

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Полоцкий государственный университет»



Л. М. Парфёнова

## **ОСНОВЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ**

Методические указания к практическим занятиям  
для студентов специальностей

1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство»,

1-70 02 02 «Экспертиза и управление недвижимостью»,

1-70 03 01 «Автомобильные дороги»,

1-69 01 01 «Архитектура»

Новополоцк

ПГУ

2015

УДК 620.97(075.8)

Одобрено и рекомендовано к изданию методической комиссией  
инженерно-строительного факультета  
в качестве методических указаний (протокол № 4 от 28.02.2014 г.)

Кафедра строительного производства

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

канд. техн. наук, доц. декан инженерно-строительного факультета А.А. БАКАТОВИЧ;  
канд. техн. наук, доц. зав. каф. строительных конструкций А.И. КОЛТУНОВ

Приведены указания по организации, структуре, выполнению, оформлению  
и защите практических работ.

Предназначены для студентов специальностей 1-70 02 01 «Промышленное и  
гражданское строительство», 1-70 02 02 «Экспертиза и управление недвижимо-  
стью», 1-70 03 01 «Автомобильные дороги», 1-69 01 01 «Архитектура».

© Парфенова Л. М., 2015  
© УО «Полоцкий государственный университет», 2015

# Практическое занятие № 1

## РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВА

### ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ИСТОЧНИКОВ ОСВЕЩЕНИЯ

#### Общие сведения

Светотехнические расчеты являются основополагающими при проектировании осветительных установок. Задачей расчета является определение числа и мощности светильников, необходимых для получения заданной освещенности. Реже производятся проверочные расчеты, т.е. определяется освещенность в определенных точках при заданных параметрах осветительной установки.

#### Выбор источников света

При существующем многообразии источников света (ИС) все они могут быть разделены:

- 1) на работающие на принципе теплового излучения:
  - обычные лампы накаливания (ЛН) (вакуумные, газонаполненные, одно- и биспиральные;
  - галогенные лампы (КГ);
- 2) на лампы, в основе работы которых лежит электрический разряд в газах или парах металлов:
  - люминесцентные лампы низкого давления (ЛЛ);
  - разрядные лампы высокого давления (обычные дуговые ртутные лампы (ДРЛ), металлогалогенные лампы (ДРИ), натриевые – (ДНаТ) и др.).

Выбор того или иного ИС определяется требованиями к освещению (цветность излучения, зрительный комфорт, показатель блескости и др.) и выполняется на основании сопоставления их достоинств и недостатков. При этом предпочтение необходимо отдавать разрядным источникам света как наиболее экономичным, имеющим световую отдачу более 50 лм/Вт, и в связи с этим обеспечивающим минимальное потребление электроэнергии.

Применение ламп накаливания допускается в отдельных случаях, когда по условиям технологии, среды или требований оформления интерьера использование разрядных ИС невозможно или нецелесообразно.

*Лампы накаливания* ввиду их низкой световой отдачи можно использовать в следующих случаях:

- а) в помещениях с нормируемой освещенностью 50 лк и ниже, т.е. когда с помощью газоразрядных источников света невозможно обеспечить зрительный комфорт;

- б) в помещениях с тяжелыми условиями среды и взрывоопасных, при отсутствии необходимых светильников с газоразрядными лампами;
- в) в помещениях, где недопустимы радиопомехи;
- г) для аварийного и эвакуационного освещения, когда рабочее освещение выполнено разрядными лампами высокого давления (ДРЛ, ДРИ, ДНаТ).

*Люминесцентные лампы низкого давления* рекомендуется применять в помещениях:

- а) где работа связана с большим и длительным напряжением зрения;
- б) где требуется распознавание цветовых оттенков;
- в) без естественного света;
- г) где люминесцентное освещение целесообразно по архитектурно-художественным соображениям.

При отсутствии ограничений к цветопередаче следует применять люминесцентные лампы типа ЛБ, имеющие наибольшую световую отдачу и наименьшую пульсацию светового потока. При повышенном требовании к цветопередаче используют лампы ЛД и ЛДЦ. В жарких помещениях применяют амальгамные люминесцентные лампы типа ЛБА.

Узкополосные люминесцентные лампы типа ЛБЦТ в сравнении с широкополосными люминесцентными лампами типов ЛБ, ЛЕЦ, ЛДЦ, ЛХЕ стимулируют положительные эмоции: обладают свойством сдвигать восприятие цвета объектов по сравнению с их «естественным» цветом при дневном свете. Например, цвет лица, зеленая листва, овощи при освещении этими лампами выглядят «приукрашенными» и производят приятное впечатление, однако следует помнить, что цветопередача в этом случае далека от естественной.

Энергоэкономичные люминесцентные лампы 18, 36, 58 Вт с узкополосным спектром излучения отличаются от обычных люминесцентных ламп 20, 40, 65 Вт более высокой световой отдачей и позволяют получить экономию электроэнергии до 8 %.

При выборе газоразрядных ламп низкого давления необходимо учитывать, что при температуре окружающей среды  $+5^{\circ}\text{C}$  и ниже или относительной влажности более 80% зажигание ламп не гарантируется.

Разрядные лампы высокого давления (ДРЛ, ДРИ, ДНаТ) применяются в высоких производственных помещениях ( $H > 6$  м). Причем при отсутствии требований к цветопередаче можно применять лампы ДРЛ, при наличии требований к цветопередаче – ДРИ.

Натриевые лампы рекомендуется применять в запыленных цехах, в помещениях с интенсивным парообразованием, где выполняются работы малой и очень малой точности.

Перспективным с точки зрения экономии электроэнергии является применение осветительных установок смешанного света с разноматричными лампами. В этой связи рекомендуется применение натриевых ламп высокого давления в сочетании с лампами ДРЛ в количестве 40...50% или с лампами ДРИ в количестве 20...40% суммарной установленной мощности для освещения зрительных работ малой и средней точности. Для этой цели можно использовать сдвоенные светильники.

При выборе разрядных ламп высокого давления ДРЛ, ДРИ, ДНаТ необходимо учитывать, что коэффициент пульсаций светового потока соответственно составляет 0,65; 0,4; 0,75, а световая отдача ламп ДРЛ – 40...70 лм/Вт, ДРИ – 60...100 лм/Вт и ДНаТ – 70...130 лм/Вт, срок службы соответственно 10...18, 3...10 и 10...50 тыс. ч.

Разрядные лампы высокого давления в значительной степени используются для освещения открытых пространств, заводских территорий, улиц, площадей. Здесь учитывается достоинство ламп: нормально работать в широком диапазоне температур –  $\pm 40^{\circ}\text{C}$ .

### Назначение, характеристика и типы светильников

Светильники являются осветительными приборами ближнего действия и предназначены для рационального перераспределения светового потока ламп, а также защиты глаз от чрезмерной яркости, предохраняют источники света от загрязнения и механических повреждений. Конструктивно они состоят из корпуса-отражателя и (или) рассеивателя, патрона и крепящего устройства.

Все светильники в зависимости от соотношения светового потока, излучаемого в нижнюю полусферу ( $\Phi$ ), ко всему световому потоку светильника ( $\Phi_{\text{св}}$ ) подразделяются на пять классов (типов), которые приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Типы светильников

Обозначение	Тип светильника	Доля светового потока, приходящегося на нижнюю полусферу, %
П	Прямого света	более 80
Н	Преимущественно прямого света	60...80
Р	Рассеянного света	40...60
В	Преимущественно отраженного света	20...40
О	Отраженного света	менее 20

Осветительные приборы прямого света в основном предназначены для помещения с невысокими потолками. Как правило, это обычные потолочные или встроенные в потолок приборы. Они отличаются экономичностью при создании местного освещения для чтения и работы или при подсветке картин, скульптур и т.д.

Осветительные приборы рассеянного света подходят для общего освещения. Они отличаются равномерным распределением яркости света, мягкими тенеобразующими свойствами и насыщенностью окружающего пространства светом, что важно для создания зрительного комфорта.

Осветительные приборы отраженного света создают наиболее комфортное и равномерное освещение, полностью соответствующее нормам по ограничению показателей слепящего эффекта и дискомфорта, хорошую насыщенность светом, сочетание с верхним или боковым дневным светом.

Каждый из светильников может характеризоваться одной из семи типовых кривых силы света (КСС): концентрированной (К), глубокой (Г), косинусной (Д), полуширокой (Л), широкой (Ш), равномерной (М) и синусной (С). Типовые кривые приведены на рисунке 1.1.

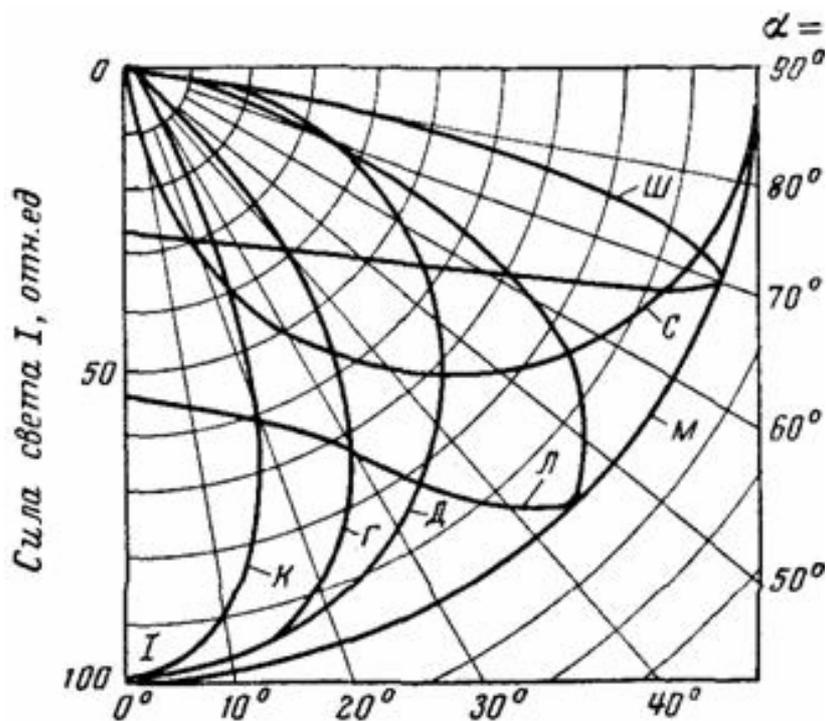


Рисунок 1.1 – Типовые кривые силы света

Подразделение световых потоков в зависимости от формы КСС представлено в таблице 1.2.

Для производственных помещений рекомендуется применять светильники прямого света с КСС типа К, Г, Д. Причем чем больше высота подвеса, тем уже зона направлений максимальной силы света. Для общего освещения офисов в основном годятся светильники прямого и рассеянного света с КСС типа Г и Д.

Таблица 1.2 – Типы кривой силы света

Тип кривой силы света		Зона направлений максимальной силы света
Обозначение	Наименование	
К	Концентрированная	0...15°
Г	Глубокая	0...30°; 180...150°
Д	Косинусная	0...35°; 180...145°
Л	Полуширокая	35...55°; 145...125°
Ш	Широкая	55...85°; 125...95°
М	Равномерная	0...180°
С	Синусная	70...90°; 110...90°

Для подсветки особых выделенных зон, внутренних архитектурных решений и деталей интерьера подходят световые приборы с КСС типа К.

Для формирования отраженного или приглушенного света (например, в холле здания) необходимо применять светильники преимущественно отраженного света (КСС типа С).

Для каждой типовой кривой силы света (типа светильника) существует наиболее выгодное относительное расстояние между светильниками, при котором обеспечиваются наибольшая равномерность распределения освещенности и максимальная энергетическая экономичность. Под относительным расстоянием между светильниками понимается отношение расстояния между ними ( $L$ ) к расчетной высоте подвеса светильников над рабочей поверхностью ( $H_p$ ).

### Высота подвеса светильников

Высота подвеса светильников над освещаемой поверхностью ( $H_p$ ) – расчетная высота подвеса светильников, в значительной степени определяет характеристику и технико-экономические показатели проектируемой осветительной установки. От ее величины зависят установленная мощность источников света, размещение светильников на плане. Высота подвеса определяет качественные показатели освещения, выбор светильников по светораспределению и экономическим соображением.

При выборе высоты подвеса учитываются строительные особенности помещений: наличие ферм, технологических мостиков, размеры строительного модуля; одновременно рассматриваются способы прокладки и монтажа проводов и кабелей осветительной сети.

В помещениях ограниченной высоты светильники устанавливаются либо на свесах, либо непосредственно на потолке и обслуживаются с лестниц или стремянок. По условию доступности высота подвеса светильников не должна превышать 5 м от пола, причем светильники не должны располагаться над крупным оборудованием, приямками и в других местах, где невозможна установка лестниц или стремянок.

В помещениях с ферменным перекрытием светильники общего освещения чаще всего устанавливаются на фермах. В этих случаях они могут обслуживаться с мостовых кранов, причем светильники должны быть размещены на уровне не менее 1,8 м над настилом площадки обслуживания на кране или же на уровне нижнего пояса ферм.

При проектировании осветительных установок необходимо предусматривать, чтобы возможно большая часть светильников была доступна для обслуживания с пола с помощью переносных приспособлений (табуретов, лестниц и стремянок).

К числу указанных мер относятся:

а) установка светильников с помощью кронштейнов на стенах или колоннах на высоте не более 5 м;

б) подвеска светильников на тросах, коробах, трубах, монтажных профилях и т.п. на высоте не более 5 м или же на тросах с опускаемыми приспособлениями;

в) установка светильников на мостиках или площадках, предназначенных для обслуживания шинопроводов, тельферов и т.п., а также установка на крупном технологическом оборудовании;

г) использование технологических площадок верхних отметок для установки на них светильников, освещающих нижние отметки.

Кроме того, рекомендуется принимать следующие высоты (м) установки светильников:

– 2,1 – в электропомещениях при установке светильников вблизи открытых токоведущих частей;

– не более 3,5 – на технологических площадках, мостиках, переходах и т.п. при установке светильников на стенах;

– 2,5 – на технологических площадках, мостиках, переходах и т.п. при установке светильников на стойках вдоль ограждений;

– на уровне настила  $\pm 0,5$  – на мостиках для обслуживания светильников.

Подвесные светильники общего освещения, устанавливаемые на потолках или фермах, как правило, должны крепиться к последним со свесом не более 1,5 м. Увеличение свеса этих светильников может предусматриваться в случаях:

а) если это необходимо в целях обеспечения доступа к светильникам для обслуживания;

б) когда это позволяет улучшить экономические показатели установки без ухудшения качества освещения.

При установке светильников с увеличенным свесом конструкция их крепления должна ограничивать возможность раскачивания светильников под воздействием потоков воздуха.

В общем случае расчетная высота подвеса светильников определяется по выражению:

$$H_p = H - (h_c + h_p),$$

где  $H$  – высота помещения;

$h_c$  – высота свеса светильника;

$h_p$  – высота рабочей поверхности; при отсутствии конкретной величины принимается равной 0,8 м.

### **Методы выполнения светотехнических расчетов**

Светотехнические расчеты позволяют выполнить следующее:

а) определить количество и единичную мощность источников света осветительной установки, обеспечивающей требуемую освещенность в помещении (на рабочей поверхности);

б) рассчитать освещенность в любой точке поверхности освещаемого помещения для существующей (спроектированной) осветительной установки;

в) определить качественные показатели осветительной установки (коэффициент пульсации, цилиндрическую освещенность, показатели ослепленности и дискомфорта).

Основной светотехнический расчет освещения заключается в решении задач по приведенным выше пунктам а) и б). Для этой цели применяются два метода расчета электрического освещения: метод коэффициента использования светового потока и точечный метод.

*Метод коэффициента использования светового потока* применяется для расчета общего равномерного освещения горизонтальных поверхно-

стей, в основном для расчета светового потока источника (источников) света. Этот метод позволяет рассчитывать также среднюю освещенность горизонтальной поверхности с учетом всех падающих на нее потоков как прямых, так и отраженных. Он не применим при неравномерном размещении светильников, расчете освещенности в характерных точках как негоризонтальных, так и горизонтальных поверхностей.

Упрощенной формой метода коэффициента использования светового потока является *метод удельной мощности на единицу освещаемой площади*. Он применяется для ориентировочных расчетов общего равномерного освещения. Максимальная погрешность расчета по методу удельной мощности составляет  $\pm 20\%$ .

*Точечный метод* расчета освещения позволяет определить освещенность в любой точке поверхности освещаемого помещения при любом равномерном или неравномерном размещении светильников. Он часто используется как проверочный метод для расчета освещенности в характерных точках поверхности. С помощью точечного метода можно проанализировать распределение освещенности по всему помещению, определить минимальную освещенность не только на горизонтальной, но и наклонной поверхности, рассчитать аварийное и местное освещение.

Основной недостаток точечного метода расчета заключается в неучете отраженного светового потока от стен, потолка и рабочей поверхности помещения.

В тех случаях, когда не может быть применен ни один из названных методов, например, при расчете неравномерного освещения помещения со значительными отражающими свойствами стен, потолка и рабочей поверхности, то используют оба метода – комбинированный способ.

В таблице 1.3 приведены варианты заданий, которые распределяются преподавателем.

### **Пример выполнения расчета искусственного освещения**

Выполнить расчет искусственного освещения кухонной моечной оздоровительного лагеря, создаваемого люминесцентными лампами ЛБ40, если размеры помещения: ширина – 10 м, длина – 10 м. Высота подвеса светильника – 5 м.

Отделочные покрытия: потолки – побелены; стены – побелены; полы – темная керамическая плитка.

Таблица 1.3 – Варианты заданий

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Тип лампы	ЛБ40	ЛТБ40	ЛХБ40	ЛБ65	ЛТБ65	ЛХБ65	ЛБ80	ЛТБ80	ЛХБ80	ЛБ20
Стоимость монтажного оборудования, тыс. руб.	20000	25000	22000	18000	16000	21000	14000	17000	12000	15000
Размеры помещения										
Ширина, м	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Длина, м	7	9	12	14	12	16	14	15	14	20
Расчетная высота подвеса светильника, м	2,5	3,6	3,0	3,0	2,5	2,8	3,2	4,0	2,5	5,0
Функциональное назначение помещений	Рабочие комнаты и кабинеты	Кулуары, фойе	Читальные залы	Книгохранилища и архивы со стеллажным хранением	Санитарно-бытовые помещения	Обеденные залы, буфеты	Моечные кухонной и столовой посуды	Кабинеты врачей, перевязочные	Лестничные клетки	Кулуары, фойе
Вид отделочных покрытий	Принять самостоятельно									

## 1. Определение освещенности с помощью коэффициента использования

Световой поток  $\Phi$ , лм (люмен), определяется по формуле

$$\Phi = E \cdot S \cdot z \cdot k / N \cdot \eta \quad (1.1)$$

где  $E$  – заданная минимальная освещенность, лк (люкс);

$S$  – площадь помещения, м<sup>2</sup>;

$N$  – число светильников, шт.;

$\eta$  – коэффициент использования;

$z = E_{cp} / E_{min}$  – коэффициент характеризует неравномерность освещения и составляет 1,15 для ламп накаливания; 1,1 – для люминесцентных ламп; для компактных, галогеновых или светодиодных можно принять также равным 1,1.

$k$  – коэффициент запаса, учитывающий уменьшение светового потока лампы вследствие ее старения, запыленности и т.д. Для люминесцентных ламп коэффициент запаса равен 1,5; для ламп накаливания – 1,3.

Преобразовав формулу (1.1), число светильников можно определить так

$$N = E \cdot S \cdot z \cdot k / \Phi \cdot \eta \quad (1.2)$$

Производим выбор нормированной освещенности по таблице 1.4. В качестве количественной характеристики освещенности принята наименьшая освещенность рабочей поверхности – 200 лк.

Таблица 1.4 – Нормы освещенности некоторых категорий помещений

Помещение	Освещенность рабочих поверхностей, лк
1	2
Кабинеты, рабочие комнаты и офисы	300
Проектные залы и комнаты, конструкторские, чертежные бюро	500
Конференц-залы, залы заседаний	300
Кулуары, фойе	150
Читальные залы	400
Аудитории, учебные кабинеты, лаборатории в техникумах и высших учебных заведениях	400
Крытые бассейны	150
Биллиардная	300
Спальные комнаты дома отдыха	150
Кабинеты флюорографии, рентгеновских снимков	200
Помещения зубных техников, гипсовые, полимеризационные	500
Палаты-спальни санаториев	150
Обеденные залы ресторанов, столовых	200

Окончание таблицы 1.4

1	2
Торговые залы супермаркетов	500
Залы парикмахерских	400
Закройные отделения ателье	750
Жилые комнаты, гостиные, спальни квартир	150
Общедомовые лестницы и лестничные площадки	20
Отделения хранения белья прачечных	75
Моечные кухонной и столовой посуды, помещения для резки хлеба	200
Кабинеты врачей	500

По таблице 1.5 определяем световой поток одной лампы ЛБ40 – 3000 лм. Коэффициент запаса  $k$  учитывает запыленность помещения, снижение светового потока ламп в процессе эксплуатации. Значение  $k$  принимается равным  $k = 1,5$ .

Таблица 1.5 – Технические данные некоторых люминесцентных ламп

Тип лампы	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Световая отдача, лм/Вт	Тип лампы	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Световая отдача, лм/Вт
ЛБ40	40	3000	75	ЛБ80	80	5220	65,2
ЛТБ40	40	2780	69,5	ЛТБ80	80	4720	59
ЛХБ40	40	2780	69,5	ЛХБ80	80	4600	57,5
ЛД40	40	2340	58,5	ЛД80	80	4070	50,9
ЛДЦ40	40	2100	52,5	ЛДЦ80	80	3560	44,5

Для определения коэффициента использования  $\eta$  находим индекс помещения  $i$  и предполагаемые коэффициенты отражения поверхностей помещения: потолка –  $r_n$ , стен –  $r_c$ , пола –  $r_p$ .

Индекс помещения представляет собой соотношение размеров освещаемого помещения и высоты подвеса светильников в нем:

$$i = A \cdot B / [H_p \cdot (A + B)], \quad (1.3)$$

где  $A$  и  $B$  – длина и ширина помещения, м;

$H_p$  – расчетная высота подвеса светильников, м.

Упрощенное определение  $i$  для  $\alpha = A / B \leq 3$  рекомендуется выполнять по таблице 1.6. Для  $\alpha = A / B > 3$  (удлиненные помещения) – по таблице 1.7.

Таблица 1.6 – Определение индекса помещения  $i$  при  $\alpha = A / B \leq 3$ .

