6,0	223	-2,7	242	-1,7	59	55	121	ЮВ	7	4,5
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Бийск-Зональная*	-45	-42	-41	-35	-21	-52	11,3	163	-11,3	213	-7,6	229	-6,5	78	75	182	ЮЗ	5,0	1,9
Змеиногорск*	-43	-41	-40	-36	-18	-49	11,3	159	-10,2	211	-6,7	227	-5,5	74	69	258	Ю	5,3	2,5

¹ для станций, отмеченных «*», климатические параметры рассчитаны за период наблюдений до 2010 гг.

Катанда	-43	-42	-42	-40	-28	-48	12,3	175	-14,0	237	-9,2	258	-7,8	81	79	81	С	1,8	1,7
Кош-Агач*	-46	-44	-44	-42	-34	-55	11,5	191	-17,6	256	-12,0	274	-10,7	81	80	15	В	1,5	1,7
Онгудай	-42	-41	-40	-38	-26	-46	11,1	168	-13,0	231	-8,3	249	-7,3	79	71	46	З	2,3	9,1
Родино	-44	-42	-41	-38	-23	-49	9,6	165	-11,8	215	-8,1	228	-7,0	80	79	76	ЮЗ	6,0	4,8
Рубцовск*	-43	-41	-41	-35	-21	-49	9,5	160	-11,3	206	-7,9	221	-6,7	79	76	98	Ю	7,2	4,3
Славгород*	-43	-40	-39	-36	-22	-48	9,2	163	-12,2	206	-8,8	221	-7,6	81	79	94	Ю	5,0	3,5
Тогул	-43	-41	-40	-37	-22	-48	8,6	170	-11,0	225	-7,3	240	-6,3	79	77	145	ЮЗ	—	—
Республика Коми																			
Вендинга	-46	-44	-40	-39	-21	-52	8,7	183	-9,9	257	-5,9	277	-4,8	83	83	159	Ю	3,8	3,1
Воркута	-46	-45	-43	-41	-26	-52	8,6	239	-12,8	306	-9,1	328	-7,8	81	81	178	Ю	10,1	5,8
Объячево	-41	-39	-37	-34	-20	-47	7,0	172	-8,9	239	-5,3	259	-4,2	83	83	182	Ю	—	3,8
Петрунь*	-48	-47	-45	-43	-23	-53	9,4	221	-12,7	285	-8,8	303	-7,8	80	80	154	ЮЗ	5,4	4,3
Печора*	-50	-48	-46	-43	-23	-55	8,3	205	-11,7	268	-7,9	288	-6,8	80	80	184	ЮВ	4,5	3,6
Сыктывкар*	-41	-41	-39	-36	-18	-47	7,5	173	-9,6	243	-5,6	263	-4,5	83	82	169	Ю	5	3,5
Троицко- Печорск*	-46	-46	-43	-41	-21	-51	8,2	188	-11	258	-6,9	277	-5,8	81	80	202	Ю	3,6	2,9
Усть-Уса*	-46	-44	-43	-41	-21	-53	7,9	213	-11,6	278	-7,9	299	-6,7	83	83	151	Ю	4,2	4,2
Усть- Цильма*	-45	-44	-41	-39	-20	-52	7,8	202	-10,6	270	-6,9	290	-5,8	82	82	166	В	4,8	4,1
Усть-Шугор	-53	-50	-49	-45	-25	-58	10,0	200	-12,0	268	-7,9	286	-6,8	82	82	198	Ю	5,0	3,3
Ухта	-46	-44	-41	-39	-22	-49	7,4	189	-10,4	261	-6,4	280	-5,4	83	83	161	ЮЗ	4,8	4,1
Краснодарск ий край																			
Красная Поляна	-14	-12	-11	-9	-4	-23	7,9	0		155	3,0	181	3,8	83	80	998	С	—	1,4
Краснодар*	-23	-20	-21	-14	-5	-36	7,0	41	-0,2	145	2,5	165	3,3	81	74	290	В	3,7	2,7
Приморско- Ахтарск	-27	-24	-23	-20	-14	-30	6,0	80	-1,9	159	1,0	175	1,8	85	75	232	В	—	4,3
Сочи*	-7	-5	-3	-2	3	-13	6,2	0	-	94	6,6	129	7,2	72	68	789	В	2,5	3,5
Тихорецк*	-26	-22	-21	-17	-6	-32	6,5	73	-1,7	156	1,2	172	1,9	85	78	242	В	3,9	3,6
Ленинградс кая область																			
Санкт- Петербург*	-32	-27	-28	-24	-11	-36	5,3	131	-4,6	213	-1,3	232	-0,4	86	84	202	З	3,3	2,5
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Свирица	-37	-34	-32	-29	-15	-48	7,1	152	-6,4	228	-2,9	249	-1,9	86	86	231	Ю	5,5	4,2
Тихвин*	-37	-34	-33	-29	-13	-51	7	148	-6,2	223	-2,7	243	-1,8	86	85	257	Ю	3,3	2,8
Московская																			

область																			
Дмитров	-36	-33	-32	-28	-15	-43	6,3	147	-6,5	216	-3,1	235	-2,2	84	84	183	Ю	5,2	3,8
Кашира	-36	-32	-31	-27	-16	-44	6,3	147	-6,7	212	-3,4	229	-2,5	85	85	167	3	—	5,0
Москва*	-35	-28	-29	-25	-13	-43	5,4	135	-5,5	205	-2,2	223	-1,3	83	82	225	3	2	2
Мурманская область																			
Вайда-Губа*	-23	-20	-19	-16	-9	-27	5,4	180	-3,7	287	-0,8	321	0,3	85	84	217	ЮЗ	8,8	7,1
Кандалакша*	-38	-35	-34	-30	-15	-44	8,6	190	-8,1	265	-4,6	285	-3,7	85	86	164	С	3,3	2,8
Ковдор*	-41	-38	-36	-35	-17	-44	7,9	198	-8,2	271	-4,9	293	-3,9	84	83	159	3	2,7	2,1
Краснощелье*	-42	-40	-37	-35	-17	-49	9,3	204	-8,9	279	-5,4	301	-4,3	86	86	141	3	3,6	2,6
Ловозеро	-40	-38	-33	-31	-19	-47	10,3	204	-8,5	281	-5,0	304	-4,0	85	85	114	3	3,9	3,3
Мончегорск	-40	-38	-34	-30	-18	-44	9,5	193	-7,9	271	-4,5	291	-3,6	84	84	126	Ю	5,7	4,3
Мурманск*	-35	-33	-32	-30	-14	-39	6,5	189	-6,9	275	-3,4	300	-2,4	84	84	138	Ю	5,6	4,9
Ниванкюль	-46	-40	-38	-36	-18	-45	9,0	191	-8,2	271	-4,6	292	-3,6	83	83	169	ЮЗ	—	2,5
Пулозеро	-44	-39	-40	-35	-19	-47	9,3	198	-8,3	277	-4,8	299	-3,8	84	81	129	Ю	2,5	3,0
Пялица	-32	-29	-28	-25	-16	-38	7,2	194	-6,5	298	-2,8	354	-0,9	86	86	133	ЮЗ	—	5,7
Териберка*	-26	-24	-23	-22	-11	-31	5,8	190	-5,2	282	-2,2	313	-1,1	79	79	149	Ю	9,2	7,9
Терско-Орловский	-29	-27	-24	-22	-16	-38	6,5	200	-6,3	312	-2,5	365	-0,9	87	87	134	ЮЗ	—	7,1
Умба*	-37	-34	-32	-31	-15	-40	7,1	187	-7,3	263	-4	284	-3,1	86	85	164	С	4,7	3,9
Юкспор	-31	-26	-27	-24	-18	-35	4,8	243	-8,1	340	-4,5	365	-3,7	92	91	389	ЮЗ	—	5,1
Омская область																			
Исиль-Куль	-43	-40	-39	-36	-24	-46	9,4	174	-12,3	225	-8,6	238	-7,7	82	80	78	ЮЗ	5,2	—
Омск*	-42	-40	-38	-37	-22	-49	8,6	165	-11,9	216	-8,1	232	-6,9	80	78	104	ЮЗ	2,8	2,8
Тара*	-46	-43	-41	-38	-23	-50	9,3	171	-12,4	229	-8,2	245	-7	78	78	97	Ю	3	3
Черлак*	-41	-40	-39	-37	-22	-44	8,4	164	-12,3	211	-8,7	227	-7,4	82	81	98	ЮЗ	3,4	3,1
Свердловская область																			
Верхотурье*	-45	-41	-40	-36	-20	-52	9,2	165	-10,8	233	-6,4	252	-5,3	79	78	114	3	3,1	2,5
Екатеринбург*	-41	-38	-37	-32	-18	-47	6,8	158	-9,2	221	-5,4	239	-4,3	78	75	112	3	4,1	3,2
Ивдель*	-46	-43	-42	-39	-22	-49	10,6	176	-12,2	245	-7,6	264	-6,4	78	77	114	С	2,8	1,8
Каменск-Уральский	-42	-40	-38	-35	-20	-46	8,5	166	-10,7	222	-6,9	240	-5,7	78	76	116	ЮЗ	—	3,2
Туринск	-44	-42	-40	-35	-21	-51	9,9	169	-11,7	226	-7,7	245	-6,4	80	77	106	ЮЗ	—	3,5
Шамары	-42	-40	-38	-35	-20	-51	8,0	171	-10,4	235	-6,4	254	-5,2	82	78	205	ЮЗ	—	3,2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Хабаровский																			

