

ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Электропривод и АПУ»

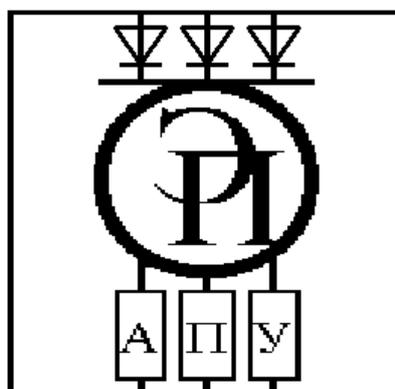
ОСНОВЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

*Методические рекомендации к практическим занятиям
для студентов специальностей*

1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы»,

*1-36 01 06 «Оборудование и технология
сварочного производства»*

дневной и заочной форм обучения



Могилев 2017

УДК 658.26
ББК 31.19
О 75

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Электропривод и АПУ» «16» ноября 2016 г.,
протокол № 3

Составители: канд. техн. наук, доц. Г. С. Ленеvский;
канд. техн. наук Н. А. Автушенко;
ст. преподаватель Г. В. Лабкович

Рецензент канд. техн. наук Ю. С. Романович

В методических рекомендациях приводятся краткие сведения о
свойствах теплоизоляционных материалов, тепловых насосах и системах
газовоздушного лучистого отопления.

Учебно-методическое издание

ОСНОВЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

Ответственный за выпуск	Г. С. Ленеvский
Технический редактор	А. А. Подошеvко
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 115 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«Белорусско-Российский университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изделий
№ 1/156 от 24.01.2014.

Пр. Мира, 43, 212000, Могилев.

© ГУ ВПО «Белорусско-Российский
университет», 2017



Содержание

Введение.....	4
1 Практическая работа № 1. Определение эффективности теплоизоляционных материалов	5
1.1 Основные понятия, термины, определения.....	5
1.2 Свойства, характеристики и применение теплоизоляционных материалов.....	7
1.3 Методика расчёта теплопотерь через ограждающие конструкции.....	11
2 Практическое занятие № 2. Изучение системы регулирования теплового насоса.....	17
2.1 Тепловые насосы – энергосберегающее отопительное оборудование.....	18
2.2 Классификация тепловых насосов и эффективность их применения.....	19
2.3 Состав и принцип работы теплового насоса.....	21
2.4 Методика расчёта коэффициента преобразования.....	23
3 Практическая работа № 3. Применение газоздушного лучистого отопления для снижения расхода тепловой энергии системами отопления производственных зданий.....	29
3.1 Основные виды теплообмена.....	29
3.2 Система газоздушного лучистого отопления.....	30
3.3 Классификация, принцип работы и характеристики светлых и тёмных газовых инфракрасных излучателей.....	32
3.4 Методика расчёта системы газоздушного отопления.....	36
3.5 Определение экономии энергетических ресурсов за счёт использования системы ГВЛО.....	40
Список литературы.....	45
Приложение А.....	47



Введение

Рост стоимости энергоресурсов привел к необходимости переосмысления прежних принципов проектирования и строительства зданий в направлении более рационального использования энергии, широкого применения энергоэффективных конструктивных элементов, материалов и инженерных систем, применения возобновляемых источников энергии.

Одно из перспективных направлений ресурсосбережения – снижение затрат энергии и других ресурсов при эксплуатации зданий. Длительное время градостроительная политика имела экстенсивный характер. При строительстве зданий определяющим было внедрение технических решений, снижающих стоимость строительства. Такой подход приводил в большинстве случаев к росту удельных затрат тепловой и электрической энергии при последующей эксплуатации построенных зданий.

В настоящее время энергопотребление в Беларуси составляет 128 млн МВт·ч теплоэнергии и 38 млн МВт·ч электроэнергии. Доля потребления тепла в общем энергопотреблении составляет 77 %, в 3,3 раза превосходя потребление электроэнергии. Высокий уровень теплопотребления обусловлен, с одной стороны, теплотехнологическим характером экономики, с другой – с учетом климатической зоны большим расходом тепла на отопление.

В этой ситуации было неизбежным появление системы нормативов, регламентирующих энергетические характеристики для повышения энергоэффективности возводимых зданий и стимулирования энергосбережения в этом секторе. Одной из форм этой системы является энергосертификация зданий – процедура, при которой проводится определение энергетических характеристик зданий, их оценка в сопоставлении со шкалой нормативно установленных уровней энергопотребления и выдачей энергетического сертификата здания.

В настоящее время одной из наиболее актуальных проблем является поиск энергосберегающих мероприятий и инженерных решений по созданию ограждающих конструкций зданий и сооружений с минимальными тепловыми потерями. Большую роль в этом играют создание новых строительных, теплоизоляционных, облицовочных материалов и изделий, а также разработка новых методов определения теплофизических свойств (ТФС) материалов. Новые методы расчета ТФС материалов и изделий позволят эффективно оценить тепловой и воздушный режим зданий различного назначения.

Проблемы энергосбережения и снижения потерь теплоты в окружающую среду существенно влияют на экологическую ситуацию, технико-экономические показатели и капитальные затраты строительных объектов.



1 Практическая работа № 1. Определение эффективности теплоизоляционных материалов

Цель работы

- 1 Изучить характеристики теплоизоляционных материалов.
- 2 Изучить методику расчёта теплопотерь через ограждающие конструкции и выбора конструкции заполнения световых проёмов здания.
- 3 Выполнить теплотехнический расчет наружных ограждений и теплопотерь.

1.1 Основные понятия, термины и определения

Количество теплоты – мера энергии, переходящей от одного тела к другому. Количество теплоты является одной из основных термодинамических величин. Количество теплоты является функцией процесса, а не функцией состояния, т. е. количество теплоты, полученное системой, зависит от способа, которым она была приведена в текущее состояние.

Тепловые потери – это перенос теплоты от более нагретого тела к менее нагретому. В строительной теплотехнике – это потеря теплоты зданием за счет действия различных физических факторов (теплопроводности, конвекции и излучения).

Тепловые поступления – это процесс, противоположный тепловым потерям.

Теплопроводность – процесс распространения (переноса) теплоты путем непосредственного соприкосновения микрочастиц, имеющих различную температуру, или путем соприкосновения тел (или их частей), когда тело не перемещается в пространстве.

Конвекция – перемещение макроскопических частей среды (газа, жидкости), приводящее к переносу массы и теплоты. В реальных условиях конвекция всегда сопровождается теплопроводностью или молекулярным переносом теплоты. Совместный процесс переноса теплоты конвекцией и теплопроводностью называется конвективным теплообменом, конвективный теплообмен между жидкостью и твердым телом – теплоотдачей.

Коэффициент теплопроводности – тепловой поток, проходящий через 1 м² изотермической поверхности при температурном градиенте, равном единице. Коэффициент теплопроводности зависит от пористости, влажности, химико-минералогического состава и температуры. Для строительных материалов коэффициент теплопроводности лежит в пределах 0,02–3,0 Вт/(м·К), с повышением температуры возрастает и для материалов с большей плотностью имеет более высокие значения. Материалы с низким значением коэффициента теплопроводности менее 0,23 Вт/(м·К) называются теплоизоляционными материалами.

Термическое сопротивление показывает, насколько медленно теряется тепло в ваттах при прохождении теплового потока через 1 м^2 стены при перепаде температур на стенках в 1 град. Чем больше термическое сопротивление ограждающей конструкции, тем лучше её теплозащитные свойства.

Приведенное сопротивление теплопередаче – величина, характеризующая теплозащитные свойства ограждающей конструкции в стационарных условиях теплопередачи, численно равная отношению разности температуры воздуха с внутренней и наружной сторон конструкции к усредненной по расчетной площади конструкции плотности проходящего через нее теплового потока.

Парциальное давление водяного пара – это та часть общего давления, которая обусловлена данным газом, является основной и наиболее употребительной характеристикой влажности. Парциальное давление пропорционально его плотности и абсолютной температуре. Выражается в гектопаскалях.

Относительная влажность – отношение фактического давления пара к давлению насыщенного пара при данной температуре, выраженное в процентах.

Точка росы – температура, при которой содержащийся в воздухе водяной пар достигает насыщения при неизменном общем давлении воздуха. Точка росы в стене может перемещаться по ее толщине при изменении температур внутри помещения и снаружи. При понижении температуры наружного воздуха и стабильной температуре внутри помещения – точка росы передвинется по толщине стены ближе к помещению. Температура предмета, на котором начнет конденсироваться пар, т. е. точка росы, зависит от двух параметров: температуры воздуха и влажности воздуха; расположение точки росы в стене – от толщины и материала всех слоев стены, температуры и влажности внутри помещения, температуры и влажности снаружи помещения.

Паропроницаемость – это характеристика, показывающая, какое количество водяного пара может пропустить через себя тот или иной материал за определенный промежуток времени. К проницаемым относятся все конструктивные материалы с открытыми порами – бетон, кирпич, дерево и так далее.

Инfiltrация – это не организованное поступление воздуха в помещение через неплотности в ограждениях зданий под действием теплового и ветрового потока, а также, возможно, вследствие работы механической вентиляции. Также инfiltrацию называют воздухопроницаемостью

Тепловая устойчивость зданий – это тепловая инерционность ограждающих конструкций зданий, позволяющая сглаживать резкие перепады температуры наружного воздуха.

1.2 Свойства, характеристики и применение теплоизоляционных материалов

Главным направлением энергосбережения в жилых зданиях является повышение теплозащитных свойств ограждающих конструкций. Типовая структура теплопотерь через ограждающие конструкции:

- наружные стены – 35–45 %;
- окна – 20–30 %;
- вентиляция – 15 %;
- горячая вода – 10 %;
- крыша, пол – 5–10 %;
- трубопровод, арматура – 2 %.

Снижение потерь тепла на 7–9 % позволяет увеличить температуру в помещении на 1 °С.

Основные характеристики теплоизоляционного материала:

- пожаробезопасность (горючесть) (утеплитель должен отвечать действующим нормам противопожарной безопасности, а именно надежно противостоять высоким температурам, не поддерживать процесс горения и не выделять при этом токсичные газы);

- теплопроводность (материал в условиях эксплуатации должен обеспечить требуемое сопротивление теплопередачи в конструкции при минимально возможной толщине теплоизоляционного слоя, чем ниже теплопроводность, тем выше теплоизоляционные свойства);

- влажность (содержание влаги в материале, с повышением влажности теплоизоляционных (и строительных) материалов резко повышается их теплопроводность);

- водостойкость и паропроницаемость (способность материала не впитывать влагу и эффективно выводить пары из помещения, значительно снизить водопоглощение помогает гидрофобизация (вводят специальные добавки, отталкивающие влагу));

- биостойкость (способность материала противостоять действию микроорганизмов, грибов и некоторых видов насекомых);

- плотность (показатель определяет степень жесткости, массу термоизоляции; играет роль при выборе нагрузки на несущие конструкции и теплоизоляционных свойств при температурных условиях);

- экологичность (утеплитель не должен быть токсичным и выделять каких-либо вредных для человеческого организма веществ);

- морозостойкость (способность материала в насыщенном состоянии выдерживать многократное попеременное замораживание и оттаивание без признаков разрушения);

- прочность (способность материалов сопротивляться разрушению под действием внешних сил, вызывающих деформации и внутренние напряжения в материале, зависит от структуры, прочности его твёрдой составляющей

(остова) и пористости, жёсткий материал с мелкими порами более прочен, чем материал с крупными неравномерными порами);

– долговечность (срок службы такого материала не должен быть меньшим срока эксплуатации здания, для утепления которого он применяется);

– устойчивость к химическим веществам (может иметь значение при утеплении гаражей или технических помещений).

В современном строительстве стеновые конструкции для облегчения делают многослойными. Композиционная ограждающая конструкция может быть представлена в виде нескольких отличных друг от друга систем:

– жёсткий каркас с заполнением межкаркасного пространства эффективным утеплителем;

– жёсткая ограждающая конструкция (например, кирпичная или бетонная стена), утеплённая со стороны внутреннего помещения – так называемое внутреннее утепление;

– две жёсткие пластины и эффективный утеплитель между ними, например, «колодезная» кирпичная кладка, железобетонная панель «сэндвич» и т. д.;

– тонкая ограждающая конструкция (стена) с утеплителем с внешней стороны – так называемое внешнее утепление.

Предпочтительней изоляцию проводить снаружи, т. к. в противном случае сокращается полезная площадь помещений, возникает необходимость переноса электрооборудования, имеется вероятность выпадения конденсата и образования плесени, требуется выселение жильцов на время ремонта. Внутреннюю теплоизоляцию стен обычно проводят для зданий, являющихся памятниками архитектуры.

По способу теплопередачи различают теплоизоляцию двух видов:

1) теплоизоляция отражающего типа – снижает расход тепла за счёт уменьшения инфракрасного излучения, монтируется отражающей поверхностью во внутрь помещения. В качестве внутренней теплоизоляции используются фольгированные утеплители (Изолвер, Изоспан, Пенофол) и теплозащитные (инфракрасные) плёнки;

2) теплоизоляция предотвращающего типа – уменьшает потерю тепла в результате конвективного теплообмена и предполагает применение наружного утеплителя с низким значением теплопроводности. В этом качестве могут использоваться следующие материалы.