Площадь помещения $S, \text{ м}^2$	Индекс помещения $i$ при расчетной высоте $h$ , м, равной															
	2,0	2,2	2,5	2,7	3,0	3,5	4,0	4,5	5	5,5	6,0	7,0	8,0	9,0	10	
15	0,9	0,8	0,76	0,76	0,5	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
17	1,0	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	
20	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5	-	-	-	-	-	-	-	
25	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5	-	-	-	-	-	-	
30	1,2	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5	-	-	-	-	-	
40	1,5	1,5	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	-	-	-	-	
50	1,7	1,5	1,2	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	-	-	-	
60	1,7	1,7	1,5	1,5	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	-	-	-	
70	2,0	1,7	1,5	1,5	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6	0,5	-	-	
80	2,25	2,0	1,7	1,5	1,5	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	-	-	
90	2,25	2	1,75	1,5	1,5	1,25	1,1	1	0,9	0,8	0,8	0,7	0,6	0,5	-	
100	2,5	2,25	2	1,75	1,5	1,5	1,25	1,1	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	-	
120	2,5	2,25	2	2	1,75	1,5	1,25	1,1	1	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	

Таблица 1.7 – Определение индекса помещения  $i$  при  $\alpha = A/B > 3$ .

$\alpha = A/B$	Индекс помещения $i$ при расчетной высоте $h$ , м, равной															
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5	3	3,5	4	5
3 - 4	2,25	2	1,75	1,5	1,5	1,25	1,1	1	0,9	0,8	0,8	0,7	0,6	0,5	-	-
5 - 6	2,5	2,25	2	1,75	1,5	1,5	1,25	1,1	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	-	-
7 - 9	2,5	2,25	2	2	1,75	1,5	1,25	1,1	1	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5
10	-	-	-	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,25	1,25	1,5	1,75	2,0	2,5
3,0	15	-	-	-	-	0,5	0,5	0,6	0,6	0,8	0,1	1,0	1,1	1,95	1,5	1,75
90	2,5	20	-	-	-	-	-	-	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,25
1,5	1,75	2,25	30	-	-	-	-	-	-	-	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,9

Коэффициенты отражения поверхностей помещения потолка  $r_n$  и стен  $r_c$  можно приближенно оценить по таблице 1.8. Коэффициент отражения расчетной поверхности пола, как правило, принимается  $r_p = 0,1$ .

В кухонной моечной потолка и стены побелены. По данным таблицы 1.8 для потолков подойдет категория «побеленный потолок в сырых помещениях», находящаяся во 2-й строке таблицы. Стены можно отнести к категории «побеленные стены при незанавешенных окнах» – тоже во 2-й строке таблицы 1.8.

Пол в помещении темного цвета, поэтому значение коэффициента отражения для него принимаем из категории «обои темные» (12-я стр. табл. 1.8).

Таблица 1.8 – Примерные коэффициенты отражения поверхностей

Характер отражающей поверхности	Коэффициент отражения $r$ , %
1. Побеленный потолок; побеленные стены с окнами, закрытыми белыми шторами	70
2. Побеленные стены при незанавешенных окнах; побеленный потолок в сырых помещениях; чистый бетонный и светлый деревянный потолок	50
3. Бетонный потолок в грязных помещениях; деревянный потолок; бетонные стены с окнами; стены, оклеенные светлыми обоями	30
4. Стены и потолки в помещениях с большим количеством темной пыли; сплошное остекление без штор; красный кирпич нештукатуренный; стены с темными обоями	10
5. Красный кирпич	8...10
6. Дерево сосна светлая	50
7. Дерево фанера	38
8. Дерево дуб светлый	33
9. Белый мрамор	80
10. Белая фаянсовая плитка	70
11. Обои белые, кремовые, светло-желтые	65...85
12. Обои темные	25
13. Оконное стекло (толщина 1-2 мм)	8

На основании правого столбца таблицы 1.8 коэффициенты отражения поверхности составят:  $r_n = 0,5$ ;  $r_c = 0,5$ ;  $r_p = 0,25$ .

Коэффициент использования  $\eta$  определяется по найденным значениям индекса помещения  $i_n$  и коэффициентов отражения  $r_n$ ,  $r_c$  и  $r_p$  для выбранного типа светильников.

Значения коэффициентов использования для светильников с типовыми кривыми силами света приведены в таблице 1.9.

Так как значение  $r_p$  получилось равным 0,25, то примем значение  $\eta$  чуть более 47% (т.е. ближе к  $i = 0,8$ ). Допустим 50%, т.е. в формулу подставляем значение 0,5.

Находим искомое количество люминесцентных ламп ЛБ40 по формуле (1.2)

$$N = 200 \cdot 100 \cdot 1,1 \cdot 1,5 / 3000 \cdot 0,5 = 22.$$

Необходимое количество ламп типа ЛБ40 составляет 22 шт.

Таблица 1.9 – Значение коэффициента использования  $\eta$

Тип КСС	Значение коэффициента использования $\eta$																	
	при $r_n = r_c = 0,5$ $r_p = 0,3$ и $i_n$ , равном						при $r_n = 0,5$ ; $r_c = 0,3$ ; $r_p = 0,1$ и $i_n$ , равном						при $r_n = 0,3$ ; $r_c = r_p = 0,1$ и $i_n$ , равном					
	0,6	0,8	1,25	2	3	5	0,6	0,8	1,25	2	3	5	0,6	0,8	1,25	2	3	5
Л	32	47	57	69	79	90	31	46	55	65	74	83	24	40	50	62	71	77
М	31	43	53	63	72	80	23	36	45	56	65	75	17	29	38	46	58	67
Д-1	34	47	54	63	70	77	27	40	48	55	65	73	27	35	42	52	61	68
Д-2	40	48	61	74	82	84	33	42	52	69	75	86	28	36	48	63	75	81
Г-1	44	53	69	77	83	80	41	48	64	76	70	88	35	45	60	73	68	77
Г-2	53	63	76	85	90	94	48	58	72	83	86	93	43	54	68	79	85	90

При использовании в качестве источника света ламп накаливания типа Б220-230-100 с номинальным световым потоком  $\Phi = 1380$  лм (принимается по таблице 1.10) при значениях коэффициентов  $k = 1,3$ ;  $z = 1,15$  их искомое количество по формуле (1.2) составит

$$N = 200 \cdot 100 \cdot 1,3 \cdot 1,15 / 1380 \cdot 0,5 = 43,33 \approx 44.$$

Таким образом, для освещения кухонной моечной оздоровительного лагеря, площадью  $100 \text{ м}^2$ , необходим монтаж 22 люминесцентных ламп ЛБ40 или 44 ламп накаливания типа Б220-230-100.

Таблица 1.10 – Технические характеристики ламп накаливания типа В, Б, РН

Тип лампы	Мощность, Вт	Световой поток, лм
1	2	3
В 220-230-25-1	25	220
Б 220-230-251	25	200
Б 220-230-25-2	25	200
Б 220-230-40	40	430
Б 220-230-40-1	40	430
Б220-230-40-2	40	415
Б 225-235-40-2	40	355
Б 220-230-60	60	730
Б 220-230-60-1	60	730
Б 220-230-60-2	60	715
Б 225-235-60-2	60	655
Б 220-230-75-1	75	960
Б 220-230-75-2	75	960
Б 220-230-100	100	1380

Окончание таблицы 1.10

1	2	3
Б 220-230-100-1	100	1380
Б 225-235-100-2	100	1203
Б 235-245-150	150	2180
Б 235-245-150-1	150	2180
РН 220-230-200-1	200	2950
РН220-230-300	300	3350
РН 230-240-300	300	4800
РН 215-225-500	500	8400
РН 215-225-500-1	500	8400

Примечание. Буквы обозначают: В – вакуумная; Б – биспиральная с аргоновым наполнением; РН – лампы накаливания различного назначения.

Кроме того, существуют несколько упрощенных способов расчета освещенности с помощью коэффициента использования. Для расчета можно рекомендовать два из них: определение удельного числа светильников и определение условной удельной мощности.

## 2. Расчет освещенности по удельному числу светильников

Расчет требуемого числа светильников производится по формуле

$$N = N_{y\partial} \cdot \text{КЕФ} \cdot n_m / n_{\partial}, \quad (1.6)$$

где  $N_{y\partial}$  – удельное число светильников, определяемое по таблице 1.11;

КЕФ – поправочный коэффициент на освещенность и световой поток источников света;

$n_m$  – число ламп, для которого рассчитана данная таблица удельного числа светильников;

$n_{\partial}$  – действительное число ламп в светильнике.

Таблица 1.11 – Удельное число светильников

Площадь помещения $S, \text{ м}^2$	Удельное число светильников $N_{y\partial}$ при коэффициенте отражения, %														
	$r_n = 70, r_c = 50, r_p = 30$					$r_n = 70, r_c = 50, r_p = 10$					$r_n = 50, r_c = 50, r_p = 10$				
	и расчетной высоте $h, \text{ м}$														
	2,5	3	4	5	6	2,5	3	4	5	6	2,5	3	4	5	6
80	4,94	5,4	6,1	7,0	7,8	5,4	5,9	6,6	7,6	8,4	6,7	7,4	8,7	10,1	12,2
100	6,03	6,4	7,2	8,1	9,2	6,7	7,0	7,8	8,8	9,9	8,1	8,6	10,1	11,7	13,8
120	7,07	7,4	8,3	9,2	10,3	7,7	8,1	9,1	10,0	11,2	9,3	10,1	11,5	13,2	14,9

В большинстве случаев отношение  $n_m / n_\partial = 1$ , поэтому вычисление можно свести к формуле

$$N = N_{y\partial} \cdot \text{КЕФ}. \quad (1.7)$$

Решим задачу, приведенную выше, с использованием таблицы удельного числа светильников (см. табл. 1.11).

Больше всего по принятым нами параметрам отражения подойдет столбец со значениями  $r_n = 50$ ,  $r_c = 50$ ,  $r_p = 10$  (напомним, что значение  $r_p$  мы приняли равным 0,25).

Учитывая площадь помещения в  $100 \text{ м}^2$  на пересечении строки и столбца с учетом высоты  $h = 5 \text{ м}$ , находим значение  $N_{y\partial} = 11,7$ .

С учетом того, что принятое значение  $r_p = 25\%$ , а не  $10\%$  – немного уменьшаем величину  $N_{y\partial}$  до 11.

Теперь, по справочным данным таблицы 1.12, находим значение поправочного коэффициента КЕФ на освещенность и световой поток. Так как заданная освещенность составляет 200 лк, а лампы – тип ЛБ40, находим  $\text{КЕФ} = 2$ .

Таблица 1.12 – Значение коэффициента КЕФ

Освещенность Е, лк	Значение поправочного коэффициента КЕФ люминесцентных ламп типа											
	ЛБ40	ЛТБ40	ЛХБ40	ЛБ65	ЛТБ65	ЛХБ65	ЛБ80	ЛТБ80	ЛХБ80	ЛБ20	ЛТБ20	ЛХБ20
	при номинальном световом потоке, лм, равном											
	3000	2780	2780	4550	4200	4100	5220	4720	4600	1180	975	950
150	1,5	1,62	1,62	0,99	1,06	1,1	0,85	0,99	0,98	3,81	4,62	4,74
200	2	2,16	2,16	1,32	1,42	1,46	1,14	1,32	1,3	5,08	6,16	6,32
300	3	3,24	3,24	1,98	2,13	2,19	1,71	1,98	1,95	7,62	9,24	9,48

По формуле (1.7) находим количество ламп:

$$N = 11 \cdot 2 = 22,$$

т.е. необходимы 22 лампы ЛБ40.

### 3. Расчет освещенности по условной удельной мощности

Задача расчета общего равномерного освещения по таблицам удельной мощности сводится к определению необходимой установленной мощности или числа ламп осветительной установки и мощности источников света в светильнике, когда число светильников известно (задается). Условная удельная мощность рассчитывается по формуле

$$\omega_{ysl} = P \cdot N / S = E \cdot k \cdot z / C \cdot \eta, \quad (1.8)$$

где  $C$  – световая отдача, лм/Вт;

$P$  – мощность ламп в светильнике, Вт;

$\omega_{усл}$  – условная удельная мощность, Вт/м<sup>2</sup>.

При расчете условной удельной мощности принимаем следующие допущения:

– для светильников с люминесцентными лампами источник света – лампа типа ЛБ40 с номинальным световым потоком  $\Phi = 3000$  лм и световой отдачей  $C = 75$  лм/Вт;

– освещенность  $E = 100$  лк;

– коэффициент запаса  $k = 1,5$ ;

–  $z = 1,1$ ,

тогда формула (1.8) примет вид

$$\omega_{усл} = 100 \cdot 1,5 \cdot 1,1 / 75 \cdot \eta = 2,2 / \eta. \quad (1.9)$$

Коэффициент использования для данного помещения был найден ранее и составил  $\eta = 0,5$ .

По формуле (1.9) рассчитываем условную удельную мощность для светильников с люминесцентными лампами:

$$\omega_{усл} = 2,2 / 0,5 = 4,4.$$

Действительная удельная мощность для освещенности и световой отдачи рассчитывается по формуле

$$\omega = \omega_{усл} \cdot \text{КЕФ}, \quad (1.10)$$

где КЕФ – поправочный коэффициент на освещенность и световую отдачу.

Условная удельная мощность светильников приведена в таблице 1.13, поправочный коэффициент – в таблице 1.14.

Таблица 1.13 – Значения условной удельной мощности светильников для ламп ЛБ40

Площадь помещения $S$ , м <sup>2</sup>	Условная удельная мощность светильников $\omega_{усл}$ при коэффициенте отражения, %														
	$r_n = 50, r_c = 50, r_p = 30$					$r_n = 70, r_c = 50, r_p = 10$					$r_n = 0, r_c = 0, r_p = 0$				
	и расчетной высоте $h$ , м														
	2,5	3	4	5	6	2,5	3	4	5	6	2,5	3	4	5	6
80	4,5	5,1	5	6	7,3	5,4	5,9	6,6	7,6	8,4	6,7	7,3	8,7	10,2	12,1
100	4,4	4,9	5,2	4,6	7	5,3	5,6	6,2	7,1	7,9	6,4	6,9	8,1	9,3	11
120	4,3	4,7	5,1	5,8	6,5	5,1	5,4	6	6,7	7,5	6,2	6,7	7,7	8,8	9,9

Таблица 1.14 – Значение коэффициента КЕФ

Освещенность $E$ , лк	Значение поправочного коэффициента КЕФ люминесцентных ламп типа											
	ЛБ20	ЛТБ20	ЛХБ20	ЛБ40	ЛХБ40	ЛХБ65	ЛБ65	ЛТБ65	ЛХБ65	ЛБ80	ЛТБ80	ЛХБ80
	при световой отдаче $C$ , лм/Вт, равной											
	59	48,7	47,5	75	69,5	69,5	70	64,6	63,1	65,2	59	57,5
150	1,9	2,3	2,4	1,5	1,6	1,6	1,6	1,7	1,8	1,7	1,9	1,2
200	2,5	3,1	3,2	2	2,2	2,2	2,1	2,3	2,4	2,3	2,54	2,6
300	3,8	4,6	4,7	3	3,2	3,2	3,2	3,5	3,6	3,4	3,5	3,9

Для определения условной удельной мощности можно воспользоваться таблицей 1.13. Ближайшее значение для  $h = 5$  м приведено для значений  $r_n = 50$ ,  $r_c = 50$ ,  $r_p = 30$ ,  $r_p$  был принят  $r_p = 25\%$ , поэтому табличное значение для площади  $S = 100$  м<sup>2</sup> и высоты  $h = 5$  м немного уменьшаем до значения 4,4, т.е. получим то же значение.

Далее определяем условное удельное число светильников по формуле

$$N_{усл} = \omega_{усл} \cdot S / P. \quad (1.11)$$

Для светильников с люминесцентными лампами формула (1.11) примет вид

$$N_{усл} = \omega_{усл} \cdot S / 40 = 4,4 \cdot 100 / 40 = 11.$$

Условное удельное число светильников с люминесцентными лампами равно 11. Далее по формуле (1.11) определяем требуемое количество ламп. Коэффициент КЕФ принимаем по таблице 1.14. Для выбранной лампы ЛБ40 и необходимой по условию освещенности  $E = 200$  лк значение коэффициента КЕФ = 2. Преобразовав формулу (1.8), определим требуемое количество ламп:

$$N = 11 \cdot 2 = 22.$$

Таким образом, полученные в ходе различных вычислений решения подтвердили необходимость установки 22 люминесцентных ламп типа ЛБ40, мощностью 40 Вт.

### Контрольные вопросы

1. Как классифицируются источники света?
2. На основании каких требований осуществляется выбор источника света?
3. В каких случаях допускается применение ламп накаливания?
4. Где рекомендуется применять люминесцентные лампы?
5. На какие классы подразделяются светильники?
6. Какие факторы учитывают при выборе высоты подвеса светильников?

## Практическое занятие № 2

# ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЭНЕРГОЭКОНОМИЧНЫХ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

### Общие сведения

Экономический эффект от применения энергоэкономичных осветительных приборов (с использованием ЭПРА) достигается за счет:

- повышения излучающей способности ламп с использованием более высокой частоты колебания электрического тока и, как следствие, снижения мощности ламп при сохранении освещенности;
- исключения стробоскопического явления, характерного для люминесцентных ламп, и шума электромагнитных дросселей.

### Методика определения экономии топлива от применения энергоэкономичных осветительных приборов

1. Определение расхода топлива при применении ламп накаливания либо люминесцентных ламп с электромагнитным дросселем.

1.1. Определение потребляемого количества электроэнергии (кВт·ч) при работе освещения:

$$\mathcal{E}_1 = \sum (n_i \cdot N_{ли} \cdot T_{pi}),$$

где  $n_i$  – количество осветительных приборов одинаковой мощности, шт.;  
 $N_{ли}$  – мощность применяемых одинаковых ламп, кВт;  
 $T_{pi}$  – число часов работы в году, ч.

1.2. Определение расхода топлива на отпуск электроэнергии (т у.т.), используемой на освещение:

$$B_1 = \mathcal{E}_1 \cdot (1 + k_{ном} / 100) \cdot b_{ээ} \cdot 10^{-6},$$

где  $b_{ээ}$  – удельный расход топлива на отпуск электроэнергии принимается равным фактическому расходу топлива на замыкающей станции в энергосистеме (Лукомльской ГРЭС) за год, предшествующий составлению расчета, т у.т. / кВт·ч; (в расчетах принять 312,2 т у.т. / кВт·ч);

$k_{ном}$  – коэффициент, учитывающий потери в электрических сетях (в расчетах принять 7%).

При этом электроэнергия, необходимая для освещения, принимается от замыкающей станции энергосистемы с учетом потерь в электрических сетях.

2. Определение расхода топлива при применении люминесцентных ламп с электронной пускорегулирующей аппаратурой:

2.1. Определение потребляемого количества электроэнергии при работе освещения (кВт·ч):

$$\mathcal{E}_2 = \Sigma (k_i \cdot N_{эли} \cdot T_{pi}),$$

где  $k_i$  – количество энергоэкономичных осветительных приборов одинаковой мощности, шт.;

$N_{эли}$  – мощность применяемых одинаковых осветительных приборов, кВт.

2.2. Определение расхода топлива на отпуск электроэнергии, используемой на освещение:

$$B_2 = \mathcal{E}_2 \cdot (1 + k_{ном} / 100) \cdot b_{ээ} \cdot 10^{-6}, \text{ т у.т.}$$

При этом электроэнергия, необходимая для освещения, принимается от замыкающей станции энергосистемы с учетом потерь в электрических сетях.

3. Определение экономии топлива от внедряемого мероприятия:

$$\Delta B = B_1 - B_2, \text{ т у.т.}$$

### **Методика расчета срока окупаемости при внедрении энергоэкономичных осветительных приборов**

1. Определение укрупненных капиталовложений:

1.1. Стоимость оборудования определяется согласно договорным ценам (на основании тендера).

1.2. Стоимость проектных работ – до 10 % от стоимости строительно-монтажных работ.

1.3. Стоимость строительно-монтажных работ составляет 25...30% от стоимости оборудования.

1.4. Стоимость пуско-наладочных работ – 3...5% от стоимости оборудования.

1.5. Капиталовложения в мероприятие (тыс. руб.) рассчитывают по формуле

$$K_{он} = C_{об} + 0,1 \cdot C_{смп} + (0,25 - 0,3) \cdot C_{об} + (0,03 - 0,05) \cdot C_{об}.$$

2. Определение сроков окупаемости мероприятия (лет) за счет экономии топлива:

$$Cp_{ок} = K_{он} / (\Delta B \cdot C_{топл}),$$

где  $K_{он}$  – капиталовложения в мероприятие, тыс. руб.;

$\Delta B$  – экономия топлива от внедрения мероприятия, т у.т.;

$C_{топл}$  – стоимость 1 т у.т. (тыс. руб.), уточняется на момент составления расчета (в расчетах принять стоимость 1 т у.т. 180 долл. США).

### **Контрольные вопросы**

1. За счет чего достигается экономический эффект от применения энергоэкономичных осветительных приборов?
2. Как рассчитывается количество электроэнергии, потребляемой при работе освещения?
3. Как определяется величина капиталовложений при внедрении энергоэкономичных осветительных приборов?

# Практическое занятие № 3 РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВА ЭНЕРГИИ, ВЫРАБАТЫВАЕМОЙ СОЛНЕЧНЫМИ КОЛЛЕКТОРАМИ И СОЛНЕЧНЫМИ БАТАРЕЯМИ

## Часть 1. Расчет солнечного коллектора

### Цель практического занятия:

1. Изучить конструкции и принцип действия солнечных коллекторов.
2. Выполнить расчет количества трубок вакуумного коллектора согласно варианту задания.

### Общие сведения

Солнечный коллектор – устройство, предназначенное для поглощения солнечной энергии, которую выделяет видимое и ближнее инфракрасное излучение, для последующего преобразования ее в пригодную для использования людьми тепловую энергию.

Существуют следующие виды солнечных коллекторов:

- солнечные воздушные коллекторы;
- плоские солнечные коллекторы;
- вакуумные солнечные коллекторы.

Конструктивно плоский солнечный коллектор выполнен в виде прямоугольной пластины (рис. 3.1).

