

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ И КАДРОВ**

**Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»**

**Кафедра сельского строительства и обустройства территорий**

*А. А. Константинов*

# **ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ**

## **РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ УСАДЕБНОГО ЖИЛОГО ДОМА**

*Методические указания для практических занятий  
для студентов, обучающихся по специальности  
1-74 04 01 Сельское строительство и обустройство территорий*

**Горки  
БГСХА  
2017**

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ И КАДРОВ

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

Кафедра сельского строительства и обустройства территорий

*А. А. Константинов*

# **ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ**

## **РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ УСАДЕБНОГО ЖИЛОГО ДОМА**

*Методические указания для практических занятий  
для студентов, обучающихся по специальности  
1-74 04 01 Сельское строительство и обустройство территорий*

Горки  
БГСХА  
2017

УДК 658.264(072)

ББК 31.38я7

К65

*Рекомендовано методической комиссией  
мелиоративно-строительного факультета.  
Протокол № 8 от 22 апреля 2016 г.*

Автор:

старший преподаватель *А. А. Константинов*

Рецензенты:

*кандидат технических наук, доцент В. В. Васильев;  
кандидат технических наук, доцент В. К. Курсаков*

**Константинов, А. А.**

К65

Теплоснабжение. Расчет системы отопления усадебного жилого дома : методические указания для практических занятий / А. А. Константинов. – Горки : БГСХА, 2017. – 102 с.

Приведены нормативные показатели сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций, сопротивления паропрооницанию ограждающих конструкций и порядок их определения при теплотехнических расчетах. Приведены нормативные показатели для проектирования системы отопления, характеристики трубопроводов и отопительных приборов и требования к ним. Дана подробная методика по определению тепловой мощности системы отопления, определению удельных расходов тепловой энергии на отопление здания, расчету отопительных приборов, гидравлическому расчету трубопроводов системы отопления. Даны примеры расчетов.

Для студентов, обучающихся по специальности 1-74 04 01 Сельское строительство и обустройство территорий.

УДК 658.264(072)

ББК 31.38я7

## ВВЕДЕНИЕ

Улучшение условий жизни сельского населения связано, в частности, с созданием теплового комфорта, который в холодное время года во многом определяется совершенствованием системы отопления помещений.

Эффективность систем отопления, их технико-экономические характеристики во многом зависят не только от принятых схем, от правильного монтажа, наладки и эксплуатации, но и от правильно выбранной методики расчета и достоверности проведенных расчетов.

Знание основ рационального проектирования, методик инженерного расчета и особенностей принятия основных проектных решений в вопросах теплоснабжения является очень важным для будущего инженера.

Представленные методические указания содержат методику проектирования и расчета системы водяного отопления усадебного жилого дома.

Настоящие указания направлены на оказание помощи в освоении студентом основных требований и условий прокладки системы отопления в усадебном жилом доме, в приобретении навыков составления тепловых балансов помещений, расчетов отопительных приборов и проведения гидравлического расчета системы отопления.

Методики расчетов, характеристики оборудования и нормативные значения приведены согласно действующим нормативным источникам.

Методические указания предназначены для студентов мелиоративно-строительного факультета, обучающихся по специальности 1-74 04 01 Сельское строительство и обустройство территорий, очной и заочной форм получения образования при изучении дисциплины «Теплоснабжение».

## 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Согласно СНБ 4.02.01–03 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха», в проектах систем отопления следует предусматривать технические решения, обеспечивающие:

- а) нормируемый микроклимат в обслуживаемой зоне помещений жилых, общественных, а также административных и бытовых зданий;
- б) нормируемый микроклимат в рабочей зоне производственных, лабораторных и складских помещений в зданиях любого назначения;
- в) нормируемые уровни шума и вибрации от работы систем отопления;
- г) взрывопожаробезопасность систем отопления;
- д) автоматическое регулирование и учет количества потребляемой теплоты.

В проектах систем отопления должны применяться энергоэффективные технические решения, энергосберегающие технологии и оборудование, обеспечивающие рациональное использование топливно-энергетических ресурсов.

Удельные расходы тепловой энергии на отопление, определяемые в соответствии с приложением А [1], должны быть не более нормативных.

## 2. РАСЧЕТНЫЕ УСЛОВИЯ

Систему отопления следует проектировать для обеспечения в помещениях расчетной температуры воздуха, учитывая:

- а) потери теплоты через ограждающие конструкции;
- б) расход теплоты на нагревание инфильтрующегося наружного воздуха;
- в) тепловой поток, регулярно поступающий от электрических приборов, освещения, технологического оборудования, коммуникаций, материалов, людей и других источников; при этом тепловой поток, поступающий в комнаты и кухни жилых домов, следует принимать равным 21,0 Вт на 1 м<sup>2</sup> пола.

Потери теплоты через внутренние ограждающие конструкции помещений допускается не учитывать, если разность температур воздуха в этих помещениях равна 3 °С и менее.

Расход инфильтрующегося воздуха следует определять с учетом скорости ветра, принимаемой по приложению Е [1].

### 3. СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ

Системы отопления зданий следует проектировать, обеспечивая равномерное нагревание воздуха помещений, гидравлическую и тепловую устойчивость, взрывопожарную безопасность и доступность для очистки и ремонта.

При проектировании системы отопления жилых зданий необходимо предусматривать технические решения, обеспечивающие регулирование потребляемой теплоты и учет расхода теплоты на отопление каждой квартирой, помещениями общественного назначения, расположенными в доме, а также зданием в целом в соответствии с требованиями СНиП 2.04.07–86.

Среднюю температуру поверхности строительных конструкций со встроенными нагревательными элементами следует принимать, °С, не выше:

- а) для наружных стен от уровня пола:
  - до 1,0 м включительно – 95;
  - от 2,5 м и выше – как для потолков;
- б) для полов помещений:
  - с постоянным пребыванием людей – 29;
  - с временным пребыванием людей и для обходных дорожек и скамей крытых плавательных бассейнов – 33;
  - в) для полов в детских учреждениях и зданиях лечебного назначения:
    - с постоянным пребыванием людей – 26;
    - с временным пребыванием людей и для обходных дорожек и скамей крытых плавательных бассейнов – 31;
  - г) для потолков при высоте помещения:
    - от 2,5 до 2,8 м – 28;
    - от 2,8 до 3,0 м – 30;
    - от 3,0 до 3,5 м – 33;
    - от 3,5 до 4,0 м – 36;
    - от 4,0 до 6,0 м – 38.

Температура поверхности пола по оси нагревательного элемента не должна превышать:

- в жилых зданиях и плавательных бассейнах – 37 °С;
- в детских учреждениях – 35 °С.

Ограничения температуры поверхности строительных конструкций не распространяются на встроенные в перекрытие или в пол одиночные трубы систем отопления.

Тепловой поток в системе водяного отопления и расход теплоносителя следует определять в соответствии с приложением М [1].

Для усадебных жилых домов рекомендуется предусматривать водяные системы отопления с температурой теплоносителя не выше 95 °С. Допускается применение систем отопления с естественной или с насосной циркуляцией теплоносителя.

При применении систем с естественной циркуляцией теплоносителя рекомендуется предусматривать вертикальные системы отопления с верхней разводкой подающей магистрали.

Расчетную температуру теплоносителя рекомендуется принимать в подающем трубопроводе системы отопления не выше 95 °С – для систем с естественной циркуляцией и не выше 80 °С – для систем с насосной циркуляцией, в обратном трубопроводе, как правило, не ниже 60 °С – для систем с естественной циркуляцией и не ниже 45 °С – с механическим побуждением.

Размещение запорной арматуры должно обеспечивать возможность отключения системы отопления и ее отдельных частей. Размещение спусковой арматуры должно обеспечивать возможность опорожнения котельного оборудования, отопительных приборов, а также отдельных частей системы отопления, выполненных из стальных труб.

Установку расширительных баков систем отопления допускается предусматривать на чердаках при наличии циркуляции теплоносителя через расширительный бак с тепловой изоляцией расширительного бака из негорючих материалов.

Для удаления воздуха из системы отопления с верхней разводкой следует предусматривать проточные воздухоотборники.

Тепловую изоляцию следует предусматривать для трубопроводов систем отопления, прокладываемых в неотапливаемых помещениях, в местах, где возможно замерзание теплоносителя, в искусственно охлаждаемых помещениях.

Прокладку стальных трубопроводов систем отопления рекомендуется предусматривать открытой. Допускается скрытая прокладка этих трубопроводов.

Отопительные приборы следует размещать, как правило, под световыми проемами в местах, доступных для осмотра, ремонта и очистки.

Не допускается размещать отопительные приборы в отсеках тамбуров, имеющих наружные двери.

Системы отопления (отопительные приборы, теплоноситель, предельную температуру теплоносителя или теплоотдающей поверхности) следует принимать по приложению Л [1].

Для систем отопления и внутреннего теплоснабжения следует принимать в качестве теплоносителя, как правило, воду; другие теплоносители допускается применять при технико-экономическом обосновании.

При установке отопительных котлов (водонагревателей) на твердом топливе в жилых зданиях необходимо соблюдать требования СНБ 3.02.04–03. При установке отопительных котлов (водонагревателей) на газообразном топливе в жилых зданиях необходимо соблюдать требования СНБ 3.02.04–03 и СНБ 4.03.01–98.

#### **4. ТРУБОПРОВОДЫ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ**

Трубопроводы системы отопления следует проектировать из термостойких полимерных и металлополимерных труб, разрешенных к применению в строительстве в установленном порядке, а также из стальных (кроме оцинкованных), медных и латунных труб.

Выбор стальных труб следует осуществлять в соответствии с приложением Н [1].

Тепловую изоляцию следует предусматривать для трубопроводов систем отопления, прокладываемых в неотапливаемых помещениях, в местах, где возможно замерзание теплоносителя.

Скорость движения теплоносителя в трубах систем водяного отопления следует принимать в зависимости от допустимого эквивалентного уровня звука в помещении.

Разность давлений воды в подающем и обратном трубопроводах для циркуляции воды в системе отопления следует определять с учетом давления, возникающего вследствие разности температур воды. Неучтенные потери циркуляционного давления в системе отопления следует принимать равными 10 % максимальных потерь давления. При применении насосов систему водяного отопления следует рассчитывать с учетом давления, развиваемого насосами.

Эквивалентную шероховатость внутренней поверхности стальных труб систем отопления и внутреннего теплоснабжения следует принимать не менее 0,2 мм для воды.

Эквивалентную шероховатость внутренней поверхности труб из полимерных и медных (латунных) материалов следует принимать не менее 0,01 и 0,11 мм соответственно.

В однотрубных системах водяного отопления потери давления в стояках должны составлять, как правило, не менее 70 % общих потерь давления в циркуляционных кольцах без учета потерь давления в общих участках.

В однотрубных системах с нижней разводкой подающей магистрали и верхней разводкой обратной магистрали потери давления в стояках следует принимать равными не менее 300,0 Па на каждый метр высоты стояка.

В двухтрубных вертикальных и однотрубных горизонтальных системах отопления потери давления в циркуляционных кольцах через верхние приборы (ветви) следует принимать не менее естественного давления в них при расчетных параметрах теплоносителя.

Невязка потерь давления в циркуляционных кольцах (без учета потерь давления в общих участках) не должна превышать 5 % при попутной и 15 % – при тупиковой разводке трубопроводов систем водяного отопления при расчете с постоянными разностями температур.

Прокладка стальных и медных (латунных) трубопроводов систем отопления должна предусматриваться открытой.

Допускается применение труб в качестве нагревательных элементов, встроенных в строительные конструкции, при обеспечении требуемого предела огнестойкости.

В системах отопления следует предусматривать устройства для их опорожнения.

Уклоны трубопроводов воды следует принимать не менее 0,002. Трубопроводы воды допускается прокладывать без уклона при скорости движения воды в них 0,25 м/с и более.

Трубопроводы в местах пересечения перекрытий, внутренних стен и перегородок следует прокладывать в гильзах из негорючих материалов; края гильз должны быть на одном уровне с поверхностями стен, перегородок и потолков, но на 30 мм выше поверхности чистого пола. Заделку зазоров и отверстий в местах прокладки трубопроводов следует предусматривать негорючими материалами, обеспечивая нормируемый предел огнестойкости ограждений.

Удаление воздуха из систем отопления при теплоносителе воде следует предусматривать в верхних точках.

В системах водяного отопления следует предусматривать, как правило, проточные воздухоотборники или краны.

## 5. ОТОПИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И АРМАТУРА

В помещениях отопительные приборы систем водяного отопления следует предусматривать с гладкой или рельефной поверхностью, допускающей легкую очистку, в том числе:

- а) радиаторы секционные;
- б) радиаторы панельные одинарные;
- в) радиаторы панельные спаренные;
- г) конвекторы;
- д) отопительные приборы из гладких стальных труб.

При расчете отопительных приборов следует учитывать 90 % теплового потока, поступающего в помещение от трубопроводов отопления. Отопительные приборы следует размещать, как правило, под световыми проемами в местах, доступных для осмотра, очистки и ремонта. Соединение отопительных приборов «на сцепке» допускается предусматривать в пределах одного помещения. Отопительные приборы гардеробных, коридоров, уборных, умывальных, кладовых допускается присоединять «на сцепке» к приборам соседних помещений.

Разностороннее присоединение трубопроводов следует предусматривать при длине радиатора более 2,0 м (более 1,5 м – в системах с естественной циркуляцией), а также к радиаторам, соединенным «на сцепке», при количестве их более двух.

Отопительные приборы не следует размещать в отсеках тамбуров, имеющих наружные двери. В ваннных и душевых помещениях при отсутствии централизованного горячего водоснабжения полотенцесушители следует присоединять к системе отопления. Не менее чем у 50 % отопительных приборов, устанавливаемых в одном помещении, следует устанавливать регулируемую арматуру, за исключением приборов в помещениях, где имеется опасность замерзания теплоносителя.

Регулирующую арматуру для отопительных приборов однотрубных систем отопления следует принимать с минимальным гидравлическим сопротивлением, а для приборов двухтрубных систем – с повышенным гидравлическим сопротивлением.

Запорную арматуру следует предусматривать:

- а) для отключения и спуска воды из отдельных колец, ветвей и стояков систем отопления;
- б) для отключения части или всех отопительных приборов в помещениях, в которых отопление используется периодически или частично. Запорную арматуру допускается не предусматривать на стояках в зданиях с числом этажей три и менее.

## 6. ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Параметры воздуха в помещениях для расчета наружных ограждающих конструкций жилых зданий следует принимать по табл. 1.

Т а б л и ц а 1. Расчетные параметры внутреннего воздуха жилых зданий

Здания	Расчетная температура воздуха $t_v$ , °С	Относительная влажность воздуха $\phi_v$ , %
Жилые здания	18	55

Влажностный режим помещений и условия эксплуатации ограждающих конструкций зданий и сооружений в зимний период следует принимать по табл. 2 в зависимости от температуры и относительной влажности внутреннего воздуха [2].

Т а б л и ц а 2. Влажностный режим помещений и условия эксплуатации ограждающих конструкций

Относительная влажность внутреннего воздуха (%) при температуре $t_v$			Режим помещений	Условия эксплуатации ограждающих конструкций
до 12 °С включительно	свыше 12 °С до 24 °С включительно	свыше 24 °С		
До 60 включительно	До 50 включительно	До 40 включительно	Сухой	А
Свыше 60 до 75	Свыше 50 до 60	Свыше 40 до 50	Нормальный	Б
Свыше 75	Свыше 60 до 75	Свыше 50 до 60	Влажный	Б
	Свыше 75	Свыше 60	Мокрый	Б

Среднюю температуру наружного воздуха наиболее холодных суток обеспеченностью 0,98 и 0,92 и наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 для определенного района строительства следует принимать по табл. 3.

Среднюю температуру наиболее холодных трех суток следует определять как среднее арифметическое значений температуры наиболее холодных суток и наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 [2].

Т а б л и ц а 3. Средняя температура наружного воздуха

Расчетный период	Средняя температура наружного воздуха по областям $t_{н}, ^\circ\text{C}$					
	Брест-ская	Витеб-ская	Гомель-ская	Грод-ненская	Минская	Моги-левская
$t_{н}^I - 0,98$	-31	-37	-32	-31	-33	-34
$t_{н}^I - 0,92$	-25	-31	-28	-26	-28	-29
$t_{н}^S - 0,92$	-21	-25	-24	-22	-24	-25

Средние параметры наружного воздуха за отопительный период и его продолжительность следует принимать по табл. 4.

Продолжительность отопительного периода соответствует периоду года со среднесуточной температурой воздуха, равной и ниже  $8 ^\circ\text{C}$ .

Т а б л и ц а 4. Параметры наружного воздуха за отопительный период

Область	Средняя температура наружного воздуха $t_{н}, ^\circ\text{C}$	Средняя относительная влажность наружного воздуха $\phi_{н}, \%$	Среднее парциальное давление водяного пара $e_{н}, \text{Па}$	Продолжительность отопительного периода $z_{отг}, \text{сут}$
Брестская	0,2	84	521	187
Витебская	-2,0	82	424	207
Гомельская	-1,6	83	444	194
Гродненская	-0,5	85	499	194
Минская	-1,6	85	455	202
Могилевская	-1,9	84	439	204

Максимальную из средних скоростей ветра по румбам с повторяемостью 16 % и более по месяцам зимнего периода следует принимать по табл. 5.

Т а б л и ц а 5. Максимальная скорость ветра по месяцам зимнего периода

Месяц зимнего периода	Максимальная из средних скоростей ветра ( $v_{ср}, \text{м/с}$ ) по румбам с повторяемостью 16 % и более по областям					
	Брест-ская	Витеб-ская	Гомель-ская	Грод-ненская	Минская	Моги-левская
Декабрь	3,4	5,1	4,1	5,4	4,1	4,8
Январь	3,7	5,4	4,1	5,2	4,0	4,9
Февраль	3,6	5,5	4,6	6,1	4,0	5,1

Расчетную зимнюю температуру наружного воздуха предварительно принимают по табл. 3, с учетом тепловой инерции ограждающей конструкции – по табл. 6. При этом величину тепловой инерции рассчитывают по формуле (1), исходя из значения нормативного сопротивления теплопередаче соответствующей конструкции (табл. 7).

Таблица 6. Значение тепловой инерции

Тепловая инерция ограждающей конструкции $D$	Расчетная зимняя температура наружного воздуха $t_n$ , °C
До 1,5 включительно	Средняя температура наиболее холодных суток обеспеченностью 0,98
Свыше 1,5 до 4,0 включительно	Средняя температура наиболее холодных суток обеспеченностью 0,92
Свыше 4,0 до 7,0 включительно	Средняя температура наиболее холодных трех суток
Свыше 7,0	Средняя температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92

$$D = R_1 \cdot s_1 + R_2 \cdot s_2 + \dots + R_n \cdot s_n, \quad (1)$$

где  $R_1, R_2, \dots, R_n$  – термические сопротивления отдельных слоев конструкции, определяемые по формуле (6),  $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$ ;

$s_1, s_2, \dots, s_n$  – расчетные коэффициенты теплоусвоения материала слоев конструкции в условиях эксплуатации, (см. табл. 2), принимаемые по приложению А [2].

После расчета сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции уточняют ее тепловую инерцию и при необходимости уточняют значение расчетной зимней температуры наружного воздуха и сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции.

### 6.1. Сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций

Сопротивление теплопередаче наружных ограждающих конструкций ( $R_T$ ), за исключением заполнений проемов, следует принимать равным экономически целесообразному ( $R_{T,эк}$ ), определяемому по формуле (2), но не менее требуемого сопротивления теплопередаче ( $R_{T,тp}$ ), определяемого по формуле (3), и не менее нормативного сопротивления теплопередаче ( $R_{T,норм}$ ), приведенного в табл. 7.

Т а б л и ц а 7. Значение нормативного сопротивления теплопередаче

Ограждающие конструкции	Нормативное сопротивление теплопередаче $R_{т.норм.}$ ( $m^2 \cdot ^\circ C / W$ )
Наружные стены зданий	3,2
Чердачные перекрытия	6
Перекрытия над подвалами и подпольями	По расчету (табл. 5.1 [2])
Заполнение световых проемов	1

Экономически целесообразное сопротивление теплопередаче ( $R_{т.эк}$ , ( $m^2 \cdot ^\circ C$ )/Вт) следует определять на основе выбора толщины теплоизоляционного слоя по формуле

$$R_{т.эк} = 0,5 \cdot R_{т.тр} + \frac{5,4 \cdot 10^{-4} \cdot C_{т.э} \cdot z_{0.т} \cdot (t_{в} - t_{н.от})}{C_{м} \cdot \lambda \cdot R_{т.тр}}, \quad (2)$$

где  $R_{т.тр}$  – требуемое сопротивление теплопередаче, ( $m^2 \cdot ^\circ C$ )/Вт, определяемое по формуле

$$R_{т.тр} = \frac{n \cdot (t_{в} - t_{н})}{\alpha_{в} \cdot \Delta t_{в}}, \quad (3)$$

где  $t_{в}$  – расчетная температура внутреннего воздуха, принимаемая по табл. 1,  $^\circ C$ ;

$t_{н}$  – расчетная зимняя температура наружного воздуха, принимаемая по табл. 3, с учетом тепловой инерции ограждающих конструкций  $D$  – по табл. 6,  $^\circ C$ ;

$n$  – коэффициент, учитывающий положение наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху, принимаемый по табл. 8;

Т а б л и ц а 8. Значение коэффициента  $n$

Ограждающие конструкции	Коэффициент, учитывающий положение наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху, $n$
Наружные стены	1
Перекрытия над неотапливаемыми подвалами	0,6
Чердачные перекрытия с кровлей из штучных материалов	1

$\alpha_{в}$  – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, принимаемый по табл. 9, Вт/(м<sup>2</sup> · °С);

Т а б л и ц а 9. Значение коэффициента  $\alpha_{в}$

Ограждающие конструкции	Коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности $\alpha_{в}$ , Вт/(м <sup>2</sup> · °С)
Стены, полы, гладкие потолки	8,7

$\Delta t_{в}$  – расчетный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции, принимаемый по табл. 10, °С;

Т а б л и ц а 10. Расчетный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции

Здания и помещения	Расчетный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности $\Delta t_{в}$ , °С		
	наружных стен	чердачных перекрытий	перекрытий над подпольями
Здания жилые	6	4	2

$C_{т.э}$  – стоимость тепловой энергии, принимаемая по действующим ценам, руб/ГДж;

$z_{о.т}$  – продолжительность отопительного периода, принимаемая по табл. 4, сут;

$t_{н.от}$  – средняя за отопительный период температура наружного воздуха, принимаемая по табл. 4, °С;

$C_{м}$  – стоимость материала однослойной или теплоизоляционного слоя многослойной ограждающей конструкции, принимаемая по действующим ценам, руб/м<sup>3</sup>;

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности материала однослойной или теплоизоляционного слоя многослойной ограждающей конструкции в условиях эксплуатации (см. табл. 2), принимаемый по приложению А [2], Вт/(м · °С).

При наличии в теплоизоляционном слое ограждающей конструкции сквозных включений из материалов с другим коэффициентом теплопроводности для определения экономически целесообразного сопротивления теплопередаче принимают приведенный коэффициент теплопроводности слоя, определяемый по формуле:

$$\lambda_{\text{пр}} = \frac{\lambda_1 \cdot F_1 + \lambda_2 \cdot F_2}{F_1 + F_2}, \quad (4)$$

где  $\lambda_1$  и  $F_1$  – коэффициент теплопроводности и площадь участка, занимаемая теплоизоляционным материалом;

$\lambda_2$  и  $F_2$  – коэффициент теплопроводности и площадь участка, занимаемая материалом включений.

Сопротивление теплопередаче наружных дверей ( $R_T$ ) должно быть не менее 0,6 значения требуемого сопротивления теплопередаче наружных стен ( $R_{T,\text{тр}}$ ), определяемого по формуле (3) при расчетной зимней температуре наружного воздуха, равной средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92.

Сопротивление теплопередаче заполнений наружных световых проемов ( $R_T$ ) должно быть не менее нормативного сопротивления теплопередаче ( $R_{T,\text{норм}}$ ), приведенного в табл. 7.

В случае, когда  $R_{T,\text{тр}} < R_{T,\text{норм}}$  и  $R_{T,\text{эк}} < R_{T,\text{норм}}$ , сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции ( $R_T$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ) следует определять по формуле

$$R_T = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + R_K + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}}, \quad (5)$$

где  $\alpha_{\text{в}}$  – то же, что в формуле (3);

$R_K$  – термическое сопротивление ограждающей конструкции, определяемое по формуле (6), для однородной однослойной конструкции, ( $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ):

$$R_K = \frac{\delta}{\lambda}, \quad (6)$$

где  $\delta$  – толщина слоя, м;

$\lambda$  – то же, что в формуле (2).

Для многослойной конструкции

$$R_K = R_1 + R_2 + \dots + R_n, \quad (7)$$

где  $R_1, R_2, \dots, R_n$  – термическое сопротивление отдельных слоев конструкции, ( $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ), определяемое по формуле (6), и замкнутых воздушных прослоек, принимаемое по приложению Б [2];

$\alpha_n$  – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции для зимних условий, принимаемый по табл. 11, Вт/(м<sup>2</sup> · °С).

Т а б л и ц а 11. Значение коэффициента  $\alpha_n$

Ограждающие конструкции	Коэффициент теплоотдачи наружной поверхности $\alpha_n$ , Вт/(м <sup>2</sup> · °С)
Наружные стены	23
Перекрытия чердачные	12
Перекрытия над неотапливаемыми подпольями	6

Термическое сопротивление неоднородной ограждающей конструкции (например, каменной стены колодцевой кладки с теплоизоляционными вкладышами) определяют в приведенной ниже последовательности.