Керамзит. Представляет собой обожжённую глину, вспененную особым методом – достаточно дешёвый, доступный и долговечный утеплитель, используемый как заполнитель пустот и в виде засыпки.

Минеральная вата. Теплоизоляционный материал природного происхождения, который изготавливают на основе базальтового волокна. Минеральная вата обладает превосходными тепло- и звукоизоляционными



свойствами, в зависимости от веса и своей структуры она характеризуется также паропроницаемостью, прочностью на сжатие, изгиб и разрыв. Данный материал экологически чистый и безопасный для здоровья людей. Существенный недостаток минеральной ваты – это её гигроскопичность или чувствительность к воде. Для придания утеплителю водоотталкивающих свойств его пропитывают специальными гидрофобизирующими модификаторами.

Стекловолокно. Представляет собой теплоизоляционный материал, который получают из расплавленного стекла и применяют чаще всего для наружного утепления стен. Стекловолокно обладает прекрасными тепло- и звукоизоляционными характеристиками, оно не боится огня и не поддается процессам гниения, не выделяет вредных токсичных веществ и абсолютно безопасное для здоровья окружающих людей. Единственный недостаток – это его чувствительность к механическим нагрузкам и к воде. При попадании воды на стекловолокно теплоизоляционные свойства данного материала значительно ухудшаются.

Экструдированный пенополистерол (ЭППС). Представляет собой совокупность мелких, между собою никак не связанных ячеек, которые наполнены газом и не пропускают воду и пары. Ячеистая структура обеспечивает низкую теплопроводность и водопоглощение, высокую прочность и стойкость к перепадам температур. Экструдированный пенополистирол выпускается в виде плит, которые легко можно резать, он не боится грибка и плесени. Такие качества позволили использовать данный материал, в первую очередь, для внешней теплоизоляции стен подвалов и фундамента. Единственный недостаток ЭППС – это его пожароопасность.

Пенополистирол (пенопласт). Данный материал еще называют вспененным пенополистиролом. Он отличается гигроскопичностью, низкой теплопроводностью и доступной стоимостью. Однако такой недостаток, как низкая паропроницаемость, существенно ограничивают сферу его применения. Его нельзя использовать для наружного утепления деревянных сооружений с повышенной влажностью внутри, например, для бань, саун и т. д. Пенопласт, как и предыдущий материал, легко воспламеняется и поддерживает процесс горения, при этом выделяется очень опасный для здоровья человека токсичный газ. Подходит для утепления фасадов кирпичных зданий с последующим их оштукатуриванием, что позволит в разы сэкономить на отоплении.

Пенополиуретан. Представляет собой полимерный материал, полученный методом вспенивания. Он обладает водонепроницаемостью, не боится вредного воздействия микроорганизмов и грибка. Данный вид теплоизоляционного материала выпускают в виде плит, панелей, блоков и сэндвич-панелей. Используют для наружного и внутреннего утепления различных зданий и сооружений. Пенополиуретан в виде монтажной



пены, который наносят методом напыления, применяют для отделки фасадов.

Эковата. Состав целлюлозной ваты (эковаты) неоднороден. Большую часть занимает древесное волокно – 80 %, меньшую – антипирен – 12 % и антисептик – 7 %. Материал обладает мелкозернистой структурой. Поддается мокрому и сухому методу укладки. Для мокрого способа требуется специальное оборудование, т. к. вату выдувают. Целлюлозная вата обладает рядом достоинств: небольшая стоимость и безопасность производства и монтажа, однородная укладка и высокая теплоизоляция, изоляция зазоров и углублений и влагообмен без снижения теплоизолирующих свойств. К минусам материала можно отнести горючесть и трудоемкость укладки, низкую прочность на сжатие.

В таблице 1 приведены основные теплофизические характеристики теплоизоляционных материалов, в таблице 2 – сравнительные характеристики толщины материалов при равной теплоизоляции.

Таблица 1 – Основные теплофизические характеристики теплоизоляционных материалов

Показатель	Минеральная вата	Стекловата	Экструдированный пенополистирол	Пенополистирол вспененный	Пенополиуретан
Теплопроводность λ , Вт/(м·К)	0,040–0,07	0,03–0,052	0,014–0,041	0,037–0,042	0,019–0,035
Плотность ρ , кг/м ³	35–200	15–75	35–45	15–50	25–60
Прочность σ , МПа	0,02	0,02	0,2–0,4	0,05–0,14	0,19–0,2
Водопоглощение, % от объёма	2	1,5	0,1–0,5	0,5–1,5	1,0–5,0
Паропроницаемость μ , мг/(м·ч·Па)	0,4–0,6	0,5–0,6	0,006–0,018	0,05	0,02–0,03
Горючесть	НГ	НГ	НГ	Г1–Г4	Г1–Г4
Максимальная температура T , °С	250–700	280–1100	65–75	65	130–150

Таблица 2 – Сравнительные характеристики толщины материалов при равной теплоизоляции

Параметры	Бетон	Кирпич	Керамзит	Дерево	Минеральная вата	Пенополистирол	Пенополиуретан
Толщина h , мм	2132	942	350	340	100	80	50

1.3 Методика расчёта теплопотерь через ограждающие конструкции

Методика теплотехнического расчёта основана на том, что оптимальная толщина ограждающей конструкции находится исходя из:

- климатических показателей района строительства;
- санитарно-гигиенических и комфортных условий эксплуатации зданий и помещений;
- условий энергосбережения.

Расчет теплопотерь помещения производится для всех ограждающих конструкций отапливаемых помещений. Могут не учитываться теплопотери через внутренние конструкции при разности температуры в них с температурой соседних помещений до 3 °С.

Расчётные теплопотери помещений жилого здания вычисляют по уравнению теплового баланса

$$Q = Q_{\text{огр}} + Q_{\text{инф}} - Q_{\text{быт}}, \quad (1)$$

где Q – расчётные теплопотери помещения жилого здания, Вт;

$Q_{\text{огр}}$ – основные потери теплоты через ограждающие конструкции здания, Вт;

$Q_{\text{инф}}$ – потери теплоты на инфильтрацию, Вт.

$Q_{\text{быт}}$ – бытовые тепловыделения от электрических приборов, освещения и других источников, принимаемые для жилых помещений и кухонь в размере 21 Вт на 1 м², Вт.

Основные потери теплоты $Q_{\text{огр}}$, Вт (потери от теплопередачи) определяются по формуле

$$Q_{\text{огр}} = \frac{F_{\text{п}} \cdot n \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \cdot (1 + \sum \beta)}{R_0}, \quad (2)$$

где $F_{\text{п}}$ – площадь поверхности ограждения, м²;

$1 + \sum \beta$ – поправочный коэффициент, учитывающий дополнительные потери через ограждающие конструкции помещения любого назначения для наружных вертикальных и наклонных стен, дверей, окон, обращённых на север, восток, северо-восток – в размере 0,1, на юго-восток и запад – в размере 0,05;

R_0 – термическое сопротивление, м²·°С/Вт;

n – коэффициент, учитывающий положение ограждения или защитного сооружения относительно наружного воздуха, для перекрытий, имеющих контакт с наружным воздухом и стены наружные, – 1; для чердачных перекрытий – 0,9; для перекрытий над холодным подвалом со стеновыми световыми проёмами – 0,75; для перекрытий над холодным

подвалом без световых проёмов – 0,6; для перекрытий, расположенных ниже уровня земли, – 0,4.

Потери теплоты на инфильтрацию $Q_{\text{инф}}$, Вт, рассчитываются по формуле

$$Q_{\text{инф}} = 0,28 \cdot L_n \cdot \rho \cdot c \cdot (t_v - t_n) \cdot k, \quad (3)$$

где L_n – расход удаляемого воздуха, не компенсируемый подогретым приточным воздухом, для жилых зданий удельный нормативный расход – 3 м³/ч на 1 м² жилых помещений;

ρ – плотность воздуха в помещении, кг/м³ .

c – удельная теплоёмкость воздуха, $c = 1$ кДж/(кг · °С);

t_v, t_n – расчётные температуры воздуха, соответственно в помещении и наружного воздуха в холодный период года, °С;

k – коэффициент учёта влияния встречного теплового потока в конструкциях, равный: 0,7 – для стыков панелей стен и окон с тройными переплетами; 0,8 – для окон и балконных дверей с отдельными переплетами; 1,0 – для одинарных окон, окон и балконных дверей со спаренными переплётами и открытых проёмов.

Термическое сопротивление однородной (однослойной), а также слоя многослойной ограждающей конструкции определяется по формуле

$$R = \frac{\delta}{\lambda}, \quad (4)$$

где R – термическое сопротивление, м² · °С/Вт;

δ – толщина ограждения, м;

λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м · °С).

Общее термическое сопротивление однослойной ограждающей конструкции R_0 равно сумме всех отдельных сопротивлений:

$$R_0 = R_v + R_k + R_n = \frac{1}{\alpha_v} + R_k + \frac{1}{\alpha_n}, \quad (5)$$

где α_v – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций, $\alpha_v = 8,7$ Вт/(м² · °С);

α_n – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающих конструкций, $\alpha_n = 23$ Вт/(м² · °С);

R_k – термическое сопротивление однослойной конструкции, определяемое по формуле (4).

В случае, если стенка состоит из нескольких слоёв, имеющих разную толщину, то суммарное сопротивление теплопередаче определяется как сумма сопротивлений каждого из слоёв:

$$R_{\text{тп}} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \sum_1^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}}, \quad (6)$$

Величина, обратная термическому сопротивлению, называется коэффициентом теплопередачи.

Пример – Расчёт сопротивления теплопередаче лёгкой штукатурной системы утепления с учётом перераспределения влаги.

Расчёт выполнен для условий жилого здания, расчётная температура наружного воздуха $t_{\text{н}}$ – минус 5 °С, относительная влажность наружного воздуха – 85 %, продолжительность периода влагонакопления – 150 сут. Основные параметры многослойной конструкции стены при сорбционном влагосодержании (при относительной влажности воздуха 55 %) приведены в таблице 3.

Зависимость массовой влажности утеплителя от относительной влажности воздуха приведена на рисунке 1, зависимость коэффициента теплопроводности утеплителя от массовой влажности – на рисунке 2.

Коэффициенты теплоотдачи:

- внутренней поверхности стены $\alpha_{\text{в}} = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С})$;
- наружной поверхности облицовки $\alpha_{\text{н}} = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С})$.

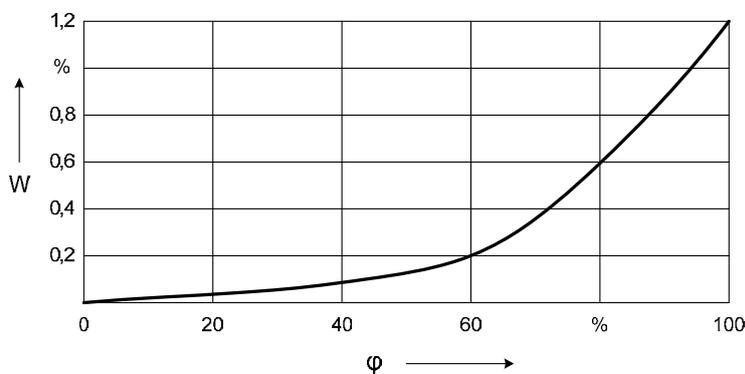


Рисунок 1 – Зависимость массовой влажности материала от относительной влажности воздуха

Сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции

$$R_t = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{\delta_5}{\lambda_5} + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}} =$$

$$= \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,6} + \frac{0,38}{0,58} + \frac{0,05}{0,039} + \frac{0,005}{0,87} + \frac{0,05}{0,87} + \frac{1}{23} = 2,14 \text{ м}^2 \cdot \text{°С}/\text{Вт}.$$

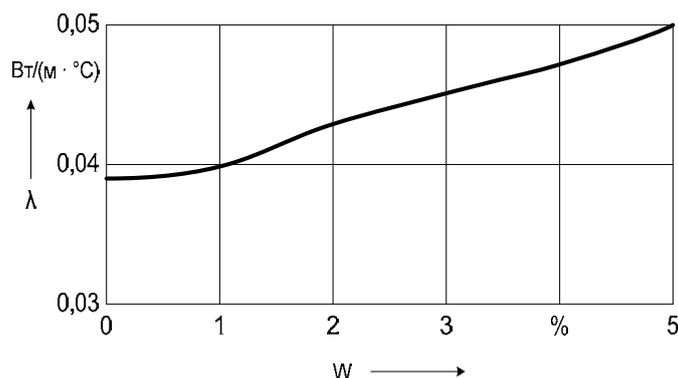


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента теплопроводности от массовой влажности материала

Таблица 3 – Конструктивное решение стены

Материал	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м · °С)	Толщина слоя δ , м	Коэффициент паропроницаемости μ , мг/(м · ч · Па)
Штукатурка	0,60	0,02	0,12
Кладка из кирпича	0,58	0,38	0,11
Минераловатная плита	0,039	0,05	0,44
Армированный слой	0,87	0,005	0,02
Декоративно-защитный слой	0,87	0,05	0,02
Краска	–	0,001	0,02

Термическое сопротивление слоёв конструкции, расположенных между внутренней поверхностью и плоскостью возможной конденсации,

$$R_{t0} = \frac{1}{\alpha_B} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,6} + \frac{0,38}{0,58} + \frac{0,05}{0,039} = 1,97 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}.$$

Температура в плоскости возможной конденсации

$$t_0 = t_B - \left(\frac{t_B - t_H}{R_t} \right) \cdot \left(R_{t0} + \frac{1}{\alpha_B} \right) = 18 - \left(\frac{18 + 5}{2,14} \right) \cdot \left(1,97 + \frac{1}{23} \right) = -4,409 \text{ °С}.$$

Сопротивление паропроницанию слоёв конструкции, расположенных между внутренней поверхностью и плоскостью возможной конденсации,

$$R_B = \frac{\delta_1}{\mu_1} + \frac{\delta_2}{\mu_2} + \frac{\delta_3}{\mu_3} = \frac{0,02}{0,12} + \frac{0,38}{0,11} + \frac{0,05}{0,44} = 3,735 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг.}$$

Сопротивление паропроницанию слоев конструкции, расположенных между плоскостью возможной конденсации и наружной поверхностью,

$$R_H = \frac{\delta_4}{\mu_4} + \frac{\delta_5}{\mu_5} + \frac{\delta_6}{\mu_6} = \frac{0,005}{0,022} + \frac{0,005}{0,02} + \frac{0,001}{0,02} = 0,55 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг.}$$

Упругость насыщенного водяного пара внутреннего и наружного воздуха, а также в плоскости возможной конденсации, принимаемые по соответствующей температуре: $E_B = 2064 \text{ Па}$; $E_H = 402 \text{ Па}$; $E_0 = 422,674 \text{ Па}$.