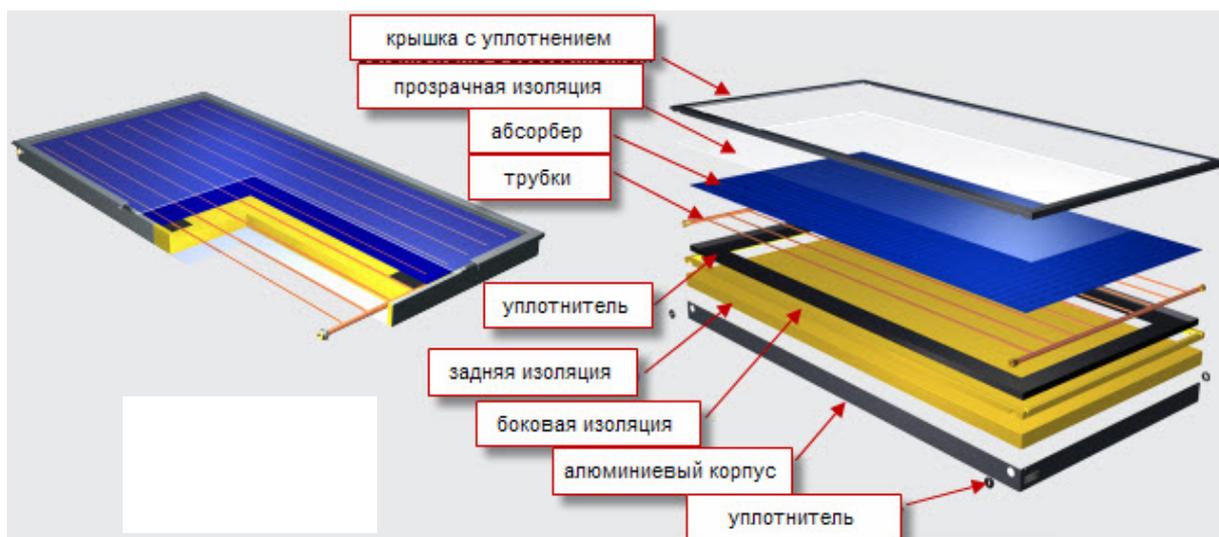


Рисунок 3.1 – Конструкция плоского солнечного коллектора

В теплоизолированном корпусе коллектора находится основной элемент – абсорбер (поглощающая пластина). К абсорберу припаяны трубки. Материал абсорбера и трубок может быть разным, как правило, применяются металлы с хорошими теплопроводящими характеристиками, такие как медь и алюминий. Сверху поглощающая пластина закрыта прозрачной изоляцией. Для этого применяют закаленное стекло с низким содержанием окислов железа. Это способствует большему проникновению солнечной энергии на пластину. Стеклопанель и надежная герметизация предохраняет поглощающую панель от атмосферных осадков. Такой коллектор может нагревать воду до 190...200°С.

### **Вакуумный коллектор с прямой теплопередачей воде**

В таком коллекторе (рис. 3.2) вакуумные трубки соединены с накопительным баком. Из контура теплообменника вода течет прямо в трубки, нагревается и возвращается обратно. Такие системы еще называют термосифонными. Одно из преимуществ этих систем – непосредственная передача тепла воде без участия других элементов. Термосифонные системы работают на принципе явления естественной конвекции, когда теплая вода стремится вверх. В термосифонных системах бак должен быть расположен выше коллектора.



Рисунок 3.2 – Вакуумный коллектор с прямой теплопередачей воде

Когда вода в трубках коллектора нагревается, она становится легче и естественно поднимается в верхнюю часть бака. Более прохладная вода в баке течет вниз в трубки, таким образом, обеспечивается циркуляция во всей системе. В маленьких системах бак объединен с коллектором и не рассчитан на магистральное давление, поэтому термосифонные системы нужно использовать либо с подачей воды из вышерасположенной емкости, либо через уменьшающие давление редукторы. Такая система имеет минимальное гидравлическое сопротивление.

### **Вакуумный коллектор с прямой теплопередачей воде и встроенным теплообменником**

Такой коллектор (рис. 3.3) имеет все преимущества и особенности предыдущего типа коллекторов. Отличием является наличие встроенного в бак эффективного теплообменника, что позволяет подсоединить коллек-



Рисунок 3.3 – Вакуумный коллектор с прямой теплопередачей воде и встроенным теплообменником

тор с баком к напорной сети водоснабжения. При этом в трубках по-прежнему практически нет давления. Одно из преимуществ – возможность заполнения водонагревательного контура незамерзающей жидкостью, что позволяет использовать его и при небольших минусовых температурах (до минус 5...10°C). Другим преимуществом является то, что в коллекторе не откладываются соли жесткости и другие загрязнения, так как объем теплоносителя один и тот же, а расходимая вода проходит только по внутреннему медному теплообменнику.

### Вакуумный коллектор с термотрубками

Главным элементом солнечных коллекторов данной конструкции (рис. 3.4) является термотрубка – закрытая медная труба с небольшим содержанием легкокипящей жидкости. Работа высокотехнологичных вакуумных трубок основана на простом принципе тепловой трубы, которая представляет собой полый медный стержень, запаянный с обоих концов с расширением в верхней части. Внутри него находится нетоксичная жидкость (иноргатик). При нагревании жидкости до температуры кипения она закипает и в парообразном состоянии поднимается в верхнюю часть – наконечник (конденсатор), температура на котором может достигать 250...380°C. И там конденсируется, отдавая тепло. А конденсат стекает по стенкам трубки вниз и процесс повторяется. Тепловая трубка вставляется в стеклянную трубу и фиксируется между двумя алюминиевыми ребрами. Форма ребер такова, что площадь их контакта с тепловой трубкой и внутренней поверхностью вакуумной трубы максимальна. Такая модель ребер обеспечивает максимальную передачу тепла к медной тепловой трубке, а потом теплоносителю в проточном теплообменнике. Внутренняя полость тепловой трубки вакуумирована, поэтому эта жидкость испаряется даже при температуре около 30°C. При меньшей температуре трубка «запирается» и дополнительно сохраняет тепло.



Рисунок 3.4 – Вакуумный коллектор с термотрубками

Тепло от головки термотрубки передается основанию коллектора – приемнику. Приемник солнечного коллектора медный с полиуретановой

изоляция закрыт нержавеющей корпусом или корпусом из алюминиевого сплава. Передача тепла происходит через медную «гильзу» приемника. Благодаря этому отопительный контур отделен от трубок. При повреждении одной трубки коллектор продолжает работать. Процедура замены трубок очень проста, при этом нет необходимости сливать незамерзающую смесь из контура теплообменника.

Вакуумная труба состоит из двух стеклянных труб. Конструкция стеклянных вакуумных труб похожа на конструкцию термоса, одна трубка вставлена в другую с большим диаметром (рис. 3.5). Внешняя труба выполнена из прозрачного сверхпрочного боросиликатного стекла. Внутренняя труба также сделана из прозрачного боросиликатного стекла, покрытого специальным селективным нанопокрытием, которое обеспечивает максимальное поглощение тепла при минимальном отражении. Во избежание кондуктивных и конвективных теплопотерь из пространства между двумя трубами выкачан воздух и создан вакуум. Для поддержания вакуума между двумя стеклянными трубами используется бариевый газопоглотитель (такой же, как в телевизионных трубках). При производстве газопоглотитель подвергается воздействию высоких температур, вследствие чего нижний конец вакуумной трубы покрывается слоем чистого бария. Этот слой бария поглощает вещества, которые выделяются из трубы в процессе хранения и эксплуатации, поддерживая таким образом состояние вакуума. Слой бария также является четким визуальным индикатором состояния вакуума. Когда вакуум исчезает, серебристый бариевый слой становится белым. Это дает возможность легко определить исправность трубы, внутри которой закреплена медная тепловая трубка с алюминиевыми ребрами для передачи тепла.

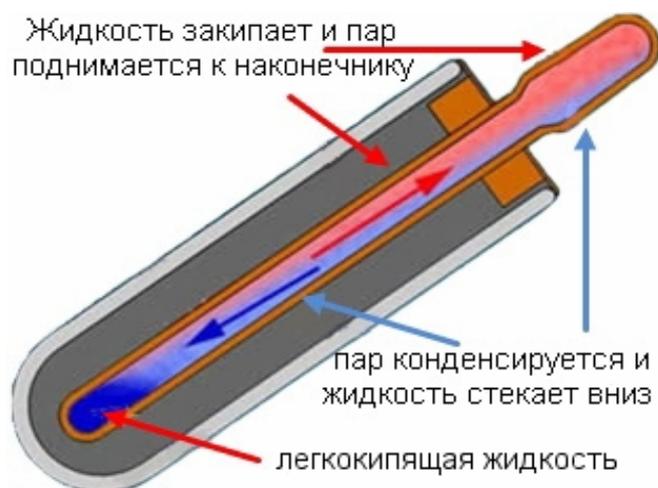


Рисунок 3.5 – Конструкция вакуумной трубки

Величины трубок вакуумных коллекторов напрямую влияют на показатель выработки энергии. Так, чем они тоньше и меньше, тем меньше тепловой энергии сможет приносить такая система. Нормальным считается диаметр трубок в 58 мм при длине 1,2...2,1 м.

В таблице 3.1 представлена сравнительная характеристика вышеуказанных солнечных коллекторов.

Таблица 3.1 – Сравнительная характеристика солнечных коллекторов

Вид солнечного коллектора	Сравнительная эффективность апрель-октябрь в зависимости от площади, %	Сравнительная эффективность март-ноябрь в зависимости от площади, %	Проблема размножения бактерий	Сравнительная цена, %	Ремонтопригодность, %	Нагрев теплоносителя до температуры, °С
Вакуумный с прямой теплопередачей воде	90	0	Есть	20	70	95
Вакуумный с прямой теплопередачей воде и встроенным теплообменником	95	70	Нет	65	60	95
Вакуумный с термотрубками	100	100	Нет	100	100	250
Плоский	60	33	Есть	60	30	95

Существуют несколько схем для подогрева воды:

1. Одноконтурные – для использования сезонно или в местностях, где нет отрицательных температур в течение всего года. Вода должна быть нежесткой и чистой.

2. Двухконтурные – для круглогодичного использования, а также в местностях с жесткой и/или загрязненной механическими примесями водой.

Каждая из систем может иметь естественную и принудительную циркуляцию теплоносителя. Естественная (пассивная) циркуляция теплоносителя происходит без участия насосов и помп. Нагретая вода в контуре

поднимается вверх, а холодная – опускается вниз. В этом случае бак-аккумулятор должен размещаться выше коллектора. В случае искусственной (активной) циркуляции движение теплоносителя обеспечивается насосной установкой.

В системах с принудительной циркуляцией в коллекторный контур включается циркуляционный насос, что дает возможность устанавливать бак-аккумулятор в любой части здания. Направление движения теплоносителя должно совпадать с направлением естественной циркуляции в коллекторах. Включение и выключение насоса производится контроллером, представляющим собой дифференциальное управляющее реле, сравнивающего показания датчиков температуры, установленных на выходе из коллекторов и в баке. Насос включается, если температура в коллекторах выше температуры воды в баке. Существуют контроллеры, позволяющие менять скорость вращения и подачу теплоносителя насоса, поддерживая постоянную разность температур между коллекторами и баком.

Схема циркуляции теплоносителя в солнечной установке с принудительной циркуляцией теплоносителя представлена на рисунке 3.6.

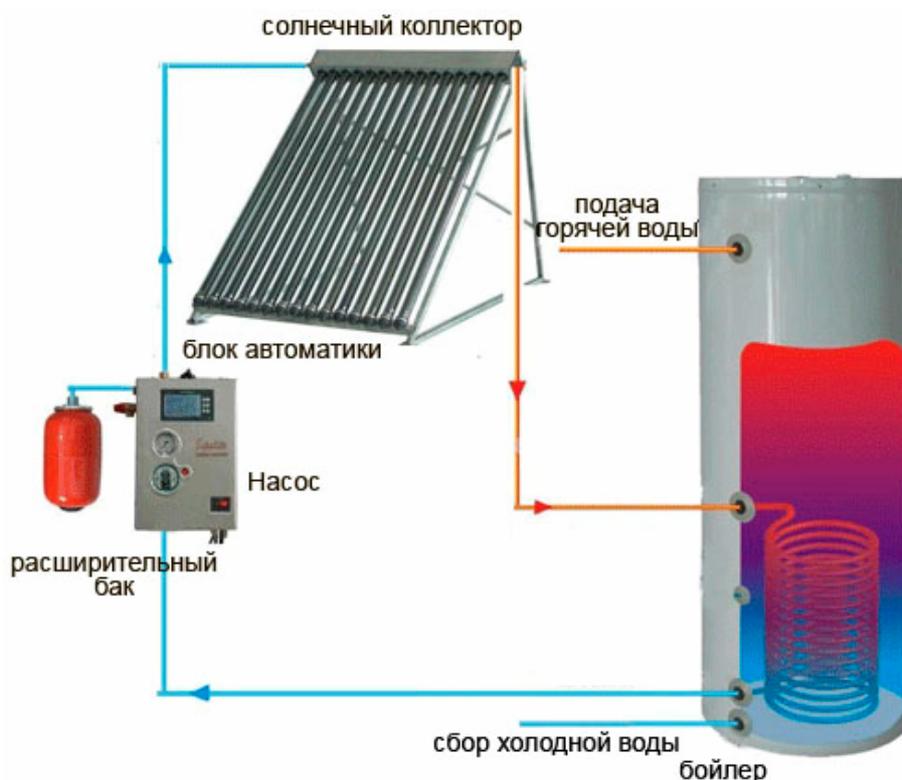


Рисунок 3.6 – Солнечная установка с принудительной циркуляцией теплоносителя

Количество тепловой энергии, которое вырабатывает солнечный коллектор, зависит:

- 1) от региона эксплуатации солнечного коллектора;
- 2) от площади поглощения солнечного коллектора;
- 3) от КПД;
- 4) от угла наклона солнечного коллектора по отношению к солнечному излучению.

Самого высокого коэффициента энергоотдачи солнечной установки за год можно добиться при ее расположении в южном направлении с наклоном  $30...35^\circ$  к горизонтали. Но даже при значительном отклонении от этих условий (от юго-запада до юго-востока с наклоном от  $25$  до  $55^\circ$ ) целесообразен монтаж тепловой солнечной установки.

На рисунке 3.7 наглядным образом демонстрируется потеря энергоотдачи в том случае, если коллекторная панель расположена неоптимально. Из рисунка видно, что меньший наклон эффективнее, если площадь коллектора нельзя сориентировать на юг.

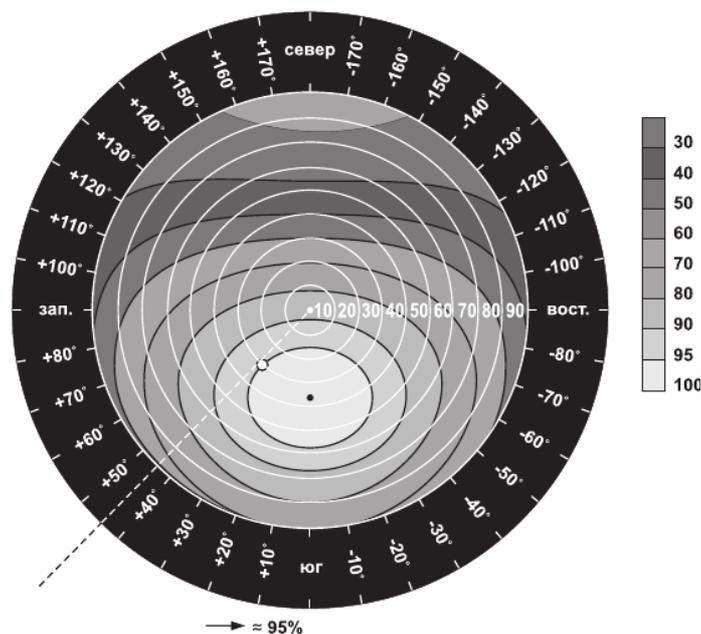


Рисунок 3.7 – Энергоотдача солнечного коллектора в зависимости от расположения

Например, тепловая коллекторная установка с наклоном  $30^\circ$  даже при  $45^\circ$  юго-западного направления дает еще почти 95% оптимальной энергоотдачи. При ориентации солнечной установки в восточном или западном направлении можно еще рассчитывать на 85% отдачи, если скат крыши составляет  $25...40^\circ$ .

В таблице 3.2 приведен оптимальный угол наклона коллекторов в зависимости от назначения системы.

Таблица 3.2 – Оптимальные углы наклона солнечных коллекторов

Использование солнечного тепла для	Оптимальный угол наклона гелиоколлекторов, в градусах
приготовления горячей воды	от 30 до 45
приготовление горячей воды + отопление помещений	от 45 до 53
приготовление горячей воды + нагрев бассейна	от 30 до 45
приготовление горячей воды + нагрев бассейна + отопление помещений	от 45 до 53

Угол наклона  $\alpha$  – это угол между горизонталью и коллектором. При установке на скатной крыше угол наклона задается скатом кровли (рис. 3.8). Наибольшее количество энергии воспринимается поглотителем коллектора при расположении плоскости коллектора под прямым углом к направлению инсоляции. Поскольку угол инсоляции зависит от времени суток и года, ориентацию плоскости коллектора следует выполнять в соответствии с высотой Солнца в период поступления наибольшего количества солнечной энергии.

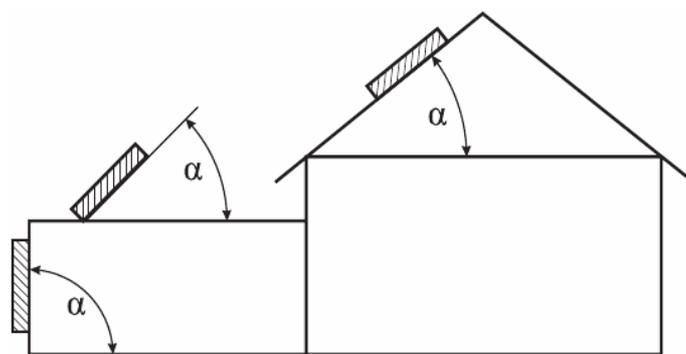


Рисунок 3.8 – Варианты расположения солнечных коллекторов под углом наклона  $\alpha$

Азимут описывает отклонение плоскости коллектора от направления на юг; если плоскость коллектора ориентирована на юг, то азимут равен  $0^\circ$ . Поскольку наиболее интенсивная инсоляция наблюдается в середине дня, плоскость коллектора должна быть ориентирована по возможности на юг. Приемлемы также отклонения от направления на юг до  $45^\circ$  – на юго-восток или юго-запад (см. пример на рис. 3.9).

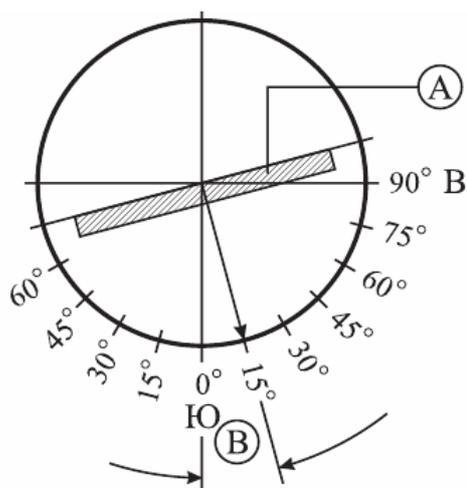


Рисунок 3.9 – Отклонение солнечного коллектора с южного направления 15° на восток:  
А – плоскость коллектора; В – азимут

Для характеристики солнечного коллектора существуют три основные площади (рис. 3.10).

**Общая площадь.** Данная площадь характеризует габаритные размеры солнечного коллектора и равна произведению его ширины и длины. Этот параметр дает информацию, какую конкретно площадь занимает солнечный коллектор на крыше или другом планируемом месте установки солнечных коллекторов. Редко к этой площади приводятся расчетные значения производительности коллектора.



Рисунок 3.10 – Определение площадей плоского солнечного коллектора

**Площадь абсорбера.** Эта площадь рассчитывается как произведение ширины и длины абсорбера. Для вакуумных трубчатых коллекторов с круглым абсорбером учитывается вся площадь цилиндра вакуумной трубки, несмотря на то что задняя часть абсорбера может и вовсе не подвергаться воздействию солнечного света. Поэтому площадь абсорбера в таких коллекторах может превышать значение общей площади солнечного коллектора. В некоторых перьевых абсорберах отдельные «перья» могут перекрывать соседние, в таком случае зона перекрытия пластин не учитывается.

**Апертурная площадь.** Площадь апертуры – это площадь с максимальной проекцией, на которую падает солнечное излучение. В плоских солнечных коллекторах апертурной площадью является проекция видимой зоны (через остекление) передней части коллектора, другими словами, площадь внутри рамы коллектора, через которую падает солнечный свет. В плоском коллекторе эта площадь может быть меньше или равна площа-

ди абсорбера. В вакуумных трубчатых коллекторах с плоским или круглым абсорбером без рефлектора (отражающего покрытия) эта площадь равна сумме площадей проекций отдельных трубок, в которой длина – это длина незакрытой части трубки, а ширина – это внутренний диаметр стеклянной колбы (в коллекторах типа Heat Pipe наружный диаметр внутренней трубки колбы). В коллекторах с рефлектором площадь апертуры равна площади проекции рефлектора. В случае если площадь рефлектора не под всем коллектором, то добавляется по вышеописанному принципу апертурная площадь части трубок за рефлекторной поверхностью. Большинство параметров и расчетов солнечных коллекторов относят к апертурной площади. Это позволяет корректно сравнивать различные коллекторы, **приводя эти значения к одним единицам площади, например 1 м<sup>2</sup>.**

В таблице 3.3 приведены варианты заданий, которые распределяются преподавателем.

### **Пример расчета солнечного коллектора для обеспечения горячей водой**

Основная задача – определение площади *солнечного коллектора* – сводится к определению количества тепла необходимого для системы и последующего расчета количества трубок вакуумного *солнечного коллектора*. Пример расчета приведен в виде таблицы 3.4.

**Вывод:** подбор количества трубок коллектора осуществляется для месяца с максимальной солнечной эффективностью. То есть для семьи из четырех человек в городе Гомеле необходим бак-накопитель на 300 литров и солнечный коллектор на 37 трубок.

### **Контрольные вопросы**

1. Назовите виды солнечных коллекторов.
2. Что представляет собой плоский солнечный коллектор?
3. Опишите принцип действия вакуумного коллектора с термотрубками.
4. Назовите преимущества и недостатки различных видов солнечных коллекторов.
5. В чем отличие систем с естественной циркуляцией теплоносителя от систем с принудительной циркуляцией теплоносителя?
6. От чего зависит количество тепловой энергии, вырабатываемой солнечным коллектором?
7. Какие площади определяются при расчетах солнечных коллекторов?