край																			
Аян	-33	-31	-30	-28	-24	-37	7,2	203	-11,7	278	-7,4	300	-6,2	50	47	129	С3	—	3,4
Байдуков	-37	-35	-34	-31	-27	-44	7,6	198	-12,8	255	-9,0	271	-7,9	81	80	—	С3	—	5,9
Бикин	-38	-34	-35	-32	-27	-46	12,8	159	-13,3	208	-9,1	223	-7,8	76	66	96	ЮВ	3,2	2,0
Бира	-37	-35	-34	-31	-27	-43	11,0	166	-13,4	220	-9,1	234	-7,9	70	64	85	3	—	—
Биробиджан	-38	-34	-35	-32	-28	-43	14,9	169	-14,8	219	-10,4	234	-9,2	74	65	84	3	—	—
Вяземский	-38	-34	-34	-31	-27	-48	11,9	163	-13,5	213	-9,3	227	-8,1	74	66	114	ЮЗ	4,1	—
Гвасюги	-39	-37	-37	-35	-30	-52	17,3	174	-14,9	228	-10,4	242	-9,2	77	64	128	—	—	—
Гроссевичи	-26	-25	-23	-22	-20	-36	8,7	161	-8,8	248	-4,3	270	-3,2	54	47	—	С3	—	—
Де-Кастри	-30	-29	-28	-27	-24	-39	7,8	183	-11,4	256	-6,9	276	-5,8	68	61	131	С3	—	—
Джаорэ*	-36	-32	-33	-30	-25	-42	7,7	191	-11,7	252	-7,9	268	-7	70	65	—	—	—	—
Екатерино-Никольское*	-34	-31	-32	-29	-24	-40	10,4	158	-13,2	204	-9,3	220	-8	69	63	46	С3	4,4	2,2
Комсомольск - на-Амуре	-38	-37	-37	-35	-31	-45	9,9	171	-15,4	223	-10,8	238	-9,5	79	77	93	Ю	5,7	3,9
Нижнетамбовское	-40	-38	-38	-36	-31	-53	13,7	175	-15,5	229	-10,9	244	-9,6	78	72	119	ЮЗ	—	—
Николаевск-на-Амуре*	-39	-36	-36	-33	-27	-47	8	187	-14,4	245	-10,1	261	-8,9	77	75	193	3	3,8	3,6
Облучье	-40	-39	-37	-36	-31	-46	13,1	176	-16,2	227	-11,5	241	-10,4	79	70	82	С3	—	—
Охотск*	-37	-34	-33	-32	-25	-40	5,7	207	-14,1	274	-9,6	293	-8,4	62	62	74	С	3,9	3,8
Им, Полины Осипенко*	-43	-43	-42	-40	-32	-52	13,1	179	-17,4	232	-12,5	248	-11,1	77	72	63	С	3,5	1,5
Сизиман	-30	-29	-28	-26	-23	-43	11,6	181	-10,8	263	-6,2	283	-5,1	65	53	133	3	—	3
Советская Гавань*	-28	-27	-26	-24	-21	-40	9,9	162	-10,5	234	-6	254	-4,8	65	57	153	3	4,2	3,3
Софийский Прииск*	-46	-45	-45	-44	-35	-51	14,7	206	-19,9	262	-14,7	280	-13,2	74	68	59	В	1,7	1,7
Средний Ургал	-43	-42	-41	-40	-36	-52	12,1	183	-18,4	238	-13,3	253	-11,9	76	69	57	—	—	—
Троицкое	-36	-34	-32	-31	-28	-47	8,7	166	-13,9	217	-9,7	231	-8,5	74	70	137	Ю	—	4,2
Хабаровск*	-34	-32	-32	-29	-25	-43	7,7	158	-13,6	204	-9,5	219	-8,3	74	67	81	ЮЗ	3,9	3
Чумикан	-35	-34	-34	-32	-29	-43	5,3	198	-13,8	274	-8,8	292	-7,7	73	71	—	3	10,3	6,3
Энкэн	-31	-30	-30	-28	-25	-41	6,2	206	-12,0	281	-7,7	303	-6,5	48	45	—	С3	—	4,8

Приложение Д
Выдержка из СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»

Таблица Д.1

Коэффициенты теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции [5]

Внутренняя поверхность ограждения	Коэффициент теплоотдачи $\alpha_{в}, \text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°C}$
1. Стен, полов, гладких потолков, потолков с выступающими ребрами при отношении высоты h ребер к расстоянию a , между гранями соседних ребер $h/a \leq 0,3$	8,7
2. Потолков с выступающими ребрами при отношении $h/a > 0,3$	7,6
3. Окон	8,0
4. Зенитных фонарей	9,9
Примечание - Коэффициент теплоотдачи $\alpha_{в}$ внутренней поверхности ограждающих конструкций животноводческих и птицеводческих зданий следует принимать в соответствии с СП 106.13330.	

Таблица Д.2

Коэффициенты теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции [5]