Упругость водяного пара внутреннего и наружного воздуха:

$$e_B = 0,01\varphi_B \cdot E_B = 0,01 \cdot 55 \cdot 2064 = 1135 \text{ Па};$$

$$e_H = 0,01\varphi_H \cdot E_H = 0,01 \cdot 85 \cdot 402 = 341,7 \text{ Па.}$$

Начальная влажность материала утеплителя, принимаемая по графику на рисунке 1 в зависимости от относительной влажности внутреннего воздуха, составляет $W_0 = 0,175 \%$.

Расчётная влажность материала утеплителя

$$W = W_0 + \frac{0,0024Z_0}{\gamma_3 \cdot \delta_3} \left(\frac{e_B - E_0}{R_B} - \frac{E_0 - e_H}{R_H} \right) =$$

$$= 0,175 + \frac{0,0024 \cdot 150}{80 \cdot 0,05} \cdot \frac{1135 - 422}{3,735} - \frac{422 - 342}{0,55} = 4,095 \%$$

Коэффициент теплопроводности утеплителя при расчётной влажности, принимаемый по графику на рисунке 2, составляет $\lambda = 0,047 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$.

Сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции

$$R_t = \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,6} + \frac{0,38}{0,58} + \frac{0,05}{0,047} + \frac{0,005}{0,87} + \frac{0,05}{0,87} + \frac{1}{23} = 1,916 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт.}$$

Так как полученное сопротивление теплопередаче ниже нормативного, следует увеличить толщину утеплителя.



Порядок выполнения работы

- 1 Определить сопротивление теплопередаче стены без утеплителя.
- 2 Найти потери на нагрев инфильтрационного воздуха.
- 3 По примеру рассчитать сопротивление теплопередаче лёгкой штукатурной системы утепления с учётом перераспределения влаги.
- 4 Рассчитать требуемую толщину утеплителя.
- 5 Рассчитать в соответствии с вариантом задания для каждого помещения основные потери до утепления и после утепления.

Задание

Теплотехнический расчёт выполнить для одноэтажного жилого здания с отапливаемым подвалом. Размеры помещения – $25,0 \times 15,0 \times 3,0$ м, оконные проёмы – $2,8 \times 1,8$ м (4 шт.), дверь – $1,5 \times 2,0$ м. Температура наружного воздуха наиболее холодной пятидневки $t_n = -25$ °С; расчётная температура в помещении $t_v = +20$ °С; расход поступающего воздуха в жилые помещения – 3 м³/ч на 1 м² площади помещения; коэффициенты теплоотдачи: $\alpha_v = 8,7$ Вт/(м² · °С); $\alpha_n = 23$ Вт/(м² · °С). Коэффициент теплопроводности и толщину наружных стен, пола, потолка принять из таблицы 4 в соответствии с вариантом. Термосопротивление оконных проёмов $R_{o,окно} = 0,34$ м² · °С/Вт, двери $R_{д,норм} = 0,28$ м² · °С/Вт.

Таблица 4 – Исходные данные для расчёта

Параметры		Размерность	Вариант				
			1	2	3	4	5
Стена	λ_1	Вт/(м · °С)	0,93	0,6	0,8	0,35	0,6
	δ_1	м	0,005	0,02	0,025	0,02	0,015
	λ_2	Вт/(м · °С)	0,58	0,47	0,13	0,52	0,13
	δ_2	м	0,38	0,25	0,1	0,38	0,1
	λ_3	Вт/(м · °С)	0,92	0,76	0,52	0,87	0,87
	δ_3	м	0,2	0,45	0,3	0,64	0,39
Армированный слой	λ_4	Вт/(м · °С)	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
	δ_4	м	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Декоративно-защитный слой	λ_5	Вт/(м · °С)	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
	δ_5	м	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Пол	λ_1	Вт/(м · °С)	0,17	0,17	0,17	0,18	0,18
	δ_1	м	0,04	0,05	0,04	0,03	0,03
	λ_2	Вт/(м · °С)	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
	δ_2	м	0,2	0,22	0,2	0,22	0,2
Потолок	λ_1	Вт/(м · °С)	1,63	1,63	1,63	1,63	1,63
	δ_1	м	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
	λ_2	Вт/(м · °С)	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
	δ_2	м	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2



В соответствии с вариантом провести утепление ограждающих конструкций, оконных проёмов и двери согласно нормативным значениям сопротивления теплопередачи:

- наружных стен здания $R_{н.норм} = 3,2 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$;
- чердачных перекрытий $R_{ч.норм} = 6 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$;
- заполнения световых проёмов $R_{о.норм} = 1 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$;
- двери $R_{д.норм} = 0,8 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$.

Содержание работы

1 Ознакомиться с теоретической частью, основными понятиями и определениями.

2 На основании полученных теоретических знаний выполнить необходимые расчёты.

3 Ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1 Что такое количество теплоты?

2 Что такое тепловые потери, тепловые поступления?

3 Что такое тепловая устойчивость здания?

4 Для чего необходимо отопление?

5 От каких факторов зависит расход инфильтрующегося наружного воздуха?

6 Как учитывается в расчётах теплотерь положение ограждений по отношению к наружному воздуху?

7 Какие теплоизоляционные материалы используются для утепления стен? Дайте сравнительный анализ их характеристик.

2 Практическое занятие № 2. Изучение системы регулирования теплового насоса

Цель работы

1 Изучить цикл работы теплового насоса.

2 Изучить методику определения коэффициента преобразования теплового насоса, количество низкопотенциальной теплоты, отбираемой у окружающей среды, и количество теплоты, передаваемой в систему отопления помещения.

2.1 Тепловые насосы – энергосберегающее отопительное оборудование

Самый распространенный вид отопления помещений в Республике Беларусь – водяной (отопление с помощью водогрейного котла). Несмотря на различия в видах используемого топлива, котельные установки всех типов имеют один общий недостаток – ни в одном из котлов, сжигающих топливо, невозможно получить больше полезного тепла у потребителя, чем его заключено в этом топливе, т. е. коэффициент использования первичной энергии топлива (КПЭ) меньше единицы.

В Республике Беларусь на теплоснабжение многоквартирного жилого фонда расходуется более 35 % суммарного потребления органического топлива. Одной из существующих альтернатив органическому топливу является использование местных и возобновляемых источников энергии с применением современного оборудования для их использования, в т. ч. тепловых насосов.

Тепловые насосы являются сегодня признанным энергоэффективным и экологически чистым теплогенерирующим оборудованием. В мире ежегодно вводятся в эксплуатацию около 2 млн тепловых насосов разных типов и мощности. По прогнозу Международной электротехнической комиссии (МЭК), к 2020 г. в развитых странах 75 % теплоснабжения (коммунального и промышленного) будет осуществляться с помощью тепловых насосов. Особенно интенсивно применяются тепловые насосы в странах Западной Европы и Скандинавии (в Германии, Великобритании, Швейцарии, Австрии, Польше, Швеции, Норвегии). В последнее десятилетие реализуются пилотные проекты в России, Украине и Казахстане.

В настоящее время в различных регионах Республики Беларусь эксплуатируется только немногим более 300 парокомпрессионных тепловых насосов разных типов и модификаций. Их объектами теплоснабжения являются многоквартирные жилые дома (коттеджи), промышленные и коммунальные предприятия, которые сами являются источниками «бросовой» низкопотенциальной теплоты.

Тепловой насос (ТН) – это термодинамическая установка, позволяющая концентрировать низкотемпературное тепло из окружающей среды и переносить его в систему теплоснабжения в виде нагретой воды или воздуха, от теплоносителя с низкой температурой (4–5 °С) к теплоносителю с более высокой температурой (60–80 °С). Тепловые насосы позволяют за счет преобразования низкопотенциальной теплоты вторичных энергоресурсов (ВЭР) и природных источников (водотоков, атмосферного воздуха) в теплоту потребительских параметров экономить 30–50 % первичного топлива на теплоснабжение. Поэтому внедрение тепловых насосов одновременно с экономией первичного топлива



снижает физическое и химическое загрязнение окружающей среды, повышает уровень комфортности в помещении, экономичность и надежность работы технологического оборудования, сокращает потребление водных ресурсов и объемы сброса сточных вод.

2.2 Классификация тепловых насосов и эффективность их применения

Тепловые насосы можно классифицировать по принципу действия (парокомпрессионные, абсорбционные и термоэлектрические).

По схеме применения различают моновалентные (когда в системе отопления используется только тепловой насос) и бивалентные (тепловой насос используется с дополнительным источником теплоты).

По источнику затрачиваемой энергии различают тепловые насосы, использующие для работы электроэнергию, топливо того или иного вида, вторичные энергетические ресурсы.

В настоящее время наиболее широко распространены тепловые насосы с электрическим приводом. Преобладающей средой, нагреваемой в тепловом насосе, является вода.

По принципу взаимодействия рабочих тел ТН объединяют в две группы:

1) открытого цикла, в которых рабочее тело забирается и отдаётся во внешнюю среду;

2) замкнутого цикла, в которых рабочее тело движется по замкнутому контуру, взаимодействуя с источником и потребителем теплоты лишь посредством теплообмена в аппаратах поверхностного типа.

Тепловые насосы можно различать по используемым источникам низкопотенциальной теплоты, в качестве которых выступают:

- наружный воздух;
- поверхностные воды (река, озеро, море);
- подземные воды;
- грунт;
- солнечная энергия;
- низкопотенциальная теплота искусственного происхождения (сбросные воды, продукты технологических процессов, вытяжной воздух систем вентиляции).

По сочетанию источника низкопотенциального тепла с нагреваемой в тепловом насосе средой различают следующие основные варианты: «воздух – воздух»; «воздух – вода»; «грунт – воздух»; «грунт – вода»; «вода – воздух»; «вода – вода».

Тепловой насос «грунт – вода» и «грунт – воздух». Отбор тепла осуществляется за счет закопанного в грунт, спущенного в скважины или на дно водоёма внешнего контура с незамерзающей жидкостью. Грунто-



вый контур теплового насоса представляет собой уложенную в виде спирали ПНД-трубу диаметром 25 или 32 мм на дно траншеи глубиной 1,5 м, шириной 0,9 м. Длина одной траншеи – от 16 до 64 м. Обычно делается несколько траншей. Этот вариант укладки внешнего контура геотермального теплового насоса подходит для домов с достаточно большим участком земли. Мощность отбора тепла зависит от типа почвы. Чем влажнее грунт, тем больше тепла из него можно забрать благодаря повышенной теплопроводности и хорошему контакту почвы с трубами. Высокое содержание гравия в грунте снижает показатели эффективности. В среднем считается, что с 1 м² можно получить 20 Вт тепла.

Тепловой насос «воздух – вода» и «воздух – воздух». Домашний вариант теплового насоса способен обеспечить помещение нужной температурой при помощи бесплатного источника тепла – воздухом. Это самый дешевый вид теплового насоса, обладающий рядом недостатков. Он очень сильно зависит от температуры окружающего воздуха, соответственно, по мере снижения температуры потребность в отоплении увеличивается, однако коэффициент преобразования снижается. Воздушные тепловые насосы эффективны до температуры минус 15 °С. В холодное время принято использовать резервный источник тепла (традиционный котел). «Воздушники» могут поглощать сбросовое тепло – теплый воздух, используемый для охлаждения. Он может встраиваться в уже существующие системы отопления, дополняя их.

Тепловой насос «вода – вода». Источником энергии для данного типа теплонасосов являются подземные грунтовые воды, вода водоёмов. Температура воды имеет постоянную температуру в течение всего года, которая колеблется от 7 до 12 °С. Для стабильной работы теплового насоса существует одно условие – достаточное количество перекачиваемой воды, которое зависит от мощности теплового насоса. Качество грунтовых вод немаловажно. Вторым источником тепла для теплового насоса типа «вода – вода» могут являться промышленные стоки, технологическая вода и т. д.