Таблица 3.3 – Варианты заданий

Наименование показателя	Единица измерения	Вариант задания										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Место установки		г. Гомель	г. Минск	г. Брест	г. Витебск	г. Гродно	г. Могилев	г. Береза	г. Новополоцк	г. Слоним	г. Светлогорск	г. Логойск
Длина вакуумной трубки	м	2,1	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	2,1
Диаметр вакуумной трубки	мм	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58
КПД солнечного коллектора	%	80	75	67	72	85	75	70	80	75	70	80
Количество человек	чел.	2	2	6	4	6	8	4	2	6	4	2
Расход воды на одного человека	л	50	40	30	50	40	30	50	40	30	50	40
Запас воды на заданное количество суток	сут.	1,5	2	1	1,5	2	1	1,5	2	1	1,5	2
Средняя температура воды, входящей в солнечный коллектор	°С	15	10	12	15	8	6	10	12	14	15	10
Средняя температура воды, выходящей из солнечного коллектора	°С	50	40	50	45	30	40	45	50	35	45	50

Таблица 3.4 – Расчет солнечного коллектора

Обозначение	Наименование показателя	Единица измерения	Количество	Примечание
1	2	3	4	5
$H$	Место установки		г. Гомель	по заданию
$D$	Длина вакуумной трубки	м	1,8	по заданию
$\eta$	Диаметр вакуумной трубки	м	0,058	по заданию
$S$	КПД солнечного коллектора	%	80	по заданию
$S_{ногл.}$	Площадь поверхности одной вакуумной трубки	м <sup>2</sup>	$3,14 \cdot 1,8 \cdot 0,058 = 0,33$	$S = \pi \cdot D \cdot H$
	Площадь поглощения одной вакуумной трубки	м <sup>2</sup>	0,08	$S_{ногл.} = 0,25 \cdot S$
	<b>Энергопоступление</b>			
	Количество дневной солнечной радиации для заданного региона			
$Э_{max}$	-максимальное (июль)	кВт·ч/м <sup>2</sup> /день	5,18	Таблица 3.6
$Э_{min}$	-минимальное (февраль)	кВт·ч/м <sup>2</sup> /день	0,69	Таблица 3.6
	Количество солнечной энергии, поглощаемой 1 м <sup>2</sup> солнечного коллектора			
$Э_{max_{ек}}$	-максимальное (июль)	кВт·ч/м <sup>2</sup> /день	$5,18 \cdot 0,8 = 4,144$	$Э_{max_{ек}} = Э_{max} \cdot \eta$
$Э_{min_{ек}}$	-минимальное (февраль)	кВт·ч/м <sup>2</sup> /день	$0,69 \cdot 0,8 = 0,552$	$Э_{min_{ек}} = Э_{min} \cdot \eta$
	Количество солнечной энергии, поглощаемой и передаваемой теплоносителю, одной вакуумной трубкой			
$Э_{max_{нпр}}$	-максимальное (июль)	кВт·ч/м <sup>2</sup> /день	$4,144 \cdot 0,08 = 0,33$	$Э_{max_{нпр}} = Э_{max_{ек}} \cdot S_{ногл.}$
$Э_{min_{нпр}}$	-минимальное (февраль)	кВт·ч/м <sup>2</sup> /день	$0,552 \cdot 0,08 = 0,044$	$Э_{min_{нпр}} = Э_{min_{ек}} \cdot S_{ногл.}$

Окончание таблицы 3.4

1	2	3	4	5
	<b>Энергопотребление</b>			
$Ч$	Количество человек	чел.	4	по заданию
$Q_{сут}$	Расход воды на одного человека	л	50	по заданию
$T$	Запас воды на заданное количество суток	сут.	1,5	по заданию
$V$	Объем бака-накопителя	л	$(4 \cdot 50) \cdot 1,5 = 300$	$V = Q_{сут} \cdot T$
$t_{ex}$	Средняя температура воды, входящей в солнечный коллектор	$^{\circ}C$	15	по заданию
$t_{вых.}$	Средняя температура воды, выходящей из солнечного коллектора	$^{\circ}C$	50	по заданию
$\Delta t$		$^{\circ}C$	$50 - 15 = 35$	$\Delta t = t_{вых.} - t_{ex.}$
$\mathcal{E}_{потр.}$	Количество энергии, необходимой для нагрева воды	ккал	$300 \cdot 35 = 10500$	$\mathcal{E}_{потр.} = V \cdot \Delta t$
		кВт·ч	$10500 / 859,8 = 12,21$	$1 \text{ кВт}\cdot\text{ч} = 859,8 \text{ ккал}$
	<b>Конструкция солнечного коллектора</b>			
	Необходимое количество вакуумных трубок солнечного коллектора для нагрева воды:			
	– максимальное (июль)	шт.	$12,21 / 0,33 = 37$	$N_{max} = \mathcal{E}_{потр.} / \mathcal{E}_{maxтр}$
	– минимальное (февраль)	шт.	$12,21 / 0,044 = 277$	$N_{min} = \mathcal{E}_{потр.} / \mathcal{E}_{minтр}$

## Часть 2. Расчет солнечных батарей

### Цель практического занятия:

1. Изучить конструкции и принцип действия солнечных батарей.
2. Выполнить расчет количества солнечных модулей согласно варианту задания.

### Общие сведения

Система энергоснабжения на солнечных батареях состоит из четырех основных компонентов: фотоэлектрические панели, аккумуляторы, контроллер заряда и инвертор, преобразующий низковольтный постоянный ток к бытовому стандарту ~ 220 В.

Существуют три основных типа солнечных фотоэлектрических систем: автономные системы, обычно применяемые для электроснабжения отдельных домов; соединенные с сетью системы; резервные системы.

**Автономные фотоэлектрические системы (АФС)** используются там, где нет сетей централизованного электроснабжения. Для обеспечения энергией в темное время суток или в периоды, когда нет яркого солнечного света, необходима аккумуляторная батарея. АФС часто используются для электроснабжения отдельных домов. Малые системы позволяют питать базовую нагрузку (освещение и иногда телевизор или радио). Более мощные системы могут также питать водяной насос, радиостанцию, холодильник, электроинструмент и т.п.

**Соединенные с сетью солнечные фотоэлектрические системы.** При условии подключения достаточного количества фотоэлектрических модулей определенная часть нагрузки в доме может питаться от солнечного электричества. Соединенные с сетью фотоэлектрические системы обычно состоят из одного или многих модулей, инвертора, кабелей, поддерживающей структуры и электрической нагрузки.

**Резервные системы** используются для электроснабжения в периоды, когда нет напряжения в сети. Малые резервные солнечные системы обеспечивают электроснабжение наиболее важной нагрузки – освещение, компьютер и средства связи (телефон, радио, факс и т.п.). Более крупные системы могут также снабжать энергией и холодильник во время отключения сети. Чем больше мощность необходимая для питания ответственной нагрузки и чем дольше периоды отключения сети, тем большая мощность фотоэлектрической системы необходима.

### Порядок проектирования солнечных батарей.

1. Определяется ежедневная потребность в электроэнергии, *En*. Составляется список всех электроприборов с указанием потребляемой ими мощности и количества часов работы в день.

Данные о средней потребляемой мощности некоторых электроприборов приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Потребляемая мощность электроприборов

Нагрузка	Мощность, Вт	Нагрузка	Мощность, Вт	Нагрузка	Мощность, Вт
1	2	3	4	5	6
Кофемолка	200	Бритва	15	Люминесцентная лампа, экв. 40 Вт лампы накаливания	11
Кофеварка	800	Ноутбук	20-50	Люминесцентная лампа, экв. 60 Вт лампы накаливания	16
Тостер	800-1500	Настольный компьютер	80-150	Люминесцентная лампа, экв. 75 Вт лампы накаливания	20
Блендер	300	Принтер	100	Люминесцентная лампа, экв. 100 Вт лампы накаливания	30
Микроволновая печь	600-1500	Электрическая печатная машинка	80-200	Компактные люминесцентные лампы 20 Вт	22
Электроплитка	1200	TV - 25" цв.	150	1/4" дрель	250
Автоматическая стиральная машина	1500	TV - 19" цв.	70	1/2" дрель	750
Стиральная машина	500	TV - 12" ч.-б.	20	1" дрель	1000
Пылесос	2000	Видеомагнитофон	40	9" углошлифовальная машина	1200
Пылесос	1500	CD-плеер	35	3" шлифовальный станок	1000
Швейная машина	100	Радио, стерео	10-30	12" цепная пила	1100
Утюг	1800	Радиочасы	1	14" цепная пила	1100
Электросушилка для вещей	400	Спутниковая тарелка	30	7-1/4" дисковая пила	900

Окончание таблицы 3.5

1	2	3	4	5	6
Газовая сушилка для вещей	300	Радиопередатчик СВ	5	8-1/4" дисковая пила	1400
Насос	250-500	Электрические часы	3	Холодильник с морозильной камерой 20CF (15 hours)	540
Потолочный вентилятор	10-50	Лампы накаливания 100 Вт	100	Холодильник с морозильной камерой 16CF (13 hours)	475
Настольный вентилятор	10-25	Компактные люминесцентные лампы 25 Вт	25	Морозильная камера SunFrost 12CF DC (7 hours)	70
Электроодеяло	200	Лампы накаливания на постоянный ток 50 Вт	50	Холодильник Freezer 14CF DC (15 hours)	440
Сушилка	1000	Галогеновые лампы 40 Вт	40	Холодильник Freezer 14CF DC (14 hours)	350

Для учета потерь на заряд-разряд аккумулятора преобразования постоянного напряжения в переменное в инверторе полученную мощность потребителей необходимо умножить на коэффициент  $k$ , равный 1,2...1,4.

Следует учитывать, что компрессор холодильника в момент пуска потребляет мощность в 5-6 раз больше паспортной, поэтому инвертор должен кратковременно выдерживать мощность в 2-3 раза выше номинальной мощности.

2. Определяется средний месячный уровень солнечной радиации в городах Беларуси,  $E_{инс}$ , по данным таблицы 3.6.

Приняв из таблицы 3.6 значение солнечной радиации за интересующий период и разделив его на 1000, получаем условное время, в течение которого солнце светит с интенсивностью 1000 Вт/м<sup>2</sup>.

Мощность солнечных панелей, требуемая для обеспечения ежедневной потребности в электроэнергии, рассчитывается по формуле

$$P_{сп} = E_{п} \cdot k \cdot P_{инс} / E_{инс}, \quad (3.1)$$

где  $P_{сп}$  – мощность солнечных панелей, Вт;

$E_{п}$  – потребляемая энергия, Вт·ч в сутки;

$E_{инс}$  – среднемесячная инсоляция (из таблицы 3.2) кВт·ч/м<sup>2</sup>/день;

$P_{инс}$  – мощность инсоляции на земной поверхности на одном квадратном метре, равна 1000 Вт/м<sup>2</sup>;

$k$  – коэффициент потерь на заряд-разряд аккумуляторов преобразования постоянного напряжения в переменное обычно принимают равным 1,2...1,4.

Таблица 3.6 – Средний месячный уровень солнечной радиации (солнечная постоянная) в городах Беларуси (кВт/м<sup>2</sup>/день)

Средний показатель за последние 22 года (по данным NASA)

Регионы	Месяцы												Средний
	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	
Брест	0,88	1,61	2,69	3,80	5,00	4,97	4,78	4,34	2,86	1,65	0,87	0,68	2,85
Гродно	0,80	1,50	2,62	3,70	4,98	4,90	4,75	4,33	2,82	1,58	0,77	0,61	2,78
Витебск	0,72	1,50	2,70	3,87	5,20	5,24	5,21	4,24	2,75	1,52	0,80	0,51	2,86
Могилев	0,86	1,69	2,85	3,82	5,01	5,05	4,99	4,23	2,84	1,66	0,85	0,65	2,88
Гомель	0,93	1,74	2,91	3,90	5,11	5,18	5,09	4,42	2,95	1,76	0,92	0,69	2,97
Минск	0,81	1,64	2,76	3,75	4,94	4,95	4,86	4,32	2,73	1,55	0,82	0,57	2,81

3. Требуемое количество модулей определяют, разделив суммарную мощность на мощность одного модуля. Технические характеристики солнечных модулей приведены в таблице 3.7.

4. Количество энергии, вырабатываемой солнечными батареями (Вт·ч), рассчитывается по формуле

$$E_{в} = E_{инс} \cdot P_{сп} / P_{инс} \cdot k. \quad (3.2)$$

Таблица 3.7 – Технические характеристики солнечных модулей серии TSM

Модель	Мощность, Вт	Габариты, мм	Вес, кг
1	2	3	4
TSM-10С	12	440×225×2	0,35
TSM-10	13	430×232×43	1,45
TSM-22М	22	450×460×4	2,9
TSM-30	30	376×354×43	3,1

Окончание таблицы 3.7

1	2	3	4
ТСМ-40	44	620×540×43	4,05
ТСМ-50	48	620×540×43	4,05
ТСМ-60	60	773×676×43	6,7
ТСМ-65	65	773×676×43	6,7
ТСМ-70	70	773×676×43	6,7
ТСМ-75	75	773×676×43	6,7
ТСМ-80А	80	1183×563×43	7,9
ТСМ-80В	80	1183×563×43	7,9
ТСМ-90А	90	1183×563×43	7,9
ТСМ-90В	90	1183×563×43	7,9
ТСМ-95А	95	1183×563×43	7,9
ТСМ-95В	95	1183×563×43	7,9
ТСМ-100А	96	1050×665×43	8,8
ТСМ-100В	96	1050×665×43	8,8
ТСМ-105S	105	1183×563×43	8,4
ТСМ-120А	120	1300×660×43	10,3
ТСМ-120В	120	1300×660×43	10,3
ТСМ-140А	140	1468×673×43	12,1
ТСМ-140В	140	1468×673×43	12,1
ТСМ-150А	150	1468×673×43	12,1
ТСМ-150В	150	1468×673×43	12,1
ТСМ-160А	160	1580×815×43	15,4
ТСМ-160В	160	1580×815×43	15,4
ТСМ-170А	170	1580×815×43	15,4
ТСМ-170В	170	1580×815×43	15,4
ТСМ-180А	180	1530×815×43	17,4
ТСМ-180В	180	1580×815×43	17,4
ТСМ-190А	190	1580×815×43	17,4
ТСМ-190В	190	1310×996×43	17,4
ТСМ-200В	200	1310×996×43	17,4
ТСМ-210SА	210	1578×815×38	15,4
ТСМ-210SВ	210	1578×815×43	15,4
ТСМ-220А	220	1633×996×43	18,5
ТСМ-230А	230	1633×996×43	18,5
ТСМ-240А	240	1633×996×43	18,5
ТСМ-250А	250	1633×996×43	18,5

**Вариант задания.** По таблице 3.5 для выполнения расчетов выбрать не менее трех электроприборов разных наименований. Время работы электроприборов в сутки принять самостоятельно.

## Пример расчета количества солнечных батарей

1. Определяем суточную потребность в электроэнергии. Расчет выполняем в форме таблицы 3.8.

Таблица 3.8 – Суточная потребность в электроэнергии

Электроприбор	Мощность, Вт	Количество электроприборов	Время работы в сутки, час	Потребление за сутки, Вт·ч
Насос	600	1	3	1800
Лампа накаливания	100	5	6	3000
Всего в сутки	700			4800

С учетом потерь на заряд-разряд аккумулятора преобразования постоянного напряжения в переменное в инверторе суточная потребность в электроэнергии составит

$$E_n = 4800 \times 1,2 = 5760 \text{ Вт}\cdot\text{ч} = 5,760 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

2. Определяем среднемесячную инсоляцию для города Гомеля по данным таблицы 3.6:

- наибольший уровень инсоляции в июне – 5,18 кВт/м<sup>2</sup>/день;
- наименьший в декабре – 0,69 кВт/м<sup>2</sup>/день.

3. Определяем мощность солнечных панелей, требуемую для обеспечения ежедневной потребности в электроэнергии, по формуле (3.1)

$$P_{сп} = E_n \cdot k \cdot P_{инс} / E_{инс} = 5,760 \cdot 1,2 \cdot 1000 / 5,18 = 1334,4 \text{ Вт}.$$

Выбираем фотоэлектрические модули серии ТСМ-220А мощностью 220 Вт.

4. В этом случае расчетное количество модулей составит  $1334,4 / 220 = 6,06$  шт. Необходимое количество модулей составит 7 шт.

5. Количество энергии, вырабатываемой семью солнечными модулями, рассчитываем по формуле (3.2)

$$E_v = E_{инс} \cdot P_{сп} / P_{инс} \cdot k = 5,18 \cdot 7 \cdot 220 / 1000 \cdot 1,2 = 6,647 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

Таким образом, для обеспечения электроэнергией заданной нагрузки понадобится 7 модулей.

Размер одного модуля – 1633×996×43 мм (по данным таблицы 3.7). Площадь поверхности семи модулей составит 11,39 м<sup>2</sup>, масса 129,5 кг.

## Контрольные вопросы

1. Из каких элементов состоит система энергоснабжения на солнечных батареях?
2. Какие различают типы солнечных фотоэлектрических систем?
3. Каков порядок проектирования солнечных батарей.

**Практическое занятие № 4**  
**РАСЧЕТ СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ**  
**ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ**

**Общие сведения**

Ограждающие конструкции совместно с системами отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха должны обеспечивать нормируемые параметры микроклимата помещений при оптимальном энергопотреблении.

Для сокращения расхода энергии на создание нормируемых параметров микроклимата помещений при проектировании зданий и сооружений следует предусматривать:

а) расположение зданий и сооружений на участке строительства с учетом розы ветров и требований по инсоляции помещений и озеленению территории;

б) объемно-планировочные решения с обоснованием площади ограждающих конструкций и минимально возможным соотношением периметра наружных стен и площади здания;

в) площадь световых проемов в зданиях и сооружениях в соответствии с нормативным значением коэффициента естественной освещенности. Допускается увеличение площади отдельных световых проемов с целью достижения необходимого архитектурного решения фасада;

г) уплотнение притворов в заполнениях проемов и сопряжений элементов в наружных стенах и покрытиях;

д) рациональное использование теплоизоляционных материалов в ограждающих конструкциях.

Технические решения ограждающих конструкций должны обеспечивать тепловлажностный режим материалов конструкции, обеспечивающий долговечность конструкций и сохранение их теплозащитных характеристик.

Условия энергосбережения выполняются в том случае, если принятая конструкция стен, покрытия пола 1-го этажа позволяет при меньших энергозатратах (уменьшение температуры теплоносителя от 90 до 60...70°C) обеспечить в здании необходимую температуру и влажность воздуха, т.е. обеспечить оптимальный микроклимат в здании.

Сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции  $R_m$  ( $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$ ) определяют по ТКП 45-2.04-43-2006 [3] по формуле

$$R_m = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + R_k + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}}, \quad (4.1)$$

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

$R_k$  – термическое сопротивление ограждающей конструкции, определяемое для однородной однослойной конструкции – по формуле (4.2), и для многослойной конструкции с последовательно расположенными однородными слоями – по формуле (4.3),  $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$ ;

$\alpha_{\text{н}}$  – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции для зимних условий,  $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ .

Термическое сопротивление однородной ограждающей конструкции, а также слоя многослойной конструкции  $R$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$ , определяют по формуле

$$R = \frac{\delta}{\lambda}, \quad (4.2)$$

где  $\delta$  – толщина слоя, м;

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности материала однослойной или теплоизоляционного слоя многослойной ограждающей конструкции в соответствующих условиях эксплуатации,  $\text{Вт} / (\text{м} \cdot \text{°C})$ .

Термическое сопротивление многослойной ограждающей конструкции с последовательно расположенными однородными слоями  $R_k$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$ , определяют по формуле

$$R_k = R_1 + R_2 + \dots + R_n, \quad (4.3)$$

где  $R_1, R_2, \dots, R_n$  – термическое сопротивление отдельных слоев конструкции,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$ , определяемое по формуле (4.2), и замкнутых воздушных прослоек.

Коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции,  $\alpha_{\text{в}}$   $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ , определяем по таблице 4.1.

Коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции для зимних условий  $\alpha_{\text{н}}$ ,  $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ , определяем по таблице 4.2.

Нормативное значение сопротивления теплопередаче для ограждающих конструкций жилых и общественных зданий приведено в таблице 4.3.

Таблица 4.1 – Коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности

Ограждающие конструкции	Коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности $\alpha_{в}$ , Вт / (м <sup>2</sup> ·°С)
1 Стены, полы, гладкие потолки, потолки с выступающими ребрами при отношении высоты ребер к расстоянию $a$ между гранями соседних ребер $h / a < 0,3$	8,7
2 Потолки с выступающими ребрами при отношении $h / a > 0,3$	7,6

Таблица 4.2 – Коэффициент теплоотдачи наружной поверхности

Ограждающие конструкции	Коэффициент теплоотдачи наружной поверхности $\alpha_{н}$ , Вт / (м <sup>2</sup> ·°С)
1 Наружные стены, покрытия, перекрытия над проездами	23
2 Перекрытия над холодными подвалами, сообщающимися с наружным воздухом	17
3 Перекрытия чердачные и над неотапливаемыми подвалами со световыми проемами в стенах, а также наружные стены с воздушной прослойкой, вентилируемой наружным воздухом	12
4 Перекрытия над неотапливаемыми подвалами без световых проемов в стенах, расположенных выше уровня земли, и над неотапливаемыми техническими подпольями, расположенными ниже уровня земли	6

Таблица 4.3 – Нормативные значения сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций

Ограждающие конструкции	Нормативное сопротивление теплопередаче $R_{т.норм}$ , м <sup>2</sup> ·°С/Вт
Жилые и общественные здания	
Строительство, реконструкция, модернизация	
Наружные стены зданий	3,2
Совмещенные покрытия, чердачные перекрытия и перекрытия над проездами	6,0
Перекрытия над неотапливаемыми подвалами и техническими подпольями	2,5
Заполнения световых проемов	1,0

Термическое сопротивление многослойной неоднородной ограждающей конструкции  $R_{ка}$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$ , необходимо определять следующим образом:

а) плоскостями, параллельными направлению теплового потока, ограждающую конструкцию (или ее часть) условно разрезать на участки, из которых одни участки могут быть однородными (однослойными) – из одного материала, а другие – неоднородными, из слоев разных материалов, и определить термическое сопротивление конструкции  $R_{ка}$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$ , по формуле

$$R_{ка} = \frac{F_1 + F_2 + \dots + F_n}{\frac{F_1}{R_1} + \frac{F_2}{R_2} + \dots + \frac{F_n}{R_n}}, \quad (4.4)$$

где  $F_1, F_2, \dots, F_n$  – площадь отдельных участков конструкции (или части конструкции),  $\text{м}^2$ ;

$R_1, R_2, \dots, R_n$  – термическое сопротивление указанных отдельных участков конструкции, определяемое по формуле (4.2) для однородных участков и по формуле (4.3) – для неоднородных участков;

б) плоскостями, перпендикулярными направлению теплового потока, ограждающую конструкцию (или ее часть, принятую для определения  $R_{ка}$ ) условно разрезать на слои, из которых одни слои могут быть однородными – из одного материала, а другие – неоднородными, из однослойных участков разных материалов. Определить термическое сопротивление однородных слоев по формуле (4.2), неоднородных слоев – по формуле (4.4) и термическое сопротивление  $R_{кб}$  ограждающей конструкции как сумму значений термического сопротивления отдельных однородных и неоднородных слоев – по формуле (4.3);

в) если  $R_{ка}$  не превышает  $R_{кб}$  более чем на 25%, термическое сопротивление ограждающей конструкции необходимо определять по формуле

$$R_{к} = \frac{R_{ка} + 2R_{кб}}{3}. \quad (4.5)$$

### **Расчет сопротивления теплопередаче конструкции пола, расположенного на грунте**

Передача теплоты из помещения через конструкцию пола или стены и толщу грунта, с которыми они соприкасаются, подчиняется сложным закономерностям. Для расчета сопротивления теплопередаче конструкций,

расположенных на грунте, применяют упрощенную методику. Поверхность пола и стен (при этом пол рассматривается как продолжение стены) по грунту делится на полосы шириной 2 м, параллельные стыку наружной стены и поверхности земли. Отсчет зон начинается по стене от уровня земли, а если стен по грунту нет, то зоной I является полоса пола, ближайшая к наружной стене. Следующие две полосы будут иметь номера II и III, а остальная часть пола составит зону IV. Причем одна зона может начинаться на стене, а продолжаться на полу (рис. 4.1).