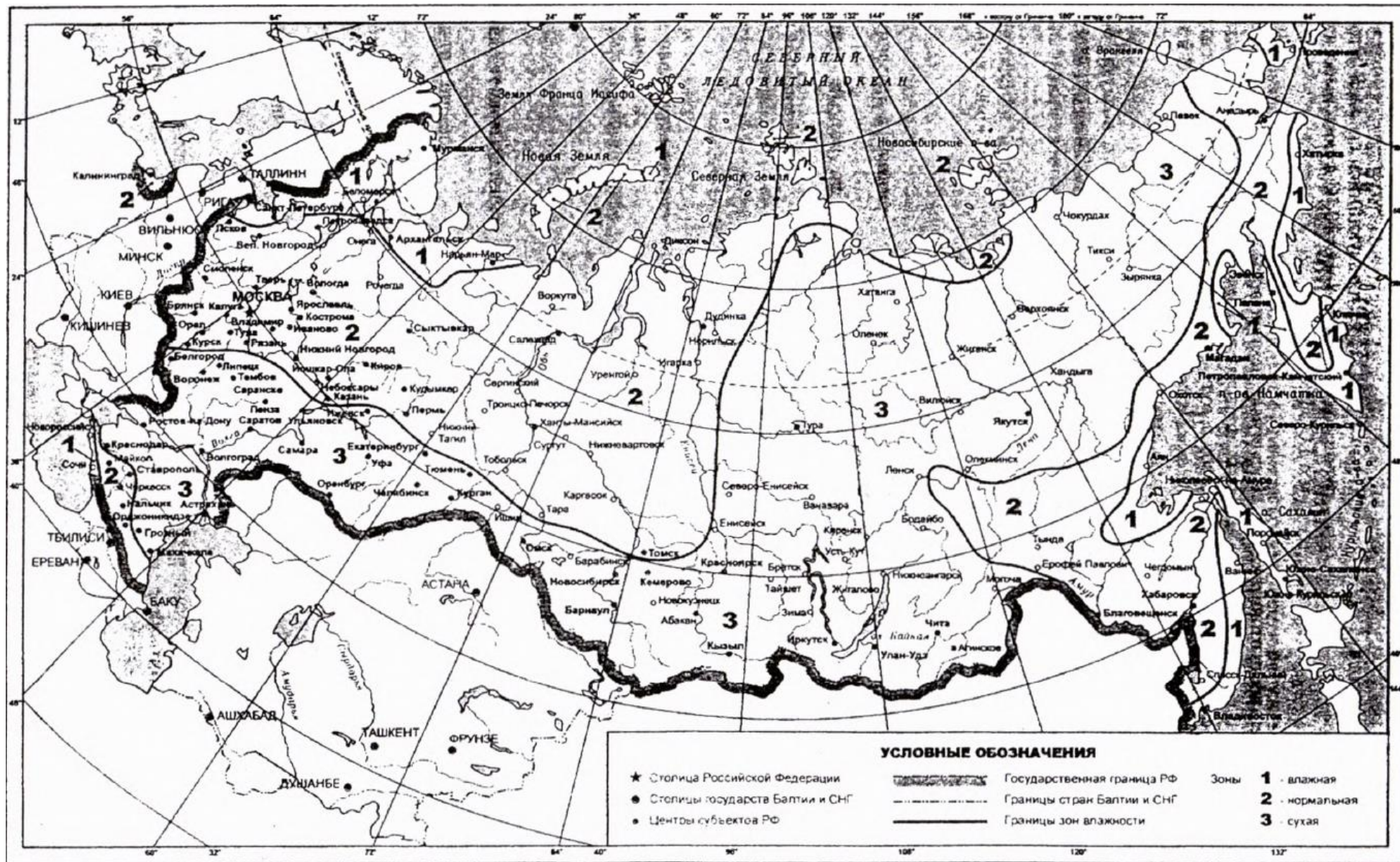
Наружная поверхность ограждающих конструкций		Коэффициент теплоотдачи для зимних условий, $\alpha_{в}, \text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°C}$
1	Наружных стен, покрытий, перекрытий над проездами и над холодными (без ограждающих стенок) подпольями в Северной строительной-климатической зоне.	23
2.	Перекрытий над холодными подвалами, сообщающимися с наружным воздухом, перекрытий над холодными (с ограждающими стенками) подпольями и холодными этажами в Северной строительной-климатической зоне.	17
3.	Перекрытий чердачных и над неотапливаемыми подвалами со световыми проемами в стенах, а также наружных стен с воздушной прослойкой, вентилируемой наружным воздухом.	12
4.	Перекрытий над неотапливаемыми подвалами и техническими, подпольями не вентилируемых наружным воздухом.	6

Приложение Е
Выдержка из СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»

Таблица Е.1

Условия эксплуатации ограждающих конструкций [5]

Влажностный режим помещений зданий	Условия эксплуатации А и Б в зоне влажности		
	сухой	нормальной	Влажной
Сухой	А	А	Б
Нормальный	А	Б	Б
Влажный или мокрый	Б	Б	Б



Приложение Ж
Выдержка из СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»

Таблица Ж.1

Расчетные теплотехнические показатели строительных материалов и изделий [5]

№ п.п.	Материал	Характеристики материалов в сухом состоянии			Расчетные характеристики материалов при условиях эксплуатации конструкций А и Б							
		плотность ρ_0 , кг/м ³	удельная теплоемкость c_0 , кДж/(кг·°С)	теплопроводность λ_0 , Вт/(м·°С)	влажность ω , %		теплопроводность λ , Вт/(м·°С)		теплоусвоение (при периоде 24 ч) s , Вт/(м ² ·°С)		Паропроницаемость μ , мг/(м·ч·Па)	
					А	Б	А	Б	А	Б		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Теплоизоляционные материалы												
1	Плиты из пенополистирола	До 10	1,34	0,049	2	10	0,052	0,059	0,23	0,28	0,05	
2	То же	10-12	1,34	0,041	2	10	0,044	0,050	0,23	0,28	0,05	
3	То же	12-14	1,34	0,040	2	10	0,043	0,049	0,25	0,30	0,05	
4	То же	14-15	1,34	0,039	2	10	0,042	0,048	0,26	0,30	0,05	
5	То же	15-17	1,34	0,038	2	10	0,041	0,047	0,27	0,32	0,05	
6	То же	17-20	1,34	0,037	2	10	0,040	0,046	0,29	0,34	0,05	
7	То же	20-25	1,34	0,036	2	10	0,038	0,044	0,31	0,38	0,05	
8	То же	25-30	1,34	0,036	2	10	0,038	0,044	0,34	0,41	0,05	
9	То же	30-35	1,34	0,037	2	10	0,040	0,046	0,38	0,45	0,05	
10	То же	35-38	1,34	0,037	2	10	0,040	0,046	0,38	0,45	0,05	
11	Плиты из пенополистирола фасадные	16,5-20	1,34	0,037	2	10	0,040	0,045	0,29	0,34	0,05	
12	Плиты из пенополистирола с графитовыми добавками	15-20	1,34	0,033	2	10	0,035	0,040	0,27	0,32	0,05	
13	Плиты из пенополистирола с графитовыми добавками	20-25	1,34	0,032	2	10	0,034	0,039	0,30	0,35	0,05	

№ п.п.	Материал	Характеристики материалов в сухом состоянии			Расчетные характеристики материалов при условиях эксплуатации конструкций А и Б							
		плотность ρ_0 , кг/м ³	удельная теплоемкость c_0 , кДж/(кг·°С)	теплопроводность λ_0 , Вт/(м·°С)	влажность ω , %		теплопроводность λ , Вт/(м·°С)		теплоусвоение (при периоде 24 ч) s , Вт/(м ² ·°С)		Паропроницаемость μ , мг/(м·ч·Па)	
					А	Б	А	Б	А	Б	А, Б	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
14	Экструдированный пенополистирол	25-33	1,34	0,029	1	2	0,030	0,031	0,30	0,31	0,005	
15	То же	35-45	1,34	0,030	1	2	0,031	0,032	0,35	0,36	0,005	
16	Пенополиуретан	80	1,47	0,041	2	5	0,042	0,05	0,62	0,70	0,05	
17	То же	60	1,47	0,035	2	5	0,036	0,041	0,49	0,55	0,05	
18	То же	40	1,47	0,029	2	5	0,031	0,04	0,37	0,44	0,05	
19	Плиты из резольно-фенолформальдегидного пенопласта	90	1,68	0,045	5	20	0,053	0,073	0,81	1,10	0,15	
20	То же	80	1,68	0,044	5	20	0,051	0,071	0,75	1,02	0,23	
21	То же	50	1,68	0,041	5	20	0,045	0,064	0,56	0,77	0,23	
22	Перлитопластбетон	200	1,05	0,041	2	3	0,052	0,06	0,93	1,01	0,008	
23	То же	100	1,05	0,035	2	3	0,041	0,05	0,58	0,66	0,008	
24	Перлитофосфогелевые изделия	300	1,05	0,076	3	12	0,08	0,12	1,43	2,02	0,2	
25	Перлитофосфогелевые изделия	200	1,05	0,064	3	12	0,07	0,09	1,1	1,43	0,23	
26	Теплоизоляционные изделия из вспененного синтетического каучука	60-95	1,806	0,034	5	15	0,04	0,054	0,65	0,71	0,003	
27	Плиты минераловатные из каменного волокна	180	0,84	0,038	2	5	0,045	0,048	0,74	0,81	0,3	
28	То же	140-175	0,84	0,037	2	5	0,043	0,046	0,68	0,75	0,31	
29	То же	80-125	0,84	0,036	2	5	0,042	0,045	0,53	0,59	0,32	
30	То же	40-60	0,84	0,035	2	5	0,041	0,044	0,37	0,41	0,35	