Область применения тепловых насосов:

- отопление и горячее водоснабжение производственных помещений, жилых и офисных зданий, а также любых объектов, требующих автономного теплоснабжения (придорожные кафе, супермаркеты, санатории и гостиницы, АЗС);
- в реверсивном исполнении в качестве холодильных машин и кондиционеров;
- в производственных циклах (например, в пищевой промышленности на молочных фермах с одновременным использованием теплоты и холода при пастеризации жидкостей с последующим охлаждением).



2.3 Состав и принцип работы теплового насоса

Основные элементы парокомпрессионных тепловых насосов – компрессор, испаритель, конденсатор, терморегулирующий вентиль и микропроцессор, управляющий режимом работы тепловых насосов. На рисунке 3 приведена упрощенная схема теплового насоса.

Автоматизированная система управления обеспечивает безаварийный, безопасный и эффективный режим работы теплового насоса и вспомогательного оборудования. Системы могут быть автоматически объединены в единую сеть управления несколькими ТН.

Управление работой теплового насоса осуществляется системой управления и автоматики на микропроцессорной основе, которая поддерживает заданный режим работы теплового насоса.

Принцип работы теплового насоса напоминает работу холодильника, только наоборот.

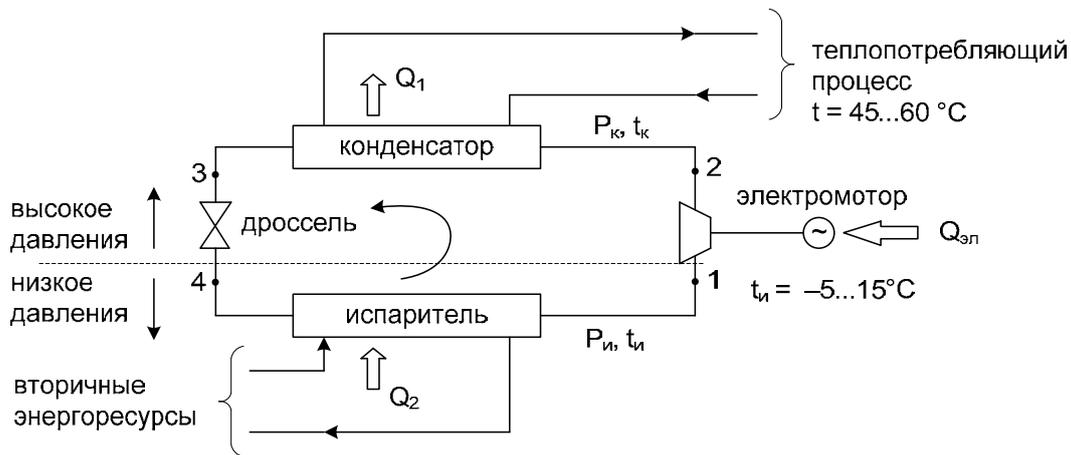


Рисунок 3 – Принцип работы теплового насоса

Тепловой насос состоит из четырех основных элементов: компрессора, конденсатора, дросселя (расширительный вентиль) и испарителя, по которым циркулирует рабочее тело – хладагент. Хладагент в жидком состоянии поступает в испаритель-коллектор, который представляет собой ламельный теплообменник. В испарителе жидкий хладагент, контактируя с природным тепловым потоком или ВЭР с температурой t_1 , испаряется при низком давлении p_n и температуре t_n . Источником низкопотенциальной теплоты может быть тепло как естественного, так и искусственного происхождения: наружный воздух, природные водоемы, грунт, питьевая вода, промышленные стоки, вентиляционные выбросы и т. д. В качестве хладагентов в циклах используются теплоносители с низкой температурой кипения – углекислота, аммиак, фреоны. В газообразном состоянии хладагент поступает в компрессор. Компрессор всасывает и сжимает пары хладагента. При этом его температура, согласно законам

термодинамики, повышается. Горячий газ попадает в конденсатор, который представляет собой пластинчатый теплообменник. В конденсаторе пары конденсируются при давлении p_k и температуре t_k с отдачей теплоты Q_1 теплоносителю сети теплоснабжения или системы отопления. Далее жидкий хладагент стекает на дно конденсатора и за счёт перепада давления через установленный расширительный вентиль (понижающий давление хладагента) подается в теплообменник (называемый испарителем), который связан с окружающей средой внешним контуром. Таким образом, компрессор и расширительный вентиль делят замкнутый гидравлический контур теплового насоса на две части: сторону высокого давления и сторону низкого давления. При низком давлении жидкий хладагент испаряется (превращается в газ) при температуре ниже, чем температура теплоносителя внешнего контура. В результате часть тепла от источника низкопотенциальной тепловой энергии переходит во внутреннюю тепловую энергию хладагента. Газообразный хладагент вновь поступает в компрессор, и таким образом контур замыкается.

Работу ТН поддерживают электромоторы, служащие для циркуляции и компрессии. Компрессор теплового насоса потребляет в 3–5 раз меньше электроэнергии, чем подаёт энергии в систему отопления из источника низкопотенциального тепла. На каждый затраченный киловатт-час электроэнергии приходится от 3 до 7 кВт·ч тепловой энергии, поступающей в систему отопления. Электроэнергия, потребляемая тепловым насосом, тратится лишь на перемещение хладагента по системе с помощью компрессора.

Соотношение между параметрами энергетических потоков в тепловом насосе описывается выражением

$$Q_1 = Q_2 + Q_{\text{эл}}, \quad (7)$$

где Q_1 – высокопотенциальная теплота, отдаваемая в систему отопления;

Q_2 – низкопотенциальная теплота;

$Q_{\text{эл}}$ – работа компрессора.

Энергетическая эффективность теплового насоса оценивается с помощью коэффициента преобразования ε , который представляет собой отношение теплопроизводительности к потребляемой мощности:

$$\varepsilon = \frac{Q_1}{Q_{\text{эл}}}. \quad (8)$$

Чем выше коэффициент преобразования ε , тем эффективнее насос. Коэффициент преобразования ε зависит от:



- разности температур источника низкопотенциальной теплоты и потребителя высокотемпературной теплоты;
- термодинамических свойств хладагента;
- особенностей термодинамического цикла;
- технического совершенства конструкции теплового насоса.

Для тепловых насосов, применяемых в системах теплоснабжения при разности температур около 40–50 °С, значение ε колеблется от трех до пяти. При таких значениях ε экономия первичного топлива по сравнению с теплоснабжением от котельной с КПД, равным 0,7–0,9, составляет около 20–40 %.

2.4 Методика расчёта коэффициента преобразования

Для определения отопительного коэффициента воспользуемся термодинамическими параметрами состояния хладагента (фреона-12), удельной энтальпией h и удельной энтропией s .

Энтальпия H – функция состояния термодинамической системы, равная сумме внутренней энергии и произведения объёма на давление:

$$H = U + p \cdot V. \quad (9)$$

Внутренняя энергия равна сумме теплоты, сообщенной системе, и работы, совершенной над ней:

$$U = Q + A. \quad (10)$$

По своей природе внутренняя энергия системы – это кинетическая энергия составляющих систему молекул, атомов, свободных электронов и других микрочастиц и потенциальная энергия взаимодействия частиц.

Энтропия S – функция состояния термодинамической системы, определяемая тем, что дифференциал dS при элементарном равновесии равен отношению бесконечно малого количества теплоты dQ , сообщенного системе, к термодинамической температуре T системы:

$$S = \frac{dQ}{T}. \quad (11)$$

В изобарных системах при любых обратимых процессах энтропия не изменяется, при необратимых – возрастает.

Рассмотрим процесс превращения воды в перегретый пар (обычно происходит при $p = \text{const}$). Данному давлению соответствует единственная и вполне определенная температура кипения воды. Данный процесс складывается из трех этапов:



1) нагрев воды до кипения при постоянном давлении, сопровождающийся повышением её температуры и незначительным увеличением объёма (изобарный процесс).

В начале процесса парообразования имеется жидкость, в конце – только пар, в течение всего процесса рабочее тело находится в двух состояниях – часть находится в жидком состоянии, а часть – в состоянии сухого насыщенного пара. Две эти фазы – жидкая и газообразная – в каждый данный момент находятся во взаимном равновесии.

Пар, находящийся во взаимном равновесии с жидкостью, из которой он образуется, называют насыщенным.

Если насыщенный пар содержит в себе жидкую фазу в виде мелкодисперсных частиц, то его называют влажным насыщенным;

2) парообразование, происходящее при неизменном давлении и температуре и сопровождающееся увеличением объёма и степени сухости пара (изобарно-изотермический процесс).

В термодинамике для определения содержания во влажном паре воды и сухого насыщенного пара используют понятие «степень сухости пара».

Под степенью сухости пара понимают массу сухого пара, содержащегося в единице массы влажного пара, т. е. пароводяной смеси. Обозначают буквой x , она выражает долю сухого насыщенного пара во влажном паре.

Началу кипения воды соответствует $x = 0$, и наоборот, завершению процесса парообразования, т. е. состоянию сухого насыщенного пара, соответствует единица;

3) перегрев пара при неизменном давлении, сопровождающийся увеличением температуры и объёма пара (изобарный процесс).

При исследовании паросиловых и холодильных установок широко применяется T,s -диаграмма, которая обеспечивает наиболее наглядное изображение процессов. Ход процесса работы теплового насоса показан на термодинамической T,s -диаграмме (рисунок 4), где координаты T – абсолютная температура, К; s – удельная энтропия (термодинамический параметр состояния, $s = dq/T$), кДж/(кг·К).

На T,s -диаграмме (см. рисунок 4) показаны две кривые:

- 1) линия кипения, называемая нижней пограничной кривой;
- 2) линия сухого насыщенного пара, называемая верхней пограничной кривой.

Две пограничные кривые сходятся в точке K , называемой критической.

Согласно диаграмме, процесс работы теплового насоса содержит четыре интервала.

В интервале 4–1 происходит подвод к испарителю низкопотенциальной теплоты из окружающей среды и испарение хладагента при



постоянной температуре преобразования и давления испарения.

В интервале 1–2 – адиабатное сжатие испаренного газа компрессором до состояния сухого насыщенного пара.

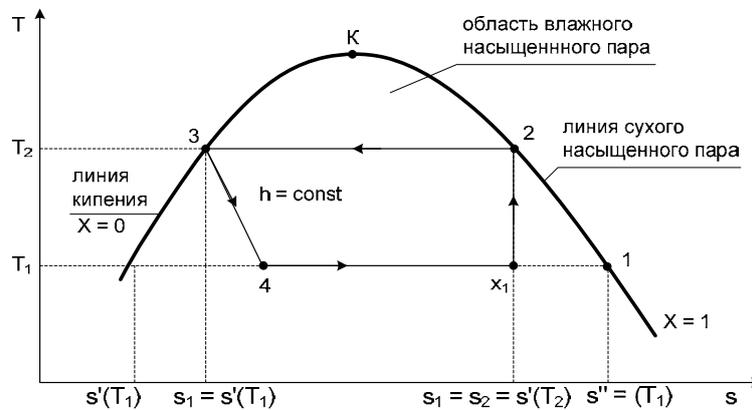


Рисунок 4 – Цикл работы теплового насоса

В интервале 2–3 – отвод теплоты из конденсатора в систему отопления, конденсация пара при постоянной температуре.

В интервале 3–4 – дросселирование с падением давления и снижением температуры с частичным испарением хладагента.

Введём следующие понятия:

q_1 – удельная теплота, передаваемая горячему источнику, кДж/кг;

q_2 – удельная теплота, отбираемая от холодного источника (низкопотенциальная теплота), кДж/кг;

l – удельная работа, подводимая от внешнего источника, кДж/кг;

h – удельная энтальпия, термодинамический параметр состояния, кДж/кг;

s – удельная энтропия, термодинамический параметр состояния, кДж/(кг·К).

Основное уравнение выглядит следующим образом:

$$q_1 = q_2 + l. \quad (12)$$

Коэффициент преобразования теплового насоса определяется по формуле

$$\varepsilon = \frac{q_1}{l}. \quad (13)$$

Количество теплоты, отдаваемое конденсатором в систему отопления помещения:

$$Q_1 = q_1 \cdot G. \quad (14)$$

Количество низкопотенциальной теплоты, подведенное из окружающей среды к испарителю:

$$Q_2 = q_2 \cdot G, \quad (15)$$

где G – расход хладагента, кг/с.

Расход хладагента

$$G = P/l, \quad (16)$$

где P – мощность компрессора, кВт;

l – работа компрессора, кДж/кг.

Для определения коэффициента преобразования ε , количества низкопотенциальной теплоты Q_2 и высокопотенциальной теплоты Q_1 воспользуемся таблицей термодинамических свойств фреона-12 (таблица А.1) и термодинамической T,s -диаграммой (см. рисунок 4). В таблице термодинамических свойств хладагента (фреона-12) параметры на линии кипения обозначены параметрами с одним штрихом; на линии сухого насыщенного пара – с двумя штрихами.

Задаем температуру низкопотенциального источника t_1 , и высокопотенциального источника t_2 . По таблице А.1 определяем удельную энтальпию и удельную энтропию для заданных температур.

Определяем удельную теплоту q_1 , передаваемую горячему источнику. Для этого находим удельную энтальпию и удельную энтропию для точек 2 и 3.