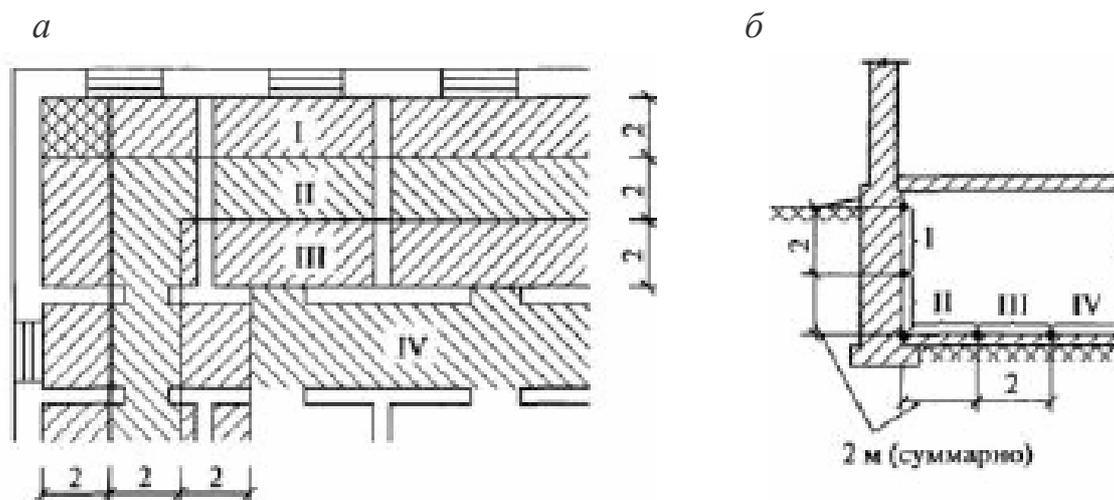


Рисунок 4.1 – Разбивка поверхности пола (а) и заглубленных частей наружных стен (б) на расчетные зоны I...IV

Пол или стена, не содержащие в своем составе утепляющих слоев из материалов с коэффициентом теплопроводности  $\lambda_h \geq 1,2$  Вт/(м·°С), называются неутепленными.

Сопротивление теплопередаче такого пола принято обозначать  $R_c$ , м<sup>2</sup>·°С/Вт. Для каждой зоны неутепленного пола предусмотрены нормативные значения сопротивления теплопередаче:

- зона I –  $R_I = 2,1$  м<sup>2</sup>·°С/Вт;
- зона II –  $R_{II} = 4,3$  м<sup>2</sup>·°С/Вт;
- зона III –  $R_{III} = 8,6$  м<sup>2</sup>·°С/Вт;
- зона IV –  $R_{IV} = 14,2$  м<sup>2</sup>·°С/Вт.

Если в конструкции пола, расположенного на грунте, имеются утепляющие слои, его называют утепленным. Для утепленных полов на грунте и стен ниже уровня земли с утепляющим слоем толщиной  $\delta$ , мм, и коэф-

коэффициентом теплопроводности  $\lambda_h < 1,2 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$  сопротивление теплопередаче  $R_h, \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{С}/\text{Вт}$ , определяется по формуле

$$R_h = R_c + (\delta/\lambda_h); \quad (4.6)$$

а для полов на лагах – по формуле

$$R_h = 1,18(R_c + \delta/\lambda_h), \quad (4.7)$$

где  $R_c$  – сопротивление теплопередаче рассматриваемой зоны неутепленного пола,  $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}/\text{Вт}$ ;

$\delta$  – толщина утепляющего слоя, м;

$\lambda_h$  – коэффициент теплопроводности материала утепляющего слоя,  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{С})$ .

В таблице 4.4 приведены варианты заданий, которые распределяются преподавателем.

#### **Цель практического занятия:**

1. Освоить методику расчета термического сопротивления неоднородных ограждающих конструкций.
2. Выполнить расчет сопротивления теплопередаче пола по грунту (плите перекрытия) согласно варианту задания.

#### **Пример расчета термического сопротивления многопустотной плиты перекрытия как неоднородной конструкции**

Многопустотную плиту перекрытия при расчете термического сопротивления рассматриваем как неоднородную конструкцию, состоящую из пустот, заполненных воздухом, и сплошных железобетонных участков.

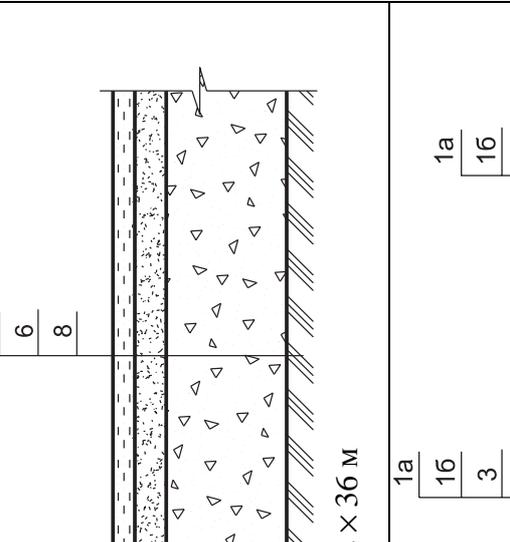
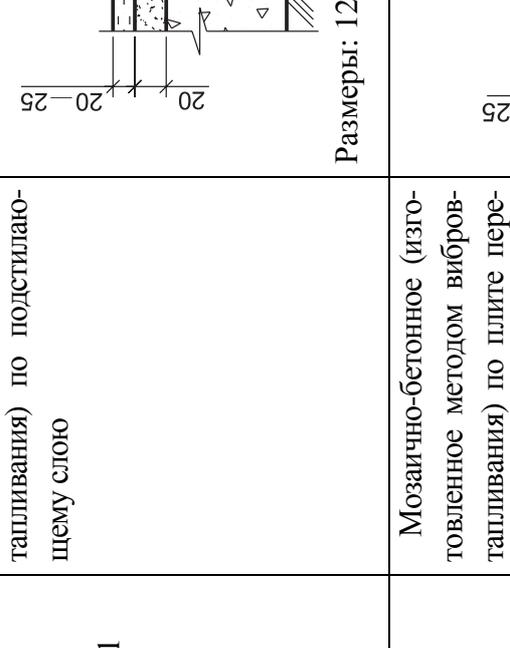
Ширина плиты – 1195 мм, высота – 220 мм, пустоты диаметром 159 мм в количестве  $n = 6$  шт, количество железобетонных участков между пустотами  $m = 7$ .

Для упрощения расчета шесть круглых отверстий – пустот, диаметром 159 мм, заменяем равновеликими по площади квадратами со стороной, равной

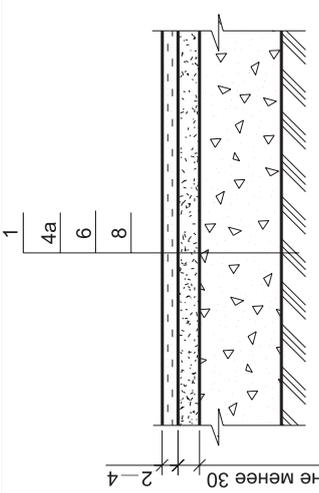
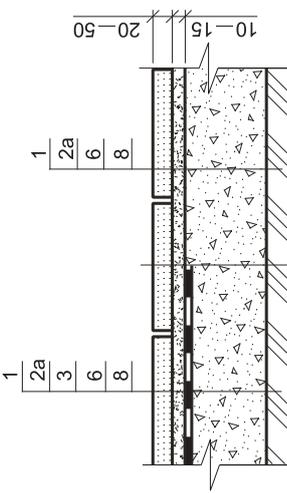
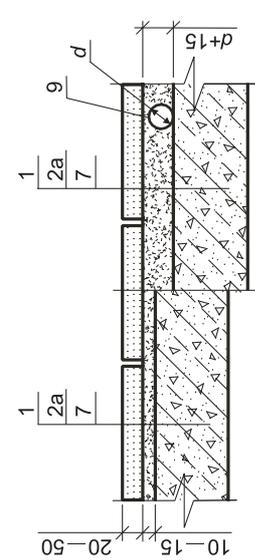
$$a = \sqrt{\pi \cdot r^2} = \sqrt{3,14 \cdot 79,5^2} = 140,9 \text{ мм} = 0,141 \text{ м}.$$

Разбиваем плиту перекрытия плоскостями I-I, II-II, параллельными направлению теплового потока, и плоскостями III-III, IV-IV, V-V, перпендикулярными направлению теплового потока (рис. 4.2).

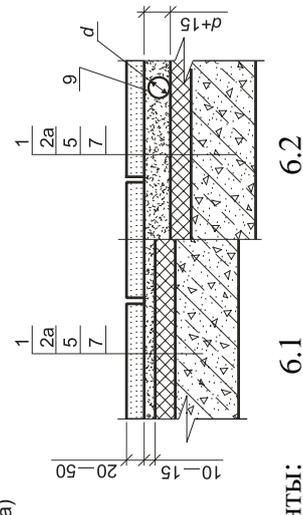
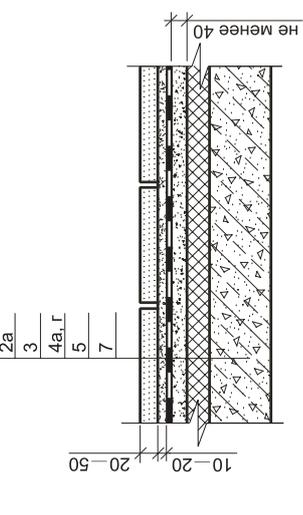
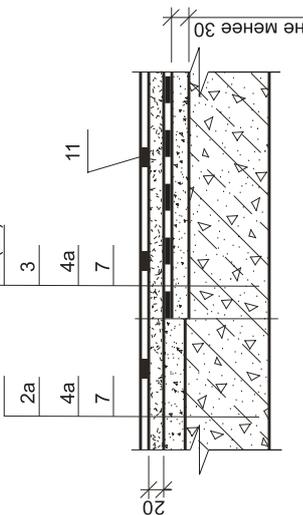
Таблица 4.4 – Варианты заданий

Варианты заданий	Вид покрытия	Схема	Слои пола
1	2 Мозаично-бетонное (изготовленное методом виброуплотнения) по подстилающему слою	3  Размеры: 12 × 36 м	4 1а – верхний слой покрытия из мозаичного бетона (терраццо) 20...25 мм 1б – нижний слой покрытия из цементно-песчаного раствора 20 мм 3 – гидроизоляция 6 – бетонный подстилающий слой, бетон класса С <sup>8</sup> /10, 100 мм 7 – монолитная плита перекрытия 140 мм 8 – грунт основания
2	Мозаично-бетонное (изготовленное методом виброуплотнения) по плите перекрытия	2.1  2.2	Варианты: 2.1 2.2

Продолжение таблицы 4.4

1	2	3	4
3	Поливинилацетатно-цементное мастичное по подстилающему слою	 <p>Размеры: 72 × 18 м</p>	1 – покрытие 2...4 мм 4а – стяжка цементно-бетонная или из легкого бетона 30 мм 6 – бетонный подстилающий слой 100 мм 8 – грунт основания
4	Мраморные плиты, плиты из природного камня по подстилающему слою	 <p>Варианты: 4.1 4.2</p> <p>Размеры: 20 × 14 м</p>	1 – покрытие 20...50 мм 2а – прослойка из цементно-песчаного раствора 10...15 мм 3 – гидроизоляция 6 – бетонный подстилающий слой 80 мм 7 – монолитная плита перекрытия 140 мм 8 – грунт основания $d = 20$ мм
5	Цементно-бетонные, мозаично-бетонные плиты по плите перекрытия	 <p>Варианты: 5.1 5.2</p>	Примечание – Заполнение швов между плитами осуществляется цементно-песчаным раствором

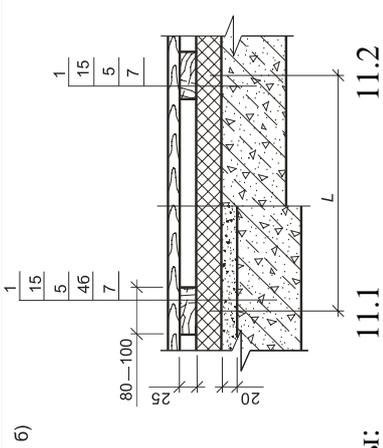
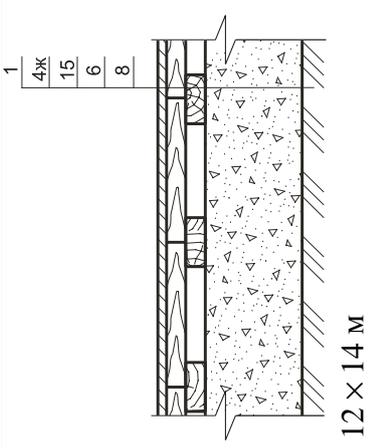
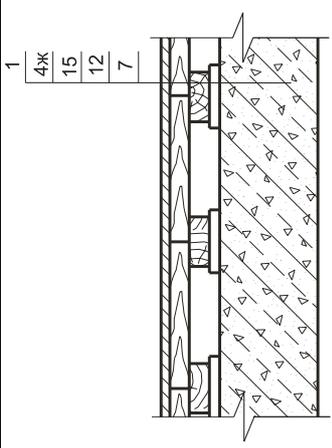
Продолжение таблицы 4.4

1	2	3	4
6	Цементно-бетонные, мозаично-бетонные, мраморные плиты, плиты из природного камня в многослойной конструкции пола	 <p>а) 1 2а 5 7 10-15 20 50 d+15</p> <p>б) 1 2а 3 4а, Г 5 7 10-20 20 50 не менее 40</p> <p>Варианты: 6.1 6.2</p>	<p>1 – покрытие 2а – прослойка из цементно-песчаного раствора 3 – гидроизоляция 4а, Г – стяжка из бетона или легкого бетона 50 мм 5 – тепло- или звукоизоляционный слой из легкого или ячеистого бетона и других материалов, не сжимающихся под действием расчетной нагрузки 100 мм 7 – плита перекрытия</p> <p><i>Примечание</i> – Заполнение швов между плитами осуществляется цементно-песчаным раствором</p>
7		 <p>а) 1 2а(2б) 3 4а 7 10-20 20 50 не менее 30</p> <p>б) 1 2а 3 4а 7 10-20 20 50 не менее 30</p> <p>Варианты: 8.1 8.2</p>	<p>1 – покрытие 20-25 мм 2а – прослойка из цементно-песчаного раствора 2б – прослойка из латексно-цементного раствора 3 – гидроизоляция 4а – стяжка из бетона 5 – тепло- или звукоизоляционный слой из легкого или ячеистого бетона</p>
8	Каменные плиты типа светлого каменного литья по плите перекрытия	 <p>а) 1 2а 4а 7 10-20 20 50 не менее 30</p> <p>б) 1 2а 3 4а 7 10-20 20 50 не менее 30</p> <p>Варианты: 8.1 8.2</p>	<p>1 – покрытие 20-25 мм 2а – прослойка из цементно-песчаного раствора 2б – прослойка из латексно-цементного раствора 3 – гидроизоляция 4а – стяжка из бетона 5 – тепло- или звукоизоляционный слой из легкого или ячеистого бетона</p>

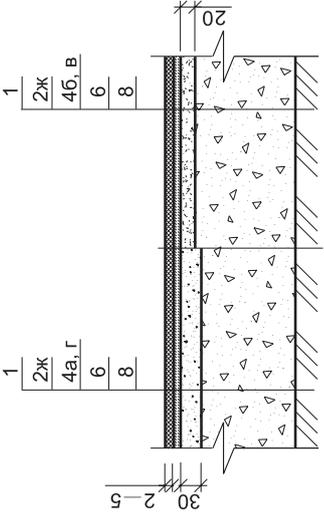
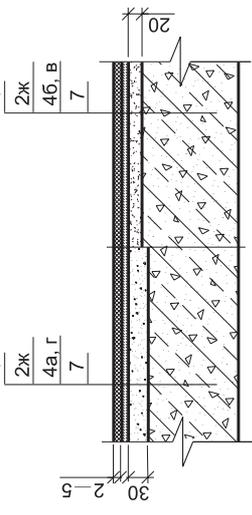
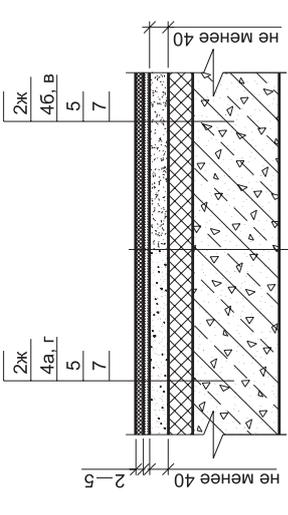
Продолжение таблицы 4.4

1	2	3	4
9	Каменные плиты типа светлого каменного литья в многослойной конструкции пола	<p>Варианты: 9.1 9.2</p>	и других материалов, не сжимающихся под действием расчетной нагрузки 100 мм 7 – плита перекрытия 11 – заполнение швов мастикой
10	Дощатое (окрашенное), паркетные доски и щиты по плите перекрытия	<p>Варианты: 10.1 10.2</p>	1 – покрытие 46 – стяжка из цементно-песчаного раствора 20 мм 5 – тепло- или звукоизоляционный слой 100 мм 7 – монолитная плита перекрытия 140 мм 15 – лага 25 мм L – расстояние между лагами <i>Примечания:</i> 1 Расстояние между лагами принимается при покрытиях из: – паркетных досок толщиной 25 мм или шпунтовых досок толщиной 28 мм – от 400 до 500 мм; – паркетных щитов – от 300 до 400 мм;

Продолжение таблицы 4.4

1	2	3	4
11		<p>6)</p>  <p>Варианты: 11.1 11.2</p>	<p>– досок толщиной 21...23 мм – от 350 до 400 мм                  2 Расстояние между первой от стены и следующей лагой принимается не более 300 мм</p>
12	Сверхтвердые ДВП по подстиляющему слою	 <p>Размеры: 12 × 14 м</p>	<p>1 – покрытие 3,2 мм                  4ж – стяжка сборная ДСП, 16 мм                  6 – бетонный подстиляющий слой 100 мм                  7 – монолитная плита перекрытия 140 мм                  8 – грунт основания                  12 – звукоизолирующие прокладки 10 мм                  15 – лага 25 мм (с шагом 1500 мм)</p>
13	Сверхтвердые ДВП по плите перекрытия		

Окончание таблицы 4.4

1	2	3	4
14	<p>Линолеум, рулонное на основе химических волокон, в т.ч. на теплоизолирующей основе по подстилающему слою</p>	 <p>Варианты: 14.1 14.2 Размеры: 16 × 12 м</p>	<p>1 – покрытие 2ж – прослойка из холодной мастики на водостойких вяжущих 4а, г – стяжка из бетона или легкого бетона 30 мм 4б, в – стяжка из цементно-песчаного раствора или из гипсового раствора 20 мм 6 – бетонный подстилающий слой 100 мм 8 – грунт основания</p>
15	<p>Линолеум, рулонное на основе химических волокон, в т.ч. на теплоизолирующей основе по плите перекрытия</p>	 <p>Варианты: 15.1 15.2</p>	<p>1 – покрытие 2ж – прослойка из холодной мастики на водостойких вяжущих 4а, г – стяжка из бетона или легкого бетона 4б, в – стяжка из цементно-песчаного раствора или из гипсового раствора 4ж – сборная стяжка из древесины или древесных материалов 5 – тепло- или звукоизоляционный слой 50 мм 7 – монолитная плита перекрытия 140 мм</p>
16	<p>Линолеум, рулонное на основе химических волокон, в т.ч. на теплоизолирующей основе в многослойной конструкции пола</p>	 <p>Варианты: 16.1 16.2</p>	<p>1 – покрытие 2ж – прослойка из холодной мастики на водостойких вяжущих 4а, г – стяжка из бетона или легкого бетона 4б, в – стяжка из цементно-песчаного раствора или из гипсового раствора 4ж – сборная стяжка из древесины или древесных материалов 5 – тепло- или звукоизоляционный слой 50 мм 7 – монолитная плита перекрытия 140 мм</p>

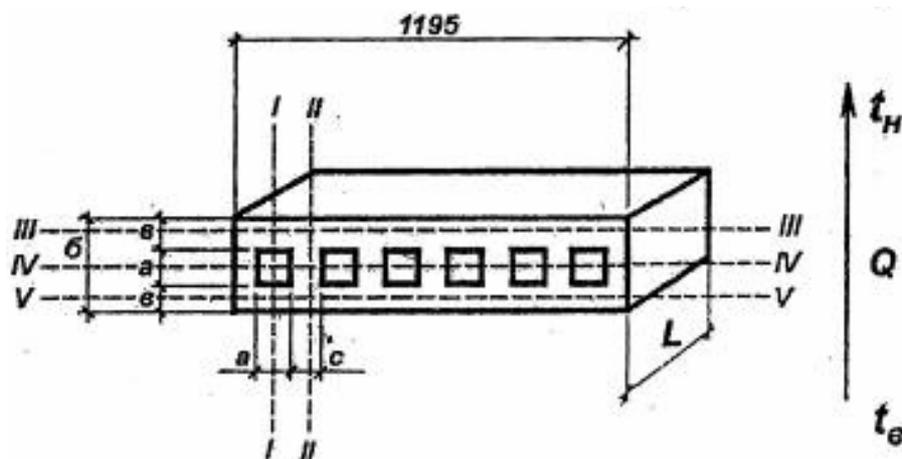


Рисунок 4.2 – Расчетное сечение плиты перекрытия

Участок II-II является однородным (однослойным) из одного материала бетона:

$$b = \delta_{\bar{b}}^{II-II} = 0,220 \text{ м}, c = (1195 - (140,9 \cdot 6)) / 7 = 49,94 \text{ мм} = 0,04994 \text{ м},$$

а участок I-I – неоднородным, состоящим из двух слоев бетона:

$$e = \delta_{\bar{e}}^{I-I} = (220 - 140,9) / 2 = 0,03955 \text{ м},$$

разделенных воздушной прослойкой

$$a = 0,1409 \text{ м}.$$

Коэффициент теплопроводности бетона  $\lambda_{\bar{b}} = 2,04 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C}$ .

Термическое сопротивление замкнутой воздушной прослойки по приложению Б ТКП 45-2.04-43-2006 составляет  $R_{e.n.} = 0,15 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ .

Термическое сопротивление неоднородного участка по сечению I-I определяем по формуле

$$R_{I-I} = \frac{\delta_{\bar{e}}^{I-I}}{\lambda_{\bar{b}}} + R_{e.n.} + \frac{\delta_{\bar{e}}^{I-I}}{\lambda_{\bar{b}}} = \frac{0,0396}{2,04} + 0,15 + \frac{0,0396}{2,04} = 0,189 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

Термическое сопротивление участка по сечению II-II определяем по формуле

$$R_{II-II} = \frac{\delta_{\bar{b}}^{II-II}}{\lambda_{\bar{b}}} = \frac{0,220}{2,04} = 0,108 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

Рассматриваем участок плиты, длиной  $L = 1 \text{ м}$ , тогда площадь отдельных участков конструкции:

$$\text{по сечению I-I: } F_1 = 0,141 \cdot 1 \cdot 6 = 0,864 \text{ м}^2,$$

$$\text{по сечению II-II: } F_2 = 0,04994 \cdot 1 \cdot 7 = 0,3496 \text{ м}^2.$$

Термическое сопротивление плиты в направлении, параллельном направлению теплового потока,  $R_{ка}$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ , определяем по формуле

$$R_{ка} = \frac{F_1 + F_2}{\frac{F_1}{R_{I-I}} + \frac{F_2}{R_{II-II}}} = \frac{0,864 + 0,3496}{\frac{0,864}{0,189} + \frac{0,3496}{0,108}} = 0,155 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}.$$

Термическое сопротивление для сечений, перпендикулярных теплому потоку, определяем по формуле

$$R_{кб} = R_{III-III} + R_{IV-IV} + R_{V-V},$$

где  $R_{III-III}$ ,  $R_{V-V}$  – термическое сопротивление однородных участков:

$$R_{III-III} = R_{V-V} = \frac{\delta_{б}}{\lambda_{б}} = \frac{0,0396}{2,04} = 0,0194 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт};$$

$R_{IV-IV}$  – термическое сопротивление неоднородного участка для сечения IV-IV, определяемое по формуле

$$R_{IV-IV} = \frac{F_1 + F_2}{\frac{F_1}{R_{I-I}} + \frac{F_2}{R_{II-II}}} = \frac{0,864 + 0,3496}{\frac{0,864}{0,15} + \frac{0,3496}{2,04}} = 0,112 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}.$$

Тогда термическое сопротивление для сечений, перпендикулярных теплому потоку:

$$R_{кб} = R_{III-III} + R_{IV-IV} + R_{V-V} = 0,0194 + 0,112 + 0,0194 = 0,1508 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}.$$

Термическое сопротивление многпустотной плиты перекрытия определяем по формуле

$$R_{к} = \frac{R_{ка} + 2R_{кб}}{3} = \frac{0,155 + 2 \cdot 0,1508}{3} = 0,1522 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}.$$

### Контрольные вопросы

1. Какие мероприятия предусматривают при проектировании зданий для сокращения расхода энергии на создание нормируемых параметров микроклимата помещений?
2. Как рассчитывается сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции?
3. Как рассчитывается термическое сопротивление однородной ограждающей конструкции?
4. Чему равно нормативное сопротивление теплопередаче наружных стен, чердачного перекрытия, световых проемов?
5. Как определяется сопротивление теплопередаче неутепленного пола по грунту?
6. Как определяется сопротивление теплопередаче утепленного пола по грунту?

## Практическое занятие № 5 РАСЧЕТ ТЕПЛОУСВОЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПОЛА

### Общие сведения

Поверхность пола жилых и общественных зданий, административных и бытовых зданий и помещений промышленных предприятий и отапливаемых помещений производственных зданий (на участках с постоянными рабочими местами) должна иметь значения показателя теплоусвоения  $Y_n$ , Вт/(м<sup>2</sup>·°С), не более нормативных, приведенных в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Нормативные значения показателя теплоусвоения поверхности пола

Здания, помещения и отдельные участки	Показатель теплоусвоения поверхности пола $Y_n$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·°С) (нормативное значение)
1. Здания жилые, больничных учреждений (больниц, клиник, стационаров и госпиталей), диспансеров, амбулаторно-поликлинических учреждений, родильных домов, домов ребенка, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, общеобразовательных детских школ, детских садов, яслей, яслей-садов (комбинатов), детских домов и детских приемников-распределителей	12
2. Общественные здания (кроме указанных в поз. 1); участки с постоянными рабочими местами в отапливаемых помещениях производственных зданий, где выполняются легкие физические работы (категория I)	14
3. Участки с постоянными рабочими местами в отапливаемых помещениях производственных зданий, где выполняются физические работы средней тяжести (категория II)	17

Показатель теплоусвоения поверхности пола  $Y_n$ , Вт/(м<sup>2</sup>·°С), определяется следующим образом:

а) если покрытие (первый слой покрытия пола) имеет тепловую инерцию

$$D_1 = R_1 s_1 \geq 0,5, \quad (5.1)$$

то показатель теплоусвоения поверхности пола определяют по формуле

$$Y_n = 2s_1. \quad (5.2)$$

б) если первые  $n$  слоев конструкции пола ( $n \geq 1$ ) имеют суммарную тепловую инерцию

$$D_1 + D_2 + \dots + D_n < 0,5, \quad (5.3)$$

но тепловая инерция  $n + 1$  слоев

$$D_1 + D_2 + \dots + D_{n+1} \geq 0,5, \quad (5.4)$$

то показатель теплоусвоения поверхности пола  $Y_n$  определяют последовательно расчетом показателя теплоусвоения поверхности слоев конструкции, начиная с  $n$ -го, до 1-го:

– для  $n$ -го слоя – по формуле

$$Y_n = \frac{2R_n s_n^2 + s_{n+1}}{0,5 + R_n s_{n+1}}; \quad (5.5)$$

– для  $i$ -го слоя ( $i = n - 1; n - 2; \dots; 1$ ) – по формуле

$$Y_i = \frac{4R_i s_i^2 + s_{i+1}}{1 + R_i Y_{i+1}}. \quad (5.6)$$

Показатель теплоусвоения поверхности пола  $Y_n$  принимается равным показателю теплоусвоения поверхности 1-го слоя  $Y_1$ .

Принятые обозначения в формулах (5.2), (5.5), (5.6) и неравенствах (5.1), (5.3), (5.4):

$D_1, D_2, \dots, D_{n+1}$  – тепловая инерция соответственно 1, 2, ...,  $(n+1)$ -го слоев конструкции пола, определяемая по формуле (5.7);

$R_i, R_n$  – термическое сопротивление  $i$ -го и  $n$ -го слоев конструкции пола,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ , определяемое по формуле (4.2);

$s_1, s_i, s_{i+1}, s_n, s_{n+1}$  – расчетный коэффициент теплоусвоения материала 1-го,  $i$ -го,  $(i+1)$ -го,  $n$ -го,  $(n + 1)$ -го слоев конструкции пола,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ , принимаемый по приложению А, при этом для зданий, помещений и отдельных участков, приведенных в поз. 1 и 2 таблицы 5.1, – во всех случаях при условиях эксплуатации А;

$Y_n, Y_i, Y_{i+1}$  – показатель теплоусвоения поверхности  $n$ -го,  $i$ -го и  $(i + 1)$ -го слоя конструкции пола,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ .

Тепловую инерцию ограждающей конструкции  $D$  следует определять по формуле

$$D = R_1 s_1 + R_2 s_2 + \dots + R_n s_n. \quad (5.7)$$

Расчетный коэффициент теплоусвоения воздушных прослоек принимается равным нулю. Слои конструкции, расположенные между воздушной прослойкой, вентилируемой наружным воздухом, и наружной поверхностью ограждающей конструкции, не учитываются.

Не нормируется показатель теплоусвоения поверхности пола:

- а) имеющего температуру поверхности выше 23 °С;
- б) в отапливаемых помещениях производственных зданий, где выполняются тяжелые физические работы (категория III);
- в) в производственных зданиях при условии укладки на участки постоянных рабочих мест деревянных щитов или теплоизолирующих ковров;
- г) в помещениях общественных зданий, эксплуатация которых не связана с постоянным пребыванием в них людей (в залах музеев и выставок, фойе театров, кинотеатров и т.п.).

### **Пример выполнения расчета теплоусвоения поверхности пола**

Определить, удовлетворяет ли в отношении теплоусвоения требованиям ТКП 45-2.04-43-2006 «Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования» конструкция пола жилого здания из поливинилхлоридного линолеума на теплозвукоизолирующей подоснове из стеклянного волокна, наклеенного холодной битумной мастикой на железобетонную плиту перекрытия.

Определяем по приложению А коэффициент теплопроводности и коэффициент теплоусвоения для каждого слоя, рассчитываем термическое сопротивление по формуле (4.5). Результаты представляем в форме таблицы 5.2.

Определяем тепловую инерцию слоев пола по формуле (5.7):

$$D_1 = R_1 s_1 = 0,0045 \cdot 7,52 = 0,034;$$

$$D_2 = R_2 s_2 = 0,043 \cdot 0,92 = 0,04;$$

$$D_3 = R_3 s_3 = 0,0059 \cdot 4,56 = 0,027;$$

$$D_4 = R_4 s_4 = 0,08 \cdot 16,77 = 1,34.$$

Так как суммарная тепловая инерция первых трех слоев

$$D_1 + D_2 + D_3 = 0,034 + 0,04 + 0,027 = 0,101 < 0,5,$$

но суммарная тепловая инерция четырех слоев

$$0,101 + 1,34 = 1,441 > 0,5,$$

то показатель теплоусвоения поверхности пола определяем последовательно с учетом четырех слоев конструкции пола с помощью формулы (5.6), начиная с третьего:

$$Y_3 = (2R_3s_3^2 + s_4) / (0,5 + R_3s_4) = \\ = (2 \cdot 0,0059 \cdot 4,56^2 + 16,77) / (0,5 + 0,0059 \cdot 16,77) = 28,4 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C});$$

$$Y_2 = (4R_2s_2^2 + Y_3) / (1 + R_2Y_3) = \\ = (4 \cdot 0,043 \cdot 0,92^2 + 28,4) / (1 + 0,043 \cdot 28,4) = 12,9 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C});$$

$$Y_1 = Y_n = (4R_1s_1^2 + Y_2) / (1 + R_1Y_2) = \\ = (4 \cdot 0,0045 \cdot 7,52^2 + 12,9) / (1 + 0,0045 \cdot 12,9) = 13,2 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}).$$

Таблица 5.2 – Теплотехнические характеристики отдельных слоев конструкции пола

Но- мер слоя	Материал	Толщина слоя $\delta$ , м	Плотность материала в сухом состоянии $\rho_0$ , кг/м <sup>3</sup>	Коэффициенты при ус- ловиях эксплуатации А		Термическое сопротивле- ние $R$ , м <sup>2</sup> ·°C/Вт
				теплопро- водность $\lambda$ , Вт/(м·°C)	теплоус- воение $s$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·°C)	
1	Лицевой слой из линолеума	0,0015	1600	0,33	7,52	0,0045
2	Подоснова	0,002	150	0,047	0,92	0,043
3	Битумная мастика	0,001	1000	0,17	4,56	0,0059
4	Монолитная плита перекрытия	0,14	2400	1,74	16,77	0,08

Значение показателя теплоусвоения поверхности пола для жилых зданий не должно превышать  $Y_n^H = 12 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ , а расчетное значение показателя теплоусвоения данной конструкции  $Y_n = 13,2 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ . Следовательно, рассматриваемая конструкция пола в отношении теплоусвоения не удовлетворяет нормативным требованиям.

Определим показатель теплоусвоения поверхности данной конструкции пола в том случае, если по плите перекрытия будет устроена стяжка из шлакопемзобетона толщиной  $\delta = 0,02$  м, плотностью  $\rho_0 = 1200 \text{ кг}/\text{м}^3$ , со следующими теплотехническими характеристиками:  $\lambda = 0,37 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$ ,  $s = 5,83 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ ,  $R = 0,054 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ,  $D = 0,315$ . Конструкция пола в этом случае будет состоять из пяти слоев.

Так как суммарная тепловая инерция первых четырех слоев

$$D_1 + D_2 + D_3 + D_4 = 0,034 + 0,04 + 0,027 + 0,315 = 0,416 < 0,5,$$

но суммарная тепловая инерция пяти слоев

$$0,416 + 1,34 = 1,756 > 0,5,$$

то показатель теплоусвоения поверхности пола определяется с учетом пяти слоев конструкции пола.

Определим показатель теплоусвоения поверхности четвертого, третьего, второго и первого слоев пола по формулам (5.5) и (5.6):

$$Y_4 = (2R_4s_4^2 + s_5) / (0,5 + R_4s_5) = \\ = (2 \cdot 0,054 \cdot 5,83^2 + 16,77) / (0,5 + 0,054 \cdot 16,77) = 14,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C});$$

$$Y_3 = (4R_3s_3^2 + Y_4) / (1 + R_3Y_4) = \\ = (4 \cdot 0,0059 \cdot 4,56^2 + 14,5) / (1 + 0,0059 \cdot 14,5) = 13,82 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C});$$

$$Y_2 = (4R_2s_2^2 + Y_3) / (1 + R_2Y_3) = \\ = (4 \cdot 0,043 \cdot 0,92^2 + 13,82) / (1 + 0,043 \cdot 13,82) = 8,78 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C});$$

$$Y_1 = Y_n = (4R_1s_1^2 + Y_2) / (1 + R_1Y_2) = \\ = (4 \cdot 0,0045 \cdot 7,52^2 + 8,78) / (1 + 0,0045 \cdot 8,78) = 9,4 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}).$$

Таким образом, устройство по плите перекрытия стяжки из шлакопемзобетона ( $\rho_0 = 1200 \text{ кг}/\text{м}^3$ ) толщиной 20 мм уменьшило значение показателя теплоусвоения поверхности пола с 13,2 до 9,4 Вт/(м<sup>2</sup>·°С).

Следовательно, эта конструкция пола в отношении теплоусвоения удовлетворяет нормативным требованиям, так как значение показателя теплоусвоения поверхности не превышает  $Y_n^H = 12 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$  нормируемого показателя теплоусвоения пола для жилых зданий.

### Контрольные вопросы

1. Как определяется тепловая инерция ограждающих конструкций?
2. Как определяется показатель теплоусвоения поверхности пола, если тепловая инерция больше 0,5?
3. В каких случаях не нормируется показатель теплоусвоения поверхности пола?

## Практическое занятие № 6 ТЕРМОРЕНОВАЦИЯ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

### Общие сведения

Эксплуатируемые в настоящее время здания были построены в соответствии с существовавшими на момент строительства нормами и стандартами. С введением новых норм все ранее построенные здания попали в разряд не удовлетворяющих современным теплотехническим требованиям.

Мероприятия по снижению топливно-энергетических ресурсов, идущих на эксплуатацию таких зданий, включают в себя следующие этапы: термореновация, термомодернизация и термореконструкция, которым можно дать следующие определения:

- 1) **термореновация здания** – комплекс ремонтно-строительных работ, направленных на восстановление до первоначального уровня теплотехнических качеств ограждающих конструкций здания, утраченных в процессе физического износа;
- 2) **термомодернизация здания** – комплекс строительных работ, направленных на приведение теплотехнических показателей всех ограждающих конструкций к современным требованиям без изменения инженерного оборудования и объемно-планировочного решения здания;
- 3) **термореконструкция здания** – комплекс ремонтно-строительных работ, связанных с переустройством здания и его инженерного оборудования с целью снижения удельного расхода топливно-энергетических ресурсов на эксплуатацию здания. Термореконструкция может предполагать изменение габаритов здания как в плане, так и по высоте.

Рациональным и эффективным способом повышения теплозащиты эксплуатируемых зданий является дополнительное наружное утепление ограждающих конструкций. При проектировании новых и реконструкции существующих зданий предусматривают теплоизоляцию из эффективных материалов, размещая ее с наружной стороны ограждающей конструкции.

В последнее десятилетие в отечественной практике строительства все более широкое распространение находят каркасные системы многоэтажных жилых домов, наружные стены и внутренние перегородки которых возводят несущими, опертыми на перекрытия в пределах каждого этажа и сооружаемыми из кладочных материалов.

Преимущества стен, выполняемых кладкой из мелкоштучных изделий, очевидны:

- обеспечение требований по нормативному уровню теплозащиты;
- возможность выполнения конструкций с практически произвольной геометрией, в том числе сеткой проемов по фасадам;

- разнообразие вариантов отделки (штукатурка, лицевой кирпич, естественный или искусственный камень с колотой или равной фактурой и др.);
- вариабельность теплотехнических характеристик;
- возможность устройства однослойных стен;
- снижение нагрузки на каркас, фундаменты и основания здания.

Высокие физико-технические показатели имеют следующие стеновые материалы: ячеисто-бетонные блоки, щелевые вибропрессованные камни из крупнопористого керамзитобетона, крупноформатные высокопустотные блоки из поризованной керамики. Сравнительные характеристики этих стеновых материалов приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Физико-технические характеристики современных эффективных кладочных материалов

Материал	Блоки из ячеистого бетона по СТБ 1117	Камни щелевые из крупнопористого керамзитобетона по СТБ 1008	Блоки пустотные из поризованной керамики по СТБ 1719
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	400...700	550...700	750...1000
Класс бетона (марка изделия) по прочности на сжатие	B1; B1,5; B2,5	M25; M35	M35; M50; M75; M100; M125; M150
Коэффициент теплопроводности $\lambda$ , (Вт/м <sup>2</sup> °С)	0,10...0,24	0,14...0,24	0,14...0,26
Морозостойкость	F15; F25; F35; F50; F75	F15; F25; F35; F50; F75	F 15; F25; F35; F50; F75

На стадии предпроектной подготовки оценить эффективность ограждающих конструкций (наружных стен, покрытий, пола 1-го этажа) можно по величине удельной тепловой характеристики здания  $q_{зд}$ , Вт/(м<sup>2</sup>·°С), показывающей максимальный тепловой поток на отопление здания при разности температур внутренней и наружной среды в 1°С, отнесенный к 1 м<sup>2</sup> отапливаемой площади здания.

Удельную тепловую характеристику здания  $q_{зд}$ , Вт/(м<sup>2</sup>·°С), определяют по ТКП 45-2.04-43-2006 [3, прил. В] по формуле

$$q_{зд} = \frac{1}{F_{от}} \cdot \left( \frac{F_{ст}}{R_{т.ст}} + \frac{F_{ок}}{R_{т.ок}} + n_1 \frac{F_{нок}}{R_{т.нок}} + n_2 \frac{F_{1пол}}{R_{т.1пол}} + \frac{F_{2пол}}{R_{т.2пол}} \right), \quad (6.1)$$

где  $F_{от}$  – отапливаемая площадь здания (суммарная площадь пола этажей здания), м<sup>2</sup>;

$F_{ст}, F_{ок}, F_{пок}, F_{1пол}, F_{2пол}$  – площадь наружных ограждающих конструкций отапливаемых помещений здания соответственно стен, заполнений световых проемов, покрытия (чердачного перекрытия), пола первого этажа, пола над проездами, м<sup>2</sup>;

$R_{м.ст}, R_{м.ок}, R_{м.пок}, R_{м.1 пол}, R_{м.2 пол}$  – сопротивление теплопередаче наружных ограждающих конструкций отапливаемых помещений здания соответственно стен, заполнений световых проемов, покрытия (чердачного перекрытия), пола первого этажа, пола над проездами, м<sup>2</sup>·°С/Вт;

$n_1, n_2$  – коэффициенты, учитывающие положение наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху, соответственно покрытия (чердачного перекрытия), пола первого этажа; принимаются по таблице 6.2.

Рекомендуемые значения удельной тепловой характеристики для жилых зданий приведены в ТКП 45-2.04-43-2006 «Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования» (табл. В.1) и представлены ниже в таблице 6.3.

Таблица 6.2 – Коэффициент, учитывающий положение наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху,  $n$

Ограждающие конструкции	Коэффициент, учитывающий положение наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху, $n$
1. Наружные стены и покрытия (в том числе вентилируемые наружным воздухом); чердачные перекрытия с кровлей из штучных материалов и перекрытия над проездами	1
2. Перекрытия над холодными подвалами, сообщающимися с наружным воздухом; чердачные перекрытия с кровлей из рулонных материалов	0,9
3. Перекрытия над неотапливаемыми подвалами со световыми проемами в стенах	0,75
4. Перекрытия над неотапливаемыми подвалами без световых проемов в стенах, расположенные выше уровня земли	0,6
5. Перекрытия над неотапливаемыми техническими подпольями, расположенные ниже уровня земли	0,4

Таблица 6.3 – Рекомендуемые значения удельной тепловой характеристики для жилых зданий

Тип здания и ограждающих конструкций	Удельная тепловая характеристика $q_{зд}$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)
1. Многоэтажные здания (9 этажей и более) с наружными стенами из:	
– панелей,	0,49
– монолитного бетона,	0,53
– мелкоштучных материалов	0,55
2. Многоэтажные здания (6–8 этажей) с наружными стенами из:	
– панелей,	0,50
– монолитного бетона,	0,54
– мелкоштучных материалов	0,56
3. Здания средней этажности (3–5 этажей) с наружными стенами из:	
– панелей,	0,51
– монолитного бетона,	0,55
– мелкоштучных материалов	0,57
4. Двухэтажные здания с наружными стенами из:	
– панелей,	0,95
– мелкоштучных материалов	1,03
5. Жилые дома усадебного типа и коттеджи	1,15

В таблице 6.4 приведены варианты заданий, которые распределяются преподавателем.

#### **Цель практического занятия:**

1. Определить необходимость термореновации наружных стен заданной конструкции согласно варианту задания.
2. Выполнить расчет удельной тепловой характеристики здания.

#### **Пример выполнения теплотехнического расчета наружной стены**

Определить, удовлетворяет ли в отношении сопротивления теплопередаче требованиям ТКП 45-2.04-43-2006 «Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования» конструкция стены из газосиликатных блоков двухэтажного здания общественного назначения, расположенного в г.п. Воропаево Витебской области. Здание прямоугольное, с размерами в плане: ширина 8 м, длина 16 м. Высота здания 8,4 м. Высота этажа 2,8 м.