1. Плоскостями, параллельными направлению теплового потока, ограждающую конструкцию условно разрезают на участки, из которых одни могут быть однородными – из одного материала, а другие – неоднородными – из слоев различных материалов, и определяют термическое сопротивление ( $R_{ка}$ , (м<sup>2</sup> · °С)/Вт) по следующей формуле:

$$R_{ка} = \frac{F_1 + F_1 + \dots + F_n}{\frac{F_1}{R_1} + \frac{F_2}{R_2} + \dots + \frac{F_n}{R_n}}, \quad (8)$$

где  $F_1, F_2, \dots, F_n$  – площади отдельных участков конструкции (или части конструкции), м<sup>2</sup>;

$R_1, R_2, \dots, R_n$  – термические сопротивления указанных отдельных участков конструкции, определяемые по формуле (6) для однородных участков и по формуле (7) – для неоднородных участков.

2. Плоскостями, перпендикулярными направлению теплового потока, ограждающую конструкцию условно разрезают на слои, из которых одни слои могут быть однородными – из одного материала, а другие – неоднородными – из однослойных участков разных материалов.

Определяют термическое сопротивление однородных слоев по формуле (6), неоднородных слоев – по формуле (8) и термическое сопротивление ( $R_{кб}$ ) ограждающей конструкции – как сумму значений термического сопротивления отдельных однородных и неоднородных слоев – по следующей формуле:

$$R_k = \frac{R_{ка} + 2 \cdot R_{кб}}{3}. \quad (9)$$

3. Если  $R_{ка}$  превышает  $R_{кб}$  более чем на 25 % или ограждающая конструкция не является плоской, то термическое сопротивление такой конструкции необходимо определять на основании расчета температурного поля [2].

По результатам расчета температурного поля при расчетных значениях температуры внутреннего ( $t_v$ ) и наружного ( $t_n$ ) воздуха определить среднюю температуру внутренней ( $t_{в.п}$ ) и наружной ( $t_{н.п}$ ) поверхностей ограждающей конструкции и вычислить значение теплового потока ( $q$ , Вт/м<sup>2</sup>) по формуле

$$q = \alpha_v \cdot (t_v - t_{в.п}) = \alpha_n \cdot (t_{н.п} - t_n), \quad (10)$$

где  $\alpha_v$ ,  $t_v$  и  $t_n$  – то же, что в формуле (3);

$\alpha_n$  – то же, что в формуле (5);

$t_{в.п}$  и  $t_{н.п}$  – средняя температура внутренней и наружной поверхностей ограждающей конструкции.

4. Термическое сопротивление конструкции определяют по следующей формуле:

$$R_k = \frac{t_{в.п} - t_{н.п}}{q}, \quad (11)$$

где  $t_{в.п}$ ,  $t_{н.п}$  и  $q$  – то же, что в формуле (10).

Термическое сопротивление теплопередаче при использовании легкой штукатурной системы утепления ( $R_T$ , (м<sup>2</sup> · °С)/Вт) с учетом влияния анкеров допускается определять по формуле

$$R_T = r^n \cdot R_0, \quad (12)$$

где  $r$  – расчетный коэффициент термической однородности, принимаемый по табл. 12 (табл. 2 [2]);

Т а б л и ц а 12. Расчетный коэффициент термической однородности

Тип сердечника анкеров	Расчетный коэффициент термической однородности $r$
Металлический, Ø 6 мм	0,973
Металлический, Ø 5,5 мм	0,978
Металлический, Ø 5 мм	0,982
Пластмассовый или стеклопластиковый	1

$n$  – количество анкеров, устанавливаемых на  $1 \text{ м}^2$  системы. Рекомендуется устанавливать не менее трех анкерных устройств на  $1 \text{ м}^2$  системы. На расстоянии  $1,0 \text{ м}$  от углов здания и от парапетов – не менее пяти анкерных устройств на  $1 \text{ м}^2$  системы [6];  
 $R_0$  – сопротивление теплопередаче утепленной ограждающей конструкции без учета теплопроводных включений,  $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$ , определяется по вышеизложенной методике.

**Пример 1.** Требуется определить сопротивление теплопередаче и толщину теплоизоляционного слоя наружной стены жилого дома из мелкокоразмерных элементов для климатических условий Могилевской области.

Конструктивное решение стены приведено на рис. 1.

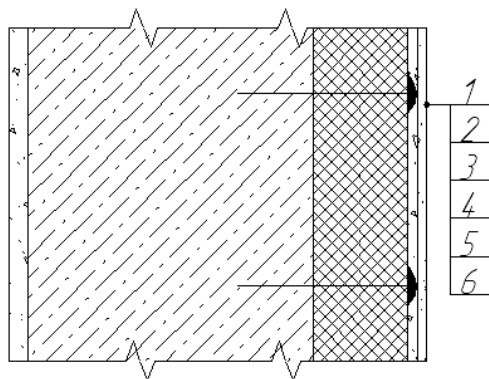


Рис. 1. Конструкция наружной стены жилого дома

**Исходные данные.** Конструктивное решение стены по слоям (от внутренней поверхности):

1. Цементно-песчаная штукатурка толщиной  $20 \text{ мм}$ .
2. Кладка из ячеистобетонных блоков плотностью  $700 \text{ кг/м}^3$  толщиной  $300 \text{ мм}$ .
3. Утеплитель – теплоизоляционные плиты из экструдированного пенополистирола URSA XPS.
4. Армированный слой из полимерминерального клея толщиной  $5 \text{ мм}$ .

5. Армированный слой из полимерминеральной штукатурки толщиной 5 мм.

6. Краска.

Согласно табл. 1, расчетная температура внутреннего воздуха  $t_{в} = 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , относительная влажность  $\varphi_{в} = 55 \text{ \%}$ .

Влажностный режим – нормальный, условие эксплуатации ограждающих конструкций – Б (см. табл. 2).

Расчетные значения коэффициентов теплопроводности ( $\lambda$ ) и теплоусвоения материалов ( $S$ ) принимаем по приложению А [2] для условий эксплуатации ограждений (Б). Значения сводим в табл. 13.

Т а б л и ц а 13. Характеристики материала слоев наружной стены

Но- мер слоя	Наименование материала слоя	Плот- ность $\rho$ , г/м <sup>3</sup>	Толщина слоя $\delta$ , м	Коэффициент теплопровод- ности $\lambda$ , Вт/(м · °С)	Коэффици- ент тепло- усвоения $S$ , Вт/(м <sup>2</sup> · °С)
1	Цементно-песчаная штукатурка	1 800	0,02	0,93	11,09
2	Блок из ячеистого бетона	700	0,3	0,24	3,67
3	Экструдированный пенополистирол ПЕНОПЛЕКС	35	–	0,033	0,48
4	Полимерминеральный клей	1 800	0,005	0,6	11,09
5	Полимерминеральная штукатурка	1 800	0,005	0,5	11,09
6	Краска	–	0,001	–	–

Так как толщина краски очень мала, она считается за слой, но в расчетах по определению сопротивления теплопередаче не учитывается.

Нормативное сопротивление теплопередаче для наружных стен из мелкогазонаполненных элементов согласно табл. 7 равно 3,2 (м<sup>2</sup> · °С)/Вт.

**Порядок расчета.** Для определения тепловой инерции стены находим термическое сопротивление отдельных слоев конструкции по формуле (6):

$$R_1 = \frac{0,02}{0,93} = 0,022 \text{ (м}^2 \cdot \text{ }^{\circ}\text{C)/Вт};$$

$$R_2 = \frac{0,3}{0,24} = 1,25 \text{ (м}^2 \cdot \text{ }^{\circ}\text{C)/Вт};$$

$$R_4 = \frac{0,005}{0,6} = 0,008 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт};$$

$$R_5 = \frac{0,005}{0,5} = 0,01 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}.$$

Термическое сопротивление теплоизоляционного слоя определим по формуле (5), приравняв  $R_k$  к  $R_{т.норм.}$

$$R_3 = 3,2 - (0,115 + 0,022 + 1,25 + 0,008 + 0,01 + 0,043) = 1,752 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт},$$

где  $\frac{1}{\alpha_v} = \frac{1}{8,7} = 0,115 \text{ (м}^2 \cdot \frac{\text{°C}}{\text{Вт}})$  ( $\alpha_v = 8,7 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$  по табл. 9);

$$\frac{1}{\alpha_n} = \frac{1}{23} = 0,043 \text{ (м}^2 \cdot \frac{\text{°C}}{\text{Вт}})$$
 ( $\alpha_n = 23 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$  по табл. 10).

Определяем тепловую инерцию стены по формуле (1):

$$D = 0,022 \cdot 11,09 + 1,25 \cdot 3,67 + 1,752 \cdot 0,48 + 0,008 \cdot 11,09 + 0,01 \times \\ \times 11,09 = 5,87.$$

Согласно табл. 6, для ограждающей конструкции с тепловой инерцией в пределах от 4 до 7 за расчетную зимнюю температуру наружного воздуха следует принимать среднюю температуру наиболее холодных трех суток, которая для Могилевской области определяется как среднее значение между средней температурой наиболее холодных суток обеспеченностью 0,92 и средней температурой наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 (см. табл. 3).

$$t_n^3 = \frac{(-29) + (-25)}{2} = -27 \text{ °C}.$$

Определяем требуемое сопротивление теплопередаче стены по формуле (3):

$$R_{т.тр} = \frac{1 \cdot (18 + 27)}{8,7 \cdot 6} = 0,862 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт},$$

где  $n = 1$  (см. табл. 8);

$\alpha_v = 8,7 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$  (см. табл. 9);

$\Delta t_v = 6 \text{ °C}$  (см. табл. 10).

Определяем экономически целесообразное сопротивление теплопередаче по формуле (2):

$$R_{\text{т.эк}} = 0,5 \cdot 0,862 + \frac{5,4 \cdot 10^{-4} \cdot 31\,886,6 \cdot 204 \cdot (18 + 1,9)}{1\,620\,000 \cdot 0,033 \cdot 0,862} = 1,517 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт},$$

где  $C_{\text{тэ}} = 133\,417$  руб/Гкал =  $31\,886,6$  руб/ГДж (по состоянию на 1 января 2016 г.);

$Z_{\text{от}} = 204$  сут (см. табл. 4);

$t_{\text{н.от}} = -1,9$  °C (см. табл. 4);

$C_{\text{м}} = 1\,620\,000$  руб/м<sup>3</sup> (стоимость 1 м<sup>3</sup> экструдированного пенополистирола ПЕНОПЛЕКС на рынках Могилевской области по состоянию на 26 апреля 2016 г.);

$\lambda_3 = 0,033$  Вт/(м · °C).

Так как  $R_{\text{т.тр}} = 0,862$  (м<sup>2</sup> · °C)/Вт <  $R_{\text{т.норм}} = 3,2$  (м<sup>2</sup> · °C)/Вт и  $R_{\text{т.эк}} = 1,517$  (м<sup>2</sup> · °C)/Вт <  $R_{\text{т.норм}} = 3,2$  (м<sup>2</sup> · °C)/Вт, сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции ( $R_{\text{т}}$ , (м<sup>2</sup>·°C)/Вт) определяем по формуле (5).

Общее сопротивление теплопередаче конструкции ( $R_{\text{т}}$ ) приравниваем к нормативному сопротивлению теплопередачи ( $R_{\text{т.норм}}$ ):

$$\begin{aligned} R_{\text{т}} = R_{\text{т.норм}} &= \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}} = \\ &= \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{X}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{\delta_5}{\lambda_4} + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}}. \end{aligned}$$

Определяем толщину теплоизоляционного слоя из полученного равенства:

$$\begin{aligned} \delta_3 &= \left( R_{\text{т.норм}} - \left( \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{\delta_5}{\lambda_5} + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}} \right) \right) \cdot \lambda_3 = \\ &= \left( 3,2 - \left( \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,3}{0,24} + \frac{0,008}{0,6} + \frac{0,01}{0,5} + \frac{1}{23} \right) \right) \cdot 0,033; \end{aligned}$$

$$\delta_3 = 0,058 \text{ м.}$$

Полученное значение  $\delta_3$  округляем до большей ближайшей толщины теплоизоляционного материала, выпускаемого заводом-изготовителем.

В данном примере принимаем толщину теплоизоляционного слоя из экструдированного пенополистирола URSA XPS  $\delta_3 = 0,06$  м.

Уточняем термические сопротивления теплоизоляционного слоя:

$$R_3 = \frac{\delta_3}{\lambda_3} = \frac{0,06}{0,033} = 1,82 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}.$$

Определим требуемое сопротивление конструкции:

$$R_T = 0,115 + 0,022 + 1,25 + 1,82 + 0,008 + 0,01 + 0,043;$$

$$R_T = 3,268 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}.$$

В данном примере для утепления наружной стены жилого дома используется легкая штукатурная система утепления. Исходя из этого  $R_T$  необходимо определять с учетом влияния анкеров по формуле (12):

$$R_T = 3,268 \cdot 1^3 = 3,268 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт},$$

где  $r = 1$  (см. табл. 11);

$n$  – количество анкеров, устанавливаемых на  $1 \text{ м}^2$  системы утепления;

$R_0$  – требуемое сопротивление теплопередаче конструкции без учета теплопроводных включений, определено по вышеизложенной методике,  $(\text{м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$ .

Таким образом, в соответствии с пунктом 5.1 [2] сопротивление теплопередаче рассчитываемой конструкции наружной стены жилого дома должно быть не менее нормативного, равного  $3,2 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$ :

$$R_T = 3,268 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт} > R_{T,\text{норм}} = 3,2 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}.$$

Условие выполнено.

Толщина теплоизоляционного слоя из экструдированного пенополистирола URSA XPS должна быть равна  $0,06$  м.

## 6.2. Сопротивление паропрооницанию ограждающих конструкций

Для обеспечения расчетных значений сопротивления теплопередаче при эксплуатации ограждающих конструкций последние должны находиться в соответствующих температурно-влажностных условиях, что определяется параметрами воздушной среды внутри и снаружи помещения и сопротивлением паропрооницанию ограждающей конструкции.

Сопротивление паропрооницанию слоя многослойной ограждающей конструкции ( $R_{п}$ , ( $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}$ )/ $\text{мг}$ ) следует определять по формуле

$$R_{п} = \frac{\delta}{\mu}, \quad (13)$$

где  $\delta$  – то же, что в формуле (6);

$\mu$  – расчетный коэффициент паропрооницаемости материала слоя ограждающей конструкции, принимаемый по приложению А [2],  $\text{мг}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})$ .

Сопротивление паропрооницанию нескольких слоев следует определять как сумму сопротивлений паропрооницанию отдельных слоев.

Плоскость возможной конденсации – сечение ограждающей конструкции, перпендикулярное направлению теплового и влажностного потоков, в котором при расчетных значениях температуры и относительной влажности внутреннего и наружного воздуха имеет место наибольшее превышение расчетного давления водяного пара над максимальным парциальным давлением, соответствующим температуре ограждения в данном сечении.

Для расчета требуемого сопротивления паропрооницанию ограждающей конструкции принимают, что плоскость возможной конденсации однородной (однослойной) конструкции располагается на расстоянии 0,66 толщины конструкции от ее внутренней поверхности, а в многослойной конструкции совпадает с поверхностью теплоизоляционного слоя, ближайшей к наружной поверхности ограждающей конструкции.

Сопротивление паропрооницанию воздушных прослоек в ограждающих конструкциях принимают равным нулю, независимо от толщины и расположения этих прослоек.

Сопротивление паропрооницанию ( $R_{п}$ , ( $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}$ )/ $\text{мг}$ ) части многослойной ограждающей конструкции с теплоизоляционным слоем (в

пределах от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации) должно быть не менее требуемого сопротивления паропрооницанию.

1. Требуемое сопротивление паропрооницанию ( $R_{п.тр}$ , (м<sup>2</sup> · ч · Па)/мг) определяется по следующей формуле (из условия недопущения накопления влаги в ограждающей конструкции за отопительный период):

$$R_{п.тр} = R_{п.н} \cdot \frac{e_v - E_k}{E_k - e_{н.от}}, \quad (14)$$

где  $R_{п.н}$  – сопротивление паропрооницанию ограждающей конструкции в пределах от плоскости возможной конденсации до наружной поверхности ограждающей конструкции, (м<sup>2</sup> · ч · Па)/мг, определяемое по формуле (13);

$e_v$  – парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха, Па, при расчетных температуре и влажности воздуха, определяемое по формуле (15) или по табл. 14:

$$e_v = 0,01\phi_v E_v, \quad (15)$$

где  $\phi_v$  – расчетная относительная влажность внутреннего воздуха, %, принимаемая по табл. 1;

$E_v$  – максимальное парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха, Па, при расчетной температуре воздуха, принимаемое по приложению Е [2] или по табл. 14;

Т а б л и ц а 14. Расчетные параметры внутреннего воздуха жилых зданий

Здания, помещения	Расчетные значения			
	Температура внутреннего воздуха $t_v$ , °С	Относительная влажность внутреннего воздуха $\phi_v$ , %	Упругость насыщенного водяного пара внутреннего воздуха $E_v$ , Па	Упругость водяного пара внутреннего воздуха $e_v$ , Па
Жилые здания	18	55	2 064	1 135

$E_k$  – максимальное парциальное давление водяного пара в плоскости возможной конденсации, Па, принимаемое по приложению Е [2] при температуре в плоскости возможной конденсации ( $t_k$ , °С), определяемой по формуле

$$t_k = t_B - \frac{t_B - t_{н.от}}{R_T} \cdot \left( \frac{1}{\alpha_B} + \sum R_{Ti} \right), \quad (16)$$

где  $t_B$  и  $\alpha_B$  – то же, что в формуле (3);

$t_{н.от}$  – средняя температура наружного воздуха за отопительный период, принимаемая по табл. 4, °С;

$R_T$  – то же, что в формулах (2), (3), (5), (12);

$R_{Ti}$  – термическое сопротивление слоев ограждающей конструкции от внутренней поверхности конструкции до плоскости возможной конденсации, ( $m^2 \cdot °C$ )/Вт, определяемое по формуле (6) и приложению Б [2];

$e_{н.от}$  – парциальное давление водяного пара наружного воздуха, Па, при средней температуре наружного воздуха за отопительный период ( $t_{н.от}$ ), определяемое по формуле (17) или по табл. 4:

$$e_{н.от} = 0,01 \varphi_{н.от} E_{н.от}, \quad (17)$$

где  $\varphi_{н.от}$  – средняя относительная влажность наружного воздуха за отопительный период, %, принимаемая по табл. 4;

$E_{н.от}$  – максимальное парциальное давление водяного пара наружного воздуха, Па, при средней температуре за отопительный период ( $t_{н.от}$ , °С), принимаемое по приложению Е [2].

2. Требуемое сопротивление паропроницанию ( $R_{т.гр}^{год}$ , ( $m^2 \cdot ч \cdot Па$ )/мг) (из условия недопущения накопления влаги в ограждающей конструкции за годовой период эксплуатации) определяется по следующей формуле:

$$R_{т.гр}^{год} = R_{п.н} \cdot \frac{e_B - E}{E - e_H^{год}}, \quad (18)$$

где  $e_B$  – то же, что в формуле (14) (см. табл. 14);

$e_H^{год}$  – средняя упругость водяного пара наружного воздуха, Па, за годовой период, определяемая по приложению Б1 [5] или по табл. 15;

Т а б л и ц а 15. Средние значения параметров внутренней среды жилых зданий за годовой период и период со среднемесячной температурой ниже 0 °С

Населенный пункт	За год		За период с температурами ниже 0 °С		
	Температура $t_{н}$ , °С	Упругость водяного пара $e_{н}^{год}$ , Па	Температура $t_{н,ср}^0$ , °С	Упругость водяного пара $e_{н,ср}^0$ , Па	Продолжительность $z_0$ , сут
1	2	3	4	5	6
<b>Витебская область</b>					
Езерище	4,7	628	-4,9	340	151
Верхнедвинск	5,1	707	-5,3	331	121
Полоцк	5,2	720	-5,3	329	121
Шарковщина	5,3	719	-5,1	340	121
Витебск	5,1	695	-4,6	350	151
Лынтупы	5,2	716	-4,9	350	121
Докшицы	5,0	694	-5,4	323	121
Лепель	5,3	709	-5,2	333	121
Сенно	5,2	703	-4,4	356	151
Орша	5,1	701	-4,7	352	151
<b>Минская область</b>					
Вилейка	5,7	724	-4,5	354	121
Борисов	5,6	718	-4,9	344	121
Воложин	5,5	720	-4,7	353	121
Минск	5,5	712	-4,9	344	121
Березино	5,7	724	-4,8	344	121
Столбцы	5,8	731	-4,4	360	121
Марьина Горка	5,7	736	-4,7	354	121
Слуцк	6,0	742	-4,2	364	121
<b>Гродненская область</b>					
Ошмяны	5,4	721	-4,6	356	121
Лида	6,1	755	-3,9	374	121
Гродно	6,5	777	-3,2	402	121
Новогрудок	5,5	730	-4,5	365	121
Волковыск	6,7	766	-3,1	397	121
<b>Могилевская область</b>					
Горки	4,8	694	-5,1	345	151
Могилев	5,4	712	-4,4	363	151
Кричев	5,7	725	-4,9	339	121
Славгород	5,5	714	-4,4	360	151
Костюковичи	5,3	707	-4,7	348	151
Бобруйск	5,9	735	-4,7	350	121
<b>Брестская область</b>					
Барановичи	6,1	751	-4,1	371	121
Ганцевичи	6,3	764	-3,7	377	121
Ивацевичи	6,6	771	-3,4	389	121
Пружаны	6,7	791	-3,1	404	121

1	2	3	4	5	6
Высокое	7,0	793	-2,8	413	121
Полесский	6,5	773	-3,5	382	121
Брест	7,3	800	-3,3	397	90
Пинск	6,9	786	-3,2	395	121
<b>Гомельская область</b>					
Жлобин	6,1	738	-4,8	346	121
Чечерск	5,8	728	-5,1	335	121
Октябрь	6,1	744	-4,4	357	121
Гомель	6,2	730	-4,7	343	121
Василевичи	6,4	747	-4,2	357	121
Житковичи	6,0	728	-3,7	368	121
Мозырь	6,6	749	-4,0	366	121
Лельчицы	6,7	759	-3,6	374	121
Брагин	6,3	759	-4,3	360	121

$E$  – средняя упругость насыщенного водяного пара, Па, за годовой период эксплуатации в плоскости возможной конденсации определяется по формуле

$$E = \frac{E_1 \cdot z_1 + E_2 \cdot z_2 + E_3 \cdot z_3}{12}, \quad (19)$$

где  $E_1, E_2, E_3$  – упругости насыщенного водяного пара, Па, принимаемые в зависимости от температуры в плоскости возможной конденсации ( $t_k^1, t_k^2, t_k^3$ ) по приложениям БЗ, Б4 [5] или по табл. 16, 17;

Таблица 16. Температура от 0 до +30 °С при давлении 0,1 МПа

$t, ^\circ\text{C}$	$E, \text{Па}$										$t, ^\circ\text{C}$
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	
0	611	615	620	624	629	633	639	643	648	652	0
1	657	661	667	671	676	681	687	691	696	701	1
2	705	711	716	721	727	732	737	743	748	753	2
3	759	764	769	775	780	785	791	796	803	808	3
4	813	819	825	831	836	843	848	855	860	867	4
5	872	879	885	891	897	904	909	916	923	929	5
6	935	941	948	956	961	968	975	981	988	995	6
7	1001	1009	1016	1023	1029	1037	1044	1051	1059	1065	7
8	1072	1080	1088	1095	1103	1189	1117	1125	1132	1140	8
9	1148	1156	1164	1172	1180	1188	1196	1204	1212	1220	9

$t, ^\circ\text{C}$	E, Па										$t, ^\circ\text{C}$
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	
10	1228	1236	1244	1253	1261	1269	1279	1287	1285	1304	10
11	1312	1321	1331	1339	1348	1355	1365	1375	1384	1393	11
12	1403	1412	1421	1431	1440	1449	1459	1468	1479	1488	12
13	1497	1508	1517	1527	1537	1547	1557	1568	1577	1588	13
14	1599	1609	1619	1629	1640	1651	1661	1672	1683	1695	14
15	1705	1716	1727	1739	1749	1761	1772	1784	1795	1807	15
16	1817	1829	1841	1853	1865	1877	1889	1901	1913	1925	16
17	1937	1949	1962	1974	1986	2000	2012	2025	2037	2050	17
18	2064	2077	2089	2102	2115	2129	2142	2156	2169	2182	18
19	2197	2210	2225	2238	2252	2266	2281	2294	2309	2324	19
20	2338	2352	2366	2381	2396	2412	2426	2441	2456	2471	20
21	2488	2502	2517	2538	2542	2564	2580	2596	2612	2628	21
22	2644	2660	2667	2691	2709	2725	2742	2758	2776	2792	22
23	2809	2826	2842	2860	2877	2894	2913	2930	2948	2965	23
24	2984	3001	3020	3038	3056	3074	3093	3112	3130	3149	24
25	3168	3186	3205	3224	3244	3262	3282	3301	3321	3341	25
26	3363	3381	3401	3421	3441	3461	3481	3502	3523	3544	26
27	3567	3586	3608	3628	3649	3672	3692	3714	3736	3758	27
28	3782	3801	3824	3846	3869	3890	3913	3937	3960	3982	28
29	4005	4029	4052	4076	4100	4122	4146	4170	4194	4218	29
30	4246	4268	4292	4317	4341	4366	4390	4416	4441	4466	30

Таблица 17. Температура от 0 до  $-30\text{ }^\circ\text{C}$  при давлении 0,1 МПа

$t, ^\circ\text{C}$	E, Па										$t, ^\circ\text{C}$
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	
0	611	606	601	597	592	587	581	577	573	545	0
-1	563	558	553	549	544	539	535	531	527	263	-1
-2	517	513	509	505	500	496	492	488	484	480	-2
-3	476	472	468	464	460	456	452	449	445	441	-3
-4	437	433	429	426	423	419	415	411	408	405	-4
-5	401	398	395	391	388	385	381	378	375	371	-5
-6	368	365	363	359	356	353	351	347	344	341	-6
-7	337	335	332	329	327	324	321	318	315	312	-7
-8	309	307	304	301	299	296	293	291	289	287	-8
-9	284	281	279	276	273	271	268	266	264	262	-9
-10	260	257	255	253	251	248	245	243	241	239	-10
-11	237	235	233	231	229	227	225	223	221	219	-11
-12	217	215	213	211	209	208	207	205	203	201	-12
-13	199	197	195	193	191	189	188	186	184	183	-13
-14	181	180	179	177	175	173	172	170	168	167	-14
-15	165	164	163	161	159	157	156	155	153	152	-15
-16	151	149	148	147	145	144	143	141	140	139	-16