Из рисунка 4 видно, что точка 2 лежит на линии сухого насыщенного пара:

$$h_2 = h''(t_2); \quad s_2 = s''(t_2). \quad (17)$$

Точка 3 лежит на линии кипения:

$$h_3 = h'(t_2); \quad s_3 = s'(t_2). \quad (18)$$

Удельное количество теплоты, отдаваемое конденсатором в систему отопления помещения:

$$q_1 = h_2 - h_3. \quad (19)$$

Определяем удельное количество теплоты q_2 , отбираемое от холодного источника. Находим удельную энтальпию и удельную энтропию для точек 4 и 1. В интервале 3–4 происходит дросселирование, $h = \text{const}$, следовательно,

$$h_4 = h_3. \quad (20)$$



Для нахождения удельной энтальпии и удельной энтропии в точке 1 необходимо найти степень сухости x_1 в этой точке. Это можно сделать исходя из равенства удельной энтропии в точке 1 и 2.

$$s_1 = s_2 ; \quad x_1 = (s_1 - s'(t_1)) / (s''(t_1) - s'(t_1)). \quad (21)$$

Тогда

$$h_1 = h''(t_1) \cdot x_1 + h'(t_1) \cdot (1 - x_1). \quad (22)$$

Значение x_1 находится в пределах 0,9–1 (для проверки).

Удельное количество низкопотенциальной теплоты, подведённое из окружающей среды к испарителю:

$$q_2 = h_1 - h_4. \quad (23)$$

Удельная работа цикла

$$l = q_1 - q_2 = h_2 - h_1. \quad (24)$$

В процессе дросселирования работа не производится, поэтому работа цикла равна работе компрессора: $l = Q_{\text{эл}}$.

Коэффициент преобразования, расход хладагента, количество теплоты, отдаваемой конденсатором в систему отопления помещения Q_1 и количество низкопотенциальной теплоты, подведённое из окружающей среды к испарителю Q_2 , рассчитываются по формулам (13)–(15).

Для выбора мощности теплового насоса, необходимого для отопления дома, требуется определить тепловой баланс дома. Потребляемая мощность помещения зависит от объёма здания, коэффициента теплопроводности здания, разности температур снаружи дома и внутри помещения в самое холодное время. Для перевода получившихся килокалорий в ватты необходимо поделить полученную мощность теплового насоса на 860.

Порядок выполнения работы

1 Рассчитать в соответствии с предложенной методикой и вариантом задания коэффициент преобразования теплового насоса.

2 Определить количество низкопотенциальной и высокопотенциальной теплоты.

3 Рассчитать мощность теплового насоса, необходимого для отопления.

Исходные данные, необходимые для расчетов, представлены в таблице 5.



Таблица 5 – Исходные данные для расчёта

Параметры	Размерность	Вариант				
		1	2	3	4	5
t_1	°С	-5	0	10	5	-10
t_2	°С	60	55	60	50	55
t_1^n	°С	8	0	10	-3	-10
t_2^n	°С	60	45	55	50	45
$A \times B \times H$	м	$50 \times 30 \times 3$	$70 \times 30 \times 3$	$10 \times 10 \times 6$	$15 \times 10 \times 6$	$10 \times 10 \times 4$
k	Вт/(м·°С)	1	2	1	2	4

Содержание работы

1 Ознакомиться с теоретической частью, основными понятиями и определениями.

2 На основании полученных теоретических знаний выполнить необходимые расчёты.

3 Ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1 Какие недостатки присущи традиционной системе теплоснабжения?

2 Какими экономическими и экологическими эффектами сопровождается внедрение ТН в системах отопления и горячего водоснабжения?

3 В каких системах и где может применяться ТН, какие функции он выполняет?

4 По каким признакам осуществляется классификация ТН?

5 Какие основные элементы входят в состав парокомпрессионных ТН?

6 Какие низкотемпературные источники тепла используются в ТН?

7 Принцип работы ТН.

8 Какие вещества применяются в ТН в качестве рабочих тел?

9 Почему необходимо при выборе рабочего тела учитывать его термодинамические, теплофизические и другие свойства?

10 Какие требования предъявляются к хладагентам?

11 Для каких целей используется электромотор?

12 Какой параметр характеризует энергетическую эффективность ТН?

13 От каких факторов зависят характеристики ТН?

14 Какие основные этапы соответствуют процессу превращения воды в перегретый пар?

15 Что понимают под степенью сухости пара?



3 Практическая работа № 3. Применение газоздушного лучистого отопления для снижения расхода тепловой энергии системами отопления производственных зданий

Цель работы

- 1 Изучить систему газоздушного лучистого отопления (ГВЛО).
- 2 Выполнить расчёт системы газоздушного лучистого отопления.
- 3 Определить экономию топлива.

3.1 Основные виды теплообмена

Тепло самопроизвольно распространяется от тел с большей температурой к телам с меньшей температурой. При наличии разности температур в одном теле или во многих телах (твёрдых, жидких и газообразных) возникает процесс теплообмена или теплопередачи, который протекает тем интенсивнее, чем больше разность температур. Различают три элементарных вида теплообмена: теплопроводность (кондукцию), конвекцию и тепловое излучение.

Теплопроводность определяется тепловым движением микрочастиц тела, т. е. движением микроструктурных частиц вещества (молекул, атомов, ионов, электронов). Обмен энергией между движущимися частицами происходит в результате непосредственных их столкновений; при этом молекулы более нагретой части тела, обладающие большей энергией, сообщают долю её соседним частицам, энергия которых меньше. В газах перенос энергии происходит путем диффузии молекул и атомов, в жидкостях и твердых диэлектриках – путем упругих волн, в металлах – колеблющимися ионами решётки и диффузией свободных электронов («электронным газом»).

Под конвекцией тепла понимают процесс передачи его из одной части пространства в другую перемещающимися макроскопическими объёмами жидкости или газа. В зависимости от причины, вызывающей движение, конвекция может быть свободной (естественной) или вынужденной, происходящей за счёт действия внешних сил. Естественное или свободное движение жидкости или газа, а следовательно, и конвекция тепла вызывается разностью удельных весов неравномерно нагретой среды; принудительное движение осуществляется нагнетателями (насосами, вентиляторами, компрессорами и др.). В пространстве внутри зданий свободная конвекция имеет направление вверх или иногда вбок, но никогда вниз.

Инфракрасное излучение – электромагнитное излучение, занимающее спектральную область между красным концом видимого света (с длиной волны $\lambda = 0,74$ мкм) и микроволновым излучением ($\lambda \sim 1-2$ мм).

Инфракрасное излучение также называют «тепловым» излучением, т. к. инфракрасное излучение от нагретых предметов воспринимается кожей человека как ощущение тепла. При этом длины волн, излучаемые телом, зависят от температуры нагревания: чем выше температура, тем короче длина волны и выше интенсивность излучения. Спектр излучения абсолютно чёрного тела при относительно невысоких (до нескольких тысяч кельвинов) температурах лежит в основном именно в этом диапазоне. Инфракрасное излучение испускают возбуждённые атомы или ионы.

Инфракрасное излучение – это почти то же, что и обычный свет. Отличие состоит в том, что при попадании на предметы видимая часть спектра становится освещением, а инфракрасное излучение поглощается телом, превращаясь при этом в энергию тепла. Все тела, твёрдые и жидкие, нагретые до определённой температуры, являются источником ИК-излучения. При распространении инфракрасного излучения в пространстве почти не происходит потерь энергии.

3.2 Система газозвоздушного лучистого отопления

Основными элементами любой системы отопления являются генератор тепла, нагревательные приборы и теплопроводы (каналы или трубопроводы). В зависимости от вида теплоносителя они подразделяются на системы водяного, парового, воздушного и комбинированного отопления.

Традиционные конвективные системы отопления не способны эффективно обогревать помещения периодического и кратковременного использования; помещения с частично используемой площадью; помещения значительной высоты; помещения, удаленные от тепловых сетей, а также открытые площадки в силу присущего им ряда принципиальных недостатков, а именно:

- наличие промежуточного теплоносителя и, как следствие, тепловые потери в теплотрассах, опасность размораживания системы;
- образование так называемой тепловой подушки под кровлей, вызванной непрерывным движением вверх нагретых масс воздуха;
- невозможность обеспечения качественного позонного регулирования.

Наиболее эффективным и экономически выгодным в этом смысле является лучистый способ отопления, т. е. передача тепловой энергии от теплогенератора к объекту посредством излучения.

Инфракрасный обогреватель – отопительный прибор, отдающий тепло в окружающую среду посредством инфракрасного излучения.

Главным конструктивным элементом инфракрасного обогревателя



является излучатель, испускающий инфракрасное излучение за счёт нагрева. В электрических обогревателях используется трубчатый электронагреватель (ТЭН) или открытая (либо защищённая кварцевой трубкой) спираль, в газовых – металлическая сетка или трубка с чёрным покрытием либо керамическая пластина со специальными отверстиями, нагреваемая проходящими через неё продуктами сгорания природного газа.

Для направленного обогрева и защиты корпуса и его содержимого от перегрева применяется рефлектор из хорошо отражающего и теплостойкого металла. Если излучатель имеет компактную форму, то рефлектор делают в форме параболоида вращения, если линейную – параболического цилиндра.

В зависимости от диапазона излучения, инфракрасные обогреватели делят на коротковолновые, средневолновые, длинноволновые.

По типу источника энергии – на электрические, газовые и дизельные.

По способу установки – на мобильные (переносные) и стационарные.

В зависимости от диапазона излучения и используемого источника энергии инфракрасные обогреватели могут применяться для различных целей:

- дополнительное отопление;
- самостоятельное отопление;
- локальный (точечный) обогрев в помещении;
- обогрев выездных мероприятий.

Газовоздушная система лучистого отопления состоит из контура излучателей, подсоединенного к одному (или двум) теплогенератору, и циркуляционного вентилятора. Воздух, нагретый газовой горелкой в теплогенераторе, перемещается по контуру теплоизлучателей циркуляционным насосом. Отопительным прибором в системе лучистого отопления является излучатель, состоящий из теплоизлучающих труб, боковых экранов и тепловой изоляции. Теплоизлучающие трубы бывают круглые или прямоугольные. Круглые трубы компонуют по две, три или четыре, а прямоугольные – по две. Движение теплоносителя в трубах может быть как параллельное, так и встречное; может обеспечивать равномерный обогрев рабочих зон или обогрев с заданной неравномерностью. Конструкцию теплоизлучателя и число труб в нём выбирают исходя из требуемой площади поверхности теплоотдачи, конструктивных возможностей размещения в межферменном пространстве и эстетических соображений. Излучатели устанавливают в помещении горизонтально под покрытием.

Теплогенераторы размещают внутри обслуживаемого помещения, за исключением тех случаев, когда их следует выносить по условиям пожарной безопасности. Установки лучистого отопления работают на природном или сжиженном газе. Для системы газового лучистого отопления используется газ низкого давления. Потребление электро-



энергии одной установкой лучистого отопления составляет около 110 кВт при напряжении сети 220 В.

Газогорелочный блок состоит из двух отделений. В первом отделении находится камера сгорания, во втором расположены системы контроля. Конструкция инфракрасных излучателей предусматривает полную автоматизацию процесса сжигания газового топлива с блокировкой подачи газа на горелку излучателя. Система лучистого отопления включает в себя центральный шкаф управления с несколькими температурными датчиками и при необходимости сенсорами влажности, что обеспечивает точный и экономичный режим работы оборудования.

Использование лучистых отопительных систем как прогрессивных и эффективных систем отопления предоставляет определенные выгоды с точки зрения образования рабочей среды.

1 Централизованное использование природного газа обеспечивает лёгкость его применения и более удобное регулирование температур в помещении.

2 Температура воздуха на уровне пола на 2–3 °С выше, чем на высоте 1,5 м над полом.

3 Более равномерным способом распределяется температура по всей высоте отопляемого объекта между газовым излучателем и полом.

4 При использовании лучистого отопления нет движения пыли.

5 Лучистое отопление является экологически безопасным.

6 Процесс отопления не требует применения воды.

7 Лучистая система по сравнению с тепловоздушной работает почти бесшумно.

8 Лучистая отопительная система не может замерзнуть.

9 Обогрев помещения достигается за 10–25 мин.

10 Легкий монтаж и ремонт.

Недостаток лучистого отопления: лучистую отопительную систему нельзя использовать в помещениях, где существует опасность возникновения пожара.

3.3 Классификация, принцип работы и характеристики светлых и тёмных газовых инфракрасных излучателей

Полная классификация газовых инфракрасных излучателей (ГИИ) выделяет светлые высокотемпературные (с температурой излучения выше 1000 °С), светлые среднетемпературные (800–1000 °С), низкотемпературные каталитические (600–800 °С), тёмные (400–600 °С) и супер-тёмные (200–400 °С) излучатели.

Для отопления крупных площадей используются следующие типы ГИИ: светлые, с открытой атмосферной газовой горелкой, не имеющей организованного отвода продуктов горения, и температурой излучающей



поверхности более 600 °С; тёмные, с вентиляторным газогорелочным блоком, отводом продуктов сгорания за пределы помещения и температурой излучающей поверхности менее 600 °С; сверхтёмные, с температурой излучающей поверхности 150–200 °С.

Основной элемент систем лучистого отопления и обогрева – газовый инфракрасный излучатель. Это устройство, включающее в себя, как правило, газогорелочный блок и излучающую поверхность, теплоотражающий экран, систему управления и безопасности. Излучающая поверхность нагревается продуктами сгорания газа и передает тепло окружающим поверхностям.