Таблица 6.4 – Варианты заданий

Назначение здания	Количество этажей	Материал стены	Размер в плане, м	Высота этажа, м	Область	Вариант
1	2	3	4	5	6	7
Каркасный жилой дом	12	Кладка из блоков ячеистого бетона на клею, толщиной 400 мм, плотностью 500 кг/м <sup>3</sup> ; наружная декоративная штукатурка, толщиной 15 мм; внутренняя известково-песчаная штукатурка 10 мм	12 × 36	2,8	Брестская	1
Административное здание банка	4	Кладка из кирпича силикатного на цементно-песчаном растворе, толщиной 510 мм; внутренняя отделка – известково-песчаная штукатурка, толщиной 20 мм	20 × 18	2,8	Витебская	2
Узел почтовой связи	2	Кладка из кирпича силикатного на цементно-песчаном растворе, толщиной 380 мм; внутренняя отделка – известково-песчаная штукатурка, толщиной 20 мм	12 × 18	3,0	Гомельская	3
Детский сад	2	Кладка из кирпича керамического на цементно-песчаном растворе, толщиной 380 мм с облицовкой силикатным кирпичом толщиной 120 мм; внутренняя отделка – известково-песчаная штукатурка, толщиной 20 мм	24 × 30	2,8	Гродненская	4
Общественная школа	3	Трехслойные стеновые панели, толщиной 350 мм, состоят из внутреннего слоя железобетона, толщиной 120 мм; наружного слоя железобетона, толщиной 100 мм между которыми расположены плиты полистирольные, плотностью 35 кг/м <sup>3</sup> , толщиной 130 мм	32 × 36	2,8	Минская	5

Продолжение таблицы 6.4

1	2	3	4	5	6	7
Детская поликлиника	4	Однослойная пенобетонная панель, толщиной 300 мм – безавтоклавный золопенобетон М 35-50, плотностью 900-1000 кг/м <sup>3</sup> , толщиной 260 мм, отделан с двух сторон декоративным бетоном толщиной 20 мм	18 × 25	3,0	Могилевская	6
Административное здание строительного треста	3	Однослойная керамзитобетонная панель толщиной 200 мм из керамзитобетона М 50, плотностью 700 кг/м <sup>3</sup> , с наружным отделочным слоем из декоративного бетона 20 мм и внутренним отделочным слоем 10 мм	14 × 22	2,8	Брестская	7
Жилой дом	9	Двухслойная стеновая панель, толщиной 250 мм, из плотного керамзитобетона М 200, плотностью 1600 кг/м <sup>3</sup> – 60 мм, и крупнопористого керамзитобетона, плотностью 650 кг/м <sup>3</sup> – 170 мм; фасадная сторона покрыта слоем декоративного бетона – 20 мм	18 × 24	2,8	Витебская	8
Детский сад с бассейном	2	Кладка из блоков ячеистого бетона на клею, толщиной 500 мм, плотностью 600 кг/м <sup>3</sup> ; наружная декоративная штукатурка, толщиной 15 мм; внутренняя известково-песчаная штукатурка 10 мм	26 × 28	3,0	Гомельская	9
Жилой дом	5	Однослойная аглопоритобетонная панель (легкобетонная панель с аглопоритом М 50), толщиной 300 мм (основной слой толщиной 260 мм, снаружи и изнутри имеет бетонные отделочные слои – 20 мм), плотностью 900 кг/м <sup>3</sup>	12 × 52	2,8	Гродненская	10
Здание карнастного театра – поликлиника с бассейном	5	Кладка из блоков ячеистого бетона на клею, толщиной 300 мм, плотностью 500 кг/м <sup>3</sup> ; наружная декоративная штукатурка, толщиной 15 мм; внутренняя известково-песчаная штукатурка 10 мм	14 × 16	2,8	Минская	11

Окончание таблицы 6.4

1	2	3	4	5	6	7
Жилой дом	5	Трехслойная стеновая панель, толщиной 180 мм, с утеплителем из минераловатных плит, состоит из 2 слоев железобетона (по 40 мм), между которыми расположены минераловатные плиты плотностью 350 кг/м <sup>3</sup> – 100 мм	8 × 14	3,0	Могилевская	12
Жилой дом	2	Кладка из арболитовых блоков на цементно-известковом растворе, толщиной 300 мм, плотностью 700 кг/м <sup>3</sup> , теплопроводность составляет 0,14 Вт/(м·°С); наружная декоративная штукатурка, толщиной 15 мм; внутренняя известково-песчаная штукатурка 10 мм	12 × 9	2,8	Витебская	13
Жилой дом	5	Кладка из керамических поризованных пустотелых блоков, толщиной 510 мм, плотностью 900 кг/м <sup>3</sup> , с коэффициентом теплопроводности в сухом состоянии $\lambda = 0,22$ Вт/(м·°С); наружная цементно-песчаная штукатурка, толщиной 20 мм; внутренняя известково-песчаная штукатурка 10 мм	12 × 48	2,8	Могилевская	14
Жилой дом	4	Кладка однослойная из керамзитобетонных блоков «ТермоКомфорт» толщиной 425 мм. Горизонтальные швы выполнены из цементно-песчаного раствора – двух полос общей шириной 200 мм и толщиной 10 мм, вертикальные стыки камней выполнены всухую (без применения раствора). После завершения кладочных работ произведена затирка стыков цементно-песчаным раствором. Коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,139$ Вт/(м·°С)	14 × 72	2,8	Минская	15

Расчетные параметры воздуха в помещениях для расчета наружных ограждающих конструкций жилых, общественных, административных и бытовых зданий и сооружений принимаем по таблице 6.5.

Таблица 6.5 – Расчетные параметры воздуха в помещениях

Здания, помещения	Расчетная температура воздуха $t_e$ , °С	Относительная влажность воздуха $\phi_e$ , %
Жилые здания	18	55
Общественные здания (кроме дошкольных и детских лечебных учреждений, помещений с влажным и мокрым режимами)	18	50
Здания дошкольных и детских лечебных учреждений	21	50
Залы ванн бассейнов	27	67
Административные и бытовые здания	18	50

Влажностный режим помещений и условия эксплуатации ограждающих конструкций здания в зимний период принимаем по таблице 6.6 в зависимости от температуры и относительной влажности внутреннего воздуха – условия эксплуатации ограждающих конструкций – А.

Определяем по приложению А ТКП 45-2.04-43-2006 коэффициент теплопроводности и коэффициент теплоусвоения для каждого слоя наружной стены, рассчитываем термическое сопротивление. Результаты представляем в форме таблицы 6.7.

Таблица 6.6 – Условия эксплуатации ограждающих конструкций

Относительная влажность внутреннего воздуха, %, при температуре $t_e$			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
Св. 60 “ 75 “	Св. 50 “ 60 “	Св. 40 “ 50 “	Нормальный	Б
“ 75	“ 60 “ 75 “	“ 50 “ 60 “	Влажный	Б
	“ 75	“ 60	Мокрый	Б
<p><i>Примечание</i> – Внутренние ограждающие конструкции, чердачные перекрытия, перекрытия над неотапливаемыми подвалами и техническими подпольями помещений с нормальным влажностным режимом следует рассчитывать для условий эксплуатации ограждающих конструкций А.</p>				

Таблица 6.7 – Теплотехнические характеристики отдельных слоев наружной стены

Номер слоя	Материал	Толщина слоя $\delta$ , м	Плотность материала в сухом состоянии $\rho_0$ , кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности $\lambda$ , Вт/(м·°С)	Термическое сопротивление $R = \frac{\delta}{\lambda}$ , м <sup>2</sup> ·°С/Вт
1	Известково-песчаная штукатурка	0,025	1600	0,70	0,036
2	Газосиликатные блоки 200×300×600-2,5-500-35-2 СТБ 1117-98	0,30	500	0,15	2,0
3	Минеральные штукатурные составы Saratect	0,003	1600	0,75	0,004

Определяем термическое сопротивление наружной стены:

$$R_{\kappa} = 0,036 + 2,0 + 0,004 = 2,04 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}.$$

Определяем коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции  $\alpha_6$ , Вт/(м<sup>2</sup>·°С) по таблице 6.8.

Таблица 6.8 – Коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности

Ограждающие конструкции	Коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности $\alpha_6$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)
1. Стены, полы, гладкие потолки, потолки с выступающими ребрами при отношении высоты ребер к расстоянию $a$ между гранями соседних ребер $h/a < 0,3$	8,7
2. Потолки с выступающими ребрами при отношении $h/a > 0,3$	7,6

Определяем коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции для зимних условий  $\alpha_n$ , Вт/(м<sup>2</sup>·°С) по таблице 6.9.

Определяем сопротивление теплопередаче наружной стены из газосиликатных блоков  $R_m$ :

$$R_m = \frac{1}{8,7} + 2,04 + \frac{1}{23} = 2,20 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}.$$

Таблица 6.9 – Коэффициент теплоотдачи наружной поверхности

Ограждающие конструкции	Коэффициент теплоотдачи наружной поверхности $\alpha_n$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)
1. Наружные стены, покрытия, перекрытия над проездами	23
2. Перекрытия над холодными подвалами, сообщающимися с наружным воздухом	17
3. Перекрытия чердачные и над неотапливаемыми подвалами со световыми проемами в стенах, а также наружные стены с воздушной прослойкой, вентилируемой наружным воздухом	12
4. Перекрытия над неотапливаемыми подвалами без световых проемов в стенах, расположенных выше уровня земли, и над неотапливаемыми техническими подпольями, расположенными ниже уровня земли	6

Нормативное сопротивление теплопередаче наружных стен

$$R_{т\text{ норм.}} = 3,2 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт.}$$

Так как сопротивление теплопередаче наружной стены  $R_m$  меньше нормативного значения  $R_{т.норм.}$ , необходимо выполнить утепление стен, при этом теплоизоляционный слой должен обеспечивать сопротивление теплопередаче не менее разности значений нормативного и расчетного значений:

$$R_{м\text{uten.}} = 3,2 - 2,20 = 1,00 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт.}$$

В качестве теплоизоляционных материалов наибольшее применение находят минераловатные или пенополистирольные плиты.

Коэффициенты теплопроводности пенополистирола и минеральной ваты почти одинаковые, поэтому при одинаковой толщине этих теплоизоляционных материалов сбережения энергии будут одинаковыми.

В системах утепления можно применять пенополистирол плотностью 15...20 кг/м<sup>3</sup>, который выдерживает нагрузку 0,1 МПа, вызывающую 10-процентную деформацию. Допустимый размер плит – не более 1200×600 мм.

Минераловатная плита имеет значительный вес, малую твердость и сравнительно небольшую прочность. Она выдерживает нагрузку, вызывающую 10-процентную деформацию – около 40 кПа. Однако за счет сво-

ей волокнистой структуры минераловатная плита является хорошим звукоизоляционным материалом.

Может использоваться два типа плит.

Первый тип – плита с хаотичным расположением волокон (плотность 120...160 кг/м<sup>3</sup>, прочность на разрыв в направлении, перпендикулярном к поверхности плиты – более 10 кПа), размерами 500×1000 мм или 600×1200 мм. Второй тип – плита с ламинарным параллельным расположением волокон, направленных перпендикулярно к поверхности стены (плотность 80...120 кг/м<sup>3</sup>). Этот тип плит еще называют «ламель», обычно она имеет размер 200×1200 мм.

Система утепления с применением минераловатной плиты рекомендуется для зданий, расположенных в зонах с высоким уровнем шума. Так как ламелевые минеральные плиты легко поддаются изгибу, они идеально подходят для применения на участках фасада округлой формы.

Системы утепления на базе пенополистирола чаще применяются как при устройстве тепловой изоляции новых зданий, так и при тепловой модернизации уже существующих зданий. Основная тому причина – экономические факторы.

Пенополистирол имеет меньшую стоимость, чем минераловатная плита. Пенополистирол почти в десять раз легче минераловатной плиты, что делает его более удобным в транспортировании и складировании. При утеплении частных домов высотой до 11 м возможно крепление пенополистирола без дюбелей. Плиты пенополистирольные более удобны в обработке, легко поддаются резке и сверлению. Гранулы пенополистирола, в отличие от волокон минераловаты, не вызывают раздражений кожи и слизистых оболочек лица человека, выполняющего работы по утеплению. При выборе пенополистирола в качестве утеплителя в системе утепления можно не опасаться, что конструкция стены будет перегружена.

На основе проведенного анализа в качестве теплоизоляционного материала выбираем плиты пенополистирольные, плотностью  $\rho_0 = 15 \text{ кг/м}^3$ , коэффициентом теплопроводности  $\lambda = 0,045 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ .

Определяем толщину теплоизоляционного слоя:

$$\delta_{\text{утеп.}} = R_{\text{м.утеп.}} \cdot \lambda_{\text{утеп.}} = 1,00 \cdot 0,045 = 0,045 \text{ м.}$$

Округляем толщину утеплителя до 50 мм. Принимаем плиты пенополистирольные теплоизоляционные, предназначенные для наружной теп-

ловой изоляции, марки 15Н, вида Б, длиной 1000, шириной 500 и толщиной 50 мм: ППТ-15Н-Б-1000×500×50 СТБ 1437-2004.

Рассчитываем сопротивление теплопередаче наружной стены из газосиликатных блоков с утеплением теплоизоляционными плитами  $R_m$  (защитно-декоративный слой по плитам утеплителя не учитываем):

$$R_m = \frac{1}{8,7} + \frac{0,025}{0,70} + \frac{0,30}{0,15} + \frac{0,05}{0,045} + \frac{1}{23} = 3,31 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

Однослойная наружная стена, выполненная из газосиликатных блоков, толщиной 300 мм, утепленная пенополистирольными теплоизоляционными плитами, толщиной 50 мм, соответствует нормативным требованиям по сопротивлению теплопередаче.

### Расчет удельной тепловой характеристики здания

Для выполнения расчета удельной тепловой характеристики здания определяем геометрические показатели здания:

- площадь наружных стен  $F_{cm} = 315 \text{ м}^2$ ;
- площадь заполнений световых проемов (18% от площади наружных стен)  $F_{ок} = 0,18 F_{cm} = 69 \text{ м}^2$ ;
- площадь покрытия (чердачного перекрытия)  $F_{пок} = 128 \text{ м}^2$ ;
- площадь пола первого этажа  $F_{1пол} = 128 \text{ м}^2$ ;
- отапливаемая площадь здания (суммарная площадь пола этажей здания)  $F_{от} = 256 \text{ м}^2$ .

По результатам расчетов, выполненных в практических занятиях № 4 и № 5, принимаем сопротивление теплопередаче пола первого этажа:

$$R_{m.1пол} = 2,5 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

По результатам расчетов, выполненных в практическом занятии № 6, принимаем сопротивление теплопередаче наружной стены:

$$R_{m.cm} = 3,31 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

Для остальных наружных ограждающих конструкций принимаем нормативные значения сопротивления теплопередаче:

- заполнений проемов  $R_{m.ок} = 1,0 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ ;
- покрытия (чердачного перекрытия)  $R_{m.пок} = 6,0 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ .

Определяем удельную тепловую характеристику здания  $q_{зд}$ , Вт/(м<sup>2</sup>°С) по формуле (6.1)

$$q_{зд} = \frac{1}{256} \cdot \left( \frac{315}{3,31} + \frac{69}{1,0} + 1 \cdot \frac{128}{6,0} + 0,75 \frac{128}{2,5} \right) = 0,875 \text{ Вт/(м}^2\text{°С)}.$$

Рекомендуемое значение удельной тепловой характеристики здания, согласно таблице 6.3, для двухэтажного здания со стенами из мелкоштучных материалов составляет 1,03 Вт/(м<sup>2</sup>°С).

Расчетное значение удельной тепловой характеристики здания меньше рекомендуемого, это свидетельствует о том, что наружные ограждающие конструкции обеспечивают необходимую защиту здания от тепловых потерь.

### **Контрольные вопросы**

1. Дайте определение терминам «термореновация», «термомодернизация», «термореконструкция».
2. Перечислите преимущества стен, выполняемых кладкой из мелкоштучных элементов?
3. Назовите эффективные стеновые и теплоизоляционные материалы.
4. Как определяется удельная тепловая характеристика зданий?

## Практическое занятие № 7

### РАСЧЕТ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЗДАНИЯ

#### Общие сведения

Основными теплоэнергетическими параметрами здания считаются:

- общая потребность в тепловой энергии на отопление здания и вентиляцию здания;
- удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания.

Для расчета этих показателей сначала определяются теплопотери здания в течение отопительного периода через наружные ограждения и за счет инфильтрации. Затем из этой цифры вычитаются значения теплопоступлений от солнечной радиации и внутренних бытовых тепловыделений, уменьшенные с учетом аккумуляции некоторого количества теплоты ограждениями помещений и эффективности регулирования теплоотдачи от отопительных приборов.

Методика определения удельных расходов тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий, приведенная в СНБ 4.02.01-03 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха», содержит следующий порядок выполнения расчетов.

Потери теплоты через отдельные ограждающие конструкции  $Q$ , Вт, с округлением до 10 Вт для помещений определяют по формуле

$$Q = F(t_g - t_{нар})(1 + \sum \beta) n / R_m, \quad (7.1)$$

где  $F$  – расчетная площадь ограждающей конструкции, м<sup>2</sup>;

$R_m$  – сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, м<sup>2</sup>·°С/Вт;

$t_g$  – расчетная температура воздуха в помещении, °С, с учетом повышения ее в зависимости от высоты для помещений высотой более 4 м;

$t_n$  – расчетная температура наружного воздуха для холодного периода года при расчете потерь теплоты через наружные ограждающие конструкции, °С; принимается по таблице 7.1;

$n$  – коэффициент, принимаемый в зависимости от положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху (см. табл. 6.2);

$\beta$  – добавочные потери теплоты в долях от основных потерь.

Таблица 7.1 – Средняя температура наружного воздуха  $t_n$ , °С, по областям

Расчетный период	Средняя температура наружного воздуха $t_n$ , °С, по областям					
	Брест- ская	Витеб- ская	Гомель- ская	Гроднен- ская	Минская	Могилевская
Наиболее холодные сутки обеспеченностью 0,98	-31	-37	-32	-31	-33	-34
Наиболее холодные сутки обеспеченностью 0,92	-25	-31	-28	-26	-28	-29
Наиболее холодная пятидневка обеспеченностью 0,92	-21	-25	-24	-22	-24	-25

Добавочные потери теплоты через ограждающие конструкции  $\beta$  принимают в долях от основных потерь:

а) в помещениях любого назначения через наружные вертикальные и наклонные (вертикальная проекция) стены, двери и окна, обращенные на север, восток, северо-восток и северо-запад – 0,10, на юго-восток и запад – 0,05;

в общественных, административных, бытовых и производственных помещениях через две наружные стены и более – 0,15, если одна из ограждающих конструкций обращена на север, восток, северо-восток и северо-запад, и 0,10 – в других случаях;

в угловых помещениях – дополнительно по 0,05 на каждую стену, дверь и окно;

б) в помещениях (при типовом проектировании) через стены, двери и окна, обращенные на любую из сторон света, – 0,08 при одной наружной стороне и 0,13 – для угловых помещений, а во всех жилых помещениях – 0,13, независимо от количества наружных стен;

в) через наружные двери, не оборудованные воздушными или воздушно-тепловыми завесами, при высоте зданий  $H$ , м, от средней планировочной отметки земли до верха карниза, центра вытяжных отверстий фонаря или устья шахты:

$0,20H$  – для тройных дверей с двумя тамбурами между ними;

$0,27H$  – для двойных дверей с тамбуром между ними;

$0,34H$  – для двойных дверей без тамбура;

$0,22H$  – для одинарных дверей.

Средние параметры наружного воздуха за отопительный период и его продолжительность принимают по таблице 7.2. Продолжительность

отопительного периода соответствует периоду года со среднесуточной температурой воздуха, равной и ниже 8°C, а для больниц, школ и дошкольных учреждений – равной и ниже 10°C.

Таблица 7.2 – Средние параметры наружного воздуха за отопительный период и его продолжительность

Область	Средняя температура наружного воздуха $t_n$ , °C	Продолжительность отопительного периода $Z_{от}$ , сут
Брестская	0,2	187
	0,8	205
Витебская	-2,0	207
	-1,4	222
Гомельская	-1,6	194
	-0,8	212
Гродненская	-0,5	194
	0,4	213
Минская	-1,6	202
	-0,9	220
Могилевская	-1,9	204
	-1,2	221

*Примечание* – В числителе приведены данные для среднесуточной температуры наружного воздуха начала отопительного периода 8°C, в знаменателе – для 10°C.

Расход теплоты на нагревание инфильтрующегося воздуха  $Q_i$ , Вт, в помещениях жилых и общественных зданий при естественной вытяжной вентиляции, не компенсируемый подогретым приточным воздухом, определяют по формуле

$$Q_i = 0,28L_n\rho c(t_e - t_n)k, \quad (7.2)$$

где  $L_n$  – 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;

$\rho$  – плотность воздуха в помещении, равная 1,213 кг/м<sup>3</sup> при температуре воздуха в помещении 18°C;

$c$  – удельная теплоемкость воздуха, равная 1 кДж/(кг·°C);

$t_b, t_n$  – расчетные температуры воздуха, °C, соответственно в помещении (средняя с учетом повышения для помещений высотой более 4 м) и наружного воздуха в холодный период года.

$k$  – 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.

Количество градусо-суток ( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут}$ ) отопительного периода  $D$  определяют по формуле

$$D = (t_g - t_{om}) \cdot Z_{om}, \quad (7.3)$$

где  $t_{om}$  и  $Z_{om}$  – средняя за отопительный период температура наружного воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ , и продолжительность отопительного периода, сут;

$t_g$  – расчетная температура внутреннего воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ .

Основные и добавочные годовые потери теплоты здания и годовой расход теплоты на нагревание инфильтрующегося воздуха ( $Q_{ts} + Q_{is}$ ), кВт·ч, определяют по формуле

$$(Q_{ts} + Q_{is}) = \frac{0,024(\sum Q + \sum Q_i)}{t_g - t_n} \cdot D, \quad (7.4)$$

где  $\sum Q$  – сумма основных и добавочных потерь теплоты здания, Вт;

$\sum Q_i$  – сумма расходов теплоты на нагревание наружного воздуха, инфильтрующегося в помещения здания, Вт;

$t_g$  – средневзвешенная по объему здания расчетная температура внутреннего воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t_n$  – средняя температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92,  $^{\circ}\text{C}$ .

Годовые поступления теплоты от электрических приборов, освещения, технологического оборудования, коммуникаций, материалов, людей и других источников  $Q_{hs}$ , кВт·ч, определяют по формуле

$$Q_{hs} = 0,024 \sum Q_h \cdot Z_{om}, \quad (7.5)$$

где  $\sum Q_h$  – суммарный тепловой поток, регулярно поступающий в помещения здания от электрических приборов, освещения, технологического оборудования, коммуникаций, материалов, людей и других источников, Вт, при этом тепловой поток, поступающий в комнаты и кухни жилых домов, следует принимать – 21,0 Вт на  $1\text{ м}^2$  пола.

Удельные бытовые тепловыделения общественных и административных зданий за отопительный период  $Q_h$ , Вт, вычисляются в зависимости от числа людей, находящихся в здании, по расчетному числу (90 Вт на человека); от освещения (по установленной мощности) и оргтехники (10 Вт/м<sup>2</sup>) с учетом продолжительности рабочего дня и количества рабочих дней в неделю.

Тепловыделения от источников искусственного освещения зависят от принятого уровня освещенности помещения и удельных тепловыделений от установленных светильников и определяются по формуле

$$Q_{осв} = E \cdot F_{пл} \cdot q_{осв} \cdot h_{осв}, \quad (7.6)$$

где  $E$  – заданная минимальная освещенность, лк;

$F_{пл}$  – площадь пола помещения, м<sup>2</sup>;

$q_{осв}$  – средние удельные тепловыделения, Вт/(лк·м<sup>2</sup>);

$h_{осв}$  – коэффициент равный 1, если светильники находятся непосредственно в помещении, и 0,45 – если светильники располагаются в вентилируемом подвесном потолке.

Удельные тепловыделения от светильников с люминесцентными лампами (верхние значения) и лампами накаливания (нижние значения) приведены в таблице 7.3.