№ п.п.	Материал	Характеристики материалов в сухом состоянии			Расчетные характеристики материалов при условиях эксплуатации конструкций А и Б						
		плотность ρ_0 , кг/м ³	удельная теплоемкость c_0 , кДж/(кг·°С)	теплопроводность λ_0 , Вт/(м·°С)	влажность ω , %		теплопроводность λ , Вт/(м·°С)		теплоусвоение (при периоде 24 ч) s , Вт/(м ² ·°С)		Паропроницаемость μ , мг/(м·ч·Па)
					А	Б	А	Б	А	Б	А, Б
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
31	То же	25-50	0,84	0,036	2	5	0,042	0,045	0,31	0,35	0,37
32	Плиты из стеклянного штапельного волокна	85	0,84	0,044	2	5	0,046	0,05	0,51	0,57	0,5
33	То же	75	0,84	0,04	2	5	0,042	0,047	0,46	0,52	0,5
34	То же	60	0,84	0,038	2	5	0,04	0,045	0,4	0,45	0,51
35	То же	45	0,84	0,039	2	5	0,041	0,045	0,35	0,39	0,51
36	То же	35	0,84	0,039	2	5	0,041	0,046	0,31	0,35	0,52
37	То же	30	0,84	0,04	2	5	0,042	0,046	0,29	0,32	0,52
38	То же	20	0,84	0,04	2	5	0,043	0,048	0,24	0,27	0,53
39	То же	17	0,84	0,044	2	5	0,047	0,053	0,23	0,26	0,54
40	То же	15	0,84	0,046	2	5	0,049	0,055	0,22	0,25	0,55
41	Плиты древесно-волокнистые и древесно-стружечные	1000	2,3	0,15	10	12	0,23	0,29	6,75	7,7	0,12
42	То же	800	2,3	0,13	10	12	0,19	0,23	5,49	6,13	0,12
43	То же	600	2,3	0,11	10	12	0,13	0,16	3,93	4,43	0,13
44	То же	400	2,3	0,08	10	12	0,11	0,13	2,95	3,26	0,19
45	То же	200	2,3	0,06	10	12	0,07	0,08	1,67	1,81	0,24
46	Плиты фибролитовые и арболит на портландцементе	500	2,3	0,095	10	15	0,15	0,19	3,86	4,50	0,11
47	То же	450	2,3	0,09	10	15	0,135	0,17	3,47	4,04	0,11
48	То же	400	2,3	0,08	10	15	0,13	0,16	3,21	3,70	0,26
49	Плиты камышитовые	300	2,3	0,07	10	15	0,09	0,14	2,31	2,99	0,45
50	То же	200	2,3	0,06	10	15	0,07	0,09	1,67	1,96	0,49

№ п.п.	Материал	Характеристики материалов в сухом состоянии			Расчетные характеристики материалов при условиях эксплуатации конструкций А и Б							
		плотность ρ_0 , кг/м ³	удельная теплоемкость c_0 , кДж/(кг·°С)	теплопроводность λ_0 , Вт/(м·°С)	влажность ω , %		теплопроводность λ , Вт/(м·°С)		теплоусвоение (при периоде 24 ч) s , Вт/(м ² ·°С)		Паропроницаемость μ , мг/(м·ч·Па)	
					А	Б	А	Б	А	Б	А, Б	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
51	Плиты торфяные теплоизоляционные	300	2,3	0,064	15	20	0,07	0,08	2,12	2,34	0,19	
52	То же	200	2,3	0,052	15	20	0,06	0,064	1,6	1,71	0,49	
53	Пакля	150	2,3	0,05	7	12	0,06	0,07	1,3	1,47	0,49	
54	Плиты из гипса	1350	0,84	0,35	4	6	0,50	0,56	7,04	7,76	0,098	
55	То же	1100	0,84	0,23	4	6	0,35	0,41	5,32	5,99	0,11	
56	Листы гипсовые обшивочные (сухая штукатурка)	1050	0,84	0,15	4	6	0,34	0,36	5,12	5,48	0,075	
57	То же	800	0,84	0,15	4	6	0,19	0,21	3,34	3,66	0,075	
58	Изделия из вспученного перлита на битумном связующем	300	1,68	0,087	1	2	0,09	0,099	1,84	1,95	0,04	
59	То же	250	1,68	0,082	1	2	0,085	0,099	1,53	1,64	0,04	
60	То же	225	1,68	0,079	1	2	0,082	0,094	1,39	1,47	0,04	
61	То же	200	1,68	0,076	1	2	0,078	0,09	1,23	1,32	0,04	
Засыпки												
62	Гравий керамзитовый	600	0,84	0,14	2	3	0,17	0,19	2,62	2,83	0,23	
63	То же	500	0,84	0,14	2	3	0,15	0,165	2,25	2,41	0,23	
64	То же	450	0,84	0,13	2	3	0,14	0,155	2,06	2,22	0,235	
65	То же	400	0,84	0,12	2	3	0,13	0,145	1,87	2,02	0,24	
66	То же	350	0,84	0,115	2	3	0,125	0,14	1,72	1,86	0,245	
67	То же	300	0,84	0,108	2	3	0,12	0,13	1,56	1,66	0,25	
68	То же	250	0,84	0,099	2	3	0,11	0,12	1,22	1,3	0,26	
69	То же	200	0,84	0,090	2	3	0,10	0,11	1,16	1,24	0,27	

№ п.п.	Материал	Характеристики материалов в сухом состоянии			Расчетные характеристики материалов при условиях эксплуатации конструкций А и Б						
		плотность ρ_0 , кг/м ³	удельная теплоемкость c_0 , кДж/(кг·°С)	теплопроводность λ_0 , Вт/(м·°С)	влажность ω , %		теплопроводность λ , Вт/(м·°С)		теплоусвоение (при периоде 24 ч) s , Вт/(м ² ·°С)		Паропроницаемость μ , мг/(м·ч·Па)
					А	Б	А	Б	А	Б	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
70	Гравий шунгзитовый (ГОСТ 9757)	700	0,84	0,16	2	4	0,18	0,21	2,91	3,29	0,21
71	То же	600	0,84	0,13	2	4	0,16	0,19	2,54	2,89	0,22
72	То же	500	0,84	0,12	2	4	0,15	0,175	2,25	2,54	0,22
73	То же	450	0,84	0,11	2	4	0,14	0,16	2,06	2,30	0,22
74	То же	400	0,84	0,11	2	4	0,13	0,15	1,87	2,10	0,23
75	Щебень шлакопемзовый и аглопоритовый (ГОСТ 9757)	800	0,84	0,18	2	3	0,21	0,26	3,36	3,83	0,22
76	То же	700	0,84	0,16	2	3	0,19	0,23	2,99	3,37	0,23
77	То же	600	0,84	0,15	2	3	0,18	0,21	2,7	2,98	0,24
78	То же	500	0,84	0,14	2	3	0,16	0,19	2,32	2,59	0,25
79	То же	450	0,84	0,13	2	3	0,15	0,17	2,13	2,32	0,255
80	То же	400	0,84	0,122	2	3	0,14	0,16	1,94	2,12	0,26
81	Пористый гравий с остеклованной оболочкой из доменного и ферросплавного шлаков (ГОСТ 25820)	700	0,84	0,14	2	3	0,17	0,19	2,84	3,06	0,22
82	То же	600	0,84	0,13	2	3	0,16	0,18	2,54	2,76	0,235
83	То же	500	0,84	0,12	2	3	0,14	0,15	2,17	2,30	0,24
84	То же	400	0,84	0,10	2	3	0,13	0,14	1,87	1,98	0,245
85	Щебень и песок из перлита вспученного (ГОСТ 10832)	500	0,84	0,09	1	2	0,1	0,11	1,79	1,92	0,26