Светлые ГИИ. Излучатели относятся к высокотемпературным лучистым отопительным системам и преимущественно используются в помещениях высотой более 4 м и размером помещения минимум в 20 м³ на каждый киловатт установленной номинальной тепловой мощности. Характерный признак излучателя – сгорание газозвдушной смеси, происходящее на и внутри поверхности огнеупорной керамической горелки. Температура нагрева – около 850–1000 °С.

В светлых инфракрасных обогревателях газ под давлением подается через форсунку в рабочую камеру горелки, где смешивается с также поступающим туда воздухом из отапливаемого помещения; сгорание смеси происходит на излучателе из керамических пластин. Для усиления эффекта обогрева, его целенаправленности и снижения теплопотерь над излучателем располагается отражатель из жаропрочной стали или алюминия. Отражатель может быть изолирован от потолка теплоизоляцией.

Отработанные газы видимого излучения могут отводиться из помещения как непосредственно через газоотвод, так и через искусственную вытяжную вентиляцию при отсутствии системы выпуска. Такое исполнение применяется прежде всего при встраивании излучателей в навесные потолки. В противоположность этому вариант исполнения без системы отвода отработанного газа направляет газообразные отходы в помещение, и при помощи вытяжных вентиляторов, расположенных над приборами в крыше помещения, они отводятся наружу. Достаточное поступление свежего воздуха обеспечивают вентиляционные отверстия или приточные вентиляторы. Для снижения образования вредных веществ, в частности СО, светлые излучатели оборудуются специальной каталитической сеткой.

Выбор необходимой мощности излучателя зависит от размера помещения, высокие помещения позволяют использовать излучатели большей мощности, что при сравнительно малых затратах на установку делает возможным более низкие общие затраты. При выборе показателя мощности (в диапазоне от 5 до 40 кВт) оптимального компромисса добиваются при помощи диаграммы распределения интенсивности, предоставляемой изготовителем.



Вследствие очень высокой поверхностной температуры и интенсивного теплового излучения данные излучатели оптимальны для отопления очень высоких помещений. Рекомендуемые сферы применения: механические, сварочные, термические и литейные цеха, производственные помещения, склады, спортивные сооружения, стадионы, ангары, торговые павильоны, церкви с очень высоким потолком. Излучатели не должны устанавливаться в жилых и офисных помещениях, а также в сравнимых помещениях. Они могут быть установлены на стенах, потолках и колоннах. Вертикальные, наклонные, параболические излучатели с различной формой рефлекторов могут распределять излучение по большой площади или направленно на определенные зоны. Отопительные системы с использованием данных излучателей характеризуются кратким периодом нагревания. Излучатели сравнительно просты в монтаже и имеют минимальную навесную нагрузку на крышу или стены; появление неисправностей минимально.

Недостатками светлых систем газового инфракрасного обогрева принято считать их относительную пожароопасность. При монтаже светлых излучателей необходимо соблюдать технические требования к размещению горелок на удалении от горючих материалов.

Работают светлые излучатели, как и все остальные газовые инфракрасные аппараты, на сжиженном и природном газе.

Светлые излучатели имеют срок службы в 2–3 раза больший по сравнению с темными излучателями. Они экономичнее по потреблению газа, меньше потребляют электрической энергии и создают меньше шума, т. к. не имеют вентилятора, надёжнее в эксплуатации – нет подвижных частей.

Тёмные газовые излучатели. Тёмный излучатель – это инфракрасный излучатель, который производит тепло при сгорании газозооной смеси в закрытой системе. Основные элементы темной газовой горелки инфракрасного излучения: рефлектор, трубный излучатель (нагревательные трубы), редуктор, система автоматики, смеситель-инжектор, горелка (дутьевая или инжекционная), пьезорозжиг, дымосос. Излучающий элемент – металлическая труба, изготовленная из алюминия или жаропрочной стали. В помещениях с повышенной влажностью воздуха используются излучатели из нержавеющей стали. Они работают по тем же физическим законам, что и светлые излучатели, но имеют более низкие температуры (от 350–450 °С); излучающие трубки не накаляются до видимого красного цвета, поэтому излучатель называют тёмным. Благодаря возникающим при сгорании дымовым газам поверхность экранной трубки раскаляется, и тепло выделяется преимущественно в форме излучения. Вертикальное распределение температуры в помещении осуществляется аналогично светлomu ГИИ. Тёмный излучатель характеризуется более низкой лучистой эффективностью, которая колеблется в



диапазоне 45–60 %. Вследствие того, что температура поверхности излучающей трубки находится в пределах от 350 до 600 °С, эти излучатели подходят для использования в помещениях на высоте установки от 3 м. Тёмные системы лучистого обогрева бывают модульными, блочными или ленточными. Модульные эффективно применяются для организации зонного обогрева – отдельных рабочих мест, столиков кафе. Ленточные обогреватели можно собирать в длинные системы, вытягивающиеся под потолком в различных конфигурациях, в соответствии с требованиями обогрева и геометрическими характеристиками помещения. По возможностям компоновки тёмные системы газового инфракрасного обогрева подразделяют также на короткие (6–24 м) и длинные (до 350 м). Короткие излучатели могут быть прямыми (или линейными) и U-образной формы, по числу излучателей (прямых) – одинарными и двойными. U-образная экранная трубка имеет приблизительно равномерное распределение температуры по длине излучателя, т. к. горячий сегмент со стороны горелки лежит напротив более холодного сегмента со стороны вентилятора. Напротив, линейные излучающие трубки характеризуются постепенным снижением температуры к концу излучающей трубки. Мощность коротких систем находится в диапазоне 10–60 кВт, мощность длинных – до 500 кВт. В зоне излучения на предметах с горючими веществами температура поверхности не должна превышать 85 °С; горючие вещества нельзя хранить на расстоянии 1,5 м вокруг и над излучающей трубкой. Тёмные излучающие трубки не должны устанавливаться в помещениях жилых и офисных (и в схожих с ними), в помещениях, где изготавливаются, обрабатываются, перерабатываются или могут возникнуть легковоспламеняющиеся и горючие вещества, в помещениях, соединённых через проёмы с другими помещениями и участками под открытым небом. Излучатели подходят для частичного и полного отопления помещения, требуют минимального места для размещения, однако затраты на установку каждого тёмного излучателя более высокие (в силу большего, чем у светлого, размера и веса). Тёмные излучатели выгодно использовать: в больших зданиях павильонного типа с минимальным воздухообменом; в помещениях, где требуется распределение теплового (инфракрасного) излучения на максимальную площадь при относительно небольшой высоте помещения; в узких помещениях или цеховых проходах; в больших помещениях с заметным снижением потребности в отоплении (лаборатории, склады, станции техобслуживания, мастерские, спортивные сооружения, торговые павильоны).

Сверхтёмный излучатель – специальный тип тёмного излучателя – имеет пониженную рабочую температуру до 150–200 °С. Излучатель генерирует излучение с длиной волны более чем $14 \cdot 10^{-6}$ м, которое уже невозможно рефлектором направить в когерентные пучки, и сам излучатель облучает всю поверхность пространства. При этом его

лучистая мощность колеблется на уровне 40 %. Поэтому сверхтёмный излучатель имеет массивный изолированный рефлектор, задачей которого является защита его от больших конвективных потерь. Лучистая энергия в значительной мере поглощается воздухом и водяным паром, что приводит к превышению температуры воздуха прямым излучением. Поэтому эти низкотемпературные излучатели используются в хорошо изолированных помещениях с малым обменом воздуха. Увеличение энергии за счёт излучения у этих излучателей колеблется от 1 до 2 °С. Излучатели имеют обычно одну горелку и комбинированную подачу воздуха – отвод продуктов сгорания с помощью дымохода.

3.4 Методика расчёта системы газозудушного отопления

Расчёт включает определение тепловой нагрузки на систему лучистого отопления, определение площади теплоизлучающей поверхности, выбор конструкции излучателей, определение расхода и перепада температур теплоносителя, определение расчётного расхода газа и среднегодового потребления теплоты и газа.

Суммарная тепловая нагрузка Q_{Σ} на систему лучистого отопления

$$Q_{\Sigma} = c(Q + Q_{\text{инф}} - Q_{\text{вн}}), \quad (25)$$

где Q_{Σ} – суммарная тепловая нагрузка, Вт;

c – поправочный коэффициент, учитывающий возможное снижение температуры и распределение её по высоте помещения при лучистом отоплении, изменяется в пределах от 0,8 до 1,15;

$Q_{\text{вн}}$ – тепловыделения от оборудования и людей, Вт;

Q – основные потери теплоты, Вт;

$Q_{\text{инф}}$ – расход теплоты на нагревание инфильтрующегося воздуха, Вт.

Тепловая нагрузка в дежурном режиме

$$Q^{\text{деж}} = c(Q + Q_{\text{инф}}) \frac{\tau_{\text{в}}^{\text{деж}} - \tau_{\text{н}}}{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}}, \quad (26)$$

где $t_{\text{в}}^{\text{деж}}$ – температура воздуха в дежурном режиме, $t_{\text{в}}^{\text{деж}} = 5$ °С.

Тепловая нагрузка на излучатель

$$Q_{\text{изл}} = \frac{Q_{\Sigma}}{\beta}, \quad (27)$$

где β – коэффициент, учитывающий поступление теплоты от подводящих магистралей, $\beta = 1,03$.



Максимально допустимая температура поверхности труб при размещении излучателей на 25 % площади покрытия зависит от соотношения ширины здания и высоты подвески излучателей и определяется по рисунку 5.

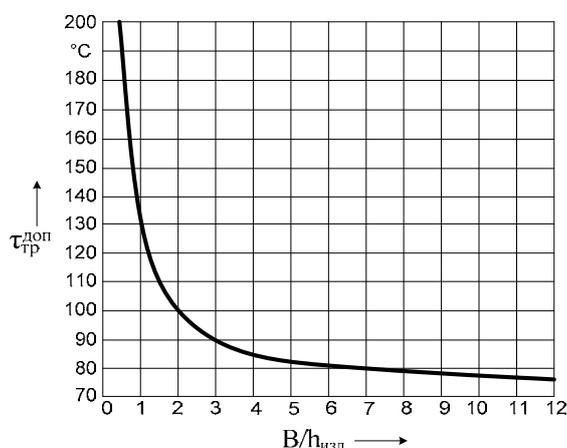


Рисунок 5 – Зависимость максимально допустимой температуры поверхности труб от соотношения ширины здания и высоты подвески излучателей

Максимальная теплоотдача излучателей

$$Q_{max} = \frac{\alpha_{л} \cdot (\tau_{гр}^{доп} - \tau_{в}) \cdot 0,25 \cdot A \cdot V}{\varphi}, \quad (28)$$

где $\tau_{гр}^{доп}$ – допустимая температура поверхности труб, °C;

Q_{max} – максимальная теплоотдача излучателей, Вт;

$\tau_{в}$ – температура внутреннего воздуха помещения, °C;

φ – доля лучистой составляющей теплоотдачи излучателя, $\varphi = 0,6$;

$\alpha_{л}$ – коэффициент лучистой теплоотдачи системы (определяется по рисунку 6 при $\tau_{гр}^{доп}$), Вт/(м²·°C).

При сравнении максимальной теплоотдачи излучателей и тепловой нагрузки на излучатель должно выполняться условие

$$Q_{изл} < 1,05 \cdot Q_{max}. \quad (29)$$

Если это условие не выполняется, то необходимо снизить мощность системы лучистого отопления.

Средняя температура поверхности труб в зависимости от отношения $Q_{изл}/Q_{max}$ определяется по рисунку 7.

Площадь теплоизлучающей поверхности

$$F_{л} = \frac{Q_{изл} \cdot \varphi}{\alpha_{л} (\tau_{гр} - \tau_{в})}, \quad (30)$$

где $F_{л}$ – площадь теплоизлучающей поверхности, м;
 $\tau_{тр}$ – средняя температура поверхности труб (определяется по рисунку 6 в зависимости от $Q_{изл}/Q_{max}$, но не более 200 °С);
 $\alpha_{л}$ – коэффициент лучистой теплоотдачи (определяется по рисунку 6 при $\tau_{тр}$), Вт/(м²·°С).