$t, ^\circ\text{C}$	Е, Па										$t, ^\circ\text{C}$
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	
-17	137	136	135	133	132	131	129	129	128	127	-17
-18	125	124	123	121	120	119	117	117	116	115	-18
-19	113	112	111	110	109	108	107	106	105	104	-19
-20	103	102	101	100	99	99	98	97	95	94	-20
-21	93,3	92,5	91,7	90,9	90,1	89,3	88,5	87,7	86,9	86,1	-21
-22	85,3	84,5	83,7	82,9	82,1	81,3	80,5	79,7	78,9	78,1	-22
-23	77,3	76,5	75,7	74,9	74,1	73,3	72,5	71,7	70,9	70,1	-23
-24	69,3	68,5	67,7	66,9	66,1	65,3	64,8	64,3	63,7	63,2	-24
-25	62,7	62,1	61,6	61,1	60,5	60,0	59,2	58,4	57,6	56,8	-25
-26	56,0	55,5	54,9	54,4	53,9	53,3	52,8	52,3	51,7	51,2	-26
-27	50,7	50,1	49,6	49,1	48,5	48,0	47,5	46,9	46,4	45,9	-27
-28	45,3	44,9	44,5	44,1	43,7	43,3	42,9	42,5	42,1	41,7	-28
-29	41,3	40,9	40,5	40,1	39,7	39,3	38,9	38,5	38,1	37,7	-29
-30	37,3	37,0	36,6	36,2	35,8	35,5	35,1	34,7	34,3	34,0	-30

$z_1, z_2, z_3$  – продолжительность, мес, зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов, определяемая по приложению Б2 [5] или по табл. 18;

$t_k^1, t_k^2, t_k^3$  – температуры в плоскости возможной конденсации (зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов), определяемые по формуле (16), в которую вместо средней температуры наружного воздуха за отопительный период ( $t_{н.от}, ^\circ\text{C}$ ) необходимо подставить температуру соответственно зимнего ( $t_n^{зим}$ ), весенне-осеннего ( $t_n^{B-O}$ ) и летнего ( $t_n^{лет}$ ) периодов, определяемых по приложению Б2 [5] или по табл. 18;

Таблица 18. Значение продолжительности и температуры расчетных периодов

Населенный пункт	Среднее значение за период					
	зимний		весенне-осенний		летний	
	Продолжительность $z_1$ , мес	Температура $t_n^{зим}, ^\circ\text{C}$	Продолжительность $z_2$ , мес	Температура $t_n^{B-O}, ^\circ\text{C}$	Продолжительность $z_3$ , мес	Температура $t_n^{лет}, ^\circ\text{C}$
1	2	3	4	5	6	7
<b>Витебская область</b>						
Езерище	3	-6,9	3	0,3	6	12,8
Верхнедвинск	2	-7,1	4	-0,5	6	13,0
Полоцк	2	-7,1	4	-0,5	6	13,1

Продолжение табл. 18

1	2	3	4	5	6	7
Шарковщина	2	-6,8	4	-0,4	6	13,2
Витебск	3	-6,7	2	-1,5	7	12,0
Лынтупы	2	-6,5	4	-0,4	6	12,7
Докшицы	2	-7,1	4	-0,7	6	12,7
Лепель	2	-7,0	3	-2,3	7	12,1
Сенно	2	-7,3	3	-2,5	7	12,1
Орша	3	-6,8	3	0,6	6	13,2
<b>Минская область</b>						
Вилейка	2	-6,3	3	-1,7	7	12,2
Борисов	2	-6,6	3	-2,0	7	12,4
Воложин	2	-6,4	3	-1,8	7	12,1
Минск	2	-6,6	3	-2,0	7	12,2
Березино	2	-6,6	3	-2,0	7	12,5
Столбцы	2	-6,0	3	-1,6	7	12,4
Марьина Горка	2	-6,5	3	-1,8	7	12,3
Слуцк	2	-6,0	3	-1,4	7	12,6
<b>Гродненская область</b>						
Ошмяны	2	-6,3	3	-1,8	7	11,8
Лида	2	-5,5	3	-1,1	7	12,4
Гродно	1	-5,1	4	-1,5	7	12,8
Новогрудок	2	-6,1	3	-1,8	7	12,0
Волковыск	0	-	5	-2,1	7	12,9
<b>Могилевская область</b>						
Горки	3	-7,2	3	0,3	6	13,0
Могилев	2	-7,3	3	-2,4	7	12,3
Кричев	2	-6,7	3	-2,0	7	12,5
Славгород	2	-7,3	3	-2,4	7	12,6
Костюковичи	2	-7,8	3	-2,7	7	12,5
Бобруйск	2	-6,4	3	-1,7	7	12,7
<b>Брестская область</b>						
Барановичи	2	-5,8	3	-1,3	7	12,7
Ганцевичи	1	-5,8	3	-0,9	7	12,7
Ивацевичи	1	-5,5	4	-1,7	7	13,0
Пружаны	1	-5,2	4	-1,4	7	13,0
Высокое	0	-	5	-1,8	7	13,2
Полесский	1	-5,6	4	-1,8	7	12,9
Брест	0	-	5	-1,3	7	13,5
Пинск	1	-5,3	4	-1,4	7	13,3
<b>Гомельская область</b>						
Жлобин	2	-6,6	3	-1,7	7	13,0
Чечерск	2	-7,0	3	-2,0	7	12,9
Октябрь	2	-6,2	3	-1,4	7	12,9
Гомель	2	-6,6	3	-1,6	7	13,2

1	2	3	4	5	6	7
Василевичи	2	-6,1	3	-1,2	7	13,2
Житковичи	1	-6,0	3	-0,8	7	13,3
Мозырь	2	-5,8	3	-1,0	7	13,3
Лельчицы	1	-5,9	4	-1,7	7	13,3
Брагин	2	-6,3	3	-1,3	7	13,2

$R_{п.п}$ ,  $(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})/\text{мг}$  – то же, что в формуле (14).

3. Требуемое сопротивление паропрооницанию ( $R_{т.тр}^0$ ,  $(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})/\text{мг}$ ) (из условия ограничения накопления влаги в ограждающей конструкции за период со среднемесячной температурой наружного воздуха не выше  $0^\circ\text{C}$ ) определяется по формуле

$$R_{т.тр}^0 = \frac{0,0024 \cdot z_0 \cdot (e_b - E_0)}{\rho_{ут} \cdot \delta_{ут} \cdot \Delta_w + \eta}, \quad (20)$$

где  $z_0$  – продолжительность периода влагонакопления, сут, принимаемая равной периоду со среднемесячной температурой воздуха не выше  $0^\circ\text{C}$  по табл. 15;

$e_b$  – упругость водяного пара внутреннего воздуха, Па, при расчетной температуре и относительной влажности этого воздуха, определяемая по табл. 14;

$E_0$  – упругость насыщенного водяного пара, Па, в плоскости возможной конденсации, принимаемая по табл. 16, 17 в зависимости от температуры воздуха в плоскости возможной конденсации ( $t_k^0$ ,  $^\circ\text{C}$ ), определяемой по формуле (16), в которую вместо средней температуры наружного воздуха за отопительный период ( $t_{н.от}$ ,  $^\circ\text{C}$ ) необходимо подставить температуру ( $t_{н.сп}^0$ ,  $^\circ\text{C}$ ) наружного воздуха, принимаемую равной средней температуре воздуха периода со среднемесячной температурой воздуха не выше  $0^\circ\text{C}$  по табл. 15;

$\rho_{ут}$  – расчетная плотность теплоизоляционного слоя,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$\delta_{ут}$  – толщина теплоизоляционного слоя, м;

$\Delta_w$  – предельно допустимое приращение расчетного массового отношения влаги, принимаемое равным 1,5 %;

$\eta$  – коэффициент, определяемый по формуле

$$\eta = \frac{0,0024 \cdot (E_0 - e_{н.сп}^0) \cdot z_0}{R_{п.п}}, \quad (21)$$

где  $R_{п.н}$  – то же, что в формуле (14);

$E_0$  – то же, что в формуле (20);

$z_0$  – то же, что в формуле (20);

$e_{н.ср}^0$  – средняя упругость водяного пара наружного воздуха, Па, периода со среднемесячной температурой не выше  $0\text{ }^\circ\text{C}$ , определяемая по табл. 15.

В случае, если  $e_{н.ср}^0$  больше  $E_0$ , следует принимать  $\eta = 0$ .

Если сопротивление паропроницанию ниже требуемого, рекомендуется увеличить толщину утеплителя.

Сопротивление паропроницанию чердачного перекрытия холодно-го чердака или части конструкции вентилируемого покрытия, расположенного между внутренней поверхностью покрытия и воздушной прослойкой, вентилируемой наружным воздухом, в зданиях со скатами кровли шириной до 24 м должно быть не менее требуемого сопротивления паропроницанию ( $R_{п.тр}$ ,  $(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})/(\text{мг})$ ), которое определяется по следующей формуле:

$$R_{п.тр} = 0,0012 \cdot (e_v - e_{н.от}), \quad (22)$$

где  $e_v$  и  $e_{н.от}$  – то же, что в формуле (14).

Не требуется определять сопротивление паропроницанию следующих наружных ограждающих конструкций помещений с сухим и нормальным режимом:

- однородных (однослойных);
- двухслойных при выполнении следующего условия:

$$\frac{\mu_v}{\lambda_v} \leq \frac{\mu_n}{\lambda_n}, \quad (23)$$

где  $\mu_v$  и  $\lambda_v$  – соответственно коэффициенты паропроницаемости и теплопроводности материала внутреннего слоя ограждающей конструкции в условиях эксплуатации;

$\mu_n$  и  $\lambda_n$  – то же материала наружного слоя ограждающей конструкции.

Сопротивления паропроницанию некоторых листовых материалов и тонких слоев пароизоляции можно принять по приложению Ж [2].

**Пример 2.** Определить требуемое сопротивление паропроницанию стены жилого дома с легкой штукатурной системой утепления для климатических условий Могилевской области.

Конструкция стены соответствует рис. 1.

**Исходные данные.** Конструктивное решение стены по слоям (от внутренней поверхности):

1. Цементно-песчаная штукатурка,  $\mu_1 = 0,09$  мг/(м · ч · Па),  $\delta_1 = 0,02$  м.

2. Кладка из ячеистобетонных блоков плотностью  $700$  кг/м<sup>3</sup>,  $\delta_2 = 0,3$  м;  $\mu_2 = 0,16$  мг/(м · ч · Па).

3. Утеплитель – теплоизоляционные плиты из экструдированного пенополистирола URSA XPS,  $\delta_{yt} = 0,06$  м;  $\gamma_{yt} = 35$  кг/м<sup>3</sup>;  $\Delta_w = 1,5$  %;  $\mu_3 = 0,004$  мг/(м · ч · Па).

4. Армированный слой из полимерминерального клея,  $\delta_4 = 0,005$  м;  $\mu_4 = 0,02$  мг/(м · ч · Па).

5. Армированный слой из полимерминеральной штукатурки,  $\delta_5 = 0,005$  м;  $\mu_5 = 0,02$  мг/(м · ч · Па).

6. Краска,  $\delta_6 = 0,001$  м;  $\mu_6 = 0,005$  мг/(м · ч · Па).

Расчетный коэффициент паропроницаемости ( $\mu$ , мг/(м · ч · Па)) определяем по приложениям А, Ж [2].

**Порядок расчета.** Плоскость возможной конденсации многослойной конструкции совпадает с наружной поверхностью утеплителя.

Сопротивление теплопередаче

$$R_T = 3,268 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт (из предыдущего примера).}$$

Термическое сопротивление слоев ограждающей конструкции от внутренней поверхности конструкции до плоскости возможной конденсации

$$R_{Ti} = \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,3}{0,24} + \frac{0,06}{0,033} = 3,09 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт.}$$

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

$$R_{\Pi} = \frac{0,02}{0,09} + \frac{0,3}{0,16} + \frac{0,06}{0,004} = 17,1 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)/мг.}$$

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

$$R_{п.н} = \frac{0,005}{0,02} + \frac{0,005}{0,02} + \frac{0,001}{0,005} = 0,7 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)/мг.}$$

По табл. 14:  $t_{в} = 18 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\varphi_{в} = 55 \text{ \%}$ ,  $E_{в} = 2 \text{ 064 Па}$ ,  $e_{в} = 1 \text{ 135 Па}$ .

*Проверка 1.* Из условия недопущения накопления влаги в ограждающей конструкции за отопительный период.

По табл. 4:  $t_{н.от} = -1,9 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $e_{н.от} = 439 \text{ Па}$ .

Температура в плоскости возможной конденсации (средняя за отапливаемый период) определяется по формуле (16):

$$t_{к} = 18 - \frac{18 + 1,9}{3,268} \cdot \left( \frac{1}{8,7} + 3,09 \right) = -1,5 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Максимальное парциальное давление водяного пара в плоскости возможной конденсации принимаем по приложению Е [2]:  $E_{к} = 540 \text{ Па}$ .

Требуемое сопротивление паропрооницанию вычисляем по формуле (14):

$$R_{п.тр} = 0,7 \cdot \frac{1 \text{ 135} - 540}{540 - 439} = 4,1 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)/мг.}$$

Так как

$$R_{п.тр} = 4,1 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)/мг} < R_{п} = 17,1 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)/мг,}$$

условие выполнено.

*Проверка 2.* Из условия недопущения накопления влаги в ограждающей конструкции за годовой период эксплуатации.

По табл. 15:  $e_{н}^{\text{год}} = 712 \text{ Па}$ .

По табл. 18:  $t_{н}^{\text{зим}} = -7,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{н}^{\text{в-о}} = -2,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{н}^{\text{лет}} = 12,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $z_1 = 2 \text{ мес}$ ,  $z_2 = 3 \text{ мес}$ ,  $z_3 = 7 \text{ мес}$ .

Температуру в плоскости возможной конденсации для зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов определяем по формуле (16):

$$t_{к}^1 = 18 - \frac{18 + 7,3}{3,268} \cdot \left( \frac{1}{8,7} + 3,09 \right) = -6,8 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$t_{к}^2 = 18 - \frac{18 + 2,4}{3,268} \cdot \left( \frac{1}{8,7} + 3,09 \right) = -2 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$t_{к}^3 = 18 - \frac{18 - 12,3}{3,268} \cdot \left( \frac{1}{8,7} + 3,09 \right) = 12,4 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Соответствующие упругости насыщенного водяного пара в плоскости возможной конденсации определяем по табл. 16 и 17:

$$E_1 = 344 \text{ Па}, E_2 = 517 \text{ Па}, E_3 = 1\,440 \text{ Па}.$$

Среднее значение упругости водяного пара в плоскости возможной конденсации вычисляем по формуле (19):

$$E = \frac{344 \cdot 2 + 517 \cdot 3 + 1\,440 \cdot 7}{12} = 1\,026,6 \text{ Па}.$$

Требуемое сопротивление паропрооницанию из условия недопущения накопления влаги в ограждающей конструкции за годовой период эксплуатации определяем по формуле (18):

$$R_{\text{т.тр}}^{\text{год}} = 0,7 \cdot \frac{1\,135 - 1\,026,6}{1\,026,6 - 712} = 0,24 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)/мг}.$$

Так как

$$R_{\text{т.тр}}^{\text{год}} = 0,24 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)/мг} < R_{\text{н}} = 17,1 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)/мг},$$

условие выполнено.

*Проверка 3.* Из условия ограничения накопления влаги в ограждающей конструкции за период со среднемесячной температурой наружного воздуха не выше 0 °С.

По табл. 15:  $t_{\text{н.ср}}^0 = -4,4 \text{ °С}$ ,  $e_{\text{н.ср}}^0 = 363 \text{ Па}$ ,  $z_0 = 151 \text{ сут}$ .

Среднюю температуру в плоскости возможной конденсации при средней температуре воздуха периода со среднемесячной температурой воздуха не выше 0 °С определяем по формуле (16):

$$t_{\text{к}}^0 = 18 - \frac{18 + 4,4}{3,268} \cdot \left( \frac{1}{8,7} + 3,09 \right) = -4 \text{ °С}.$$

По табл. 17 упругость насыщенного водяного пара в плоскости возможной конденсации  $E_0 = 437 \text{ Па}$ .

Коэффициент  $\eta$  определяем по формуле (21):

$$\eta = \frac{0,0024 \cdot (437 - 363) \cdot 151}{0,7} = 38,3.$$

Требуемое сопротивление паропрооницанию из условия ограничения накопления влаги в ограждающей конструкции за период со среднесуточной температурой наружного воздуха не выше 0 °С определяем по формуле (20):

$$R_{т.гр}^0 = \frac{0,0024 \cdot 151 \cdot (1\,135 - 437)}{35 \cdot 0,06 \cdot 1,5 + 38,3} = 6,1 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)/мг.}$$

Так как

$$R_{т.гр}^0 = 6,1 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)/мг} < R_{п} = 17,1 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)/мг,}$$

условие выполнено.

Таким образом, в данной конструкции стены требуемое сопротивление паропрооницанию обеспечено.

## **7. РАСЧЕТ ТЕПЛОВОЙ МОЩНОСТИ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ**

### **7.1. Определение площади ограждений**

Обмер площади наружных ограждений производится с соблюдением определенных правил:

1) площади окон и дверей – по наименьшим размерам проемов в свету;

2) площади потолков и полов – по расстоянию между осями внутренних стен и расстоянию от внутренней поверхности наружных стен до осей внутренних стен;

3) высота стен первого этажа – по расстоянию от уровня нижней поверхности конструкции пола первого этажа до уровня чистого пола второго этажа при наличии неотапливаемого подвала;

4) высота стен промежуточного этажа – по расстоянию между уровнями чистого пола данного и вышележащего этажей;

5) высота стен верхнего этажа – по расстоянию от уровня чистого пола до верха утеплителя чердачного перекрытия;

6) длина наружных стен в угловых помещениях – по расстоянию от внешней поверхности наружных стен до осей внутренних стен, а в неугловых помещениях – по расстоянию между осями внутренних стен (рис. 2).

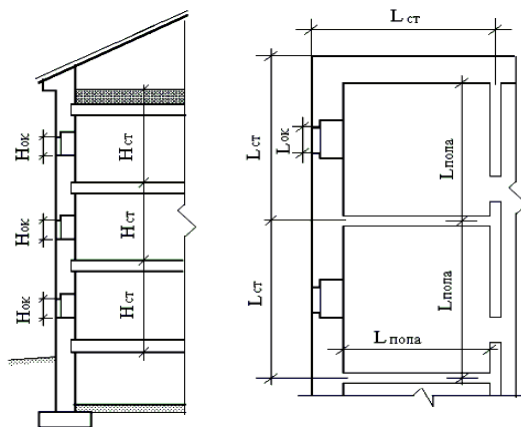


Рис. 2. Обмер поверхностей ограждений

## 7.2. Расчет теплового потока и расхода теплоносителя в системе водяного отопления

Система отопления предназначена для создания в помещениях здания в холодный период года температурной обстановки, комфортной для человека и отвечающей гигиеническим и технологическим требованиям.

Температурная обстановка в помещении зависит от тепловой мощности системы отопления, а также от расположения обогревающих устройств, теплозащитных свойств наружных ограждений, интенсивности других источников поступления и потерь теплоты.

В жилых зданиях при определении тепловой мощности системы отопления учитывают теплотери через ограждающие конструкции, больший из расходов тепла на нагревание наружного воздуха, поступающего в помещение вследствие инфильтрации или для компенсации нормативного воздухообмена, а также бытовые тепlopоступления в размере, регламентируемом СНБ 4.02.01–03[1].

Расчетная тепловая мощность системы отопления жилого дома  $Q_{от}$  определяется суммой потерь теплоты отапливаемых помещений по формуле [3]:

$$Q_{от} = \sum Q_4, \quad (24)$$

где  $Q_4$  – расчетные суммарные потери теплоты отапливаемого помещения, Вт, определяемые по формуле

$$Q_4 = \sum Q_{\text{осн}} + \sum Q_{\text{и}} - \sum Q_6 \cdot (1 - \eta_1), \quad (25)$$

где  $\sum Q_{\text{осн}}$  – сумма основных потерь теплоты (с учетом добавочных) через ограждающие конструкции здания (наружные стены, окна, балконные двери, полы, перекрытие и крышу, наружные двери), Вт;

$\sum Q_{\text{и}}$  – сумма добавочных потерь теплоты на инфильтрацию, Вт;

$\sum Q_6$  – сумма бытовых тепловыделений, поступающих в помещение, Вт;

$\eta_1$  – коэффициент, принимаемый по табл. 19 в зависимости от способа регулирования системы отопления.

Т а б л и ц а 19. Значение коэффициента  $\eta_1$

Система отопления и способ регулирования	$\eta_1$
1. Электроотопление с индивидуальным регулированием	0,85
2. Водяное отопление с индивидуальными автоматическими терморегуляторами у отопительных приборов	0,80
3. Водяное отопление с местным регулированием по температуре внутреннего воздуха помещения-представителя	0,60
4. Водяное отопление с местной системой регулирования по температуре наружного воздуха («следающая система регулирования»)	0,40
5. Водяное отопление без регулирования, печное отопление без регулирования	0,20

Расчетный тепловой поток отопительных приборов отапливаемого помещения ( $Q_1$ , Вт) следует определять по формуле [3]:

$$Q_1 = (Q_4 - Q_3) \cdot \beta_1 \cdot \beta_2, \quad (26)$$

где  $Q_4$  – то же, что в формуле (24), Вт;

$Q_3$  – часть расчетных потерь теплоты, Вт, возмещаемых поступлением теплоты от трубопроводов, проходящих в отапливаемом помещении, в соответствии с пунктом 6.44 [1];

$\beta_1$  – коэффициент учета дополнительного теплового потока устанавливаемых отопительных приборов за счет округления сверх расчетных значений, принимаемый по табл. 20;

$\beta_2$  – коэффициент учета дополнительных потерь теплоты отопительными приборами, расположенными у наружных ограждений, принимаемый по табл. 21.

Т а б л и ц а 20. Значение коэффициента  $\beta_1$

Шаг номенклатурного ряда отопительных приборов, Вт	$\beta_1$
120	1,02
150	1,03
180	1,04
210	1,06
240	1,08
300	1,13

П р и м е ч а н и е. Для отопительных приборов помещения с номинальным тепловым потоком более 2 300 Вт следует принимать вместо коэффициента  $\beta_1$  коэффициент  $\beta'_1$ , определяемый по формуле

$$\beta'_1 = 0,5 \cdot (1 + \beta_1). \quad (27)$$

Шаг номенклатурного ряда отопительного прибора следует определять как произведение номинальной плотности теплового потока на площадь поверхности нагрева секции или панели.

Т а б л и ц а 21. Значение коэффициента  $\beta_2$

Отопительный прибор	$\beta_2$ при установке прибора	
	у наружной стены, в том числе под световым проемом	у остекления светового проема
Радиатор:		
чугунный секционный	1,02	1,07
стальной панельный	1,04	1,10

Значение расчетного теплового потока отопительного прибора  $Q_1$  является основной исходной величиной для дальнейшего теплового расчета и подбора требуемого отопительного прибора.

Если значениями  $\beta_1$  и  $\beta_2$  можно предварительно задаться для большинства проектируемых типов систем водяного отопления, то значение  $Q_3$  зависит от ряда конструктивных и геометрических параметров проектируемой системы отопления (рис. 3).

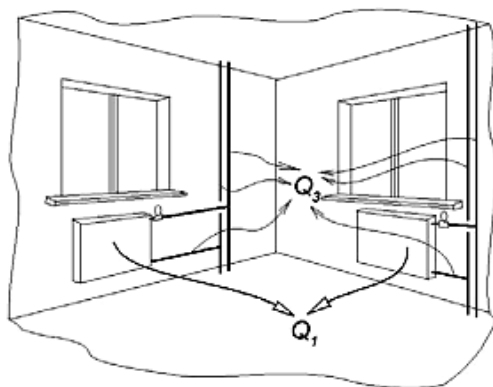


Рис. 3. Схема распределения тепловых потоков в отапливаемом помещении

Однако из практики проектирования следует отметить, что при скрытой прокладке теплопроводов насосной системы отопления (в штрабах, в полу) можно принять  $Q_3 = 0$ , а при открытой величина  $Q_3 = (0,10 \dots 0,15) \cdot Q_4$ , что позволяет задаться  $Q_3 = 0,15 \cdot Q_4$ , исключая, таким образом, вероятность необоснованного завышения расчетной тепловой нагрузки участка теплопровода [4].

Расход теплоносителя в системе, ветви или стояке системы отопления ( $G$ , кг/ч), следует определять по формуле [3]:

$$G = \frac{3,6 \cdot Q_{\text{уч}}}{c \cdot \Delta t}, \quad (28)$$

где  $Q_{\text{уч}}$  – расчетный тепловой поток, обеспечиваемый теплоносителем системы, ветви, стояка или расчетного участка, Вт;

$c$  – удельная теплоемкость воды, равная 4,2 кДж/(кг · °С);

$\Delta t$  – разность температур теплоносителя на входе и выходе из системы, ветви или стояка, °С.

### 7.3. Расчет основных теплопотерь через ограждающие конструкции здания

В отапливаемых зданиях при наличии разности температур между внутренним и наружным воздухом постоянно происходят потери тепла через ограждающие конструкции: НС – наружные стены, ПЛ – пол,

О – окна, НД – наружные двери, БД – балконные двери, ЧП – чердачные перекрытия. Система отопления должна восполнять эти потери.

Основные тепловые потери через наружные ограждения можно определить по формуле

$$Q_{\text{огр}} = \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}}{R_0^{\text{тп}}} n \cdot F, \quad (29)$$

где  $t_{\text{в}}, t_{\text{н}}$  – расчетные температуры соответственно внутреннего и наружного воздуха, °С;

$R_0^{\text{тп}}$  – требуемое общее сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, ( $\text{м}^2 \cdot \text{°С}/\text{Вт}$ );

$n$  – коэффициент учета положения наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху;

$F$  – расчетная площадь ограждающей конструкции,  $\text{м}^2$ .