№ п.п.	Материал	Характеристики материалов в сухом состоянии			Расчетные характеристики материалов при условиях эксплуатации конструкций А и Б							
		плотность ρ_0 , кг/м ³	удельная теплоемкость c_0 , кДж/(кг·°С)	теплопроводность λ_0 , Вт/(м·°С)	влажность ω , %		теплопроводность λ , Вт/(м·°С)		теплоусвоение (при периоде 24 ч) s , Вт/(м ² ·°С)		Паропроницаемость μ , мг/(м·ч·Па)	
					А	Б	А	Б	А	Б	А, Б	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
86	То же	400	0,84	0,076	1	2	0,087	0,095	1,5	1,6	0,3	
87	То же	350	0,84	0,07	1	2	0,081	0,085	1,35	1,42	0,3	
88	То же	300	0,84	0,064	1	2	0,076	0,08	0,99	1,04	0,34	
89	Вермикулит вспученный (ГОСТ 12865)	200	0,84	0,065	1	3	0,08	0,095	1,01	1,16	0,23	
90	То же	150	0,84	0,060	1	3	0,074	0,098	0,84	1,02	0,26	
91	То же	100	0,84	0,055	1	3	0,067	0,08	0,66	0,75	0,3	
92	Песок для строительных работ (ГОСТ 8736)	1600	0,84	0,35	1	2	0,47	0,58	6,95	7,91	0,17	
Конструкционные и конструкционно-теплоизоляционные материалы												
Бетоны на заполнителях из пористых горных пород												
93	Туфобетон	1800	0,84	0,64	7	10	0,87	0,99	11,38	12,79	0,09	
94	То же	1600	0,84	0,52	7	10	0,7	0,81	9,62	10,91	0,11	
95	То же	1400	0,84	0,41	7	10	0,52	0,58	7,76	8,63	0,11	
96	То же	1200	0,84	0,32	7	10	0,41	0,47	6,38	7,2	0,12	
97	Бетон на литоидной пемзе	1600	0,84	0,52	4	6	0,62	0,68	8,54	9,3	0,075	
98	То же	1400	0,84	0,42	4	6	0,49	0,54	7,1	7,76	0,083	
99	То же	1200	0,84	0,30	4	6	0,4	0,43	5,94	6,41	0,098	
100	То же	1000	0,84	0,22	4	6	0,3	0,34	4,69	5,2	0,11	
101	То же	800	0,84	0,19	4	6	0,22	0,26	3,6	4,07	0,12	
102	Бетон на вулканическом шлаке	1600	0,84	0,52	7	10	0,64	0,7	9,2	10,14	0,075	
103	То же	1400	0,84	0,41	7	10	0,52	0,58	7,76	8,63	0,083	
104	То же	1200	0,84	0,33	7	10	0,41	0,47	6,38	7,2	0,09	

№ п.п.	Материал	Характеристики материалов в сухом состоянии			Расчетные характеристики материалов при условиях эксплуатации конструкций А и Б							
		плотность ρ_0 , кг/м ³	удельная теплоемкость c_0 , кДж/(кг·°С)	теплопроводность λ_0 , Вт/(м·°С)	влажность ω , %		теплопроводность λ , Вт/(м·°С)		теплоусвоение (при периоде 24 ч) s , Вт/(м ² ·°С)		Паропроницаемость μ , мг/(м·ч·Па)	
					А	Б	А	Б	А	Б	А, Б	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
105	То же	1000	0,84	0,24	7	10	0,29	0,35	4,9	5,67	0,098	
106	То же	800	0,84	0,20	7	10	0,23	0,29	3,9	4,61	0,11	
Бетоны на искусственных пористых заполнителях												
107	Керамзитобетон на керамзитовом песке	1800	0,84	0,66	5	10	0,80	0,92	10,5	12,33	0,09	
108	То же	1600	0,84	0,58	5	10	0,67	0,79	9,06	10,77	0,09	
109	То же	1400	0,84	0,47	5	10	0,56	0,65	7,75	9,14	0,098	
110	То же	1200	0,84	0,36	5	10	0,44	0,52	6,36	7,57	0,11	
111	То же	1000	0,84	0,27	5	10	0,33	0,41	5,03	6,13	0,14	
112	То же	800	0,84	0,21	5	10	0,24	0,31	3,83	4,77	0,19	
113	То же	600	0,84	0,16	5	10	0,2	0,26	3,03	3,78	0,26	
114	То же	500	0,84	0,14	5	10	0,17	0,23	2,55	3,25	0,3	
115	Керамзитобетон на кварцевом песке с умеренной (до $V_B=12\%$) поризацией	1200	0,84	0,41	4	8	0,52	0,58	6,77	7,72	0,075	
116	То же	1000	0,84	0,33	4	8	0,41	0,47	5,49	6,35	0,075	
117	То же	800	0,84	0,23	4	8	0,29	0,35	4,13	4,9	0,075	
118	Керамзитобетон на перлитовом песке	1000	0,84	0,28	9	13	0,35	0,41	5,57	6,43	0,15	
119	То же	800	0,84	0,22	9	13	0,29	0,35	4,54	5,32	0,17	
120	Керамзитобетон беспесчаный	700	0,84	0,135	3,5	6	0,145	0,155	2,70	2,94	0,145	
121	То же	600	0,84	0,130	3,5	6	0,140	0,150	2,46	2,68	0,155	

№ п.п.	Материал	Характеристики материалов в сухом состоянии			Расчетные характеристики материалов при условиях эксплуатации конструкций А и Б							
		плотность ρ_0 , кг/м ³	удельная теплоемкость c_0 , кДж/(кг·°С)	теплопроводность λ_0 , Вт/(м·°С)	влажность ω , %		теплопроводность λ , Вт/(м·°С)		теплоусвоение (при периоде 24 ч) s , Вт/(м ² ·°С)		Паропроницаемость μ , мг/(м·ч·Па)	
					А	Б	А	Б	А	Б	А, Б	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
122	То же	500	0,84	0,120	3,5	6	0,130	0,140	2,16	2,36	0,165	
123	То же	400	0,84	0,105	3,5	6	0,115	0,125	1,82	1,99	0,175	
124	То же	300	0,84	0,095	3,5	6	0,105	0,110	1,51	1,62	0,195	
125	Шунгзитобетон	1400	0,84	0,49	4	7	0,56	0,64	7,59	8,6	0,098	
126	То же	1200	0,84	0,36	4	7	0,44	0,5	6,23	7,04	0,11	
127	То же	1000	0,84	0,27	4	7	0,33	0,38	4,92	5,6	0,14	
128	Перлитобетон	1200	0,84	0,29	10	15	0,44	0,5	6,96	8,01	0,15	
129	То же	1000	0,84	0,22	10	15	0,33	0,38	5,5	6,38	0,19	
130	То же	800	0,84	0,16	10	15	0,27	0,33	4,45	5,32	0,26	
131	То же	600	0,84	0,12	10	15	0,19	0,23	3,24	3,84	0,3	
132	Бетон на шлакопемзовом щебне	1800	0,84	0,52	5	8	0,63	0,76	9,32	10,83	0,075	
133	То же	1600	0,84	0,41	5	8	0,52	0,63	7,98	9,29	0,09	
134	То же	1400	0,84	0,35	5	8	0,44	0,52	6,87	7,9	0,098	
135	То же	1200	0,84	0,29	5	8	0,37	0,44	5,83	6,73	0,11	
136	То же	1000	0,84	0,23	5	8	0,31	0,37	4,87	5,63	0,11	
137	Бетон на остеклованном шлаковом гравии	1800	0,84	0,46	4	6	0,56	0,67	8,60	9,80	0,08	
138	То же	1600	0,84	0,37	4	6	0,46	0,55	7,35	8,37	0,085	
139	То же	1400	0,84	0,31	4	6	0,38	0,46	6,25	7,16	0,09	
140	То же	1200	0,84	0,26	4	6	0,32	0,39	5,31	6,10	0,10	
141	То же	1000	0,84	0,21	4	6	0,27	0,33	4,45	5,12	0,11	
142	Мелкозернистые бетоны на гранулированных доменных и	1800	0,84	0,58	5	8	0,7	0,81	9,82	11,18	0,083	