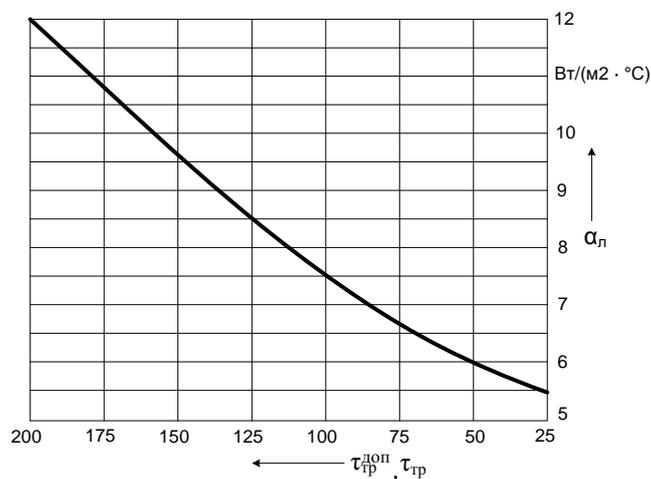


Рисунок 6 – Номограмма для расчёта и выбора режима работы газоздушного лучистого отопления

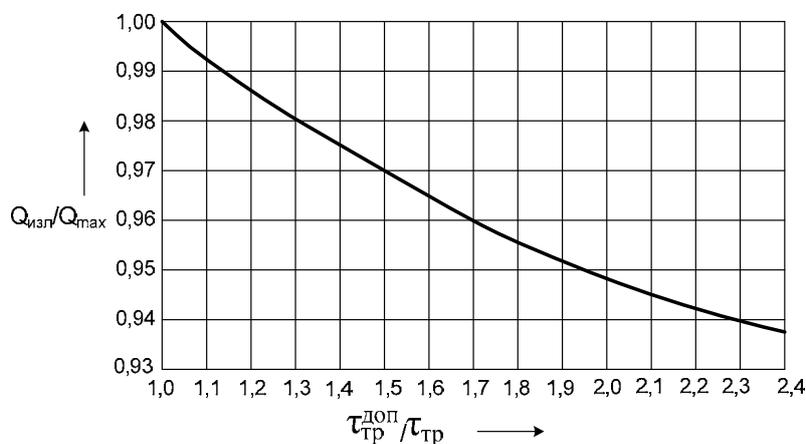


Рисунок 7 – Определение расчётной температуры поверхности труб

Схема размещения излучателей выбирается в соответствии с требуемым количеством теплогенераторов. Теплоизлучатели размещают по периметру здания в одну, две или больше линий, исходя из требуемой площади поверхности теплоотдачи, конструктивных возможностей размещения в межферменном пространстве и эстетических соображений. Конструкцию излучателей принимают по таблице 6.

Таблица 6 – Рекомендуемые типоразмеры излучателей

Площадь теплоотдающей поверхности, м ² на 1 п. м излучателя	Рекомендуемый типоразмер теплоизлучателя
До 0,8	2-трубный d = 315; с прямоугольными трубами – 250–500
0,8–1,0	2-трубный d = 400; с прямоугольными трубами – 315–600
1,0–1,2	4-трубный d = 250; 2-трубный d = 500
1,2–1,5	4-трубный d = 315; 2-трубный d = 630

Требуемая поверхность теплоотдачи 1 п. м излучателя

$$f = \frac{F_{\text{л}}}{\Sigma L_{\text{изл}}}, \quad (31)$$

где $\Sigma L_{\text{изл}}$ – суммарная длина излучателей, м.
Максимальный часовой расход газа

$$G_{\text{газ}}^{\text{час}} = \frac{3,6Q_{\text{изл}} \cdot \beta}{\eta_{\text{тг}} \cdot Q_{\text{н}}^{\text{р}}}, \quad (32)$$

где $\eta_{\text{тг}}$ – КПД теплогенератора;

$Q_{\text{н}}^{\text{р}}$ – удельная теплота сгорания газа, $Q_{\text{н}}^{\text{р}} = 34330$ кДж/м³.

Среднегодовой расход теплоты на отопление при работе цеха в одну, две или три смены рассчитывается следующим образом:

$$Q^{\text{год}} = 3,6 \cdot 10^{-6} \left[Q_{\Sigma} \frac{(t_{\text{в}} - t_{\text{н.ср}})}{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}} n \cdot (m - a) + Q_{\Sigma}^{\text{деж}} \frac{t_{\text{в}}^{\text{деж}} - t_{\text{н.ср}}}{t_{\text{в}}^{\text{деж}} - t_{\text{н}}} n \cdot a \right], \quad (33)$$

где $Q^{\text{год}}$ – среднегодовой расход теплоты, ГДж;

n – продолжительность отопительного периода, сут;

m – число часов работы в сутки;

$t_{\text{в}}$ – расчетная температура воздуха в помещении, °С;

$t_{\text{н}}$ – расчетная наружная температура, °С;

$t_{\text{н.ср}}$ – средняя температура за отопительный период, °С.

a – время работы системы отопления в дежурном режиме, ч.

Среднегодовой расход газа

$$G_{\text{газ}}^{\text{год}} = \frac{Q^{\text{год}}}{\eta_{\text{тг}} \cdot Q_{\text{н}}^{\text{р}}} 10^6, \quad (34)$$

где $G_{\text{газ}}^{\text{год}}$ – среднегодовой расход газа, м³.



3.5 Определение экономии энергетических ресурсов за счёт использования системы ГВЛО

Для определения экономии энергетических ресурсов провести расчёт системы в режиме дежурного отопления.

Тепловая нагрузка на систему лучистого отопления

$$Q_{\Sigma} = c(Q + Q_{\text{инф}} - Q_{\text{вн}}) = c(Q_{\text{пом}} - Q_{\text{вн}}), \quad (35)$$

где c – поправочный коэффициент, учитывающий 7-процентные потери в оборудовании;

$Q_{\text{вн}}$ – внутренние тепловыделения от оборудования, $Q_{\text{вн}} = 0$ Вт;

$Q_{\text{пом}}$ – теплопотери помещения, Вт.

Тепловая нагрузка в дежурном режиме

$$Q_{\Sigma}^{\text{деж}} = c \cdot Q_{\text{пом}} \frac{(\tau_{\text{в}}^{\text{деж}} - \tau_{\text{н}})}{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}}. \quad (36)$$

Среднегодовой расход теплоты на отопление системой ГВЛО

$$Q_{\text{ГВЛО}}^{\text{год}} = 3,6 \cdot 10^{-6} \left[Q_{\Sigma} \frac{(t_{\text{в}} - t_{\text{н.ср}})}{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}} n(m - a) + Q_{\Sigma}^{\text{деж}} \frac{t_{\text{в}}^{\text{деж}} - t_{\text{н.ср}}}{t_{\text{в}}^{\text{деж}} - t_{\text{н}}} n \cdot a \right], \quad (37)$$

где $t_{\text{н.ср}}$ – средняя температура наружного воздуха за отопительный период, °С;

a – время работы системы отопления в дежурном режиме, ч.

Среднегодовой расход теплоты на отопление котельной

$$Q_{\text{КОТ}}^{\text{год}} = 3,6 \cdot 10^{-6} (Q_{\text{пом}} \frac{\tau_{\text{в}} - \tau_{\text{н.ср}}}{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}} n \cdot m). \quad (38)$$

Среднегодовой расход газа системой ГЛВО

$$V_{\text{ГВЛО}}^{\text{год}} = \frac{Q_{\text{ГЛВО}}^{\text{год}}}{\eta_{\text{ТГ}} \cdot Q_{\text{Н}}^{\text{р}}} 10^6. \quad (39)$$

Среднегодовой расход газа котельной

$$V_{\text{КОТ}}^{\text{год}} = \frac{Q_{\text{КОТ}}^{\text{год}}}{\eta_{\text{КОТ}} \cdot Q_{\text{Н}}^{\text{р}}} 10^6. \quad (40)$$

Годовая экономия топлива в натуральном выражении



$$\Delta B = B_{\text{КОТ}}^{\text{ГОД}} - B_{\text{ГЛВО}}^{\text{ГОД}} \quad (41)$$

Годовая экономия в денежном выражении

$$\Delta \mathcal{E} = \Delta B \cdot T_{\text{ГТ}} \quad (42)$$

Пример – Рассчитать систему газозвоздушного лучистого отопления для механосборочного цеха и экономию энергоресурсов за счёт использования ГВЛО. Расчетная наружная температура $t_{\text{н}}$ – минус 40 °С; продолжительность отопительного периода $n = 240$ сут; средняя температура за отопительный период $t_{\text{н.ср}}$ – минус 7,6 °С; расчетная температура воздуха в помещении $t_{\text{в}}$ – 16 °С. Размеры помещения 96 × 72 × 13 м. Высота подвески излучателей $h_{\text{изл}} = 10$ м. Применены излучатели с $\varphi = 0,6$. Теплотери помещения (с учетом затрат тепловой энергии на нагрев инфильтрационного воздуха) $Q + Q_{\text{инф}} = 1600000$ Вт. Тепловыделения от людей и оборудования $Q_{\text{вн}} = 300000$ Вт. Поправочный коэффициент $c = 0,9$. Удельная теплота сгорания газа $Q_{\text{н}}^{\text{P}} = 34330$ кДж/м³.

Решение

1 Определяем тепловую нагрузку на систему лучистого отопления:

$$Q_{\Sigma} = c(Q + Q_{\text{инф}} - Q_{\text{вн}}) = 0,9 \cdot (1600000 - 300000) = 1170000 \text{ Вт.}$$

2 Определяем тепловую нагрузку на излучатель:

$$Q_{\text{изл}} = \frac{Q_{\Sigma}}{\beta} = \frac{1170000}{1,03} = 1136000 \text{ Вт.}$$

3 Определяем тепловую нагрузку в дежурном режиме:

$$Q_{\Sigma}^{\text{деж}} = c \cdot Q_{\text{пом}} \frac{(\tau_{\text{в}}^{\text{деж}} - \tau_{\text{н}})}{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}} = 0,9 \cdot 1600000 \cdot \frac{5 + 40}{16 + 40} = 1157000 \text{ Вт.}$$

4 Определяем по рисунку 5 максимально допустимую температуру поверхности труб, зависящую от соотношения ширины здания и высоты подвески излучателей, и по рисунку 6 при $\tau_{\text{тр}}^{\text{доп}}$ коэффициент лучистой теплоотдачи системы.

5 Определяем максимальную теплоотдачу излучателей:

$$Q_{\text{max}} = \frac{\alpha_{\text{л}} (\tau_{\text{тр}}^{\text{доп}} - \tau_{\text{в}}) \cdot 0,25 A \cdot B}{\varphi} = \frac{6,7 \cdot (78 - 16) \cdot 0,25 \cdot 96 \cdot 72}{0,6} = 1196000 \text{ Вт.}$$



6 Сравниваем максимальную теплоотдачу излучателей и тепловую нагрузку на излучатель и в зависимости от отношения определяем по рисунку 6 требуемую температуру поверхности труб:

$$Q_{\text{изл}}/Q_{\text{max}} = 1136000/1196000 = 0,94; \quad \tau_{\text{тр}}/\tau_{\text{тр}}^{\text{доп}} = 2,06.$$

Температура поверхности труб в рабочем режиме

$$\tau_{\text{тр}} = 2,06 \cdot 78 = 160 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Коэффициент лучистой теплоотдачи системы (по рисунку 6)

$$\alpha_{\text{л}} = 9,9 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}).$$

7 Определяем площадь теплоизлучающей поверхности:

$$F_{\text{л}} = \frac{Q_{\text{изл}} \cdot \varphi}{\alpha_{\text{л}} \cdot (\tau_{\text{тр}} - \tau_{\text{в}})} = \frac{1136000 \cdot 0,6}{9,9 \cdot (160 - 160)} = 470 \text{ м}^2.$$

8 Общая длина излучателей 670 м. Требуемая площадь поверхности теплоотдачи 1 м излучателя

$$F = 470/670 = 0,70 \text{ м}.$$

По таблице 6 принимаем двухтрубный излучатель, диаметр труб – 315 мм.

9 Определяем максимальный часовой расход газа:

$$G_{\text{газ}}^{\text{час}} = \frac{3,6 Q_{\text{изл}} \cdot \beta}{\eta_{\text{тг}} \cdot Q_{\text{н}}^{\text{р}}} = \frac{3,6 \cdot 1136000 \cdot 1,03}{0,92 \cdot 34330} = 130 \text{ м}^3.$$

10 Рассчитываем среднегодовой расход теплоты на отопление при работе цеха в одну, две или три смены:

$$Q^{\text{год}} = 3,6 \cdot 10^{-6} \left[Q_{\Sigma} \frac{(t_{\text{в}} - t_{\text{н.сп}})}{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}} n(m - a) + Q_{\Sigma}^{\text{деж}} \frac{t_{\text{в}}^{\text{деж}} - t_{\text{н.сп}}}{t_{\text{в}}^{\text{деж}} - t_{\text{н}}} n \cdot a \right] =$$

$$= 3,6 \cdot 10^{-6} \left[1170000 \cdot \frac{16 + 7,6}{16 + 40} \cdot 240 \cdot (24 - 16) + 1157000 \cdot \frac{5 + 7,6}{5 + 40} \cdot 240 \cdot 16 \right] = 8236 \text{ ГДж}.$$

11 Рассчитываем среднегодовой расход газа:



$$G_{\text{газ}}^{\text{год}} = \frac{Q^{\text{год}}}{\eta_{\text{тг}} \cdot Q_{\text{н}}^{\text{р}}} 10^6 = \frac{8236}{0,92 \cdot 34330} 10^6 = 26000 \text{ м}^3.$$

Определение экономии энергоресурсов за счёт использования системы ГВЛО.