Основные теплотери с учетом добавочных через ограждающие конструкции с округлением до 10 Вт определяются по формуле

$$Q_{\text{осн}} = \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}}{R_0^{\text{тп}}} n \cdot F \cdot (1 + \sum \beta), \quad (30)$$

где  $\beta$  – коэффициент, учитывающий добавочные потери теплоты.

### 7.3.1. Расчет теплотерь через наружные ограждения (стены, чердачные и цокольные перекрытия)

Для расчета потерь тепла через наружные ограждения предварительно определяют фактическое термическое сопротивление теплопередаче по вышеизложенной методике (см. раздел 6), а затем рассчитывают сами теплотери по формуле (29).

#### Пример 3.

#### Исходные данные:

1. Район строительства – г. Горки.
2. Расчетная температура внутреннего воздуха  $t_{\text{в}} = 18 \text{ °С}$  (см. табл. 1).
3.  $t_{\text{н}} = -27 \text{ °С}$  (см. пример 1).
4.  $R_0^{\text{тп}} = 3,268 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С)/Вт}$  (см. пример 1).
5.  $n = 1$  (см. табл. 8).
6. Размер стены –  $2,5 \times 3,0 \text{ м}$  (площадь оконных проемов не учитывается).
7. Конструкция стены представлена на рис. 1.

**Порядок расчета.** Предварительно выполняем теплотехнический расчет и расчет на паропроницание (см. примеры 1, 2).

Определяем площадь стены:  $F = 2,5 \cdot 3,0 = 7,5 \text{ м}^2$ .

По формуле (29) определяем теплопотери через наружную стену:

$$Q_{\text{нс}} = \frac{18 + 27}{3,268} 1 \cdot 7,5 = 103,3 \text{ Вт.}$$

### 7.3.2. Расчет теплопотерь через полы

Согласно приложению Ж [1], сопротивление теплопередаче для полов этажа здания, расположенных на грунте и лагах, следует определять:

а) для неутепленных полов на грунте и стен, расположенных ниже уровня земли, с теплопроводностью  $\lambda \geq 1,2 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$  по зонам шириной 2 м (рис. 4), параллельным наружным стенам, принимая  $R_{\text{н.п.}}$ ,  $(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})/\text{Вт}$  равным:

для I зоны – 2,1;

для II зоны – 4,3;

для III зоны – 8,6;

для IV зоны (для оставшейся площади пола) – 14,2 [1];

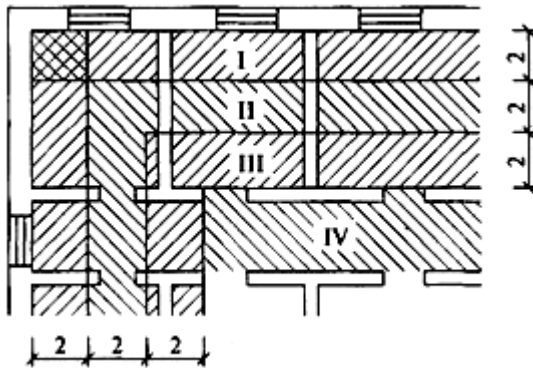


Рис. 4. Схема расположения зон полов на грунте и лагах

б) для утепленных полов на грунте и стен, расположенных ниже уровня земли, с теплопроводностью  $\lambda_{\text{у.с}} < 1,2 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{С})$  утепляющего слоя толщиной  $\delta_{\text{у.с}}$ , м, принимая  $R_{\text{у.п.}}$ ,  $(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})/\text{Вт}$ , по формуле

$$R_{y.c} = R_{н.п} + \delta_{y.c} / \lambda_{y.c}; \quad (31)$$

в) термическое сопротивление теплопередаче отдельных зон полов на лагах  $R_{л}$ , ( $m^2 \cdot ^\circ C$ )/Вт, определяют по зонам:

$$\text{I зона} - R_{л}^I = 1,18(R_{н.п}^I + \sum_{i=1}^n R_{y.c});$$

$$\text{II зона} - R_{л}^{II} = 1,18(R_{н.п}^{II} + \sum_{i=1}^n R_{y.c});$$

$$\text{III зона} - R_{л}^{III} = 1,18(R_{н.п}^{III} + \sum_{i=1}^n R_{y.c});$$

$$\text{IV зона} - R_{л}^{IV} = 1,18(R_{н.п}^{IV} + \sum_{i=1}^n R_{y.c}),$$

где  $R_{н.п}^I = 2,1$ ;  $R_{н.п}^{II} = 4,3$ ;  $R_{н.п}^{III} = 8,6$ ;  $R_{н.п}^{IV} = 14,2$  – значение термического сопротивления теплопередаче отдельных зон неутепленных полов, ( $m^2 \cdot ^\circ C$ )/Вт;

$\sum_{i=1}^n R_{y.c}$  – сумма значений термического сопротивления теплопередаче утепляющего слоя полов на лагах, ( $m^2 \cdot ^\circ C$ )/Вт.

Величину  $\sum_{i=1}^n R_{y.c}$  вычисляют по формуле

$$\sum_{i=1}^n R_{y.c} = R_{в.п} + \frac{\delta_d}{\lambda_d}, \quad (32)$$

где  $R_{в.п}$  – термическое сопротивление замкнутых воздушных прослоек [2];

$\delta_d$  – толщина слоя из досок, м;

$\lambda_d$  – теплопроводность материала из дерева, Вт/(м  $\cdot$   $^\circ C$ ).

Потери тепла через пол, расположенный на грунте, Вт, определяют по формуле

$$Q_{пл} = \left( \frac{F^I}{R_{н.п}^I} + \frac{F^{II}}{R_{н.п}^{II}} + \frac{F^{III}}{R_{н.п}^{III}} + \frac{F^{IV}}{R_{н.п}^{IV}} \right) \cdot (t_b - t_n), \quad (33)$$

где  $F^I, F^{II}, F^{III}, F^{IV}$  – площади зон-полос,  $m^2$ .

Потери тепла через пол, расположенный на лагах, Вт, определяют по формуле

$$Q_{пл} = \left( \frac{F^I}{R_{л}^I} + \frac{F^{II}}{R_{л}^{II}} + \frac{F^{III}}{R_{л}^{III}} + \frac{F^{IV}}{R_{л}^{IV}} \right) \cdot (t_b - t_n). \quad (34)$$

#### Пример 4.

##### Исходные данные:

1. Этаж – первый.
2. Наружных стен – две (рис. 6).
3. Конструкция полов: полы бетонные, покрытые линолеумом (рис. 5), характеристики материалов слоев пола приведены в табл. 22.
4. Район строительства – г. Горки.
5. Расчетная температура внутреннего воздуха  $t_{в} = 18 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .
6. Расчетная температура наружного воздуха  $t_{н} = -27 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

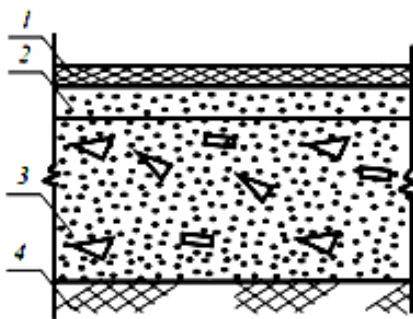


Рис. 5. Конструкция пола по грунту

Т а б л и ц а 22. Характеристики материалов слоев пола по грунту

Позиция	Конструкция пола	Толщина слоя $\delta$ , м	Теплопроводность материала $\lambda$ , Вт/(м · °С) [2]
1	Линолеум на мастике	0,008	0,33
2	Цементная стяжка	0,022	0,81
3	Бетон В 7,5	0,120	1,2
4	Уплотненный грунт	–	–

**Порядок расчета.** 1. Вычерчиваем план первого этажа в масштабе с указанием основных размеров и делим пол на четыре зоны-полосы шириной 2 м параллельно наружным стенам.

2. В жилой комнате размещаются только I и часть II зоны (рис. 6). Определяем размеры каждой зоны-полосы:

I зона:  $2,0 \times 5,0$  м и  $2,0 \times 3,0$  м; II зона:  $1,0 \times 3,0$  м.

3. Площади каждой зоны равны:

$$F^I = 2,0 \cdot 5,0 + 2,0 \cdot 3,0 = 16 \text{ м}^2; F^{II} = 1,0 \cdot 3,0 = 3 \text{ м}^2.$$

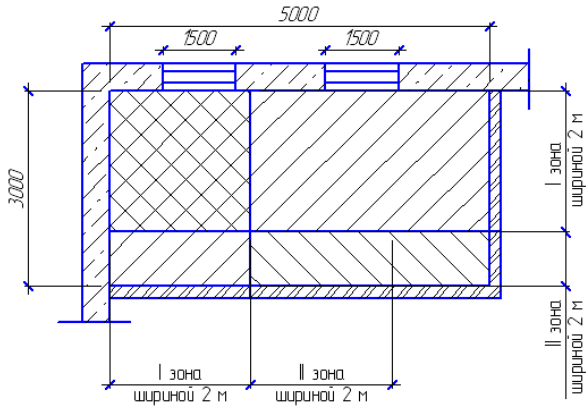


Рис. 6. Фрагмент плана и расположение зон полов в комнатах

4. Определяем сопротивление теплопередаче каждой зоны по формуле (31):

$$R_{y,п}^I = R_{н,п}^I + \sum_{i=1}^n \delta_{y,c i} / \lambda_{y,c i} = 2,1 + \frac{0,008}{0,33} + \frac{0,022}{0,81} + \frac{0,12}{1,2} = 2,25 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт};$$

$$R_{y,п}^{II} = R_{н,п}^{II} + \sum_{i=1}^n \delta_{y,c i} / \lambda_{y,c i} = 4,3 + \frac{0,008}{0,33} + \frac{0,022}{0,81} + \frac{0,12}{1,2} = 4,45 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}.$$

5. По формуле (33) определяем потери тепла через пол, расположенный на грунте:

$$Q_{пл} = \left( \frac{F^I}{R_{y,п}^I} + \frac{F^{II}}{R_{y,п}^{II}} \right) \cdot (t_v - t_n) = \left( \frac{16}{2,25} + \frac{3}{4,45} \right) \cdot (18 + 27) = 350,3 \text{ Вт}.$$

### Пример 5.

#### Исходные данные:

1. Конструкция пола: полы деревянные на лагах (рис. 7).
2. Наружных стен – две (см. рис. 6).
3. Этаж – первый
4. Район строительства – г. Горки.
5. Расчетная температура внутреннего воздуха  $t_v = 18 \text{ °C}$ ;
6. Расчетная температура наружного воздуха  $t_n = -27 \text{ °C}$ .

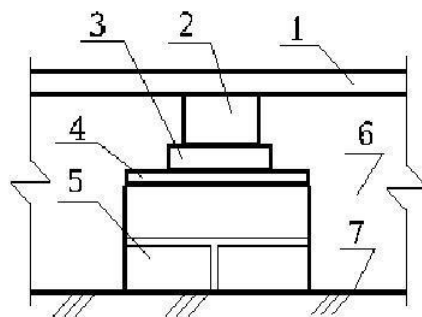


Рис. 7. Конструкция пола на лагах (табл. 23)

Т а б л и ц а 23. Характеристики материалов слоев пола на лагах

Позиция	Конструкция пола	Толщина слоя $\delta$ , м	Теплопроводность материала $\lambda$ , Вт/(м·°С) [2]
1	Доски	0,030	0,18
2	Лага	0,060	0,18
3	Прокладка	0,032	0,18
4	Два слоя толя	0,005	0,23
5	Кирпичный столбик на цементном растворе	0,250	0,81
6	Воздушная прослойка	0,350	–
7	Уплотненный грунт	–	–

**Порядок расчета.** 1. Вычерчиваем план первого этажа в масштабе с указанием основных размеров и делим пол на четыре зоны-полосы шириной 2 м параллельно наружным стенам.

2. В жилой комнате размещаются только I и часть II зоны.

Определяем размеры каждой зоны-полосы:

I зона:  $2,0 \times 5,0$  м и  $2,0 \times 3,0$  м; II зона:  $1,0 \times 3,0$  м.

3. Площади каждой зоны равны:

$$F^I = 2,0 \cdot 5,0 + 2,0 \cdot 3,0 = 16 \text{ м}^2; F^{II} = 1,0 \cdot 3,0 = 3 \text{ м}^2.$$

4. Так как толщина воздушной прослойки  $\delta_{в.п.} = 0,35$  м, то по приложению Б [2] величина  $R_{в.п.} = 0,19$  (м<sup>2</sup>·°С)/Вт.

5. Определяем термическое сопротивление теплопередаче каждой зоны:

$$R_{д}^I = 1,18 \cdot \left( 2,1 + 0,19 + \frac{0,03}{0,18} + \frac{0,06}{0,18} + \frac{0,032}{0,18} \right) = 3,5 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт};$$

$$R_{д}^{II} = 1,18 \cdot \left( 4,3 + 0,19 + \frac{0,03}{0,18} + \frac{0,06}{0,18} + \frac{0,032}{0,18} \right) = 6,1 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}.$$

6. Потери тепла через пол, расположенный на лагах, определяем по формуле (34):

$$Q_{пл} = \left( \frac{F^I}{R_{д}^I} + \frac{F^{II}}{R_{д}^{II}} \right) \cdot (t_{в} - t_{н}) = \left( \frac{16}{3,5} + \frac{3}{6,1} \right) \cdot (18 + 27) = 227,8 \text{ Вт}.$$

### 7.3.3. Расчет теплопотерь через окна

В строительстве жилых зданий применяется одинарное, двойное и тройное остекление в деревянных и пластмассовых переплетах, спаренных или отдельных.

Окна состоят из светопрозрачного материала и обрамляющих его элементов. При этом характер теплообмена принципиально различен для остекления и элементов коробки и переплетов (рамы и створки).

В зависимости от применяемой оконной системы и заданных геометрических размеров, на непрозрачные участки окна может приходиться до 30 % его площади.

Вместе с тем вопросы теплообмена в тонкостенных профилях, из которых собираются все современные окна, за исключением деревянных, в настоящее время являются наименее освещенными в доступной для проектировщиков специальной литературе.

Нормативное термическое сопротивление для окон определяется по таблице 5.1 [2] и составляет  $R_{норм}^o = 1,0 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$ .

Затем в соответствии с конструкцией окна определяют значение фактического приведенного сопротивления  $R_{ф}^o, \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$ .

Для дальнейших расчетов выбирается наибольшее из значений  $R_{норм}^o$  и  $R_{ф}^o$ .

Приведенное термическое сопротивление окна  $R_{ф}^o$  определяется по следующей формуле

$$R_{ф}^o = \frac{R_0^{oc} \cdot F_{oc} + R_0^{пер} \cdot F_{пер}}{F_{oc} + F_{пер}}, \quad (35)$$

где  $F_{oc}$  и  $F_{пер}$  – площади остекления и непрозрачной части (рамы и переплета), м<sup>2</sup>;

$R_0^{oc}$  – сопротивление теплопередаче остекления, (м<sup>2</sup> · °C)/Вт;

$R_0^{\text{пер}}$  – сопротивление теплопередаче непрозрачной части (рамы и переплета), ( $\text{м}^2 \cdot \text{°C}$ )/Вт.

Значения сопротивлений теплопередаче современных стеклопакетов приведены на рис. 8, значения сопротивлений теплопередаче оконных профилей – в табл. 24.

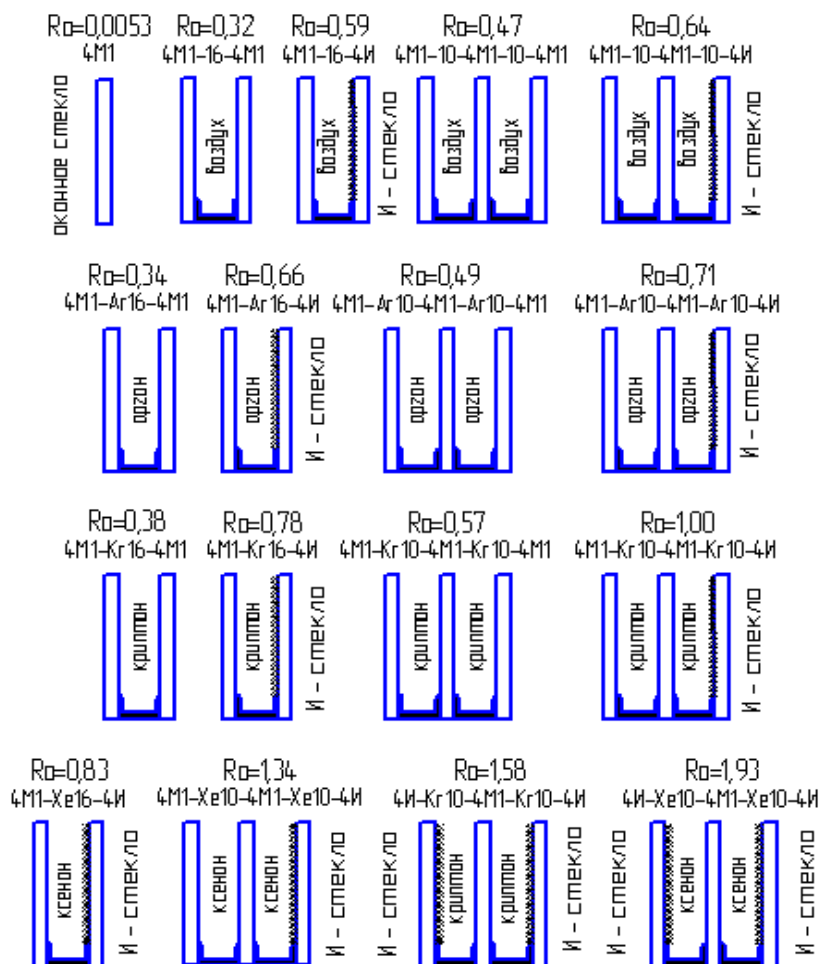


Рис. 8. Конструкции современных стеклопакетов и их сопротивление теплопередаче

Таблица 24. Термическое сопротивление оконных профилей различной конструкции

Система	Термическое сопротивление пакета профилей $R_0^{\text{пер}}$ , ( $\text{м}^2 \cdot \text{°C}$ )/Вт
<b>ПВХ. Пакет профилей (коробка + створка), включая армирование</b>	
Трехкамерная система	0,59
Четырехкамерная система	0,71
Пятикамерная система	0,76
<b>Алюминий</b>	
«Теплый» профиль с термовставкой	0,40
<b>Дерево – сосна, <math>\lambda = 0,18</math> Вт/(м · °C)</b>	
Толщина коробки $d = 80$ мм	0,44
Толщина коробки $d = 120$ мм	0,67
<b>Дерево – дуб, <math>\lambda = 0,23</math> Вт/(м · °C)</b>	
Толщина коробки $d = 80$ мм	0,35
Толщина коробки $d = 120$ мм	0,52

### Пример 6.

#### Исходные данные:

1. Здание жилое.
2. Район строительства – г. Горки.
3. Расчетная температура внутреннего воздуха  $t_{\text{в}} = 18$  °C.
4. Расчетная температура наружного воздуха  $t_{\text{н}} = -27$  °C.
5. Конструкция окна: коробка – трехкамерный профиль ПВХ, стеклопакет – 4М1-Хе10-4М1-Хе10-4И, размер оконного блока  $1,5 \times 1,5$  м.

**Порядок расчета.** 1. По рис. 8 для заданного стеклопакета определяем  $R_0^{\text{oc}} = 1,34$  ( $\text{м}^2 \cdot \text{°C}$ )/Вт, по табл. 24, для трехкамерного профиля ПВХ  $R_0^{\text{пер}} = 0,59$  ( $\text{м}^2 \cdot \text{°C}$ )/Вт.

2. Определяем площадь окна:  $F_0 = 1,5 \cdot 1,5 = 2,25$  м<sup>2</sup>.

3. Большую часть окна – 90 % занимает стеклопакет и 10 % – профиль ПВХ. Определим соответствующие площади остекления и непрозрачной части окна:

$$F_{\text{oc}} = \frac{F_0 \cdot 90\%}{100\%} = \frac{2,25 \cdot 90}{100} = 2,025 \text{ м}^2;$$

$$F_{\text{пер}} = \frac{F_0 \cdot 10\%}{100\%} = \frac{2,25 \cdot 10}{100} = 0,225 \text{ м}^2.$$

4. Определяем  $R_{\text{ф}}^0$  по формуле (35):

$$R_{\text{ф}}^0 = \frac{1,34 \cdot 2,025 + 0,59 \cdot 0,225}{2,025 + 0,225} = 1,265 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт.}$$

5. Так как  $R_{\phi}^0 = 1,265 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт} > R_{\text{норм}}^0 = 1,0 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$ , требования ТКП 45-2.04-43–2006 [2] выполняются.

6. Определяем теплопотери через окно по формуле (29):

$$Q_o = \frac{18 + 27}{1,265} 1 \cdot 2,25 = 80 \text{ Вт.}$$

### 7.3.4. Расчет теплопотерь через наружные двери

Приведенное сопротивление теплопередаче наружных дверей  $R_d$  должно быть не менее 0,6 значения требуемого сопротивления теплопередаче наружных стен  $R_{т.тр}$ , определяемого по формуле (5.2) [2] при расчетной зимней температуре наружного воздуха, равной средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92.

Фактическое общее сопротивление теплопередаче наружных дверей  $R_{\phi}^{дв}$ ,  $(\text{м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$ , определяется из следующего выражения:

$$R_{\phi}^{дв} = 0,6 \cdot \frac{n \cdot (t_{в} - t_{н})}{\Delta t_{в} \cdot \alpha_{в}}, \quad (36)$$

где  $t_{в}$  – расчетная температура внутреннего воздуха, принимаемая по табл. 1, °C;

$t_{н}$  – расчетная зимняя температура наружного воздуха, принимаемая по табл. 3, с учетом тепловой инерции ограждающих конструкций  $D$  – по табл. 6, °C;

$n$  – коэффициент, учитывающий положение наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху, принимаемый по табл. 8;

$\alpha_{в}$  – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, принимаемый по табл. 9, Вт/( $\text{м}^2 \cdot \text{°C}$ );

$\Delta t_{в}$  – расчетный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции, принимаемый по табл. 10, °C.

Теплопотери через наружные двери определяются по формуле (29).

#### Пример 7.

##### Исходные данные:

1. Здание жилое.
2. Район строительства – г. Горки.
3. Расчетная температура внутреннего воздуха  $t_{в} = 18 \text{ °C}$ .

4. Расчетная температура наружного воздуха  $t_n = -27$  °С.

5.  $n = 1$ ;  $\Delta t_b = 6$  °С;  $\alpha_b = 8,7$  Вт/(м<sup>2</sup> · °С).

6. Двери деревянные однопольные со следующими размерами:  $b = 0,8$  м,  $h = 2,1$  м,  $\delta = 0,04$  м.

**Порядок расчета.** 1. По формуле (36) определим фактическое общее сопротивление теплопередаче наружных дверей:

$$R_{\phi}^{дв} = 0,6 \cdot \frac{1 \cdot (18 + 27)}{6 \cdot 8,7} = 0,52 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С)/Вт.}$$

2. Площадь двери  $F = 0,8 \cdot 2,1 = 1,68$  м<sup>2</sup>.

3. Определяем теплопотери через наружную дверь:

$$Q_{дв} = \frac{18 + 27}{0,52} \cdot 1 \cdot 1,68 = 145,4 \text{ Вт.}$$

#### 7.4. Расчет дополнительных потерь тепла

Дополнительные потери теплоты через ограждающие конструкции  $\beta$  следует принимать в долях от основных теплопотерь, так как не учитывается ряд факторов, вызывающих дополнительные потери теплоты [1].

К ним относят:

- 1) ориентацию помещений по отношению к сторонам света;
- 2) поступление в помещение наружного воздуха через наружные двери;
- 3) наличие двух и более наружных стен;
- 4) инфильтрацию в помещения наружного воздуха через неплотности строительных конструкций.

##### 7.4.1. Добавочные потери тепла на ориентацию по сторонам света

В помещениях любого назначения через наружные вертикальные и наклонные (вертикальная проекция) стены, двери и окна, обращенные на север, восток, северо-восток и северо-запад, добавочные теплопотери составят 0,10, на юго-восток и запад – 0,05 (рис. 9).

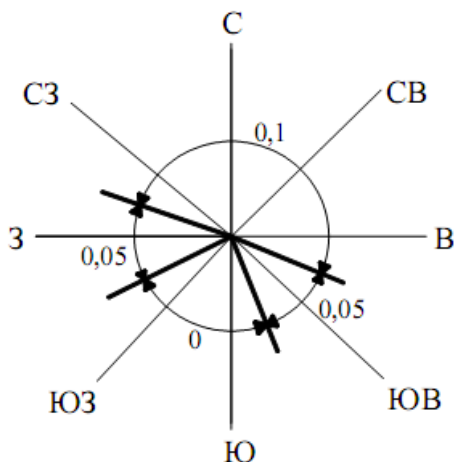


Рис. 9. Поправочный коэффициент  $\beta_{ор}$  на ориентацию по сторонам света

Добавочные теплототери  $Q_d^{op}$  (в долях от основных теплототерь) рассчитываются по формуле

$$Q_d^{op} = Q_{огр} \cdot \beta_{ор}, \quad (37)$$

где  $Q_{огр}$  – основные теплототери через данное ограждение, Вт;

$\beta_{ор}$  – коэффициент добавки на ориентацию.

#### 7.4.2. Добавочные потери тепла на открывание наружных дверей

Через наружные двери, не оборудованные воздушными или воздушно-тепловыми завесами, добавочные потери определяются в соответствии с СНБ 4.02.01–03 [1]:

1) для тройных дверей с двумя тамбурами между ними  $\beta_{нд} = 0,20 \cdot H$ ;

2) для двойных дверей с тамбуром между ними  $\beta_{нд} = 0,27 \cdot H$ ;

3) для двойных дверей без тамбура  $\beta_{нд} = 0,34 \cdot H$ ;

4) для одинарных дверей  $\beta_{нд} = 0,22 \cdot H$ , где  $H$  – высота здания от средней планировочной отметки земли до верха карниза, центра вытяжных отверстий фонаря или устья шахты, м.