№ п.п.	Материал	Характеристики материалов в сухом состоянии			Расчетные характеристики материалов при условиях эксплуатации конструкций А и Б							
		плотность ρ_0 , кг/м ³	удельная теплоемкость c_0 , кДж/(кг·°С)	теплопроводность λ_0 , Вт/(м·°С)	влажность ω , %		теплопроводность λ , Вт/(м·°С)		теплоусвоение (при периоде 24 ч) s , Вт/(м ² ·°С)		Паропроницаемость μ , мг/(м·ч·Па)	
					А	Б	А	Б	А	Б	А, Б	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
	ферросплавных (силикомарганца и ферромарганца) шлаках											
143	То же	1600	0,84	0,47	5	8	0,58	0,64	8,43	9,37	0,09	
144	То же	1400	0,84	0,41	5	8	0,52	0,58	7,46	8,34	0,098	
145	То же	1200	0,84	0,36	5	8	0,49	0,52	6,57	7,31	0,11	
146	Аглопоритобетон и бетоны на заполнителях из топливных шлаков	1800	0,84	0,7	5	8	0,85	0,93	10,82	11,98	0,075	
147	То же	1600	0,84	0,58	5	8	0,72	0,78	9,39	10,34	0,083	
148	То же	1400	0,84	0,47	5	8	0,59	0,65	7,92	8,83	0,09	
149	То же	1200	0,84	0,35	5	8	0,48	0,54	6,64	7,45	0,11	
150	То же	1000	0,84	0,29	5	8	0,38	0,44	5,39	6,14	0,14	
151	Бетон на зольном обжиге и безобжиге гравии	1400	0,84	0,47	5	8	0,52	0,58	7,46	8,34	0,09	
152	То же	1200	0,84	0,35	5	8	0,41	0,47	6,14	6,95	0,11	
153	То же	1000	0,84	0,24	5	8	0,3	0,35	4,79	5,48	0,12	
154	Вермикулитобетон	800	0,84	0,21	8	13	0,23	0,26	3,97	4,58	-	
155	То же	600	0,84	0,14	8	13	0,16	0,17	2,87	3,21	0,15	
156	То же	400	0,84	0,09	8	13	0,11	0,13	1,94	2,29	0,19	
157	То же	300	0,84	0,08	8	13	0,09	0,11	1,52	1,83	0,23	
Бетоны особо легкие на пористых заполнителях и ячеистые												
158	Полистиролбетон на портландцементе (ГОСТ	600	1,06	0,145	4	8	0,175	0,20	3,07	3,49	0,068	

№ п.п.	Материал	Характеристики материалов в сухом состоянии			Расчетные характеристики материалов при условиях эксплуатации конструкций А и Б							
		плотность ρ_0 , кг/м ³	удельная теплоемкость c_0 , кДж/(кг·°С)	теплопроводность λ_0 , Вт/(м·°С)	влажность ω , %		теплопроводность λ , Вт/(м·°С)		теплоусвоение (при периоде 24 ч) s , Вт/(м ² ·°С)		Паропроницаемость μ , мг/(м·ч·Па)	
					А	Б	А	Б	А	Б		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
	Р 51263)											
159	То же	500	1,06	0,125	4	8	0,14	0,16	2,5	2,85	0,075	
160	То же	400	1,06	0,105	4	8	0,12	0,135	2,07	2,34	0,085	
161	То же	350	1,06	0,095	4	8	0,11	0,12	1,85	2,06	0,09	
162	То же	300	1,06	0,085	4	8	0,09	0,11	1,55	1,83	0,10	
163	То же	250	1,06	0,075	4	8	0,085	0,09	1,38	1,51	0,11	
164	То же	200	1,06	0,065	4	8	0,07	0,08	1,12	1,28	0,12	
165	То же	150	1,06	0,055	4	8	0,057	0,06	0,87	0,96	0,135	
166	Полистиролбетон модифицированный на шлакопортландцементе	500	1,06	0,12	3,5	7	0,13	0,14	2,39	2,63	0,075	
167	То же	400	1,06	0,09	3,5	7	0,10	0,11	1,87	1,98	0,08	
168	То же	300	1,06	0,08	3,5	7	0,08	0,09	1,45	1,63	0,10	
169	То же	250	1,06	0,07	3,5	7	0,07	0,08	1,24	1,40	0,11	
170	То же	200	1,06	0,06	3,5	7	0,06	0,07	1,02	1,09	0,12	
171	Газо- и пенобетон на цементном вяжущем	1000	0,84	0,29	8	12	0,38	0,43	5,71	6,49	0,11	
172	То же	800	0,84	0,21	8	12	0,33	0,37	4,92	5,63	0,14	
173	То же	600	0,84	0,14	8	12	0,22	0,26	3,36	3,91	0,17	
174	То же	400	0,84	0,11	8	12	0,14	0,15	2,19	2,42	0,23	
175	Газо- и пенобетон на известняковом вяжущем	1000	0,84	0,31	12	18	0,48	0,55	6,83	7,98	0,13	
176	То же	800	0,84	0,23	11	16	0,39	0,45	6,07	7,03	0,16	
177	То же	600	0,84	0,15	11	16	0,28	0,34	5,15	6,11	0,18	
178	То же	500	0,84	0,13	11	16	0,22	0,28	4,56	5,55	0,235	

№ п.п.	Материал	Характеристики материалов в сухом состоянии			Расчетные характеристики материалов при условиях эксплуатации конструкций А и Б							
		плотность ρ_0 , кг/м ³	удельная теплоемкость c_0 , кДж/(кг·°С)	теплопроводность λ_0 , Вт/(м·°С)	влажность ω , %		теплопроводность λ , Вт/(м·°С)		теплоусвоение (при периоде 24 ч) s , Вт/(м ² ·°С)		Паропроницаемость μ , мг/(м·ч·Па)	
					А	Б	А	Б	А	Б		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
179	Газо- и пенозолобетон на цементном вяжущем	1200	0,84	0,37	15	22	0,60	0,66	7,99	9,18	0,085	
180	То же	1000	0,84	0,32	15	22	0,52	0,58	7,43	8,62	0,098	
181	То же	800	0,84	0,23	15	22	0,41	0,47	6,61	7,60	0,12	
Кирпичная кладка из сплошного кирпича												
182	Глиняного обыкновенного на цементно-песчаном растворе	1800	0,88	0,56	1	2	0,7	0,81	9,2	10,12	0,11	
183	Глиняного обыкновенного на цементно-шлаковом растворе	1700	0,88	0,52	1,5	3	0,64	0,76	8,64	9,7	0,12	
184	Глиняного обыкновенного на цементно-перлитовом растворе	1600	0,88	0,47	2	4	0,58	0,7	8,08	9,23	0,15	
185	Силикатного на цементно-песчаном растворе	1800	0,88	0,7	2	4	0,76	0,87	9,77	10,9	0,11	
186	Трепельного на цементно-песчаном растворе	1200	0,88	0,35	2	4	0,47	0,52	6,26	6,49	0,19	
187	То же	1000	0,88	0,29	2	4	0,41	0,47	5,35	5,96	0,23	
188	Шлакового на цементно-	1500	0,88	0,52	1,5	3	0,64	0,7	8,12	8,76	0,11	

№ п.п.	Материал	Характеристики материалов в сухом состоянии			Расчетные характеристики материалов при условиях эксплуатации конструкций А и Б							
		плотность ρ_0 , кг/м ³	удельная теплоемкость c_0 , кДж/(кг·°С)	теплопроводность λ_0 , Вт/(м·°С)	влажность ω , %		теплопроводность λ , Вт/(м·°С)		теплоусвоение (при периоде 24 ч) s , Вт/(м ² ·°С)		Паропроницаемость μ , мг/(м·ч·Па)	
					А	Б	А	Б	А	Б		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
	песчаном растворе											
Кирпичная кладка из пустотного кирпича												
189	Керамического пустотного плотностью 1400 кг/м ³ (брутто) на цементно-песчаном растворе	1600	0,88	0,47	1	2	0,58	0,64	7,91	8,48	0,14	
190	Керамического пустотного плотностью 1300 кг/м ³ (брутто) на цементно-песчаном растворе	1400	0,88	0,41	1	2	0,52	0,58	7,01	7,56	0,16	
191	Керамического пустотного плотностью 1000 кг/м ³ (брутто) на цементно-песчаном растворе	1200	0,88	0,35	1	2	0,47	0,52	6,16	6,62	0,17	
192	Силикатного одиннадцатипустотного на цементно-песчаном растворе	1500	0,88	0,64	2	4	0,7	0,81	8,59	9,63	0,13	
193	Силикатного четырнадцатипустотного на цементно-песчаном растворе	1400	0,88	0,52	2	4	0,64	0,76	7,93	9,01	0,14	