1 Тепловая нагрузка на систему лучистого отопления

$$Q_{\Sigma} = c(Q + Q_{\text{инф}} - Q_{\text{вн}}) = 1,07 \cdot (1600000 - 0) = 1712000 \text{ Вт.}$$

2 Тепловая нагрузка дежурного отопления

$$Q_{\Sigma}^{\text{деж}} = c \cdot Q_{\text{пом}} \frac{(\tau_{\text{в}}^{\text{деж}} - \tau_{\text{н}})}{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}} = 1,07 \cdot 1600000 \cdot \frac{5 - (-40)}{16 - (-40)} = 1376000 \text{ Вт.}$$

3 Среднегодовой расход теплоты на отопление системой ГВЛО

$$Q_{\text{ГВЛО}}^{\text{год}} = 3,6 \cdot 10^{-6} \left[Q_{\Sigma} \frac{(t_{\text{в}} - t_{\text{н.ср}})}{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}} n(m - a) + Q_{\Sigma}^{\text{деж}} \frac{t_{\text{в}}^{\text{деж}} - t_{\text{н.ср}}}{t_{\text{в}}^{\text{деж}} - t_{\text{н}}} n \cdot a \right] =$$

$$= 3,6 \cdot 10^{-6} \left[1712000 \cdot \frac{16 + 7,6}{16 + 40} \cdot 240 \cdot (24 - 16) + 1376000 \cdot \frac{5 + 7,6}{5 + 40} \cdot 240 \cdot 16 \right] = 10576 \text{ ГДж.}$$

4 Среднегодовой расход теплоты на отопление котельной

$$Q_{\text{кот}}^{\text{год}} = 3,6 \cdot 10^{-6} \left(Q_{\text{пом}} \frac{\tau_{\text{в}} - \tau_{\text{н.ср}}}{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}} n \cdot m \right) =$$

$$= 3,6 \cdot 10^{-6} (1600000 \cdot \frac{16 + 7,6}{16 + 40} \cdot 240 \cdot 24) = 13988 \text{ ГДж.}$$

5 Среднегодовой расход газа системой ГВЛО

$$V_{\text{ГВЛО}}^{\text{год}} = \frac{Q_{\text{ГВЛО}}^{\text{год}}}{\eta_{\text{тг}} \cdot Q_{\text{н}}^{\text{р}}} 10^6 = \frac{10576}{0,92 \cdot 34330} = 33000 \text{ м}^3.$$

6 Среднегодовой расход газа котельной

$$V_{\text{кот}}^{\text{год}} = \frac{Q_{\text{кот}}^{\text{год}}}{\eta_{\text{кот}} \cdot Q_{\text{н}}^{\text{р}}} 10^6 = \frac{13988}{0,82 \cdot 34330} 10^6 = 49000 \text{ м}^3.$$

7 Определить экономию топлива по формулам (41) и (42).



Порядок выполнения работы

1 Рассчитать в соответствии с предложенной методикой и вариантом задания систему газоздушного лучистого отопления.

2 Рассчитать годовую экономию энергоресурсов за счёт использования системы газоздушного лучистого отопления в натуральном и денежном выражении.

Задание

Рассчитать систему газоздушного лучистого отопления для механосборочного цеха и экономию энергоресурсов за счёт использования ГВЛЮ. Размеры помещения $A \times B \times H$. Расчётная температура воздуха в помещении $t_{в} = 16$ °С; расчётная наружная температура $t_{н}$; продолжительность отопительного периода n ; средняя температура за отопительный период $t_{н.ср}$. Высота подвески излучателей $h_{изл} = 10$ м. Применены излучатели с $\varphi = 0,6$. Теплотери помещения (с учётом затрат тепловой энергии на нагрев инфильтрационного воздуха) $Q + Q_{инф}$. Тепловыделения от людей и оборудования $Q_{вн}$. Удельная теплота сгорания газа $Q_{н}^P = 34330$ кДж/м³. Поправочный коэффициент с. КПД газоздушного лучистого отопления $\eta_{тг} = 0,92$, котельной $\eta_{кот} = 0,82$.

Исходные данные, необходимые для расчётов, представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Исходные данные для расчета

Параметры	Размерность	Вариант				
		1	2	3	4	5
A	м	150	350	400	350	450
B	м	100	300	320	280	380
H	м	15	16	20	15	12
$h_{изл}$	м	10	8	10	8	10
$t_{н}$	°С	-25	-26	-37	-24	-40
$t_{н.ср}$	°С	-3,5	-3,6	-6,7	-3,4	-7,6
n	дн.	203	206	236	300	400
$Q + Q_{инф}$	кВт	900	1600	1150	1500	1080
$Q_{вн}$	кВт	90	220	300	330	70

Содержание работы

1 Ознакомиться с теоретической частью, основными понятиями и определениями.

2 На основании полученных теоретических знаний выполнить необходимые расчёты.

3 Ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1 Дайте определение основным видам теплообмена. Что называют конвективным теплообменом?

2 Как происходит передача тепла при лучистом излучении?

3 В каких случаях и где целесообразно применять систему газоздушного лучистого отопления?

4 Что входит в состав системы газоздушного лучистого отопления?

5 Какой вид топлива используется в установках лучистого отопления?

6 Какими преимуществами обладает система лучистого отопления по сравнению с центральным паровым отоплением?

7 Где применяются светлые инфракрасные излучатели? В чем заключается принцип их работы?

8 Принцип работы инфракрасных тёмных излучателей.

9 Чем обусловлено ограничение по минимальным высотам подвеса обогревателей?

10 Как рассчитывается система газоздушного отопления?

Список литературы

1 **Андрижиевский, А. А.** Энергосбережение и энергетический менеджмент : учеб. пособие / А. А. Андрижиевский, В. И. Володин. – Минск : Выш. шк., 2005. – 294 с.

2 Основы энергосбережения : курс лекций / Под ред. Н. Г. Хутской. – Минск : Технология, 1999. – 100 с.

3 **Поспелова, Т. Г.** Основы энергосбережения / Т. Г. Поспелова. – Минск : Технопринт, 2000. – 353 с.

4 **Володин, В. И.** Энергосбережение / В. И. Володин. – Минск : БГТУ, 2001. – 182 с.

5 **Самойлов, М. В.** Основы энергосбережения / М. В. Самойлов, В. В. Паневчик, А. Н. Ковалев. – Минск : БГЭУ, 2003. – 198 с.

6 Лабораторный практикум по курсу «Основы энергосбережения» / В. Г. Баштовой [и др.]. – Минск : БГПА, 1999. – 57 с.

7 Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха : учеб. пособие / Под ред. Л. Д. Богуславского [и др.]. – М. : Стройиздат, 1990. – 624 с.

8 **Свидерская, О. В.** Основы энергосбережения / О. В. Свидерская. – Минск : Акад. упр. при Президенте Респ. Беларусь, 2006. – 228 с.



9 **ТКП45-4.02-74-2007**. Системы отопления и вентиляции усадебных жилых домов. Правила проектирования. – Минск : Минстройархитектуры, 2007. – 33 с.

10 **СНБ 4.02.01-03**. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. – Минск : Минстройархитектуры, 2005. – 65 с.

11 **ТКП 45-2.04-43-2006**. Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования (с изм. и доп.). – Минск : Минстройархитектуры, 2007. – 43 с.

12 **Протасевич А. М.** Энергоэффективные здания и энергосберегающие технологии /А. М. Протасевич // Стандартизация. – 2011. – № 3. – С. 63–69.



Приложение А (справочное)

Таблица А.1 – Свойства насыщенных паров фреона-12

Температура Т °С	Дав- ление p бар	Удельный объем		Плотность		Энтальпия		Теплота парообра- зования r кДж/кг	Энтропия	
		Жидкость V' дм ³ /кг	Пар V'' м ³ /кг	Жидкость p' кг/дм ³	Пар p'' кг/м ³	Жидкость h' кДж/кг	Пар h'' кДж/кг		Жидкость s' кДж/(кг·К)	Пар s'' кДж/(кг·К)
1	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12
-10	2,191	0,7018	0,07813	1,425	12,8	409,47	568,89	159,39	4,1528	4,75859
-9	2,27	0,7032	0,07558	1,422	13,23	410,39	569,32	158,93	4,15624	4,75809
-8	2,352	0,7047	0,07313	1,419	13,68	411,27	569,78	158,51	4,15963	4,75759
-7	2,4533	0,7062	0,07078	1,416	14,13	412,19	570,24	158,05	4,16302	4,74704
-6	2,5215	0,7077	0,06852	1,413	14,6	413,11	570,74	157,63	4,16645	4,75658
-5	2,6088	0,7092	0,06635	1,410	15,08	414,03	571,21	157,17	4,16984	4,75612
-4	2,6999	0,7107	0,06427	1,407	15,57	414,95	571,67	156,71	4,17323	4,75562
-3	2,7928	0,7127	0,06226	1,403	16,07	415,87	572,13	156,25	4,17663	4,75516
-2	2,8870	0,7143	0,06028	1,400	16,59	416,84	572,63	155,79	4,18006	4,75478
-1	2,9875	0,7158	0,05844	1,397	17,11	417,76	573,09	155,33	4,18341	4,75432
0	3,0857	0,7173	0,05667	1,394	17,65	418,68	573,55	154,87	4,18680	4,75394
1	3,1882	0,7189	0,05496	1,391	18,2	419,6	574,01	154,41	4,19019	4,75348
2	3,2934	0,7205	0,05330	1,388	18,76	420,56	574,47	153,91	4,19354	4,75302
3	3,4006	0,7220	0,05166	1,385	19,35	421,49	574,93	153,45	4,19693	4,75265
4	3,5112	0,7241	0,05012	1,381	19,95	422,45	575,39	152,94	4,20028	4,75227
5	3,6244	0,7257	0,04863	1,378	20,56	423,47	575,85	152,48	4,20363	4,75189
6	3,7398	0,7273	0,04721	1,375	21,18	424,33	576,31	151,98	4,20702	4,75152
7	3,8587	0,7289	0,04583	1,272	21,82	425,3	576,77	151,48	4,21037	4,75118
8	3,9797	0,7310	0,04450	1,368	22,47	426,22	577,19	150,98	4,21372	4,75080
9	4,1044	0,7326	0,04323	1,365	23,13	427,18	577,65	150,47	4,21707	4,75043
10	4,3601	0,7342	0,04204	1,362	23,79	428,14	578,11	149,97	4,22042	4,75013
11	4,3606	0,7358	0,04089	1,359	24,48	429,14	578,53	149,43	4,22377	4,74976

Окончание таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
12	285,15	4,4354	0,738	0,0397	1,355	24,19	430,07	578,99,	148,92,	4,22712	4,74946
13	286,15	4,6296	0,7396	0,03858	1,352	25,92	431,03	579,41	148,38	4,23043	4,74909
14	287,15	4,7681	0,7413	0,03751	1,349	26,66	431,99	579,83	147,84	4,23378	4,74875
15	288,15	4,9108	0,7435	0,03648	1,345	27,41	433,00	580,33	147,33	4,23708	4,74842
16	289,15	5,0553	0,7452	0,03547	1,342	28,18	433,96	580,71	146,75	4,24043	4,74812
17	290,15	5,2041	0,7468	0,03449	1,339	28,99	434,92	581,17	146,24	4,24378	4,74783
18	291,15	5,3549	0,7491	0,03354	1,335	29,87	435,93	581,59	145,65	4,24709	4,74750
19	292,15	5,5086	0,7507	0,03263	1,332	30,65	436,89	582,01	145,11	4,2504	4,74720
20	293,15	5,6669	0,7524	0,03175	1,329	31,50	437,9	582,47	144,57	4,25371	4,74691
21	294,15	5,883	0,7547	0,03089	1,325	32,38	438,86	582,84	143,98	4,25705	4,74662
22	295,15	5,9930	0,7570	0,03005	1,321	33,28	439,87	583,26	143,4	4,26036	4,74633
23	296,15	6,1610	0,7587	0,02925	1,318	34,19	440,83	583,64	142,81	4,26363	4,74604
24	297,15	6,3335	0,7605	0,02848	1,315	35,11	441,83	584,06	142,23	4,26694	4,74575
25	298,15	6,5080	0,7628	0,02773	1,311	36,07	442,84	584,52	141,68	4,27024	4,74549
26	299,15	6,6857	0,7645	0,02700	1,308	37,04	443,84	584,90	141,05	4,27333	4,74519
27	300,15	6,8666	0,7669	0,02629	1,304	38,04	444,85	585,27	140,43	4,27686	4,74486
28	301,15	7,0542	0,7692	0,03560	1,300	39,06	445,85	585,69	139,84	4,28012	4,74457
29	302,15	7,2435	0,7710	0,02494	1,297	40,10	446,86	586,07	139,21	4,28339	4,74427
30	303,15	7,4344	0,7734	0,02433	1,293	41,11	447,86	586,49	138,62	4,28674	4,74406
31	304,15	7,6321	0,7758	0,02371	1,289	42,18	448,87	586,82	137,96	4,29000	4,74369
32	305,15	7,8352	0,7782	0,02309	1,285	43,31	449,87	587,2	137,33	4,29327	4,74339
33	306,15	8,0417	0,7800	0,02250	1,282	44,45	450,88	587,58	136,70	4,29649	4,74306
34	307,15	8,2461	0,7825	0,02192	1,278	45,62	451,92	587,95	136,03	4,29980	4,74281
35	308,15	8,4596	0,7849	0,02136	1,274	46,81	452,93	588,29	135,36	4,30611	4,74251
40	313,15	9,5818	0,7968	0,01882	1,255	53,13	458,08	590,09	132,01	4,31940	4,74097
45	318,15	10,810	0,8104	0,01656	1,234	60,38	463,31	591,72	128,41	4,33568	4,73933
50	323,15	12,147	0,8244	0,01459	1,213	68,56	468,54	593,10	124,56	4,35189	4,73741
55	328,15	13,6	0,8410	0,1316	1,189	75,98	474,16	595,07	120,91	4,36876	4,73728
60	333,15	15,182	0,8568	0,01167	1,167	65,69	479,68	596,58	116,90	4,38509	4,73850