### 7.4.3. Добавочные потери тепла на наличие двух и более наружных стен

Поправочный коэффициент  $\beta_{y,п}$  на угловое помещение, имеющее две и более наружные стены, учитывает, что в таком помещении температура ниже, чем в рядовом. Поэтому в угловом помещении жилого дома температуру внутреннего воздуха принимают на  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$  выше (табл. 25), чем в рядовом помещении, или указывают поправочный коэффициент  $\beta_{y,п}$  – в угловых помещениях дополнительно по 0,05 на каждую вертикальную ограждающую конструкцию.

Добавочные теплопотери  $Q_{д}^{y,п}$  (в долях от основных теплопотерь) рассчитываются по следующей формуле:

$$Q_{д}^{y,п} = Q_{огр} \cdot \beta_{y,п}. \quad (38)$$

Т а б л и ц а 25. Расчетная температура внутреннего воздуха помещений при проектировании системы отопления

Помещение	$t_{в},\text{ }^{\circ}\text{C}$
Жилая комната	18
Угловая комната	20
Совмещенный санузел	25
Кухня	18
Коридор	16

### 7.4.4. Расход теплоты на нагревание инфильтрующегося воздуха через ограждающие конструкции помещений

В жилых зданиях инфильтрация происходит через окна, балконные двери, наружные и внутренние двери, ворота, щели, стыки стеновых панелей.

Добавочные потери теплоты на нагревание инфильтрующегося наружного воздуха  $Q_{и}$ , Вт, для помещений, не оборудованных естественной вентиляцией, определяют по формуле [1]:

$$Q_{и} = 0,28 \cdot \sum G_{и} \cdot c \cdot (t_{в} - t_{н}) \cdot k, \quad (39)$$

где  $\sum G_{и}$  – расход инфильтрующегося воздуха через ограждающие конструкции помещения, кг/ч;

$c$  – удельная теплоемкость воздуха, равная  $1\text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C})$ ;

$k$  – коэффициент учета 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 переплетами и открытых проемов;

$t_{в}, t_{н}$  – расчетные температуры воздуха в помещении и наружного воздуха в холодный период, °С.

Расход теплоты  $Q_{и}$ , Вт, на нагревание инфильтрующегося воздуха в помещениях жилых и общественных зданий при естественной вытяжной вентиляции, не компенсируемого подогретым приточным воздухом, следует определять по формуле [1]:

$$Q_{и} = 0,28 \cdot L \cdot \rho_{н} \cdot c \cdot (t_{в} - t_{н}) \cdot k, \quad (40)$$

где  $L$  – расход удаляемого воздуха, не компенсируемый подогретым приточным воздухом, м<sup>3</sup>/ч; для жилых зданий удельный нормативный расход – 3 м<sup>3</sup>/ч на 1 м<sup>2</sup> жилых помещений;

$\rho_{н}$  – плотность наружного воздуха, кг/м<sup>3</sup>.

Расход инфильтрующегося воздуха в помещении  $G_{и}$ , кг/ч, через неплотности наружных ограждающих конструкций следует определять по формуле [1]:

$$G_{и} = 0,216 \cdot \frac{\sum A_1 \cdot \Delta p_i^{0,67}}{R_b} + \sum A_2 \cdot G_n \cdot \left( \frac{\Delta p_i}{\Delta p_1} \right)^{0,67} + 3 \cdot 456 \cdot \sum A_3 \cdot \Delta p_i^{0,5} + 0,5 \cdot \frac{\sum l \cdot \Delta p_i}{\Delta p_1}, \quad (41)$$

где  $A_1, A_2$  – площади наружных ограждающих конструкций, м<sup>2</sup>, соответственно световых проемов (окон, балконных дверей) и других ограждающих конструкций;

$A_3$  – площади щелей, неплотностей и проемов в наружных ограждающих конструкциях, м<sup>2</sup>;

$\Delta p_i$  – расчетная разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций соответственно на расчетном этаже при  $\Delta p_1 = 10$  Па;

$R_b$  – сопротивление воздухопроницанию, (м<sup>2</sup> · ч · Па)/кг;

$G_n$  – нормативная воздухопроницаемость наружных ограждающих конструкций, кг/(м<sup>2</sup> · ч);

$l$  – длина стыков стеновых панелей, м.

Ввиду незначительности инфильтрационных потоков через стены и стыки стеновых панелей современных зданий (кроме деревянных щитовых и рубленых), в выражении для определения расхода инфильтрующегося воздуха в помещении  $\sum G_{и}$ , кг/ч, можно ограничиться только двумя его членами:

$$\sum G_{и} = \frac{0,216 \cdot \sum (\Delta p_i^{0,67} \cdot A_1)}{R_{в}} + 3 \cdot 456 \cdot \sum A_3 \cdot \Delta p_i^{0,5}. \quad (42)$$

Расчетная разность давлений  $\Delta p_i$ , Па, определяется величиной гравиационно-ветрового давления и определяется по формуле

$$\Delta p_i = (H - h) \cdot 9,8 \cdot (\rho_{н} - \rho_{в}) + 0,5 \cdot \rho_{н} \cdot v_{н}^2 \cdot (C_{н} - C_{з}) \cdot k_h - p_{инт}, \quad (43)$$

где  $H$  – высота здания до верха карниза или вытяжного отверстия шахты, м;

$h$  – расстояние от поверхности земли до верха окон, дверей, м;

$\rho_{н}$ ,  $\rho_{в}$  – плотность воздуха соответственно при температуре наружного  $t_{н}$  и внутреннего  $t_{в}$  воздуха, кг/м<sup>3</sup>:

$$\rho = \frac{353}{273 + t}, \quad (44)$$

$v_{н}$  – скорость ветра, м/с, принимаемая по таблице 4.5 [2];

$C_{н}$ ,  $C_{з}$  – аэродинамические коэффициенты соответственно для наветренной и подветренной поверхностей ограждений здания, принимаются равными 0,8 и –0,6;

$k_h$  – коэффициент учета изменения скоростного давления ветра в зависимости от высоты здания, принимается по табл. 26;

$p_{инт}$  – условно-постоянное давление воздуха в здании, Па.

Для помещений жилых и общественных зданий, оборудованных только естественной вытяжной вентиляцией, давление  $p_{инт}$  можно принять равным потере давления в вытяжной системе:

$$p_{инт} = h_i \cdot 9,8 \cdot (\rho_{+5^{\circ}C} - \rho_{в}), \quad (45)$$

где  $h_i$  – расстояние по вертикали от центра вытяжной решетки (0,2–0,5 м от потолка помещения) до верхней кромки вытяжного канала или шахты, м;

$\rho_{+5^{\circ}C}$  – плотность наружного воздуха при  $t_{н} = +5^{\circ}C$ , кг/м<sup>3</sup>.

Т а б л и ц а 26. Значение коэффициента  $k_h$

Высота над поверхностью земли $H$ , м	10	20	30	40
$k_h$	0,4	0,55	0,7	0,8

### Пример 8.

**Исходные данные.** Рассчитать расход теплоты на нагревание инфильтрующегося воздуха в помещении жилого дома, расположенного в г. Горки.

Помещение оборудовано естественной вытяжной вентиляцией с нормативным воздухообменом  $3 \text{ м}^3/\text{ч}$  на  $1 \text{ м}^2$  площади пола.

Высота здания от уровня земли до верха вытяжной шахты естественной вентиляции  $H = 7,2 \text{ м}$ .

Помещение имеет одно окно размером  $1,5 \times 1,5 \text{ м}$  с двумя рядами остекления в отдельных переплетах.

Сопротивление воздухопроницанию окна  $R_b = 0,26 (\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})/\text{кг}$  по приложению Г [2].

Расстояние от уровня земли до верха окна  $h = 3,2 \text{ м}$ .

Расстояние по вертикали от центра вытяжной решетки до верхней кромки вытяжного канала  $h_i = 5 \text{ м}$ .

Плотность наружного и внутреннего воздуха при  $t_n = -27 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $t_n = +5 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $t_b = 18 \text{ }^\circ\text{C}$  соответственно равна:

$$\rho_n = \frac{353}{273 - 27} = 1,435 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_{+5^\circ\text{C}} = \frac{353}{273 + 5} = 1,27 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_b = \frac{353}{273 + 18} = 1,213 \text{ кг/м}^3.$$

Коэффициент учета влияния встречного теплового потока в конструкции окна  $k = 0,8$ .

Коэффициент учета изменения скоростного давления ветра  $k_h = 0,4$ .

Аэродинамические коэффициенты:  $C_n = 0,8$ ;  $C_z = -0,6$ .

По таблице 4.5 [2] скорость ветра в г. Горки в холодный период года  $v_n = 5,1 \text{ м/с}$ .

Площадь пола помещения  $F = 12 \text{ м}^2$ .

**Порядок расчета.** 1. Определяем разность давлений воздуха на наружную и внутреннюю поверхность ограждения (окна) жилой комнаты по формуле (43):

$$\Delta p_i = (7,2 - 3,2) \cdot 9,8 \cdot (1,435 - 1,213) + 0,5 \cdot 1,435 \cdot 5,1^2 \cdot (0,8 + 0,6) \cdot 0,4 - 2,793 = 16,36 \text{ Па.}$$

Давление воздуха определяем по формуле (45):

$$p_{int} = 5 \cdot 9,8 \cdot (1,27 - 1,213) = 2,793 \text{ Па.}$$

2. Вычисляем расход инфильтрующегося воздуха через окно по формуле (42):

$$G_{и} = \frac{0,216 \cdot (16,36^{0,67} \cdot 1,5 \cdot 1,5)}{0,26} = 12,2 \text{ кг/ч.}$$

3. По формуле (39) рассчитываем расход теплоты для нагревания инфильтрующегося воздуха через окно вследствие действия теплового и ветрового давления:

$$Q_{и} = 0,28 \cdot 12,2 \cdot 1 \cdot (18 + 27) \cdot 0,8 = 123 \text{ Вт.}$$

4. По формуле (40) вычисляем расход теплоты для нагревания инфильтрующегося воздуха при естественной вентиляции, не компенсируемый притоком подогретого воздуха:

$$Q_{и} = 0,28 \cdot 3 \cdot 12 \cdot 1,435 \cdot 1 \cdot (18 + 27) \cdot 0,8 = 520,7 \text{ Вт.}$$

5. За расчетную величину следует принять большее из полученных значений  $Q_{и} = 520,7 \text{ Вт}$ .

## 7.5. Расчет теплопоступлений

При расчете тепловой мощности системы отопления необходимо учитывать регулярные бытовые теплопоступления в помещение от электрических приборов, освещения, технологического оборудования, коммуникаций и других источников. При этом значения бытовых тепловыделений, поступающих в комнаты и кухни жилых домов, следует принимать в количестве 21,0 Вт на 1 м<sup>2</sup> площади пола и определять по уравнению, Вт [1]:

$$Q_6 = 21 \cdot F, \quad (46)$$

где  $F$  – площадь пола помещения, м<sup>2</sup>.

**Пример 9.** Вычислить бытовые тепловыделения в жилую комнату, площадь пола которой  $F = 22 \text{ м}^2$ .

**Порядок расчета.** По формуле (46) определяем бытовые теплопоступления в жилую комнату:

$$Q_6 = 21 \cdot 22 = 462 \text{ Вт.}$$

### 7.6. Определение расчетного теплового потока отопительных приборов МС-140-108 для помещений жилого дома

**Пример 10.** Определить тепловые потери для двух помещений жилого дома, ориентированного главным фасадом на север и расположенного в г. Горки.

#### Исходные данные.

1. Площади помещений: жилой комнаты 101 –  $16,7 \text{ м}^2$ , кухни 102 –  $9,9 \text{ м}^2$ .

2. Проектируемая система отопления – водяная двухтрубная с верхней разводкой без регулирования,  $\eta_1 = 0,2$  (см. табл. 19).

3. Отопительные приборы МС-140-108 –  $q_{\text{ном}} = 758 \text{ Вт/м}^2$ ,  $f_1 = 0,244 \text{ м}^2$ ,  $\beta_1 = 1,04$  (см. табл. 20),  $\beta_2 = 1,02$  (см. табл. 21).

4. Фрагмент плана этажа жилого дома показан на рис. 10. Основные строительные размеры здания указаны на рис. 10, 11.

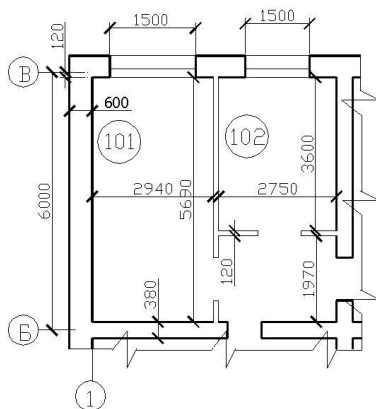


Рис. 10. Фрагмент плана этажа жилого дома

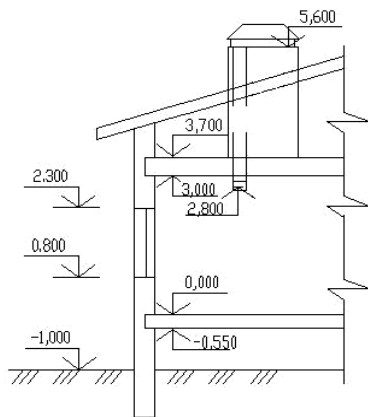


Рис. 11. Фрагмент разреза жилого дома

5. Сопротивление теплопередаче для наружных стен  $R_0^{\text{TP}} = 3,268 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$ , для чердачного перекрытия  $R_0^{\text{TP}} = 6,0 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$ , для цокольного перекрытия над неотапливаемым подпольем  $R_0^{\text{TP}} = 2,5 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$ , для окна  $R_0^{\text{TP}} = 1,0 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$ .

6. Окна размером  $1,5 \times 1,5 \text{ м}$  с двумя рядами остекления в отдельных переплетах. Сопротивление воздухопроницанию окон  $R_{\text{в}} = 0,26 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)/кг}$  по приложению Г [2].

**Порядок расчета.** По вышеприведенным таблицам определяем: температура воздуха в жилом угловом помещении 101  $t_{\text{в}} = 20 \text{ °C}$ , кухне 102  $t_{\text{в}} = 18 \text{ °C}$  (см. табл. 25), расчетная температура наружного воздуха  $t_{\text{н}} = -25 \text{ °C}$  (см. табл. 3), средняя скорость ветра  $v_{\text{н}} = 5,1 \text{ м/с}$  (см. табл. 5), коэффициент для стен и чердачного перекрытия  $n = 1$ , для цокольного перекрытия  $n = 0,6$  (см. табл. 8), высота здания от уровня земной поверхности до устья вентиляционной шахты  $H = 6,6 \text{ м}$ , расстояние от поверхности земли до верха окон  $h = 3,3 \text{ м}$ .

Плотность наружного и внутреннего воздуха определяем по формуле (44):

$$\rho_{+5 \text{ °C}} = \frac{353}{273 + 5} = 1,27 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_{+18 \text{ °C}} = \frac{353}{273 + 18} = 1,213 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_{+20\text{ }^{\circ}\text{C}} = \frac{353}{273 + 20} = 1,205 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_{-25\text{ }^{\circ}\text{C}} = \frac{353}{273 - 25} = 1,423 \text{ кг/м}^3.$$

Условно-постоянное давление воздуха в здании определяем по формуле (45):

$$p_{int} = (5,6 - 2,8) \cdot 9,8 \cdot (1,27 - 1,213) = 1,564 \text{ Па.}$$

Определяем разность давлений воздуха на наружную и внутреннюю поверхность ограждения (окна) жилой комнаты и кухни по формуле (43):

$$\Delta p_{101} = (6,6 - 3,3) \cdot 9,8 \cdot (1,423 - 1,205) + \\ + 0,5 \cdot 1,423 \cdot 5,1^2 \cdot (0,8 + 0,6) \cdot 0,4 - 1,564 = 15,8 \text{ Па;}$$

$$\Delta p_{102} = (6,6 - 3,3) \cdot 9,8 \cdot (1,423 - 1,213) + \\ + 0,5 \cdot 1,423 \cdot 5,1^2 \cdot (0,8 + 0,6) \cdot 0,4 - 1,564 = 15,6 \text{ Па.}$$

Вычисляем расход инфильтрующегося воздуха через окна по формуле (42):

$$G_{101} = \frac{0,216 \cdot (15,8^{0,67} \cdot 2,25)}{0,26} = 11,9 \text{ кг/ч;}$$

$$G_{102} = \frac{0,216 \cdot (15,6^{0,67} \cdot 2,25)}{0,26} = 11,8 \text{ кг/ч.}$$

Рассчитываем расход теплоты для нагревания инфильтрующегося воздуха через окна вследствие действия теплового и ветрового давления по формуле (39):

$$Q_{101} = 0,28 \cdot 11,9 \cdot 1 \cdot (20 + 25) \cdot 0,8 = 120 \text{ Вт;}$$

$$Q_{102} = 0,28 \cdot 11,8 \cdot 1 \cdot (18 + 25) \cdot 0,8 = 114 \text{ Вт.}$$

Вычисляем расход теплоты для нагревания инфильтрующегося воздуха при естественной вентиляции, не компенсируемый притоком подогретого воздуха, по формуле (40):

$$Q_{101} = 0,28 \cdot 3 \cdot 16,7 \cdot 1,423 \cdot 1 \cdot (20 + 25) \cdot 0,8 = 719 \text{ Вт.}$$

Для помещения кухни подсчитываются только значения  $Q_n$ , Вт, по формуле (39).

Определяем бытовые теплопоступления в помещения по формуле (46):

$$Q_6^{101} = 21 \cdot 16,7 = 350,7 \text{ Вт;}$$

$$Q_6^{102} = 21 \cdot 9,9 = 207,9 \text{ Вт.}$$

Дальнейший расчет ведется в табличной форме (табл. 27).

*Графа 1.* Поэтажно пронумеровываются жилые комнаты и кухни: для первого этажа – 101, 102 и т. д., для второго – 201, 202 и т. д., начиная с левого верхнего помещения и далее по часовой стрелке.

*Графа 2.* Наименования помещений сокращают: кухни – К; жилая комната – ЖК и т. д. Внутренняя температура воздуха в помещении принимается согласно табл. 25. Площадь помещений берется с плана этажа.

*Графа 3.* Наименование ограждения: НС – наружные стены, ПЛ – пол, О – окна, НД – наружные двери, БД – балконные двери, ЧП – чердачные перекрытия.

*Графа 4.* Ориентация ограждений по сторонам света. Оптимальная ориентация помещений жилого дома по сторонам света:

С – котельная, гараж, холодная кладовая;

СВ – вход в дом, кухня, мастерская, уборная, комната для глажения, комната для хозяйственных работ;

В – мастерская, гардеробная, бассейн, комната для занятия спортом, спальня человека, занятого физическим трудом;

ЮВ – кабинет, место для завтраков, гостевая комната, кухня-столовая, спальня человека, занятого умственным трудом;

Ю – детская, гостиная, терраса, столовая, игровая, прихожая, музыкальная комната, зимний сад;

З – лестница, коридоры, кладовые.

*Графа 5.* Линейные размеры ограждений (см. подраздел 7.1).

*Графа 6.* Площади наружных ограждающих конструкций определяются с точностью до 0,1 м<sup>2</sup>.

*Графа 7.* Указываются расчетные сопротивления теплопередачи ограждающих конструкций  $R_0$ , (м<sup>2</sup> · °С)/Вт.

*Графа 8.* Разность между внутренней и наружной температурой воздуха. Наружная температура воздуха принимается согласно табл. 3.

*Графа 9.* Коэффициент, принимаемый в зависимости от положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху согласно табл. 8.

*Графа 10.* Добавки  $\beta_{ор}$  на ориентацию наружных ограждений по сторонам света (см. пункт 7.4.1).

*Графа 11.* Добавка  $\beta_{у.п}$  на угловое помещение, имеющее две и более наружные стены (см. пункт 7.4.3).

*Графа 12.* Добавки  $\beta_{нд}$  тепла на открывание наружных дверей (см. пункт 7.4.2).

*Графа 13.* Сумма добавочных потерь  $\sum\beta = \beta_{ор} + \beta_{у.п} + \beta_{нд}$ .

*Графа 14.* Основные теплопотери с учетом добавочных  $Q_{осн}$ , Вт, определяется по формуле (30).

*Графа 15.* Расход теплоты на нагрев инфильтрующегося наружного воздуха  $Q_{и}$ , Вт (см. пункт 7.4.4).

*Графа 16.* Бытовые тепловыделения  $Q_{б}$ , Вт (см. подраздел 7.5).

*Графа 17.*  $\eta_1$  – коэффициент, принимаемый по табл. 19.

*Графа 18.* Расчетные суммарные потери теплоты отапливаемого помещения  $Q_4$ , Вт, рассчитывается по формуле (25).

*Графа 19.* Потери теплоты, возмещаемые трубопроводами,  $Q_3$ , Вт, ( $Q_3 = 0,15 \cdot Q_4$  – при насосной циркуляции, для естественной – по табл. 43 столбец 9).

*Графа 20.* Расчетный тепловой поток отопительных приборов  $Q_1$ , Вт, определяется по формуле (26).

Т а б л и ц а 27. Расчет теплотерь и теплового потока отопительных приборов МС-140-108 для помещений жилого дома

Номер помещения		Данные по ограждающей конструкции				Сопротивление теплопередаче $R$ , ( $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ )	Разность температур ( $t_6 - t_0$ ), $\text{°C}$	Поправочный коэффициент $n$	Добавочные теплотери $\beta$				Основные теплотери с учетом добавочных $Q_{\text{доб}}$ , Вт	Расход теплоты на нагрев инфильтрующегося наружного воздуха $Q_{\text{в}}$ , Вт	Бытовые теплопоступления $Q_6$ , Вт	$Q_6 \cdot (1 - \eta_1)$	Расчетные суммарные потери теплоты отапливаемого помещения $Q_1$ , Вт	Потери теплоты, возмещаемые трубопроводами $Q_3$ , Вт	Расчетный тепловой поток отопительных приборов $Q_1$ , Вт
Назначение помещения. $t_6$ , $\text{°C}$ , $F_{\text{п}}$ , $\text{м}^2$	Наименование ограждения	Ориентация по сторонам света	Расчетные размеры, м	Площадь $F$ , $\text{м}^2$	На ориентацию $\beta_{\text{ор}}$				На наличие двух и более наружных стен $\beta_{\text{н.л}}$	На открывание наружных дверей $\beta_{\text{д.л}}$	Сумма добавочных потерь $\sum \beta$								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
101	Жилая комната. $t_6 = 20 \text{ °C}$ $F_{\text{п}} = 16,7 \text{ м}^2$	НС	З	$6,48 \times 4,25$	27,5	3,268	45	1	0,05	0,05	0	0,1	417	719	351	281	1500	225	1353
		НС	С	$(3,6 \times 4,25) - F_{\text{ок}}$	13,05	3,268	45	1	0,1	0,05	0	0,15	207						
		О	С	$1,5 \times 1,5$	2,25	1,0	45	1	0,1	0,05	0	0,15	116						
		ПЛ	-	$3 \times 5,88$	17,6	2,5	45	0,6	0	0	0	0	190						
		ЧП	-	$3 \times 5,88$	17,6	6	45	1	0	0	0	0	132						
102	Кухня. $t_6 = 18 \text{ °C}$ $F_{\text{п}} = 9,9 \text{ м}^2$	НС	С	$(3,0 \times 4,25) - F_{\text{ок}}$	10,5	3,268	43	1	0,1	0	0	0,1	152	114	208	166	398	104	359
		О	С	$1,5 \times 1,5$	2,25	1,0	43	1	0,1	0	0	0,1	106						
		ПЛ	-	$3,66 \times 3,0$	10,98	2,5	43	0,6	0	0	0	0	113						
		ЧП	-	$3,66 \times 3,0$	10,98	6	43	1	0	0	0	0	79						

## 8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНЫХ РАСХОДОВ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ НА ОТОПЛЕНИЕ ЗДАНИЯ

Удельные расходы тепловой энергии на отопление здания  $q_A$ , Вт · ч/(м<sup>2</sup> · °С · сут) следует определять по формуле [1]:

$$q_A = \frac{Q_s}{A_{bu} \cdot D} \cdot 10^3, \quad (47)$$

где  $Q_s$  – суммарный годовой расход тепловой энергии на отопление здания, кВт · ч, определяемый по формуле (48);

$A_{bu}$  – отапливаемая площадь здания, м<sup>2</sup>, определяемая по внутреннему периметру наружных вертикальных ограждающих конструкций;

$D$  – количество градусо-суток отапливаемого периода, °С · сут, определяемое по формуле (49).

Суммарный годовой расход тепловой энергии на отопление определяется последующей формуле:

$$Q_s = (Q_{ts} + Q_{is}) + Q_{hin} - Q_{hs} \cdot \eta_1, \quad (48)$$

где  $(Q_{ts} + Q_{is})$  – основные и добавочные годовые потери теплоты здания и годовой расход теплоты на нагрев инфильтрующегося воздуха, кВт · ч, определяемые по формуле (50);

$Q_{hin}$  – годовой расход теплоты на нагрев в воздухонагревателях наружного воздуха, подаваемого системами вентиляции с искусственным побуждением, кВт · ч, определяемый по приложению А [1];

$Q_{hs}$  – годовые поступления теплоты, кВт · ч, определяемые по формуле (51);

$\eta_1$  – то же, что в формуле (25), определяемый по табл. 19.

Количество градусо-суток отопительного периода определяется по формуле

$$D = (t_p - t_{hi}) \cdot Z_{hi}, \quad (49)$$

где  $t_{hi}$  и  $Z_{hi}$  – средняя за отапливаемый период температура наружного воздуха, °С, и продолжительность отапливаемого периода, сут, принимаемые по табл. 4;

$t_p$  – средневзвешенная по объему здания расчетная температура внутреннего воздуха, °С.