№ п.п.	Материал	Характеристики материалов в сухом состоянии			Расчетные характеристики материалов при условиях эксплуатации конструкций А и Б							
		плотность ρ_0 , кг/м ³	удельная теплоемкость c_0 , кДж/(кг·°С)	теплопроводность λ_0 , Вт/(м·°С)	влажность ω , %		теплопроводность λ , Вт/(м·°С)		теплоусвоение (при периоде 24 ч) s , Вт/(м ² ·°С)		Паропроницаемость μ , мг/(м·ч·Па)	
					А	Б	А	Б	А	Б		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Дерево и изделия из него												
194	Сосна и ель поперек волокон	500	2,3	0,09	15	20	0,14	0,18	3,87	4,54	0,06	
195	Сосна и ель вдоль волокон	500	2,3	0,18	15	20	0,29	0,35	5,56	6,33	0,32	
196	Дуб поперек волокон	700	2,3	0,1	10	15	0,18	0,23	5,0	5,86	0,05	
197	Дуб вдоль волокон	700	2,3	0,23	10	15	0,35	0,41	6,9	7,83	0,3	
198	Фанера клееная	600	2,3	0,12	10	13	0,15	0,18	4,22	4,73	0,02	
199	Картон облицовочный	1000	2,3	0,18	5	10	0,21	0,23	6,2	6,75	0,06	
200	Картон строительный многослойный	650	2,3	0,13	6	12	0,15	0,18	4,26	4,89	0,083	
Конструкционные материалы												
Бетоны												
201	Железобетон	2500	0,84	1,69	2	3	1,92	2,04	17,98	18,95	0,03	
202	Бетон на гравии или щебне из природного камня	2400	0,84	1,51	2	3	1,74	1,86	16,77	17,88	0,03	
203	Раствор цементно-песчаный	1800	0,84	0,58	2	4	0,76	0,93	9,6	11,09	0,09	
204	Раствор сложный (песок, известь, цемент)	1700	0,84	0,52	2	4	0,7	0,87	8,95	10,42	0,098	
205	Раствор известково-песчаный	1600	0,84	0,47	2	4	0,7	0,81	8,69	9,76	0,12	
Облицовка природным камнем												
206	Гранит, гнейс и базальт	2800	0,88	3,49	0	0	3,49	3,49	25,04	25,04	0,008	

№ п.п.	Материал	Характеристики материалов в сухом состоянии			Расчетные характеристики материалов при условиях эксплуатации конструкций А и Б							
		плотность ρ_0 , кг/м ³	удельная теплоемкость c_0 , кДж/(кг·°С)	теплопроводность λ_0 , Вт/(м·°С)	влажность ω , %		теплопроводность λ , Вт/(м·°С)		теплоусвоение (при периоде 24 ч) s , Вт/(м ² ·°С)		Паропроницаемость μ , мг/(м·ч·Па)	
					А	Б	А	Б	А	Б		А, Б
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
207	Мрамор	2800	0,88	2,91	0	0	2,91	2,91	22,86	22,86	0,008	
208	Известняк	2000	0,88	0,93	2	3	1,16	1,28	12,77	13,7	0,06	
209	То же	1800	0,88	0,7	2	3	0,93	1,05	10,85	11,77	0,075	
210	То же	1600	0,88	0,58	2	3	0,73	0,81	9,06	9,75	0,09	
211	То же	1400	0,88	0,49	2	3	0,56	0,58	7,42	7,72	0,11	
212	Туф	2000	0,88	0,76	3	5	0,93	1,05	11,68	12,92	0,075	
213	То же	1800	0,88	0,56	3	5	0,7	0,81	9,61	10,76	0,083	
214	То же	1600	0,88	0,41	3	5	0,52	0,64	7,81	9,02	0,09	
215	То же	1400	0,88	0,33	3	5	0,43	0,52	6,64	7,6	0,098	
216	То же	1200	0,88	0,27	3	5	0,35	0,41	5,55	6,25	0,11	
217	То же	1000	0,88	0,21	3	5	0,24	0,29	4,2	4,8	0,11	
Материалы кровельные, гидроизоляционные, облицовочные и рулонные покрытия для полов												
218	Листы асбестоцементные плоские	1800	0,84	0,35	2	3	0,47	0,52	7,55	8,12	0,03	
219	То же	1600	0,84	0,23	2	3	0,35	0,41	6,14	6,8	0,03	
220	Битумы нефтяные строительные и кровельные	1400	1,68	0,27	0	0	0,27	0,27	6,8	6,8	0,008	
221	То же	1200	1,68	0,22	0	0	0,22	0,22	5,69	5,69	0,008	
222	То же	1000	1,68	0,17	0	0	0,17	0,17	4,56	4,56	0,008	
223	Асфальтобетон	2100	1,68	1,05	0	0	1,05	1,05	16,43	16,43	0,008	
224	Рубероид, пергамин, толь	600	1,68	0,17	0	0	0,17	0,17	3,53	3,53	-	
225	Техноэласт	1200	1,68	0,22	0	0	0,22	0,22	5,69	5,69	0,00036	
226	Техноэласт	1200	1,68	0,22	0	0	0,22	0,22	5,69	5,69	0,00036	
227	Унифлекс	1150	1,68	0,22	0	0	0,22	0,22	5,69	5,69	0,00036	

№ п.п.	Материал	Характеристики материалов в сухом состоянии			Расчетные характеристики материалов при условиях эксплуатации конструкций А и Б							
		плотность ρ_0 , кг/м ³	удельная теплоемкость c_0 , кДж/(кг·°С)	теплопроводность λ_0 , Вт/(м·°С)	влажность ω , %		теплопроводность λ , Вт/(м·°С)		теплоусвоение (при периоде 24 ч) s , Вт/(м ² ·°С)		Паропроницаемость μ , мг/(м·ч·Па)	
					А	Б	А	Б	А	Б		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
228	Линолеум поливинилхлоридный на теплоизолирующей подоснове	1800	1,47	0,38	0	0	0,38	0,38	8,56	8,56	0,002	
229	То же	1600	1,47	0,33	0	0	0,33	0,33	7,52	7,52	0,002	
230	Линолеум поливинилхлоридный на тканевой основе	1800	1,47	0,35	0	0	0,35	0,35	8,22	8,22	0,002	
231	То же	1600	1,47	0,29	0	0	0,29	0,29	7,05	7,05	0,002	
232	То же	1400	1,47	0,2	0	0	0,23	0,23	5,87	5,87	0,002	
Металлы и стекло												
233	Сталь стержневая арматурная	7850	0,482	58	0	0	58	58	126,5	126,5	0	
234	Чугун	7200	0,482	50	0	0	50	50	112,5	112,5	0	
235	Алюминий	2600	0,84	221	0	0	221	221	187,6	187,6	0	
236	Медь	8500	0,42	407	0	0	407	407	326	326	0	
237	Стекло оконное	2500	0,84	0,76	0	0	0,76	0,76	10,79	10,79	0	

Примечания

1 Расчетные значения коэффициента теплоусвоения (при периоде 24 ч) материала в конструкции вычислены по формуле

$$s = 0.27 \sqrt{\lambda \rho_0 (c_0 + 0.0419 \omega)}$$

где λ , ρ_0 , c_0 , ω – принимают по соответствующим графам настоящей таблицы.

2 Характеристики материалов в сухом состоянии приведены при влажности материала ω , %, равной нулю.