Основные и добавочные годовые потери теплоты здания и годовые расходы теплоты на нагревание инфильтрующегося воздуха определяют по формуле

$$(Q_{ts} + Q_{is}) = \frac{0,024 \cdot (\Sigma Q + \Sigma Q_i)}{t_p - t_i} \cdot D, \quad (50)$$

где  $\Sigma Q$  – сумма основных и добавочных потерь теплоты здания, Вт (см. столбец 14 табл. 27);

$\Sigma Q_i$  – сумма расходов теплоты на нагрев наружного воздуха, инфильтрующегося в помещение здания, Вт (см. столбец 15 табл. 27);

$t_p$  – то же, что в формуле (49);

$t_i$  – средняя температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92, °С, принимается по табл. 3;

$D$  – то же, что в формуле (47).

Годовые поступления теплоты следует определять по формуле

$$Q_{hs} = 0,024 \cdot \Sigma Q_h \cdot Z_{hi}, \quad (51)$$

где  $\Sigma Q_h$  – суммарный тепловой поток, регулярно поступающий в помещение здания, Вт (см. столбец 16 табл. 27);

$Z_{hi}$  – то же, что в формуле (49).

Нормативные удельные расходы тепловой энергии на отопление жилых зданий приведены в табл. 28.

Т а б л и ц а 28. **Нормативные удельные расходы тепловой энергии на отопление жилых зданий**

Наименование объектов нормирования	Нормативный удельный расход тепловой энергии на отопление $q_{\text{об}}$ , Вт · ч/(м <sup>2</sup> · °С · сут)
Жилые дома (2–3 этажа) с наружными стенами из штучных материалов	29,6
Коттеджи, жилые дома усадебного типа, в том числе с мансардами	35,4

## 9. РАСЧЕТ ОТОПИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Отопительные приборы являются основными элементами системы отопления. Они предназначены для передачи тепла помещению от теплоносителя. Размещение отопительных приборов должно быть таким, чтобы температура в помещении распространялась равномерно. По этой причине отопительные приборы в большинстве случаев устанавливают под окнами или у наружной стены в угловом помещении (рис. 12).

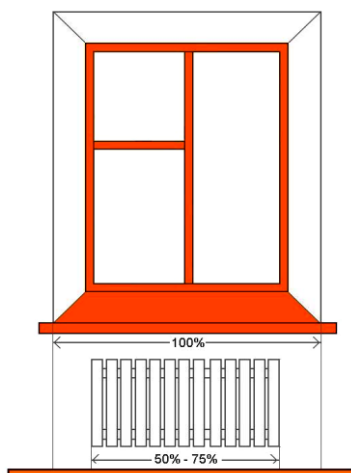


Рис. 12. Расположение отопительного прибора под оконным проемом

Отопительные приборы делятся на пять основных видов:

- 1) радиаторы секционные;
- 2) радиаторы панельные;
- 3) гладкотрубные приборы;
- 4) конвекторы;
- 5) ребристые трубы.

Радиаторы всех типов следует устанавливать на расстоянии не менее:

- 60 мм – от пола;
- 50 мм – от нижней поверхности подоконных досок;
- 25 мм – от поверхности штукатурки стен.

На равномерность температурного поля на внешней поверхности отопительных приборов влияет направление движения теплоносителя внутри прибора, связанное с местами его подвода и отведения, т. е. способ соединения приборов с теплопроводами (рис. 13).

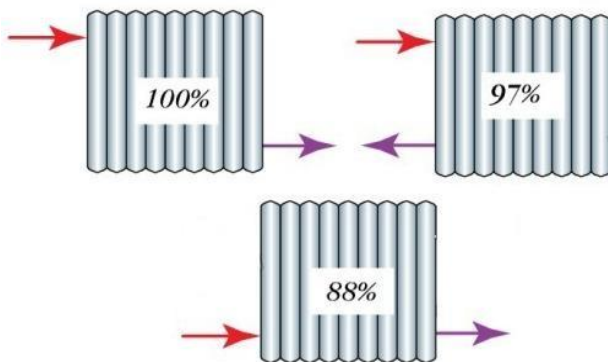


Рис. 13. Изменение мощности теплопередачи радиаторов в зависимости от способа присоединения

После того как выбраны отопительные приборы, необходимо определить, как они будут подключаться к отопительной системе дома. Существует две основные системы отопления:

– однотрубная система. Все приборы данной системы связаны одним трубопроводом, подающая труба последующего отопительного прибора является обратной предыдущего. Чем дальше прибор от котла, тем холоднее становится вода, поступающая в прибор. Какая-либо регулировка прибора при этом невозможна, так как всякое изменение сечения прохода воды приводит к уменьшению ее потока во всем кольце;

– двухтрубная система. Теплоноситель подается по одному трубопроводу (подающий), а отводится по другому (обратный). Отопительные приборы подключаются к стоякам параллельно. Поэтому температура теплоносителя, входящего в приборы на всех этажах здания, одинакова.

Цель расчета отопительных приборов состоит в выборе типа и размера (или количества секций) отопительного прибора при заданных исходных условиях для проектируемой системы отопления.

**Порядок расчета:** 1. Определяется средняя температура отопительного прибора (двухтрубной системы отопления)  $t_{\text{cp}}$ , °С:

$$t_{\text{cp}} = \frac{t_r + t_o}{2}, \quad (52)$$

где  $t_r$  – температура теплоносителя в подающем трубопроводе, °С (для двухтрубной системы отопления усадебных жилых домов с естественной циркуляцией принимается равной 95 °С);

$t_o$  – температура теплоносителя в обратном трубопроводе, °С (принимается равной 70 °С).

2. Определяется средний температурный напор в отопительном приборе. Для двухтрубных систем водяного отопления, в которых каждый прибор подключается к подающему трубопроводу независимо, средний температурный напор  $\Delta t_{\text{cp}}$ , °С, в отопительном приборе определяют по следующей формуле:

$$\Delta t_{\text{cp}} = t_{\text{cp}} - t_{\text{в}}, \quad (53)$$

где  $t_{\text{в}}$  – расчетная температура воздуха в отапливаемом помещении.

3. Вычисляется расчетная плотность теплового потока отопительного прибора для теплоносителя (вода), Вт/м<sup>2</sup>:

$$q_{\text{пр}} = q_{\text{ном}} \cdot \left(\frac{\Delta t_{\text{cp}}}{70}\right)^{1+n} \cdot \left(\frac{G_{\text{пр}}}{360}\right)^p, \quad (54)$$

где  $q_{\text{ном}}$  – номинальная плотность теплового потока, Вт/м<sup>2</sup>, принимается по табл. 29 или по паспорту изделия;

$\Delta t_{\text{cp}}$  – средний температурный напор, °С, определяемый по формуле (53);

$G_{\text{пр}}$  – количество воды, проходящее через отопительный прибор, кг/ч, определяется по формуле (28);

$n, p$  – показатели для определения теплового потока отопительных приборов. Для чугунных секционных радиаторов с направлением движения теплоносителя «сверху – вниз» и расходом теплоносителя  $G_{\text{пр}}$ :

от 18 до 54 кг/ч –  $n = 0,3, p = 0,02$ ;

от 54 до 536 кг/ч –  $n = 0,3, p = 0$ ;

от 536 до 900 кг/ч –  $n = 0,3, p = 0,01$ .

Таблица 29. Характеристики радиаторов чугунных производства Республики Беларусь

Наименование показателей	МС-140М (рис. 14 а)	Б-3-140 – 300	2К60П	2К60П – 300	2КП – 90×500 (рис. 14 б)	2КП100 – 90×500	1К60П – 500
Поверхность теплоотдачи одной секции $f_1$ , м <sup>2</sup>	0,208	0,171	0,183	0,126	0,173	0,184	0,116
Номинальный тепловой поток $Q_{пр}$ , кВт	0,160	0,120	0,126	0,085	0,110	0,140	0,07
Вместимость одной секции, л	1,45	1,27	1,07	0,78	0,9	1,07	0,73
Масса одной секции, кг	6,703	5,38	5,281	3,655	4,7	5,0	3,84
Габариты секции, мм: <i>a</i> – длина <i>b</i> – ширина <i>c</i> – высота <i>d</i> – межнипельное расстояние	108 140 588 500	98 140 376 300	60 138 576 500	60 138 376 300	60 90 578 500	100 90 578 500	60 61 560 500
$q_{ном}$ , Вт/м <sup>2</sup>	769	701	689	675	636	761	603

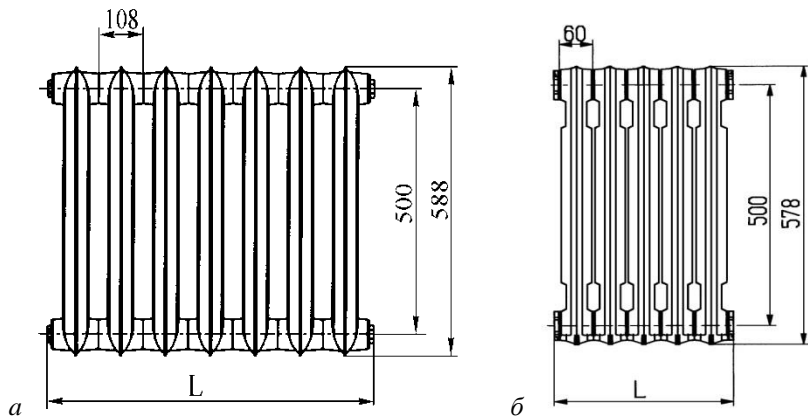


Рис. 14. Радиаторы чугунные: а – МС-140М; б – 2КП – 90×500

4. Определяется расчетный тепловой поток отопительного прибора  $Q_1$ , Вт, по формуле (26) (см. столбец 20 табл. 27).

5. Определяется расчетная площадь отопительных приборов  $F_{\text{пр}}$ , м<sup>2</sup>, по формуле

$$F_{\text{пр}} = \frac{Q_1}{q_{\text{пр}}}. \quad (55)$$

6. Определяется число секций  $N$ , шт., радиатора по формуле

$$N = \frac{F_{\text{пр}} \cdot \beta_4}{f_1 \cdot \beta_3}, \quad (56)$$

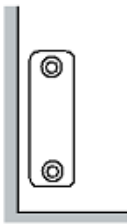
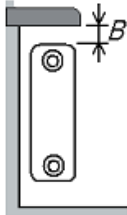
где  $f_1$  – поверхность теплоотдачи одной секции, м<sup>2</sup>, определяется по табл. 29;

$\beta_3$  – поправочный коэффициент, учитывающий число секций в одном радиаторе, рассчитывается по формуле

$$\beta_3 = 0,92 + \left( \frac{0,16}{F_{\text{пр}}} \right); \quad (57)$$

$\beta_4$  – коэффициент, учитывающий способ установки отопительных приборов [4], принимается по табл. 30.

Т а б л и ц а 30. Коэффициент  $\beta_4$  учета способа установки отопительного прибора

Способ установки прибора	$B$ , мм	$\beta_4$
	Без ниши, открыто установлен у стены	1,00
	Без ниши, перекрыт подоконной доской $B = 40$ мм $B = 80$ мм $B = 100$ мм	1,05 1,03 1,02

**Пример 11.** Определить количество секций чугунного радиатора МС-140М, установленного под окном у наружной стены без ниши под подоконной доской в жилой угловой комнате.

**Исходные данные.**

1. Система отопления – двухтрубная с верхней разводкой.
2. Температура воды:  $t_r = 95\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $t_o = 70\text{ }^\circ\text{C}$ .
3. Температура в помещении  $t_b = 20\text{ }^\circ\text{C}$ .
4. Расчетный тепловой поток отопительного прибора  $Q_1 = 1353\text{ Вт}$ .
5. Расстояние от радиатора до подоконной доски  $B = 80\text{ мм}$ .

**Порядок расчета.** 1. Определяем среднюю температуру отопительного прибора по формуле (52):

$$t_{cp} = \frac{95 + 70}{2} = 82,5\text{ }^\circ\text{C}.$$

2. Определяем средний температурный напор в отопительном приборе по формуле (53):

$$\Delta t_{cp} = 82,5 - 20 = 62,5\text{ }^\circ\text{C}.$$

3. Определяем количество воды, проходящее через отопительный прибор по формуле (28):

$$G_{пр} = \frac{3,6 \cdot 1353}{4,2 \cdot 25} = 46,4\text{ кг/ч}.$$

4. Вычисляем расчетную плотность теплового потока отопительного прибора по формуле (54):

$$q_{пр} = 769 \cdot \left(\frac{62,5}{70}\right)^{1+0,3} \cdot \left(\frac{46,4}{360}\right)^{0,02} = 637\text{ Вт/м}^2.$$

5. Определяем расчетную площадь отопительного прибора по формуле (55):

$$F_{пр} = \frac{1353}{637} = 2,12\text{ м}^2.$$

6. Определяем число секций по формуле (56):

$$N = \frac{2,12 \cdot 1,03}{0,208 \cdot 0,99} = 10,6\text{ шт.}$$

Принимаем к установке 12 секций.

Расчет секций отопительных приборов для всей системы отопления представляется в виде сводной таблицы (табл. 31).

Т а б л и ц а 31. Расчет отопительных приборов

Номер помещения	Температура воздуха внутри помещения $t_{в}$ , °С	Расчетный тепловой поток отопительных приборов $Q_1$ , Вт	Температура теплоносителя на входе в отопительный прибор $t_1$ , °С	Температура теплоносителя на выходе из отопительного прибора $t_2$ , °С	Средний температурный напор $\Delta t_{ср}$ , °С	Способ подачи теплоносителя	Расход теплоносителя $G_{пр}$ , кг/ч	Расчетная плотность теплового потока $q_{пр}$ , Вт/м <sup>2</sup>	Поправочные коэффициенты		Расчетная площадь поверхности нагрева отопительного прибора $F_{пр}$ , м <sup>2</sup>	Число секций $N$ , шт.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	$\beta_3$	$\beta_4$		
									10	11		

## 10. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ТРУБОПРОВОДОВ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ

### 10.1. Характеристика системы водяного отопления

В системах водяного отопления циркулирующая нагретая вода охлаждается в отопительных приборах и возвращается в отопительную установку для последующего нагревания.

По способу создания циркуляции теплоносителя различают системы с естественной циркуляцией воды (гравитационные системы) и с механическим побуждением воды насосами (насосные системы). В гравитационной системе используют различие в плотности воды, нагретой до разной температуры. В вертикальной системе с неоднородной плотностью воды возникает естественное движение под влиянием гравитационного поля Земли [8] (рис. 15).

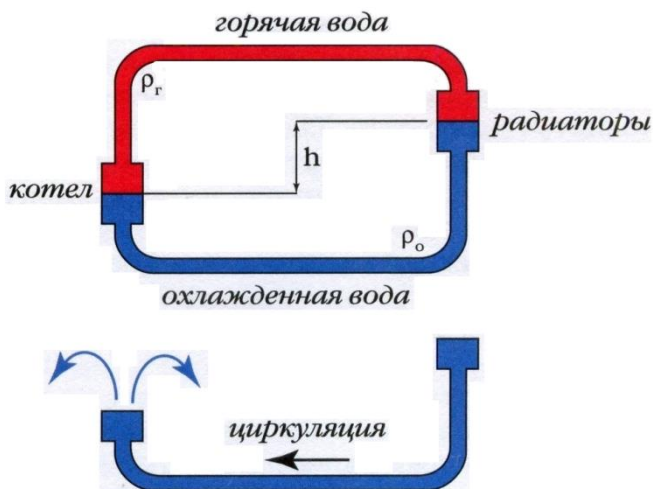


Рис. 15. Графическая схема возникновения циркуляционного напора

Системы водяного отопления по положению труб, объединяющих отопительные приборы по вертикали или горизонтали, делят на вертикальные и горизонтальные.

Теплопроводы вертикальных систем подразделяют на магистрали, стояки и подводки: подающие — для подачи горячей воды к отопительным приборам и обратные — для отведения охлажденной воды к теплообменникам. Теплопроводы горизонтальных систем, кроме магистральных, стояков и подводов, имеют горизонтальные ветви, объединяющие отопительные приборы, расположенные на одном уровне.

В зависимости от схемы соединения труб с отопительными приборами системы отопления подразделяют на однотрубные, двухтрубные.

В каждом стояке или горизонтальной ветви однотрубной системы приборы соединяют одной трубой, и вода протекает последовательно

через все приборы. В двухтрубной системе отопительные приборы присоединяют отдельными трубами к двум трубопроводам – подающему и обратному, при этом вода протекает через каждый прибор независимо от других приборов [8].

## 10.2. Схемы водяного отопления с естественной циркуляцией теплоносителя

Наибольшее распространение в сельских жилых домах получило отопление с естественной циркуляцией жидкости.

В этой системе так же, как во всех других системах отопления сельских многоквартирных жилых домов, работающих с естественным побуждением, желательно котел располагать ниже отопительных приборов, так как при этом увеличивается циркуляционное давление в системе и уменьшается сечение трубопроводов (рис. 16).

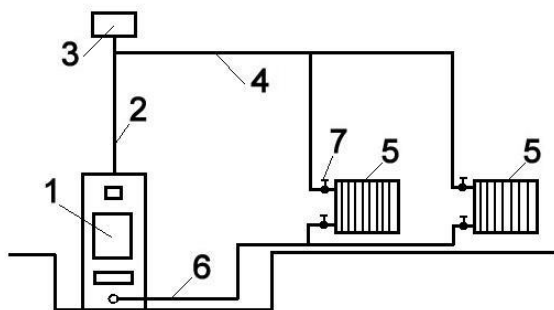


Рис. 16. Двухтрубная система отопления с верхней разводкой:  
1 – отопительный котел; 2 – главный (подающий) стояк;  
3 – расширительный бак; 4 – разводящая линия системы отопления;  
5 – отопительный прибор; 6 – обратная линия системы отопления;  
7 – регулировочный кран

Если котел нельзя установить ниже отопительных приборов, то его можно поместить на одном уровне с ними и даже несколько выше. В этом случае вода в системе будет циркулировать вследствие охлаждения ее в трубопроводах. При расположении отопительных приборов выше котла появится дополнительное циркуляционное давление, зависящее от высоты их расположения. Таким образом, охлаждение воды в трубопроводах системы отопления, находящихся выше котла, способствует улучшению циркуляции воды.

Горячий и обратный трубопроводы прокладывают с уклоном не менее 0,003 по движению воды в нем (для подающих трубопроводов – от источника теплоты к отопительным приборам, а для обратных – от отопительных приборов к источнику теплоты). Это обеспечивает свободный выход воздуха через расширительный сосуд и слив воды из системы через сливной патрубок, расположенный в нижней точке системы.

Прокладка обратного трубопровода (см. рис. 16) над полом помещения, особенно при расположении отопительных приборов у наружных стен, не всегда возможна. Для обхода трубопроводом дверей приходится заглублять его под пол и устраивать подпольные каналы, что особенно нежелательно, когда система оборудуется в готовом доме. Поэтому, как правило, применяют другую схему – с прокладкой обратного трубопровода рядом с горячим под потолком помещения (рис. 17). Горячая вода в отопительные приборы поступает так же, как и по ранее рассмотренной системе. Охлажденная вода от приборов поднимается по обратному стояку в сборный обратный трубопровод под потолком и по нему возвращается в котел. Однако такую схему нельзя рекомендовать к широкому применению во вновь строящихся домах из-за неустойчивости циркуляции в ней воды. Эта система имеет несколько циркуляционных колец, в которых обратная вода поднимается и сливается в верхнем обратном трубопроводе [8].

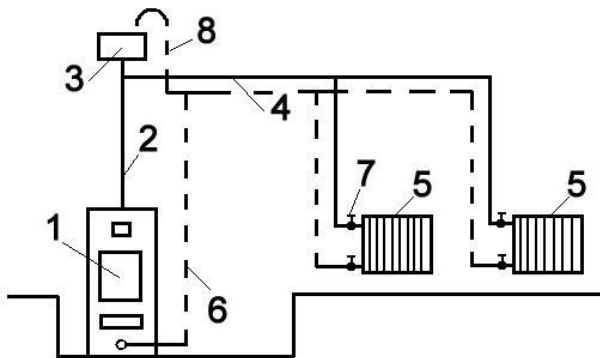


Рис. 17. Прокладка обратного трубопровода рядом с горячим под потолком:

- 1 – отопительный котел; 2 – главный (подающий) стояк;
- 3 – расширительный бак; 4 – разводящая линия системы отопления;
- 5 – отопительный прибор; 6 – обратная линия системы отопления;
- 7 – регулировочный кран; 8 – воздушная петля

Система отопления с естественной циркуляцией воды по сравнению с насосной системой имеет недостатки:

- 1) сокращен радиус действия (до 20 м по горизонтали) из-за небольшого циркуляционного давления;
- 2) повышена первоначальная стоимость в связи с применением труб увеличенного диаметра;
- 3) увеличены расходы металла;
- 4) замедленно включение системы в действие;
- 5) повышена опасность замерзания воды в трубах, проложенных в неотапливаемом помещении.

Вместе с тем имеются преимущества, предопределяющие в отдельных случаях ее выбор:

- 1) простота устройства и эксплуатации;
- 2) независимость действия от снабжения электрической энергией;
- 3) долговечность (35–40 лет и более без капитального ремонта);
- 4) саморегулирование, обуславливающее равную температуру помещений;
- 5) тепловая устойчивость.

### **10.3. Гидравлический расчет системы отопления с естественной циркуляцией воды**

Задача гидравлического расчета трубопроводов системы отопления – выбор таких сечений трубопроводов для наиболее протяженного и нагруженного циркуляционного кольца или ветви системы, по которым при располагаемом перепаде давлений в системе обеспечивается пропуск заданных расходов теплоносителя. Располагаемый перепад давлений выражает ту энергию, которая при движении жидкости по трубам может быть израсходована на преодоление сопротивления трения и местных сопротивлений [8].

Чтобы обеспечить надежную циркуляцию теплоносителя в системе отопления, выполняют гидравлический расчет, в результате которого определяют диаметры трубопроводов. Для этого вычерчивают схему прокладки трубопроводов (подающего и обратного) системы отопления, на которой показаны стояки, приборы. Уклоны графически не указывают, а обозначают стрелками, направленными в соответствующую сторону. После того как схема вычерчена, устанавливают центр нагрева воды в котле (на 150 мм выше колосниковой решетки) и центр охлаждения воды в отопительных приборах (посередине прибора). Затем определяют, находится ли центр воды ниже центра ее охлажде-

ния или наоборот, и измеряют расстояние по вертикали между указанными центрами, а также от центра нагрева воды в котле и отопительных приборах до горячего разводящего трубопровода, считая его условно проходящим на одном уровне [8].

Расчет системы начинают, как правило, с нумерации участков и определения их длины и тепловой загрузки. При нумерации участков надо иметь в виду, что стояки и подводки к отопительным приборам следует выделять как отдельные участки.

Затем следует выбрать основное расчетное циркуляционное кольцо. Каждое циркуляционное кольцо системы отопления представляет собой замкнутый контур последовательных участков, начиная от выхода из отопительного котла и заканчивая входом в отопительный котел.

В качестве основного расчетного циркуляционного кольца принимают:

1) в системах с попутным движением теплоносителя в магистралях для двухтрубных систем – кольцо через отопительный прибор наиболее нагруженного стояка. Затем выполняется расчет циркуляционных колец через крайние стояки (ближний и дальний);

2) в системах с тупиковым движением теплоносителя в магистралях для двухтрубных систем – кольцо через отопительный прибор наиболее удаленного стояка. Затем выполняется расчет остальных циркуляционных колец.

Подбор диаметров труб на расчетных участках и определение потерь давления в циркуляционном кольце производится по изначально заданной величине располагаемого давления для системы отопления. В этом случае диаметры участков подбираются по ориентировочной величине удельных потерь давления  $R_{cp}$  (методом удельных потерь давления).

В качестве исходного параметра гидравлического расчета необходимо определить величину располагаемого циркуляционного перепада давления  $\Delta P_p$ , которая в системах естественной циркуляцией равна:

$$\Delta P_p = P_e, \quad (58)$$

где  $P_e$  – естественное циркуляционное давление, возникающее вследствие охлаждения воды в отопительных приборах и трубах циркуляционного кольца, Па.

Естественное циркуляционное давление  $P_e$ , Па, определяется по формуле

$$P_e = [\epsilon' \cdot h_r \cdot (L' + h_r) \pm h_1 \cdot (\rho_o - \rho_r)] \cdot g, \quad (59)$$

где  $\epsilon'$  – безразмерный коэффициент (для всех неизолированных трубопроводов или одного изолированного главного стояка равен 0,4);

$h_r$  – высота расположения горячего разводящего трубопровода над центром нагрева воды в котле, м;

$L'$  – горизонтальное расстояние от данного вертикального стояка до главного, м;

$h_1$  – расстояние по вертикали от центра нагрева воды в котле до середины нагревательного прибора, м (со знаком «плюс», если середина прибора выше центра нагрева воды в котле, и со знаком «минус», если середина прибора ниже центра нагрева);

$\rho_o, \rho_r$  – разность плотностей воды,  $\text{кг/м}^3$ , соответствующих расчетным температурам горячей  $t_r$  и охлажденной  $t_o$  воды в системе отопления (табл. 32);

$g$  – ускорение свободного падения.

Т а б л и ц а 32. Плотность воды ( $\text{кг/м}^3$ ) при ее температуре в пределах от 40 до 99 °С

Градусы	40	50	60	70	80	90
0	992,2	988,0	983,2	977,8	971,8	965,3
1	991,8	987,6	982,7	977,2	971,2	964,7
2	991,4	987,1	982,2	976,6	970,5	964,0
3	991,1	986,7	981,6	976,0	969,9	963,3
4	990,6	986,2	981,1	975,5	969,3	962,6
5	990,2	985,7	980,6	974,8	963,6	961,9
6	989,8	985,2	980,0	974,3	968,0	961,2
7	989,4	984,7	979,5	973,7	967,3	960,5
8	988,9	984,2	978,9	973,0	966,7	959,8
9	988,5	983,7	978,4	972,4	966,0	959,0

Первое произведение в формуле (59) отражает циркуляционное давление, получающееся вследствие охлаждения воды в трубопроводах, второе – давление, обусловленное разницей в высоте расположения котла и прибора. Каждое циркуляционное кольцо в системе имеет свое давление.

Средние удельные потери давления (Па) на трение определяются по следующей формуле:

$$R_{\text{ср}} = \frac{(1-k) \cdot P_e}{\Sigma L_i}, \quad (60)$$

где  $(1 - k)$  – коэффициент, учитывающий долю потерь давления на трение (для водяного отопления с естественной циркуляцией воды (независимо от протяженности по вертикали и горизонтали)  $(1 - k) = 0,5$ );

$\Sigma L_i$  – длина циркуляционного кольца, м.

Количество циркуляционной воды для каждого участка определяют по формуле (28).

Расчет сводится в табл. 33.

Таблица 33. Гидравлический расчет системы отопления

Номер участка	Нагрузка на участке		Длина участка $L_i$ , м	Диаметр $d$ , мм	Расчетные данные					
	Тепловые нагрузки $Q_{\text{вы}}$ , Вт	Количество воды на участке $G_{\text{вы}}$ , кг/ч			Скорость $v$ , м/с	Потери давления на трение $R_i$ , Па	Потери давления на трение на всем участке $R_i \cdot L_i$ , Па	Сумма коэффициентов местных сопротивлений $\Sigma \xi$	Потери давления на местные сопротивления $z_i$ , Па	Общие потери давления на участке $R_i \cdot l_i + z_i$ , Па
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
По схеме гидравлического кольца системы отопления				По значению $R_{\text{ср}}$ табл. 34				Табл. 35	Табл. 36	

**Т а б л и ц а 34. Таблица для гидравлического расчета трубопроводов  
водяного отопления при перепадах температуры воды в системе  
95–70 °С и  $A_{ш} = 0,2$  мм**

Потери давления на трение на 1 м, Па	Количество проходящей воды (верхняя строка), кг/ч, и скорость движения воды (нижняя строка), м/с, по трубам стальным водогазопроводным обыкновенным (ГОСТ 3262–75) условным проходом, мм					
	15	20	25	32	40	50
0,55	5,5 0,008	18,7 0,015	50,7 0,025	121 0,034	159 0,034	288 0,037
0,6	6,0 0,009	20,4 0,016	55,3 0,027	124 0,035	168 0,036	303 0,039
0,65	6,5 0,009	22,1 0,018	59,9 0,029	127 0,036	172 0,037	317 0,041
0,7	7,0 0,01	23,8 0,019	64,5 0,032	131 0,037	173 0,037	329 0,042
0,75	7,5 0,011	25,5 0,02	69,1 0,034	133 0,037	176 0,038	342 0,044
0,8	8,0 0,012	27,2 0,022	75,9 0,037	135 0,038	177 0,038	355 0,046
0,85	8,5 0,012	28,9 0,023	75,9 0,037	136 0,038	182 0,039	368 0,047
0,9	9,0 0,013	3,06 0,024	77,9 0,038	140 0,039	188 0,040	380 0,049
0,95	9,5 0,014	32,3 0,026	80,0 0,039	143 0,040	194 0,041	392 0,050
1,0	10,0 0,015	34,0 0,027	82,0 0,040	147 0,041	199 0,043	403 0,052
1,1	11,0 0,016	37,4 0,030	84,0 0,041	150 0,042	211 0,045	426 0,055
1,2	12,0 0,017	40,8 0,033	86,1 0,042	154 0,043	222 0,047	445 0,057
1,3	13,0 0,019	44,2 0,035	88,1 0,043	161 0,045	231 0,049	466 0,060
1,4	14,0 0,020	47,6 0,038	90,2 0,044	167 0,047	241 0,052	486 0,062
1,5	15,0 0,022	51,0 0,041	92,2 0,045	174 0,049	250 0,054	505 0,065
1,6	16,0 0,023	54,4 0,044	94,2 0,046	180 0,050	260 0,056	523 0,067
1,7	17,0 0,025	57,2 0,046	96,3 0,047	186 0,052	268 0,057	541 0,069
1,8	18,0 0,026	58,4 0,047	98,3 0,048	193 0,054	277 0,059	559 0,072
1,9	19,0 0,028	59,7 0,048	100 0,049	199 0,055	286 0,061	576 0,074

Продолжение табл. 34

R, Па	15	20	25	32	40	50
2,0	20,0 0,029	60,9 0,049	102 0,050	204 0,057	294 0,063	592 0,076
2,2	22,0 0,032	62,2 0,050	103 0,050	216 0,06	311 0,067	623 0,080
2,4	24,0 0,035	64,7 0,052	105 0,051	226 0,063	325 0,070	654 0,084
2,6	26,0 0,038	65,9 0,053	110 0,054	236 0,066	340 0,073	683 0,088
2,8	28,0 0,041	67,2 0,054	114 0,056	246 0,069	354 0,076	712 0,091
3,0	30,0 0,044	69,7 0,056	118 0,058	256 0,071	368 0,079	739 0,095
3,2	31,9 0,047	70,9 0,057	123 0,060	265 0,074	381 0,082	766 0,098
3,4	33,9 0,050	72,1 0,058	127 0,062	274 0,077	394 0,084	792 0,101
3,6	35,9 0,052	73,4 0,059	131 0,064	283 0,079	407 0,087	817 0,105
3,8	37,9 0,056	74,6 0,060	135 0,066	292 0,082	419 0,090	842 0,108
4,0	39,2 0,057	75,9 0,061	139 0,068	300 0,084	431 0,092	865 0,111
4,5	41,2 0,060	77,1 0,062	149 0,073	321 0,90	461 0,099	920 0,118
5,0	43,3 0,063	80,3 0,064	158 0,077	339 0,095	486 0,104	974 0,125
5,5	44,6 0,065	84,8 0,068	166 0,081	357 0,100	512 0,110	1026 0,131
6,0	46,0 0,067	88,6 0,071	174 0,085	374 0,105	537 0,115	1076 0,138
6,5	47,4 0,069	92,7 0,074	182 0,089	391 0,109	561 0,120	1123 0,144
7,0	48,8 0,071	96,6 0,077	189 0,093	408 0,114	584 0,125	1169 0,150
7,5	49,4 0,072	100 0,080	198 0,097	423 0,118	607 0,130	1214 0,155
8,0	50,8 0,074	104 0,083	204 0,100	438 0,122	628 0,135	1256 0,161
8,5	52,2 0,076	108 0,086	211 0,103	453 0,127	649 0,139	1298 0,166
9,0	52,9 0,077	111 0,089	218 0,107	467 0,130	670 0,143	1338 0,171
9,5	54,2 0,079	114 0,092	224 0,110	481 0,134	689 0,148	1378 0,176

Окончание табл. 34

R, Па	15	20	25	32	40	50
10,0	54,9 0,080	118 0,094	230 0,113	495 0,138	709 0,152	1416 0,181
11,0	55,5 0,080	124 0,099	242 0,119	520 0,145	745 0,159	1487 0,191
12,0	56,9 0,083	130 0,104	254 0,125	545 0,152	780 0,167	1558 0,200
13,0	59,5 0,087	136 0,109	265 0,130	569 0,159	815 0,174	1626 0,280
14,0	62,1 0,091	142 0,113	276 0,135	592 0,165	848 0,182	1691 0,217
15,0	64,5 0,094	147 0,118	287 0,141	615 0,172	880 0,188	1754 0,225
16,0	66,8 0,098	152 0,122	297 0,146	636 0,178	910 0,195	1815 0,233
17,0	69,1 0,101	157 0,126	307 0,150	657 0,184	940 0,201	1875 0,240
18,0	71,3 0,104	162 0,130	317 0,155	678 0,189	969 0,208	1932 0,248
19,0	73,5 0,107	167 0,134	326 0,160	698 0,195	998 0,214	1988 0,255
20,0	75,6 0,110	172 0,138	335 0,167	717 0,200	1025 0,219	2042 0,262
22,0	79,5 0,116	181 0,145	352 0,173	753 0,210	1077 0,231	2145 0,275
24,0	83,4 0,122	189 0,152	369 0,181	789 0,220	1128 0,241	2246 0,288
26,0	87,1 0,127	198 0,158	385 0,189	832 0,230	1176 0,252	2342 0,300
28,0	90,7 0,132	206 0,165	401 0,196	856 0,239	1224 0,262	2435 0,312
30,0	94,2 0,138	214 0,171	416 0,204	888 0,248	1269 0,272	2525 0,323
32,0	97,6 0,142	221 0,177	430 0,211	919 0,257	1313 0,281	2611 0,335
34,0	101 0,147	228 0,183	444 0,218	948 0,265	1355 0,290	2695 0,345
36,0	104 0,152	236 0,189	458 0,225	978 0,273	1396 0,299	2777 0,356
38,0	107 0,156	243 0,194	472 0,231	1006 0,281	1437 0,308	2856 0,366
40,0	110 0,161	249 0,200	484 0,237	1033 0,289	1476 0,316	2934 0,376

**Т а б л и ц а 35. Коэффициент местных сопротивлений  $\xi$   
для стальных трубопроводов**

Местное сопротивление	Коэффициент $\xi$ при условном диаметре					
	15	20	25	32	40	50 и более
Тройники: проходные поворотные на ответвление на противотоке	1	1	1	1	1	1
	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	3	3	3	3	3	3
Крестовины: проходные поворотные	2	2	2	2	2	2
	3	3	3	3	3	3
Вентили: обыкновенные прямоточные	19,9	12,4	10,4	9,4	8,4	7,4
	3	3	3	2,5	2,5	2
Отвод гнутый под углом 90°	0,8	0,6	0,5	0,5	0,4	0,3
Кран регулирующий трехходовой: при проходе на повороте	3,5	3	–	–	–	–
	4,5	3	–	–	–	–
Кран регулирующий проходной	3,5	3	–	–	–	–
Кран двойной регулировки	4	2	2	2	–	–
Отступ под углом 45°	0,8	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6
Внезапное изменение сечения: расширение сужение	1,0					
	0,5					
Радиаторы чугунные секционные	2,0					
Котел стальной	2,0					
Котел чугунный	2,5					

**Т а б л и ц а 36. Потери давления  $z_i$  (кг/м<sup>2</sup>) в местных сопротивлениях при расчете  
трубопроводов водяных систем отопления (при  $\rho = 961,9$  кг/м<sup>3</sup>;  $t_i = 95$  °C)**

Скорость воды, м/с	Суммарные коэффициенты местных сопротивлений $\sum \xi$									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,025	0,031	0,063	0,094	0,125	0,157	0,188	0,219	0,251	0,282	0,313
0,030	0,045	0,090	0,135	0,180	0,226	0,271	0,316	0,361	0,406	0,451
0,035	0,061	0,123	0,184	0,246	0,307	0,368	0,430	0,491	0,553	0,614
0,040	0,080	0,160	0,241	0,321	0,401	0,481	0,561	0,642	0,722	0,802
0,045	0,102	0,203	0,304	0,406	0,507	0,609	0,710	0,812	0,913	1,015
0,050	0,125	0,251	0,376	0,501	0,626	0,752	0,877	1,002	1,128	1,253
0,055	0,15	0,30	0,45	0,61	0,76	0,91	1,06	1,21	1,36	1,52
0,060	0,18	0,36	0,54	0,72	0,90	1,08	1,26	1,44	1,62	1,80
0,065	0,21	0,42	0,64	0,85	1,06	1,27	1,48	1,69	1,91	2,12
0,070	0,25	0,49	0,74	0,98	1,23	1,47	1,72	1,96	2,21	2,46
0,075	0,28	0,56	0,85	1,13	1,41	1,69	1,97	2,26	2,54	2,82
0,080	0,32	0,64	0,96	1,28	1,60	1,92	2,25	2,57	2,89	3,21
0,085	0,36	0,72	1,09	1,45	1,81	2,17	2,53	2,90	3,26	3,62

Скорость воды, м/с	Суммарные коэффициенты местных сопротивлений $\sum \xi$									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,090	0,41	0,81	1,22	1,62	2,03	2,44	2,84	3,25	3,65	4,06
0,095	0,45	0,90	1,36	1,81	2,26	2,71	3,17	3,62	4,07	4,52
0,100	0,50	1,00	1,50	2,00	2,51	3,01	3,51	4,01	4,51	5,01
0,105	0,55	1,11	1,66	2,21	2,76	3,32	3,87	4,42	4,97	5,53
0,110	0,61	1,21	1,82	2,43	3,03	3,64	4,24	4,85	5,46	6,06
0,115	0,66	1,33	1,99	2,65	3,31	3,98	4,64	5,30	5,96	6,63
0,120	0,72	1,44	2,16	2,89	3,51	4,33	5,05	5,77	6,49	7,22
0,125	0,78	1,57	2,35	3,13	3,92	4,70	5,48	6,26	7,05	7,84
0,130	0,85	1,69	2,54	3,39	4,23	5,08	5,93	6,78	7,62	8,47
0,135	0,91	1,83	2,74	3,65	4,57	5,48	6,39	7,31	8,22	9,13
0,140	0,98	1,96	2,95	3,93	4,91	5,89	6,88	7,86	8,84	9,82
0,145	1,05	2,11	3,16	4,21	5,27	6,32	7,38	8,43	9,48	10,54
0,150	1,13	2,26	3,38	4,51	5,64	6,77	7,89	9,02	10,15	11,20
0,155	1,20	2,41	3,61	4,82	6,02	7,22	8,43	9,63	10,84	12,04
0,160	1,28	2,57	3,58	5,13	6,41	7,70	8,98	10,26	11,55	12,83
0,163	1,36	2,73	1,09	5,46	6,82	8,19	9,55	10,92	12,28	13,64
0,170	1,45	2,90	4,34	5,79	7,24	8,69	10,14	11,59	13,03	14,48
0,175	1,53	3,07	4,60	6,14	7,67	9,21	10,7	12,3	13,8	15,3
0,180	1,62	3,25	4,87	6,49	8,12	9,74	11,4	13,0	14,6	16,2
0,185	1,72	3,43	5,15	6,86	8,58	10,3	12,0	13,7	15,4	17,2
0,190	1,81	3,62	5,43	7,24	9,05	10,9	12,7	14,5	16,3	18,1
0,195	1,91	3,81	5,72	7,62	9,53	11,4	13,3	15,2	17,2	19,1
0,200	2,00	4,01	6,01	8,02	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0	20,0
0,205	2,1	4,2	6,3	8,4	10,5	12,6	14,7	16,8	19,0	21,1
0,210	2,2	4,4	6,6	8,8	11,1	13,3	15,5	17,7	19,9	22,1
0,215	2,3	4,6	6,9	9,3	11,6	13,9	16,2	18,5	20,8	23,2
0,220	2,4	4,9	7,3	9,7	12,1	14,6	17,0	19,4	21,8	24,3
0,225	2,5	5,1	7,6	10,1	12,7	15,2	17,8	20,3	22,8	25,4
0,230	2,7	5,3	8,0	10,6	13,3	15,9	18,6	21,2	23,9	26,5
0,235	2,8	5,5	8,3	11,1	13,8	16,6	19,4	22,1	24,9	27,7
0,240	2,9	5,8	8,7	11,5	14,4	17,3	20,2	23,1	26,0	28,9
0,245	3,0	6,0	9,0	12,0	15,0	18,0	21,1	24,1	27,1	30,1
0,250	3,1	6,3	9,4	12,5	15,7	18,8	21,9	25,1	28,2	31,3
0,255	3,3	6,5	9,8	13,0	16,3	19,6	22,8	26,1	29,3	32,6
0,260	3,4	6,8	10,2	13,6	16,9	20,3	23,7	27,1	30,5	33,9
0,265	3,5	7,0	10,6	14,1	17,6	21,1	24,6	28,2	31,7	35,2
0,270	3,7	7,3	11,0	14,6	18,3	21,9	26,6	29,2	32,9	36,5
0,275	3,8	7,6	11,4	15,2	18,9	22,7	26,5	30,3	34,1	37,9
0,280	3,9	7,9	11,8	15,7	19,6	23,6	27,5	31,4	35,4	39,3
0,285	4,1	8,1	12,2	16,3	20,4	24,4	28,5	32,6	36,6	40,7
0,290	4,2	8,4	12,6	16,9	21,1	25,3	29,5	33,7	37,9	42,1

Скорость воды, м/с	Суммарные коэффициенты местных сопротивлений $\sum \xi$									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,295	4,4	8,7	13,1	17,4	21,8	26,2	30,5	34,9	39,3	43,6
0,300	4,5	9,0	13,5	18,0	22,6	27,1	31,6	36,1	40,6	45,1
0,305	4,7	9,3	14,0	18,6	23,3	28,0	32,6	37,3	42,0	46,6
0,310	4,8	9,6	14,4	19,3	24,1	28,9	33,7	38,5	43,3	48,2
0,315	5,0	9,9	14,9	19,9	24,9	29,8	34,8	39,8	44,8	49,7
0,320	5,1	10,3	15,4	20,5	25,7	30,8	35,9	41,1	46,2	51,3
0,325	5,3	10,6	15,9	21,2	26,5	31,8	37,1	42,3	47,6	52,9
0,330	5,5	10,9	16,4	21,8	27,3	32,7	38,2	43,7	49,1	54,6
0,335	5,6	11,2	16,9	22,5	28,1	33,7	39,4	45,0	50,6	56,2
0,340	5,8	11,6	17,4	23,2	29,0	34,8	40,6	46,3	52,1	57,9
0,345	6,0	11,9	17,9	23,9	29,8	35,8	41,8	47,7	53,7	59,6
0,350	6,1	12,3	18,4	24,6	30,7	36,8	43,0	49,1	55,3	61,4
0,355	6,3	12,6	18,9	25,3	31,6	37,9	44,2	50,5	56,8	63,2
0,360	6,5	13,0	19,5	26,0	32,5	39,0	45,5	52,0	58,5	65,0
0,365	6,7	13,4	20,0	26,7	33,4	40,1	46,7	53,4	60,1	66,8
0,370	6,9	13,7	20,6	27,4	34,3	41,2	48,0	54,9	61,7	68,6
0,375	7,0	14,1	21,1	28,2	35,2	42,3	49,3	56,4	63,4	70,5
0,380	7,2	14,5	21,7	28,9	36,2	43,4	50,7	57,9	65,1	72,4
0,385	7,4	14,9	22,3	29,7	37,1	44,6	52,0	59,4	66,9	74,3
0,390	7,6	15,2	22,9	30,5	38,1	45,7	53,4	61,0	68,6	76,2
0,395	7,8	15,6	23,5	31,3	39,1	46,9	54,4	62,6	70,4	78,2
0,400	8,0	16,0	24,1	32,1	40,1	48,1	56,1	64,1	72,2	80,2
0,405	8,2	16,4	24,7	32,9	41,1	49,3	57,5	65,8	74,0	82,2
0,410	8,4	16,8	25,3	33,7	42,1	50,5	59,0	67,4	75,8	84,2
0,415	8,6	17,3	25,9	34,5	43,2	51,8	60,4	69,0	77,7	86,3
0,420	8,8	17,7	26,5	35,4	44,2	53,0	61,9	70,7	79,6	88,4
0,425	9,1	18,1	27,2	36,2	45,3	54,3	63,4	72,4	81,5	90,5
0,430	9,3	18,5	27,8	37,1	46,3	55,6	64,9	74,1	83,4	92,7
0,435	9,5	19,0	28,4	37,9	47,4	56,9	66,4	75,6	85,3	94,8
0,440	9,7	19,4	29,1	38,8	48,5	58,2	67,9	77,9	87,3	97,0
0,445	9,9	19,8	29,8	39,7	49,6	59,5	69,5	79,4	89,3	99,2
0,450	10,1	20,3	30,4	40,6	50,7	60,9	71,0	81,2	92,3	101,5
0,455	10,4	20,8	31,1	41,5	51,9	62,3	72,6	83,0	93,4	103,8
0,460	10,6	21,2	32,2	42,4	53,0	63,6	74,2	84,8	95,4	106,0
0,465	10,8	21,7	32,5	43,3	54,2	65,0	75,9	86,7	97,5	108,4
0,470	11,1	22,1	33,2	44,3	55,4	66,4	77,5	88,6	99,6	110,7
0,475	11,3	22,6	33,9	45,2	56,2	67,8	79,1	90,5	101,8	113,1
0,480	11,5	23,1	34,6	46,2	57,7	69,3	80,8	92,4	103,9	115,5
0,485	11,8	23,6	35,4	47,2	58,9	70,7	82,5	94,3	106,1	117,9
0,490	12,0	24,1	36,1	48,1	60,2	72,2	84,2	96,2	108,3	120,3
0,495	12,3	24,6	36,8	49,1	61,4	73,7	86,0	98,2	110,5	122,8
0,500	12,5	25,1	37,6	50,1	62,6	75,2	87,7	100,2	112,8	125,3

В табл. 37 приведены графические условные обозначения на схеме теплоснабжения.

Т а б л и ц а 37. **Некоторые графические условные обозначения на схеме теплоснабжения**

Наименование	Обозначение
Варианты обозначения теплопроводов с нанесением его диаметров	
Обозначения теплопроводов с нанесением диаметров труб при плотном графическом исполнении чертежа	
Направление движения жидкости	
Местоположение изменения диаметра трубопровода	
Обозначение направления и величины уклона трубопровода относительно горизонта	
Обозначение на плане подъема или опуска (по направлению движения теплоносителя) теплопровода	
Обозначение радиатора на плане, на схеме	
Клапан предохранительный	
Кран шаровой или пробковый	
Вентиль	
Задвижка	

После предварительного подбора диаметров трубопровода переходят к его тепловому расчету, определяя последовательно по участкам от котла по ходу воды тепловыделения трубопроводом и температуры воды [8], данные сводят в табл. 38.

Т а б л и ц а 38. Тепловой расчет трубопровода

Номер участка	$G_{\text{уч}}$ , кг/ч	$L_i$ , м	$d$ , мм	Температура воды в начале участка $t_{\text{нач } i}$ , °C	$t_{\text{в}}$ , °C	$t_{\text{нач } i} - t_{\text{в}}$ , °C	$q'$ , Вт/м	Тепловы- деления трубо- проводом $q_{\text{тр}}$ , Вт	Пониже- ние темпе- ратуры воды $\Delta t_i$ , °C	Темпера- тура воды в конце участка $t_{\text{кон } i}$ , °C
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
							По табл. 39			

Подсчет начинают с участка, температура которого известна (95 °C) (графа 5 табл. 38).

Для заполнения графы 10 используют формулу остывания воды на участке трубопровода:

$$\Delta t_i = \frac{q_{\text{тр}}}{G_{\text{уч}}}, \quad (61)$$

где  $q_{\text{тр}}$  – теплоотдача трубопроводом, Вт;

$G_{\text{уч}}$  – количество воды, которое проходит по участку, кг/ч.

Для заполнения графы 11 используют формулу определения температуры воды в конце участка:

$$t_{\text{кон } i} = t_{\text{нач } i} - \Delta t_i, \quad (62)$$

где  $t_{\text{нач } i}$  – температура воды в начале участка.

Действительное значение гравитационного давления, Па, определяем по формуле при средних значениях плотности воды:

$$P_{\text{д}} = \left[ 0,9 \cdot h_{\text{ст}} (\rho_{\text{ст}} - \rho_{\text{п}}) + 0,5 \cdot h_{\text{пр}} (\rho_{\text{п. пр}} - \rho_{\text{п}}) + \Delta h (\rho_{\text{о. пр}} - \rho_{\text{п}}) \right] \cdot g, \quad (63)$$

где  $h_{\text{ст}}$ ,  $h_{\text{пр}}$  – высота соответственно стояка, по которому вода движется вниз, и отопительного прибора, м;

$\rho_{\text{ст}}$ ,  $\rho_{\text{п}}$  – плотность воды соответственно в этом стояке и выходящей из котла, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_{п. пр.}$ ,  $\rho_{о. пр.}$  – плотность воды, соответственно входящей в отопительный прибор и выходящей из него, кг/м<sup>3</sup>;

$\Delta h$  – вертикальное расстояние между центрами нагрева воды в котле и охлаждения в приборе (принимается посередине прибора).

Полученное действительное циркуляционное давление, сравнивают с потерями давления в расчетном кольце трубопровода.

Если действительное давление отличается от потерь на 0–15 %, то трубопровод оставляют без изменения согласно предварительному расчету. Если расхождение от 15 до 30 %, то ограничиваются изменением диаметров с тем, чтобы потери в трубопроводе составляли от 85 до 100 % циркуляционного давления, определенного по тепловому расчету. В этом случае повторного теплового расчета не требуется. При больших расхождениях между действительным давлением и потерями в системе проводят полный перерасчет системы.

Т а б л и ц а 39. Теплотери в окружающую среду (Вт) на 1 м  $q'$  неизолированных труб, наполненных водой при разности температур теплоносителя и окружающего воздуха

Разность температуры $t_{нач} i - t_{вз}$ , °С	Условный диаметр труб стальных водогазопроводных, мм					
	15	20	25	32	40	50
42	36,0	45,3	57,0	72,1	76,8	88,4
46	39,5	50,0	62,8	79,1	83,7	96,5
50	44,2	57,0	70,9	89,6	96,5	110,5
54	47,7	61,6	75,6	97,7	104,7	118,6
58	51,2	65,1	82,6	104,7	112,8	126,8
62	57,0	73,3	91,9	116,3	124,4	143,0
66	61,6	77,9	96,5	123,8	133,7	152,4
70	67,5	86,1	108,2	137,2	147,7	161,7
74	72,1	90,7	114,0	145,4	157,0	170,9
78	75,6	95,4	121,0	152,4	165,1	180,3
82	79,1	101,2	126,8	160,5	170,9	189,6
86	83,7	105,8	132,8	169,8	182,6	198,9
90	96,5	123,3	155,8	197,7	207,0	234,9

#### 10.4. Гидравлический расчет системы отопления одноэтажного усадебного дома

##### Пример 12.

**Исходные данные.** Предварительно проводится теплотехнический расчет, расчет потерь теплоты, расчет отопительных приборов по вышеизложенным методикам.



Количество секций в помещениях: 101 – 11 шт., 102 – 9 шт., 103 – 13 шт., 104 – 11 шт.