3 Значения термических сопротивлений теплопередаче замкнутых воздушных прослоек принимать по таблице Е.1. При оклейке поверхности вертикальной воздушной прослойки алюминиевой фольгой ее термическое сопротивление не должно превышать:

0,40 (м²·°С) /Вт для воздушной прослойки толщиной 0,02 м;

№ п.п.	Материал	Характеристики материалов в сухом состоянии			Расчетные характеристики материалов при условиях эксплуатации конструкций А и Б						
		плотность ρ_0 , кг/м ³	удельная теплоемкость c_0 , кДж/(кг·°С)	тепло- проводность λ_0 , Вт/(м·°С)	влажность ω , %		теплопровод- ность λ , Вт/(м·°С)		теплоусвоение (при периоде 24 ч) s , Вт/(м ² ·°С)		Паропроница емость μ , мг/(м·ч·Па)
					А	Б	А	Б	А	Б	А, Б
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0,45 (м ² ·°С) /Вт для воздушной прослойки толщиной 0,03 м; 0,50 (м ² ·°С) /Вт для воздушной прослойки толщиной 0,05 м.											

Приложение 3
Выдержка из СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»

Таблица 3.1

Термическое сопротивление замкнутой воздушной прослойки [5]

Толщина воздушной прослойки, м	Термическое сопротивление замкнутой воздушной прослойки, $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$			
	горизонтальной при потоке тепла снизу вверх и вертикальной		горизонтальной при потоке тепла сверху вниз	
	при температуре воздуха в прослойке			
	положительной	отрицательной	положительной	отрицательной
0,01	0,13	0,15	0,14	0,15
0,02	0,14	0,15	0,15	0,19
0,03	0,14	0,16	0,16	0,21
0,05	0,14	0,17	0,17	0,22
0,1	0,15	0,18	0,18	0,23
0,15	0,15	0,18	0,19	0,24
0,2-0,3	0,15	0,19	0,19	0,24

Примечание - При оклейке одной или обеих поверхностей воздушной прослойки алюминиевой фольгой термическое сопротивление следует увеличивать в 2 раза.

Приложение И
Выдержка из СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»

Таблица И.1

Сопротивления теплопередаче центральной части стеклопакета (оценочные) [5]

Вид стеклопакета	Сопротивление теплопередаче центральной части стеклопакета, $R_{0 \text{ с.п.к.}}$, $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$		
Однокамерные стеклопакеты			
	Расстояние между стеклами 12 мм	Расстояние между стеклами 16 мм	Расстояние между стеклами 20 мм
Из стекла без покрытий с заполнением воздухом	0,34	0,35	0,35
Из стекла без покрытий с заполнением аргоном	0,36	0,37	0,37
С одним стеклом с низкоэмиссионным мягким покрытием с заполнением воздухом	0,59	0,65	0,64
С одним стеклом с низкоэмиссионным мягким покрытием с заполнением аргоном	0,76	0,81	0,79
С одним стеклом с низкоэмиссионным мягким покрытием с заполнением криптоном	0,86	0,84	0,82
Двухкамерные стеклопакеты			
	Расстояние между стеклами 10 мм и 10 мм	Расстояние между стеклами 14 мм и 14 мм	Расстояние между стеклами 18 мм и 18 мм
Из стекла без покрытий с заполнением воздухом	0,46	0,5	0,53
С одним стеклом с низкоэмиссионным мягким покрытием с заполнением воздухом	0,64	0,78	0,9
С одним стеклом с низкоэмиссионным мягким покрытием с заполнением аргоном	0,78	0,95	1,05
С двумя стеклами с низкоэмиссионным мягким покрытием с заполнением воздухом	0,82	1,06	1,27
С двумя стеклами с низкоэмиссионным мягким покрытием с заполнением аргоном	1,1	1,4	1,55
С двумя стеклами с низкоэмиссионным мягким	1,73	1,71	1,67

Вид стеклопакета	Сопротивление теплопередаче центральной части стеклопакета, $R_{0 \text{ с.п.к. }}, \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$		
покрытием с заполнением криптоном			
<p>Промежуточные значения расстояний между стеклами принимаются интерполяцией. Данные в таблице приведены по расчету для средних за отопительный период температурных перепадов.</p> <p>Примечания</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Не рекомендуется заменять в стеклопакетах воздух инертными газами без использования низкоэмиссионных покрытий, так как это мероприятие практически не дает эффекта. 2. Рекомендуется комбинировать стекла с низкоэмиссионным покрытием с заполнением межстекольного пространства инертными газами, так как в этом случае достигается максимальный эффект от каждого мероприятия. 			

Приложение К
Выдержка из СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»

Таблица К.1

Базовые значения требуемого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций [5]

Здания и помещения, коэффициенты а и b	Градусо-сутки отопительного периода ГСОП, °С · сут/год	Базовые значения требуемого сопротивления теплопередаче R_o^{TP} , м ² · °С/Вт, ограждающих конструкций				
		Стен	Покрытый и перекрытый над проездами	Перекрытый чердачных, над неотапливаемыми подпольями и подвалами	Окон и балконных дверей, витрин и витражей	Фонарей
1	2	3	4	5	6	7
1 Жилые, лечебно-профилактические и детские учреждения, школы, интернаты, гостиницы и общежития	2000	2,1	3,2	2,8	0,3	0,3
	4000	2,8	4,2	3,7	0,45	0,35
	6000	3,5	5,2	4,6	0,6	0,4
	8000	4,2	6,2	5,5	0,7	0,45
	10000	4,9	7,2	6,4	0,75	0,5
	12000	5,6	8,2	7,3	0,8	0,55
a	-	0,00035	0,0005	0,00045	-	0,000025
b	-	1,4	2,2	1,9	-	0,25
2 Общественные, кроме указанных выше, административные и бытовые, производственные и другие здания и помещения с влажным или мокрым режимами	2000	1,8	2,4	2,0	0,3	0,3
	4000	2,4	3,2	2,7	0,4	0,35
	6000	3,0	4,0	3,4	0,5	0,4
	8000	3,6	4,8	4,1	0,6	0,45
	10000	4,2	5,6	4,8	0,7	0,5
	12000	4,8	6,4	5,5	0,8	0,55
a	-	0,0003	0,0004	0,00035	0,00005	0,000025
b	-	1,2	1,6	1,3	0,2	0,25
3 Производственные с сухим и нормальным режимами*	2000	1,4	2,0	1,4	0,25	0,2
	4000	1,8	2,5	1,8	0,3	0,25
	6000	2,2	3,0	2,2	0,35	0,3
	8000	2,6	3,5	2,6	0,4	0,35
	10000	3,0	4,0	3,0	0,45	0,4
	12000	3,4	4,5	3,4	0,5	0,45
a	-	0,0002	0,00025	0,0002	0,000025	0,000025
b	-	1,0	1,5	1,0	0,2	0,15

Примечания

1 Значения R_o^{TP} для величин ГСОП, отличающихся от табличных, следует определять по формуле

$$R_o^{TP} = a \cdot \text{ГСОП} + b$$

где ГСОП - градусо-сутки отопительного периода, °С · сут/год, для конкретного пункта;

a, b - коэффициенты, значения которых следует принимать по данным таблицы для соответствующих групп зданий, за исключением графы 6, для группы зданий в поз. 1, где для интервала до 6000 °С · сут/год: a = 0,000075, b = 0,15; для интервала 6000-8000

°С · сут/год: a = 0,00005, b = 0,3; для интервала 8000 °С · сут/год и более: a = 0,000025; b = 0,5.

2 Нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче глухой части балконных дверей должно быть не менее чем в 1,5 раза выше нормируемого значения приведенного сопротивления теплопередаче светопрозрачной части этих конструкций.

3* Для зданий с избытками явной теплоты более 23 Вт/м², нормируемые значения приведенного сопротивления теплопередаче, должны определяться для каждого конкретного здания.

Сулин Александр Борисович, Кропис Юлия Николаевна, Рябова Татьяна
Владимировна, Никитин Андрей Алексеевич,
Муравейников Сергей Сергеевич

РАСЧЕТ ПАРОКОМПРЕССИОННЫХ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ
В РЕЖИМЕ ОТОПЛЕНИЯ ЗДАНИЙ

учебно-методическое пособие

В авторской редакции
Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО
Зав. РИО Н. Ф. Гусарова
Подписано к печати
Заказ №
Отпечатано на ризографе

Редакционно-издательский отдел
Университета ИТМО
197101, Санкт-Петербург, Кронверский пр., 49