На плане усадебного дома (рис. 19) показаны расположения стояков, приборов системы отопления и схема прокладки горячей линии.

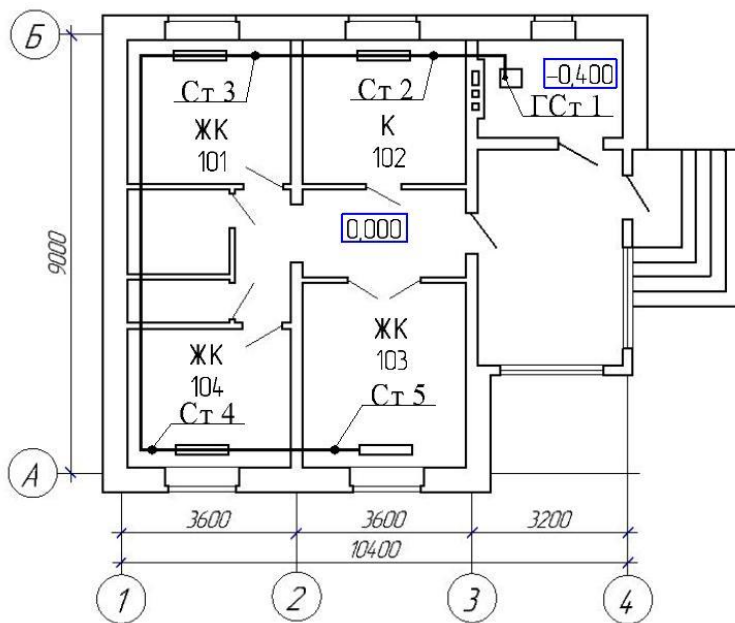


Рис. 19. План усадебного дома

На рис. 20 представлена схема отопления дома с разбивкой на участки, определены длины участков трубопровода и тепловые нагрузки.

Уклон графически не показан, а лишь обозначен стрелками, направленными в соответствующую сторону.

Принято, что центр нагрева воды в котле (на 150 мм выше колосниковой решетки) и центр охлаждения воды в отопительных приборах (посередине прибора).

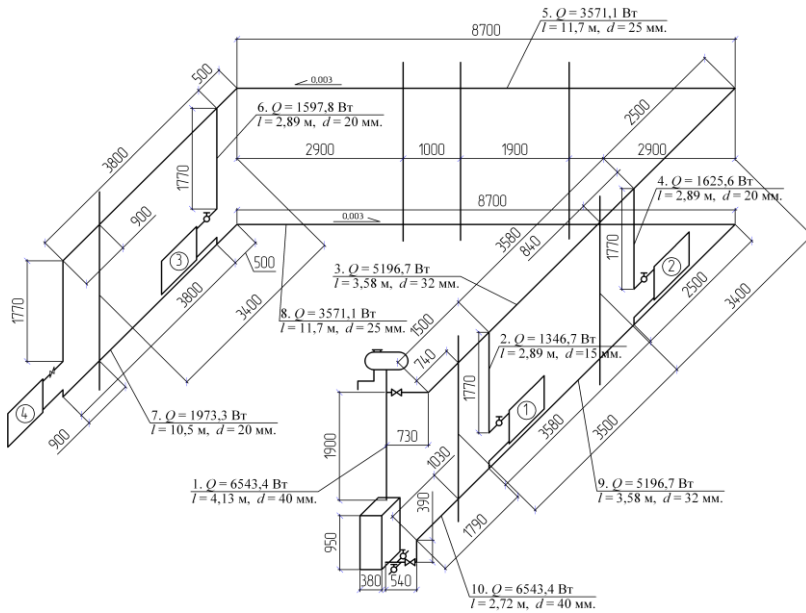


Рис. 20. Схема для гидравлического расчета системы отопления

**Порядок расчета.** Расчет трубопроводов следует начать с наиболее неблагоприятного циркуляционного кольца. Наиболее неблагоприятным циркуляционным кольцом следует считать при естественной циркуляции кольцо, у которого в зависимости от располагаемого давления значение  $R_{\text{ср}}$  будет наименьшим. В данном примере одно циркуляционное кольцо.

Определяем предварительный расчетный перепад давления по формуле (59). По условиям прокладки труб принимаем коэффициент  $\epsilon' = 0,4$ .

Ориентировочное предварительное давление для кольца составит:  
через прибор № 4

$$P_{\epsilon} = [0,4 \cdot 2,56 \cdot (21,31 + 2,56) + 0,54 \cdot (977,8 - 961,9)] \cdot 9,8 = 323,7 \text{ Па};$$

через прибор № 3

$$P_{\epsilon} = [0,4 \cdot 2,56 \cdot (17,51 + 2,56) + 0,54 \cdot (977,8 - 961,9)] \cdot 9,8 = 285,5 \text{ Па};$$

через прибор № 2

$$P_e = [0,4 \cdot 2,56 \cdot (5,81 + 2,56) + 0,54 \cdot (977,8 - 961,9)] \cdot 9,8 = 168,1 \text{ Па};$$

через прибор № 1

$$P_e = [0,4 \cdot 2,56 \cdot (2,23 + 2,56) + 0,54 \cdot (977,8 - 961,9)] \cdot 9,8 = 132,2 \text{ Па}.$$

Определение величин  $h_r$  и  $h_1$ , м, изображено на рис. 21.

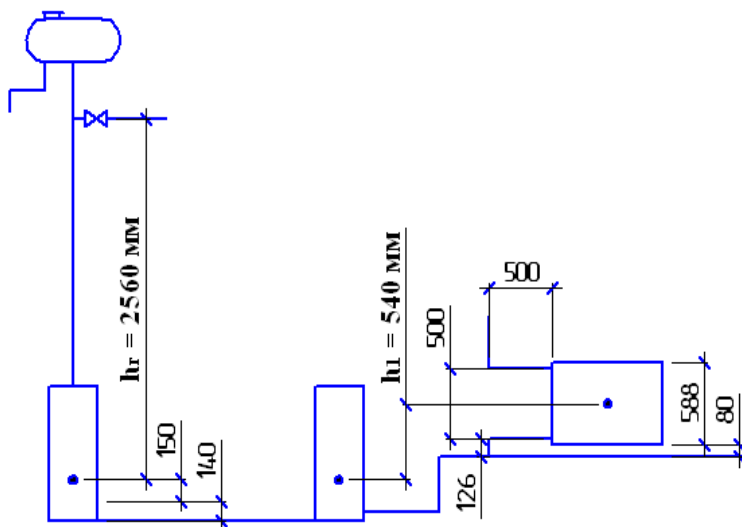


Рис. 21. Схемы для определения величин  $h_r$  и  $h_1$

Первое произведение – циркуляционное давление, получаемое вследствие охлаждения воды в трубопроводах, второе – давление, обусловленное разницей в высоте расположения котла и прибора.

Проведенные расчеты показывают, что давление, получаемое вследствие охлаждения воды в трубопроводе, значительно больше дополнительного давления, которое получается в результате превышения центра охлаждения воды в приборе над центром нагрева воды в котле (для нашего случая 0,54 м).

Определяем средние удельные потери давления на трение по формуле (60):

через прибор № 4

$$R_{cp} = \frac{0,5 \cdot 323,7}{47,91} = 3,4 \text{ Па};$$

через прибор № 3

$$R_{cp} = \frac{0,5 \cdot 285,5}{40,3} = 3,5 \text{ Па};$$

через прибор № 2

$$R_{cp} = \frac{0,5 \cdot 168,1}{16,9} = 5,0 \text{ Па};$$

через прибор № 1

$$R_{cp} = \frac{0,5 \cdot 132,2}{9,74} = 6,8 \text{ Па}.$$

По найденным значениям  $R_{cp}$  рассчитываем диаметры трубопровода циркуляционного кольца. Результаты расчета сводим в табл. 40.

Расчет  $\sum \xi$  сводим в табл. 41.

Т а б л и ц а 40. Результаты гидравлического расчета системы отопления при естественной циркуляции

Номер участка	Нагрузка на участке		$L_i$ , м	$d$ , мм	Расчетные данные					
	$Q_{уч}$ , Вт	$G_{уч}$ , кг/ч			$v$ , м/с	$R_i$ , Па	$R_i \cdot L_i$ , Па	$\sum \xi$	$z_i$ , Па	$R_i \cdot L_i + z_i$ , Па
1	6 543,4	225,1	4,13	40	0,084	3,4	14,04	12,8	43,44	<b>57,48</b>
2 прибор № 1	1 346,7	46,3	2,89	15	0,069	6,5	18,79	7,1	17,10	35,89
3	5 196,7	178,8	3,58	32	0,077	3,4	12,20	1,5	4,30	<b>16,50</b>
4 прибор № 2	1 625,6	55,9	2,89	20	0,064	5,0	14,45	6,2	12,50	26,95
5	3 571,1	122,8	11,7	25	0,062	3,4	39,78	2,5	4,62	<b>44,40</b>
6 прибор №3	1 597,8	55,0	2,89	20	0,058	3,4	9,83	6,2	10,25	20,08
7 прибор № 4	1 973,3	67,9	10,5	20	0,058	3,4	35,70	21,7	35,40	<b>71,10</b>
8	3 571,1	122,8	11,7	25	0,062	3,4	39,78	3,0	5,64	<b>45,42</b>
9	5 196,7	178,8	3,58	32	0,077	3,4	12,20	2,0	5,80	<b>18,0</b>
10	6 543,4	225,1	2,72	40	0,084	3,4	9,25	12,2	42,10	<b>51,35</b>
										<b><math>\Sigma</math> 304,25Па</b>

П р и м е ч а н и е. 1 Па = 0,102 кг/м<sup>2</sup>.

Т а б л и ц а 41. Расчет  $\sum \xi$  на участках гидравлического кольца

Номер участка	Элемент системы	Коэффициенты местных сопротивлений $\xi$	$\sum \xi$ на участке
1	2	3	4
1	Котел стальной	2,0	12,8
	Внезапное сужение	0,5	
	Тройник на ответвление	1,5	
	Вентиль обыкновенный	8,4	
	Отвод под углом 90°	0,4	
2	Отвод под углом 90°	0,8	7,1
	Кран регулирующий проходной	3,5	
	Радиатор чугунный секционный	2,0	
	Отвод под углом 90°	0,8	
3	Тройник проходной	1,0	1,5
	Внезапное сужение	0,5	
4	Отвод под углом 90°	0,6	6,2
	Кран регулирующий проходной	3,0	
	Радиатор чугунный секционный	2,0	
	Отвод под углом 90°	0,6	
5	Тройник проходной	1,0	2,5
	Отвод под углом 90°	0,5	
	Отвод под углом 90°	0,5	
	Внезапное сужение	0,5	
6	Отвод под углом 90°	0,6	6,2
	Кран регулирующий проходной	3,0	
	Радиатор чугунный секционный	2,0	
	Отвод под углом 90°	0,6	
7	Тройник проходной	1,0	21,7
	Отвод под углом 90°	0,6	
	Отвод под углом 90°	0,6	
	Вентиль обыкновенный	12,4	
	Радиатор чугунный секционный	2,0	
	Отвод под углом 90°	0,6	
	Отвод под углом 90°	0,6	
	Тройник проходной	1,0	
	Внезапное сужение	0,5	
	Внезапное расширение	1,0	
Отступ	0,7		
Отступ	0,7		
8	Отвод под углом 90°	0,5	3,0
	Отвод под углом 90°	0,5	
	Тройник проходной	1,0	
	Внезапное расширение	1,0	
9	Тройник проходной	1,0	2,0
	Внезапное расширение	1,0	

1	2	3	4
10	Отвод под углом 90°	0,4	12,2
	Отвод под углом 90°	0,4	
	Вентиль обыкновенный	8,4	
	Тройник проходной	1,0	
	Тройник проходной	1,0	
	Внезапное расширение	1,0	

Примечание. Когда  $\sum \xi$  превышает 10 и нет возможности воспользоваться данными табл. 36, значение  $z_i$ , Па, определяют по формуле

$$z = \sum \xi \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho, \quad (64)$$

где  $\sum \xi$  – суммарный коэффициент местных сопротивлений на участке;

$v$  – скорость воды на участке, м/с;

$\rho$  – плотность воды на участке, кг/м<sup>3</sup>.

Виды местных сопротивлений и участки, к которым они относятся, приведены в табл. 42.

Таблица 42. Виды местных сопротивлений

Наименование элемента системы (вид местного сопротивления)	Обозначение участка к которому относится сопротивление
1	2
Тройник проходной	
Тройник на ответвление потока	
Тройник на противотоке	
Крестовина проходная	
Крестовина поворотная	

Примечание. Звездочкой (\*) отмечен участок, к которому следует отнести данное местное сопротивление.

Подводя итог гидравлического расчета циркуляционного кольца, делаем вывод о том, что запас по сравнению с определенным ориентировочно циркуляционным давлением  $((323,7 - 304,25) : 323,7 \cdot 100 \% = 6,0 \%)$  является допустимым. Расчет трубопровода оставляем без изменения.

После предварительного подбора трубопровода переходим к его тепловому расчету, определяя последовательно по участкам от котла по ходу воды тепловыделения трубопроводом и температуру воды в начале и конце расчетных участков, а результаты сводим в табл. 43.

Т а б л и ц а 43. Тепловой расчет трубопровода

Номер участка	$G_{уч}$ , кг/ч	$L_i$ , м	$d$ , мм	$t_{нач i}$ , °C	$t_{к}$ , °C	$t_{нач i} - t_{к}$ , °C	$q'$ , Вт/м	$q_{гр}$ , Вт	$\Delta t_i$ , °C	$t_{кон i}$ , °C
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	225,1	3,37	40	95	16	79	165,1	556,39	2,47	92,53
		0,76		92,53	18	74,53	157,0	119,32	0,53	92,0
3	178,8	2,74	32	92,0	18	74	145,4	398,40	2,23	89,77
		0,84		89,77	20	69,77	137,2	115,23	0,64	89,13
5	122,8	5,4	25	89,13	20	69,13	105,3	568,62	4,63	84,5
		1,9		84,5	25	59,5	86,75	164,83	1,34	83,16
		1,0		83,16	25	58,16	82,6	82,60	0,67	82,49
		3,4		82,49	20	62,49	73,88	251,19	2,05	80,44
7	67,9	6,07	20	80,44	20	60,44	69,25	420,35	6,19	74,25
прибор № 4	—	—	—	74,25	—	25	—	—	—	49,25
7	67,9	4,426	20	49,25	20	29,25	30,1	133,22	1,96	47,29
6	55,0	2,27	20	84,5	20	64,5	76,18	172,93	3,14	81,36
прибор № 3	—	—	—	81,36	—	25	—	—	—	56,36
6	55,0	0,626	20	56,36	20	36,36	39,22	24,55	0,45	55,91
8	122,8	3,4	25	51,15	20	31,15	42,3	143,82	1,17	49,98
		1,0		49,98	25	24,98	33,94	33,94	0,28	49,70
		1,9		49,7	25	24,7	33,56	63,744	0,52	49,18
		5,4		49,18	20	29,18	31,48	170,0	1,38	47,80
4	55,9	2,27	20	89,13	20	69,13	84,05	190,79	3,41	85,72
прибор № 2	—	—	—	85,72	—	25	—	—	—	60,72
4	55,9	0,626	20	60,72	20	40,72	43,92	27,49	0,49	60,23
9	178,8	0,84	32	50,46	20	30,46	52,34	43,96	0,25	50,21
		2,74		50,21	18	32,21	55,34	125,62	0,70	49,51
2	46,3	2,27	15	92,53	18	74,53	72,54	164,66	3,56	88,97
прибор № 1	—	—	—	88,97	—	25	—	—	—	63,97
2	46,3	0,626	15	63,97	18	45,97	39,5	24,73	0,53	63,44
10	225,1	0,76	40	52,37	18	34,37	62,95	47,84	0,21	52,16
		1,96		52,16	16	36,16	66,23	129,81	0,58	51,58

1. Перепад температуры воды в начале главного стояка (участок №1) и воздуха в помещении:  $t_{п} - t_{в} = 95 - 16 = 79 \text{ }^{\circ}\text{C}$  и т. д. (графа 7).

2. Для заполнения графы 8 используем вспомогательную табл. 39.

3. Для заполнения графы 9 необходимо теплотери  $q'$ , Вт/м, умножить на длину трубопровода  $L_i$ , м, соответствующего диаметра.

4. Для заполнения графы 10 используем формулу (61).

5. Для заполнения графы 11 используем формулу (62).

6. Для определения температуры воды, выходящей из отопительного прибора, необходимо в графу 7 записать разность расчетной температуры системы отопления:  $t_{ср} = 95 - 70 = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

7. Температура воды в начале участка № 6 равна температуре воды в конце участка № 5:  $t_{нач 6} = t_{кон 5} = 84,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

8. Для обратного трубопровода участка после смешивания воды получим температуру обратной воды  $t_{об}$ .

Температуру воды в начале участка № 8 найдем из теплового баланса по участку № 7, в котором перемещается 67,9 кг/ч воды с конечной температурой  $t_{кон 7} = 47,29 \text{ }^{\circ}\text{C}$  и по участку № 6, в котором перемещается 55,0 кг/ч с  $t_{кон 6} = 55,91 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

После смешивания в начале участка № 8 получим температуру воды

$$t_{н.об 8} = \frac{G_{уч 7} \cdot t_{кон 7} + G_{уч 6} \cdot t_{кон 6}}{G_{уч 7} + G_{уч 6}} = \frac{67,9 \cdot 47,29 + 55,0 \cdot 55,91}{67,9 + 55,0} = 51,15 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Аналогично для участков № 9 и № 10:

$$t_{н.об 9} = \frac{G_{уч 8} \cdot t_{кон 8} + G_{уч 4} \cdot t_{кон 4}}{G_{уч 8} + G_{уч 4}} = \frac{122,8 \cdot 47,8 + 55,9 \cdot 60,23}{122,8 + 60,23} = 50,46 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$t_{н.об 10} = \frac{G_{уч 9} \cdot t_{кон 9} + G_{уч 2} \cdot t_{кон 2}}{G_{уч 9} + G_{уч 2}} = \frac{178,8 \cdot 49,51 + 46,3 \cdot 63,44}{178,8 + 46,3} = 52,37 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

9. В результате всего расчета получим конечную температуру воды последнего участка  $t_{кон 10} = 51,58 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

10. Находим действительное давление для наиболее отдаленного прибора № 4:

средняя температура и плотность воды в стояке

$$t_{ср.ст} = (80,44 + 74,25) : 2 = 77,3 \text{ }^{\circ}\text{C}; \rho_{77,3} = 973,7 \text{ кг/м}^3;$$

температура воды и плотность воды, входящей в прибор № 4,

$$t_{пр 6} = 74,25 \text{ }^{\circ}\text{C}; \rho_{74,25} = 975,5 \text{ кг/м}^3;$$

температура и плотность воды, выходящей из котла,

$$t_r = 95^\circ\text{C}; \rho_{95} = 961,9 \text{ кг/м}^3.$$

Тогда, пользуясь формулой (63), определяем

$$P_d = \left[ 0,9 \cdot 1,77(973,7 - 961,9) + 0,5 \cdot 0,5(975,5 - 961,9) + \right] 9,8 = \\ + 0,54(988,7 - 961,9) \\ = 359,36 \text{ Па.}$$

Получив действительное циркуляционное давление, сравниваем его с потерями давления в данном кольце трубопровода. Полученное расхождение  $((359,36 - 304,25) : 359,36 \cdot 100 \% = 15 \%)$  находится в допустимых пределах.

### 10.5. Расчет теплопроизводительности котла

Требуемую теплопроизводительность котла  $Q_{\text{сист}}$  определяют как сумму полезных и бесполезных потерь теплоты. Полезными потерями считаются теплота, идущая на покрытие теплопотерь помещения и тепловыделения трубами, а к бесполезным относят теплоту, теряемую обратными трубопроводами, проложенными под полом помещения.

Для возмещения теплопотерь, учитывая, что в котел поступает обратная вода с температурой  $t_{\text{кон } i}$ ,  $^\circ\text{C}$ , последнего участка, а уходит при  $t_{\text{нач}} = 95^\circ\text{C}$ , количество циркулирующей в системе воды  $G_c$ , кг/ч, определяют по формуле

$$G_c = \frac{Q_{\text{сист}}}{t_r - t_0} \cdot \beta_1 \cdot \beta_2, \quad (65)$$

где  $\beta_1$  – по табл. 20;

$\beta_2$  – по табл. 21.

Допускается расхождение от +5 до -15 %:

$$\frac{G_p - G_c}{G_p} 100 \%,$$

где  $G_p$  – количество циркулирующей в системе воды, принятое при гидравлическом расчете трубопроводов.

Если количество циркулирующей воды превышает эти пределы, то следует перепад температуры воды в системе принять большим или меньшим и соответственно откорректировать все расчеты.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Строительные нормы Республики Беларусь. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха = Ацяпленне, вентыляцыя і кандыцыяніраванне паветра: СНБ 4.02.01–03. – Введ. 01.01.2005. – Минск: М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2005. – 78 с.
2. Технический кодекс установившейся практики. Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования = Будаўнічая цеплатэхніка. Будаўнічыя нормы праектавання: ТКП 45-2.04-43–2006 (02250). – Введ. 07.01.2007. – Минск: М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2007. – 32 с.
3. Технический кодекс установившейся практики. Системы отопления и вентиляции усадебных жилых домов. Правила проектирования = Сістэмы ацяплення і вентыляцыі сядзібных жылых дамоў. Правілы праектавання: ТКП 45-4.02-74–2007 (02250). – Введ. 08.11.2007. – Минск: М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2008. – 33 с.
4. Покотил, В. В. Пособие по расчету систем отопления / В. В. Покотил. – Минск, 2006. – 143 с.
5. Технический кодекс установившейся практики. Тепловая изоляция наружных ограждающих конструкций зданий и сооружений. Строительные нормы проектирования = Цеплавая ізаляцыя знадворных агараджальных канструкцый будынкаў і збудаванняў: ТКП 45-3.02-113–2009 (02250). – Введ. 01.01.2010. – Минск: М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2009. – 37 с.
6. Проектирование и устройство тепловой изоляции наружных стен зданий. Система «Тайфун»: рекомендации = Праектаванне і ўстройства цеплавой ізаляцыі знадворных сцен будынкаў. Сістэма «Тайфун»: рэкамендацыі: Р1-04-046–2008. – Введ. 05.01.2008. – Гродно: ПТ ООО «Тайфун», 2008. – 51 с.
7. Технический кодекс установившейся практики. Внутренние инженерные системы зданий и сооружений. Правила монтажа = Унутраныя інжынерныя сістэмы будынкаў і збудаванняў. Правілы мантажу: ТКП 45-1.03-85–2007 (02250). – Введ. 21.12.2007. – Минск: М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2008. – 33 с.
8. Методические рекомендации по расчету и выбору систем отопления и горячего водоснабжения сельских жилых домов. – М: Науч.-произв. внедренческое предприятие «Павлена». Всерос. науч.-исслед. ин-т электрификации сельского хозяйства Российской акад. с-х наук, 1994. – 63 с.
9. Строительные нормы и правила. Нагрузки и воздействия: СНиП 2.01.07–85. – Введ. 01.01.1987. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988. – 36 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.....	4
2. РАСЧЕТНЫЕ УСЛОВИЯ.....	4
3. СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ.....	5
4. ТРУБОПРОВОДЫ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ.....	7
5. ОТОПИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И АРМАТУРА.....	9
6. ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ.....	10
6.1. Сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций.....	12
6.2. Сопротивление паропрооницанию ограждающих конструкций.....	23
7. РАСЧЕТ ТЕПЛОВОЙ МОЩНОСТИ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ.....	36
7.1. Определение площади ограждений.....	36
7.2. Расчет теплового потока и расхода теплоносителя в системе водяного отопления.....	37
7.3. Расчет основных теплопотерь через ограждающие конструкции здания.....	40
7.3.1. Расчет теплопотерь через наружные ограждения (стены, чердачные и цокольные перекрытия).....	41
7.3.2. Расчет теплопотерь через полы.....	42
7.3.3. Расчет теплопотерь через окна.....	47
7.3.4. Расчет теплопотерь через наружные двери.....	50
7.4. Расчет дополнительных потерь тепла.....	51
7.4.1. Добавочные потери тепла на ориентацию по сторонам света.....	51
7.4.2. Добавочные потери тепла на открывание наружных дверей.....	52
7.4.3. Добавочные потери тепла на наличие двух и более наружных стен.....	53
7.4.4. Расход теплоты на нагревание инфильтрующегося воздуха через ограждающие конструкции помещений.....	53
7.5. Расчет теплоступлений.....	57
7.6. Определение расчетного теплового потока отопительных приборов МС-140-108 для помещений жилого дома.....	58
8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНЫХ РАСХОДОВ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ НА ОТОПЛЕНИЕ ЗДАНИЯ.....	64
9. РАСЧЕТ ОТОПИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ.....	66
10. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ТРУБОПРОВОДОВ СИСТЕМЫ ОТАПЛЕНИЯ.....	72
10.1. Характеристика системы водяного отопления.....	72
10.2. Схемы водяного отопления с естественной циркуляцией теплоносителя.....	74
10.3. Гидравлический расчет системы отопления с естественной циркуляцией воды.....	76
10.4. Гидравлический расчет системы отопления одноэтажного усадебного дома.....	88
10.5. Расчет теплопроизводительности котла.....	98
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	99

Учебное издание

**Константинов Александр Александрович**

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ

РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ  
УСАДЕБНОГО ЖИЛОГО ДОМА

Методические указания для практических занятий

Редактор *Н. А. Матасёва*  
Технический редактор *Н. Л. Якубовская*  
Корректор *Л. С. Разинкевич*

Подписано в печать 2017. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная.  
Ризография. Гарнитура «Таймс». Усл. печ. л. \_\_\_\_ Уч.-изд. л. \_\_\_\_  
Тираж 50 экз. Заказ \_\_\_\_.

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия».  
Свидетельство о ГРИИРПИ № 1/52 от 09.10.2013.  
Ул. Мичурина, 13, 213407, г. Горки.

Отпечатано в УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия».  
Ул. Мичурина, 5, 213407, г. Горки.