Таблица 7.3 – Удельные тепловыделения от светильников

Тип светильника	Средние удельные тепловыделения $q_{осв}$ , Вт / (лк·м <sup>2</sup> ), для помещений площадью, м <sup>2</sup>					
	менее 50		50...200		более 200	
	При высоте помещения, м					
	до 3,6	более 4,2	до 3,6	более 4,2	до 3,6	более 4,2
Прямого света	0,077	0,202	0,058	0,074	0,056	0,067
	0,212	0,280	0,160	0,204	0,154	0,187
Диффузного света	0,116	0,166	0,079	0,102	0,077	0,094
	0,319	0,456	0,217	0,280	0,212	0,268
Отраженного света	0,161	0,264	0,154	0,264	0,108	0,145
	0,443	0,726	0,424	0,726	0,297	0,399

Суммарный годовой расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания  $Q_s$ , кВт·ч, определяют по формуле

$$Q_s = (Q_{ts} + Q_{is}) - Q_{hs} \cdot \eta_1, \quad (7.7)$$

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

$Q_{hs}$  – годовые поступления теплоты от электрических приборов, освещения, технологического оборудования, коммуникаций, материалов, людей и других источников, кВт·ч;

$\eta_1$  – коэффициент, принимаемый по таблице 7.4 в зависимости от способа регулирования системы отопления здания.

Таблица 7.4 – Значение коэффициента  $\eta_1$  в зависимости от системы отопления и способа регулирования

Система отопления и способ регулирования	Коэффициент $\eta_1$
Электроотопление с индивидуальным регулирование	0,85
Водяное отопление с индивидуальными автоматическими терморегуляторами у отопительных приборов	0,80
Водяное отопление с местным пофасадным регулированием по температуре внутреннего воздуха помещений-представителей	0,60
Водяное отопление с местной системой регулирования по температуре наружного воздуха («следающая система регулирования»)	0,40
Водяное отопление без регулирования	0,20

Удельные расходы тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий  $q_A$ , Вт·ч/(м<sup>2</sup>·°С·сут), и  $q_V$ , Вт·ч/(м<sup>3</sup>·°С·сут), определяют по формулам:

$$q_A = \frac{Q_s}{F_{om} \cdot D} \cdot 10^3, \quad (7.8)$$

$$q_V = \frac{Q_s}{V_{om} \cdot D} \cdot 10^3, \quad (7.9)$$

где  $Q_s$  – суммарный годовой расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания, кВт·ч;

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

$V_{om}$  – отапливаемый объем здания, м<sup>3</sup>;

$D$  – количество градусо-суток отопительного периода, °С·сут.

Расчетное здание удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию не должно превышать нормативного значения, приведенного в таблице 7.5.

Таблица 7.5 – Нормативные удельные расходы тепловой энергии на отопление и вентиляцию жилых и общественных зданий

Наименование объектов нормирования	Нормативный удельный расход тепловой энергии		
	на отопление и вентиляцию		на вентиляцию с искусственным побуждением
	$q_{An},$ Вт·ч/(м <sup>2</sup> ·°С·сут)	$q_{Vn},$ Вт·ч/(м <sup>3</sup> ·°С·сут)	$q_{h in},$ Вт·ч/(м <sup>3</sup> ·°С·сут)
1	2	3	4
1. Жилые дома (9 этажей и более) с наружными стенами из:			
– многослойных панелей;	21,7	7,8	–
– монолитного бетона;	22,2	7,9	–
– штучных материалов	22,9	8,2	–
2. Жилые дома (6–8 этажей) с наружными стенами из:			
– многослойных панелей;	23,0	8,2	–
– штучных материалов	24,4	8,7	–
3. Жилые дома (4–5 этажей) с наружными стенами из:			
– многослойных панелей;	22,5	8,0	–
– штучных материалов	24,0	8,6	–
4. Жилые дома (2–3 этажа) с наружными стенами из штучных материалов	29,6	10,6	–
5. Коттеджи, жилые дома усадебного типа, в том числе с мансардами	35,4	12,6	–
6. Детские сады с наружными стенами из:			
– многослойных панелей;	–	8,4	1,0
– штучных материалов	–	8,7	1,0
7. Детские сады с бассейном с наружными стенами из:			
– многослойных панелей;	–	9,4	1,4
– штучных материалов	–	10,0	1,4
8. Школы с наружными стенами из:			
– многослойных панелей;	–	5,5	3,7
– штучных материалов	–	5,7	3,7
9. Поликлиники с наружными стенами из:			
– многослойных панелей;	–	5,8	3,5
– штучных материалов	–	6,2	3,5

Окончание таблицы 7.5

1	2	3	4
10. Поликлиники с бассейном или гимнастическим залом с наружными стенами из: – многослойных панелей; – штучных материалов	– –	6,9 7,2	6,0 6,0
11. Административное здание с наружными стенами из: – многослойных панелей; – штучных материалов	– –	5,1 5,3	3,8 3,8
<p><i>Примечания:</i></p> <p>1. Значения нормативных удельных расходов тепловой энергии на отопление определены при коэффициенте остекленности, равном 0,18 (для поз. 1...4) и 0,15 (для поз. 5).</p> <p>2. Значения удельных расходов тепловой энергии на вентиляцию с искусственным побуждением приведены в качестве справочных.</p> <p>Продолжительность работы систем приточной вентиляции с искусственным побуждением для общественных зданий за отопительный период определена на основании следующих исходных данных:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– для детских яслей-садов: 5-дневная рабочая неделя и 12-часовой рабочий день;</li> <li>– для общеобразовательных школ: 6-дневная рабочая неделя и 12-часовой рабочий день;</li> <li>– для административных зданий: 5-дневная рабочая неделя и 10-часовой рабочий день.</li> </ul>			

### **Цель практического занятия:**

1. Изучить методику определения теплоэнергетических параметров зданий.
2. Выполнить расчет удельных расходов тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания, согласно варианту задания.

### **Пример определения удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания**

Определить, удельный расход тепловой энергии на отоплении и вентиляцию двухэтажного здания общественного назначения, расположенного в г.п. Воропаево Витебской области. Здание прямоугольное, с размерами в плане: ширина 8 м, длина 16 м. Высота здания 8,4 м. Высота этажа 2,8 м. Полы первого этажа – бетонные мозаичные по грунту.

Расход теплоты на нагревание инфильтрующегося воздуха  $Q_i$ , Вт, при естественной вытяжной вентиляции не учитываем.

Определение площади наружных стен выполняем по заданным проектным размерам здания.

Общая площадь наружных стен составляет  $F_{cm} = 315 \text{ м}^2$ , в том числе с учетом ориентации по сторонам света:

- ориентированных на юг –  $105 \text{ м}^2$ ;
- ориентированных на север –  $105 \text{ м}^2$ ;
- ориентированных на запад –  $52,5 \text{ м}^2$ ;
- ориентированных на восток –  $52,5 \text{ м}^2$ .

Определяем потери теплоты через ограждающие конструкции по формуле (7.1):

1) потери теплоты через наружные стены, обращенные на север, запад, восток:

$$Q_{cm} = 210 \cdot (18 + 25)(1 + 0,15 + 0,05) \cdot 1/3,31 = 3273,72 \text{ Вт};$$

2) потери теплоты через наружные стены, обращенные на юг:

$$Q_{cm} = 105 \cdot (18 + 25)(1 + 0,05) \cdot 1/3,31 = 1432,25 \text{ Вт},$$

где  $0,15$  – надбавка на ориентацию на север, запад, восток;  $0,05$  – надбавка на угловое помещение;

3) потери теплоты через окна, обращенные на север:

$$Q_{ок} = 34,5 \cdot (18 + 25)(1 + 0,15 + 0,05) \cdot 1/1,0 = 1780,2 \text{ Вт};$$

4) потери теплоты через окна, обращенные на юг:

$$Q_{ок} = 34,5 \cdot (18 + 25)(1 + 0,05) \cdot 1/1,0 = 1557,67 \text{ Вт},$$

где  $0,15$  – надбавка на ориентацию на север;  $0,05$  – надбавка на угловое помещение.

Соппротивление теплопередаче для полов определяем как для неутепленных полов на грунте и стен ниже уровня земли с коэффициентом теплопроводности  $\lambda \geq 1,2 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$  по зонам шириной 2 м, параллельным наружным стенам, принимая  $R_c, \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{С}/\text{Вт}$ , равным: 2,1 – для 1-й зоны; 4,3 – для 2-й; 8,6 – для 3-й; 14,2 – для 4-й и оставшейся площади пола.

При размерах здания в плане  $8 \times 16$  м площадь пола 1-й зоны составляет  $80 \text{ м}^2$ , 2-й зоны –  $46 \text{ м}^2$ .

Потери теплоты через полы первого этажа:

$$Q_{пол} = (80/2,1 + 46/4,3) \cdot (18 + 25) = 2098,06 \text{ Вт}.$$

Потери теплоты через покрытие:

$$Q_{нок} = 128 \cdot (18 + 25) / 6,0 = 917,33 \text{ Вт.}$$

Потери теплоты через входные двери (ориентация на север):

$$Q_{дв} = 5 \cdot (18 + 25) \cdot (1 + 0,15) / 0,49 = 504,59 \text{ Вт.}$$

Сумма потерь теплоты через ограждающие конструкции помещений составит 11563,82 Вт.

Рассчитываем бытовые тепловыделения с учетом 5-дневной рабочей недели и 8-часового рабочего дня.

Поступления теплоты от людей:

$$Q_{hl} = 25 \cdot 90 \cdot \frac{8}{24} \cdot \frac{5}{7} = 535,71 \text{ Вт,}$$

где 25 – расчетное число людей;

90 – количество теплоты, Вт, выделяемое одним человеком при температуре воздуха в помещении 20°C.

Поступления теплоты от освещения по формуле (7.6):

$$Q_{осв} = 300 \cdot 256 \cdot 0,058 \cdot 0,045 \cdot \frac{8}{24} \cdot \frac{5}{7} = 477,26 \text{ Вт.}$$

Поступления теплоты от оргтехники (в среднем принимаем 10 Вт на 1 м<sup>2</sup>):

$$Q_{tex} = 10 \cdot 256 \cdot \frac{8}{24} \cdot \frac{5}{7} = 609,52 \text{ Вт.}$$

К подсчитанным поступлениям теплоты прибавляем 20% на неучтенные теплопритоки:

$$\sum Q_h = (535,71 + 477,26 + 609,52) \cdot 1,2 = 1946,99 \text{ Вт.}$$

Средняя температура наружного воздуха для Витебской области за отопительный период составляет  $t_n = -2^\circ\text{C}$ , продолжительность отопительного периода  $Z_{om} = 207$  сут (по таблице 7.2).

Количество градусо-суток отопительного периода рассчитываем по формуле (7.3)

$$D = (t_g - t_{om}) \cdot Z_{om} = (18 + 2) \cdot 207 = 4140, \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{сут.}$$

Годовые поступления теплоты от освещения, оргтехники, людей и других источников определяют по формуле (7.5)

$$Q_{hs} = 0,024 \sum Q_h \cdot Z_{hi} = 0,024 \cdot 1946,99 \cdot 207 = 9672,64 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

Годовые потери теплоты здания  $Q_{ts}$ , кВт·ч, определяют по формуле (7.4)

$$Q_{ts} = \frac{0,024 \cdot \sum Q}{t_e - t_x} \cdot D = \frac{0,024 \cdot 11563,82}{18 + 25} \cdot 4140 = 26720,49 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

Суммарный годовой расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания  $Q_s$ , кВт·ч, определяем по формуле (7.7):

$$Q_s = Q_{ts} - Q_{hs} \cdot \eta_1 = 26720,49 - 9672,64 \cdot 0,60 = 20916,91 \text{ кВт}\cdot\text{ч},$$

Отапливаемая площадь здания (суммарная площадь пола этажей здания):

$$F_{om} = 256 \text{ м}^2.$$

Отапливаемый объем здания (равен объему, ограниченному внутренними поверхностями наружных ограждений здания)

$$V_{om} = 716,8 \text{ м}^3.$$

Удельные расходы тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий  $q_A$ , Вт·ч/(м<sup>2</sup>·°С·сут), и  $q_V$ , Вт·ч/(м<sup>3</sup>·°С·сут), определяем по формулам (7.8), (7.9):

$$q_A = \frac{Q_s}{F_{om} \cdot D} \cdot 10^3 = \frac{20916,91}{256 \cdot 4140} \cdot 10^3 = 19,74 \text{ Вт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С} \cdot \text{сут}),$$

$$q_V = \frac{Q_s}{V_{om} \cdot D} \cdot 10^3 = \frac{20916,91}{716,8 \cdot 4140} \cdot 10^3 = 7,05 \text{ Вт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^3 \cdot \text{°С} \cdot \text{сут}).$$

По таблице 7.5 нормативное значение удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию составляет 5,3 Вт·ч/(м<sup>3</sup>·°С·сут).

Расчетное значение 7,05 Вт·ч/(м<sup>3</sup>·°С·сут) превышает нормативное, что свидетельствует о необходимости снижения теплопотерь в здании, которое может быть достигнуто за счет увеличения толщины тепловой изоляции наружных стен и покрытия.

При утеплении наружных стен ориентированных на север, запад и восток плитами пенополистирольными толщиной 100 мм сопротивление теплопередаче составит

$$R_m = \frac{1}{8,7} + \frac{0,025}{0,70} + \frac{0,30}{0,15} + \frac{0,10}{0,045} + \frac{1}{23} = 4,37, \text{ м}^2 \cdot \text{°С}/\text{Вт}.$$

Тогда потери теплоты через наружные стены, обращенные на север, запад, восток:

$$Q_{cm} = 210 \cdot (18 + 25) \cdot (1 + 0,15 + 0,05) \cdot 1/4,37 = 2479,63 \text{ Вт}.$$

Сумма потерь теплоты через ограждающие конструкции помещений составит **10769,73 Вт**.

Годовые потери теплоты здания  $Q_{ts}$ , кВт·ч, составят

$$Q_{ts} = \frac{0,024 \cdot \sum Q}{t_g - t_x} \cdot D = \frac{0,024 \cdot 10769,73}{18 + 25} \cdot 4140 = 24885,59 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

Суммарный годовой расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания  $Q_s$ , кВт·ч, составит

$$Q_s = Q_{ts} - Q_{hs} \cdot \eta_1 = 24885,59 - 9672,64 \cdot 0,60 = 19082,01 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

Удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания  $q_V$ , Вт·ч/(м<sup>3</sup>·°С·сут), составит

$$q_V = \frac{Q_s}{V_{om} \cdot D} \cdot 10^3 = \frac{19082,01}{716,8 \cdot 4140} \cdot 10^3 = 6,43 > 5,3.$$

А это больше, чем 5,3 Вт·ч / (м<sup>3</sup>·°С·сут).

Таким образом, увеличение толщины тепловой изоляции стен, ориентированных на север, запад и восток, с 50 мм до 100 мм снизило теплопотери, но удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания превышает нормативное значение. Следовательно, необходимо обеспечить дальнейшее снижение теплопотерь в здании путем дополнительного утепления пола 1-го этажа, утепления покрытия здания или снижения процента остекленности фасада.

### Контрольные вопросы

1. Как определяются потери теплоты через отдельные ограждающие конструкции?
2. Что является источниками поступления теплоты в здании?
3. Как определяется отапливаемая площадь и отапливаемый объем здания?

**Практическое занятие № 8**  
**ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ**  
**ТЕРМОРЕНОВАЦИИ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ**

**Общие сведения**

Экономический эффект от термореновации ограждающих конструкций зданий достигается за счет увеличения термосопротивления ограждающих конструкций и уменьшения тепловых потерь.

**Определение экономии тепловой энергии  
от выполнения термореновации ограждающих конструкций зданий**

1. Определение коэффициента сокращения потерь тепловой энергии через ограждающие конструкции:

$$r = (R_{m \text{ норм}} - R_{m \text{ факт}}) / R_{m \text{ факт}}, \quad (8.1)$$

где  $R_{m \text{ факт}}$  – фактическое термосопротивление ограждающих конструкций здания до выполнения мероприятия;

$R_{m \text{ норм}} = 3,2 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$  – нормативное сопротивление теплопередаче для наружных стен жилых и общественных зданий.

2. Определение годовой экономии тепловой энергии (Гкал) за счет снижения тепловых потерь через ограждающие конструкции:

$$\Delta Q = F_{зд.} \cdot (t_{вн} - t_{н}) \cdot (1/R_{m \text{ факт}} - 1/R_{m \text{ дост}}) \cdot T_{от} \cdot 24 \cdot n \cdot 0,86 \cdot 10^{-6}, \quad (8.2)$$

где  $F_{зд.}$  – площадь ограждающих конструкций, подвергнутых термореновации,  $\text{м}^2$ ;

$t_{вн}, t_{н}$  – температура воздуха внутри помещения и снаружи соответственно,  $\text{°C}$ ;

$R_{m \text{ факт}}, R_{m \text{ достиг}}$  – фактическое и достигнутое термосопротивление ограждающих конструкций здания до выполнения и после выполнения мероприятия,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ ;

$T_{от}$  – продолжительность отопительного периода, сут;

24 – число часов в сутках;

$n$  – поправочный коэффициент на разность температур, принимается по климатологическим данным для региона, где внедряется мероприятие (0,4 – 1,2);

0,86 – переводной коэффициент  $\text{кВт} \cdot \text{ч}$  в Гкал.

3. Определение снижения потребления (кВт ч) электроэнергии на теплоисточнике на производство тепловой энергии:

$$\Delta \mathcal{E} = \varepsilon_{сн} \cdot \Delta Q, \quad (8.3)$$

где  $\varepsilon_{сн}$  – удельный расход электроэнергии на производство и транспорт тепловой энергии для теплоисточника, кВт·ч/Гкал (в расчетах принять 18...20 кВт·ч/Гкал);

$\Delta Q$  – годовое снижение тепловых потерь через ограждающие конструкции (экономии тепловой энергии), Гкал.

4. Определение экономии топлива (т у.т.) на источнике электроснабжения:

$$\Delta B_{э} = \Delta \mathcal{E} \cdot (1 + k_{ном}^э / 100) \cdot b_{ээ} \cdot 10^{-6}, \quad (8.4)$$

где  $\Delta \mathcal{E}$  – снижение потребления электроэнергии на теплоисточнике на производство тепловой энергии, кВт ч;

$k_{ном}^э$  – коэффициент потерь электроэнергии в электросетях (в расчетах принять 7%);

$b_{ээ}$  – удельный расход топлива на отпуск электроэнергии принимается равным фактическому расходу топлива на замыкающей станции в энергосистеме (Лукомльской ГРЭС) за год, предшествующий составлению расчета, т у.т./кВт ч (в расчетах принять 312,2 т у.т./кВт ч).

5. Определение экономии топлива (т у.т.) от снижения потребления тепловой энергии:

$$\Delta B_{мэ} = \Delta Q \cdot (1 + k_{ном} / 100) \cdot b_{мэ} \cdot 10^{-3}, \quad (8.5)$$

где  $\Delta Q$  – годового снижения тепловых потерь через ограждающие конструкции (экономии тепловой энергии), Гкал;

$b_{мэ}$  – удельный расход топлива на производство тепловой энергии на теплоисточнике.

В целях соблюдения сопоставимости в расчетах средний удельный расход принимается равным коэффициенту пересчета тепловой энергии в условное топливо 175 кг у.т./Гкал;

$k_{ном}$  – коэффициент потерь в существующих тепловых сетях (в расчетах принять 25...30%).

6. Определение суммарной экономии топлива

$$\Delta B = \Delta B_{э} + \Delta B_{мэ}, \text{ т у.т.} \quad (8.6)$$

## **Расчет срока окупаемости термореновации ограждающих конструкций здания**

1. Определение укрупненных капиталовложений.

1.1. Стоимость теплоизоляционного материала и приспособлений определяется согласно договорным ценам на основании тендера.

1.2. Стоимость проектных работ – до 10% от стоимости строительного-монтажных работ.

1.3. Стоимость строительного-монтажных работ – 45...50% от стоимости материала..

1.4. Капиталовложения в мероприятие (тыс.руб.):

$$K_{ток} = C_M + 0,1 \cdot C_{смп} + (0,45...0,5) \cdot C_M. \quad (8.7)$$

2. Определение срока окупаемости мероприятия (лет) за счет экономии топлива:

$$C_{рок} = K_{ток} / (\Delta B \cdot C_{топл}), \quad (8.8)$$

где  $K_{ток}$  – капиталовложения в мероприятие, тыс. руб.;

$\Delta B$  – экономия топлива от внедрения мероприятия, т у.т.;

$C_{топл}$  – стоимость 1 т у.т. (тыс. руб.), уточняется на момент составления расчета (в расчетах принять стоимость 1 т у.т. 180 долл.).

### **Цель практического занятия:**

1. Изучить методику технико-экономического обоснования термореновации ограждающих конструкций зданий.

2. Определить экономию тепловой энергии от выполнения термореновации ограждающих конструкций зданий, рассчитать срок окупаемости термореновации ограждающих конструкций здания.

В качестве исходных данных принять результаты расчета, выполненного в практическом занятии № 6.

### **Контрольные вопросы**

1. За счет чего достигается экономический эффект от термореновации ограждающих конструкций?
2. Как определяется годовая экономия тепловой энергии за счет снижения тепловых потерь через ограждающие конструкции?
3. Как определяется срок окупаемости мероприятий за счет экономии топлива?

## ЛИТЕРАТУРА

1. Парфенова, Л.М. Основы энергосбережения: учеб.-метод. комплекс / Л.М. Парфенова. – Новополоцк : ПГУ, 2009. – 200 с.
2. Строительная климатология : СНБ 2.04.02-2000. – Введ. 01.07.2001. – Минск : Технический Комитет № 04, 2000. – 40 с.
3. Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования : ТКП 45-2.04-43-2006. – Введ. 01.07.2007. – Минск : РУП «Стройтехнорм», Технический комитет № 04, 2006. – 35 с.
4. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха : СНБ 4.02.01-03. – Введ. 01.01.2005. – Минск: Технический комитет № 06, 2003. – 81 с.
5. Плиты теплоизоляционные из минеральной ваты. Технические условия : СТБ 1995-2009. – Введ. 01.07.2010. – Минск : Технический комитет № 10, 2009. – 16 с.
6. Плиты пенополистирольные теплоизоляционные. Технические условия : СТБ 1437-2004. – Введ. 01.01.2005. – Минск : Технический комитет № 10, 2004. – 14 с.
7. Плиты теплоизоляционные из ячеистых бетонов. Технические условия : СТБ 1034-96. – Введ. 01.07.1997. – Минск : ГП «Стройтехнорм», 1996. – 10 с.
8. Блоки из ячеистых бетонов стеновые. Технические условия : СТБ 1117-98. – Введ. 01.04.1999. – Минск : НИИСМ, 1998. – 29 с.
9. Блоки керамические поризованные пустотелые. Технические условия : СТБ 1719-2007. – Введ. 01.05.2007. – Минск : РУП «Стройтехнорм», 2007. – 12 с.
10. Кирпич и камни силикатные. Технические условия : СТБ 1228-2000. – Введ. 01.01.2001. – Минск : ГП «Стройтехнорм», 2000. – 12 с.
11. Кирпич и камни керамические. Технические условия : СТБ 1160-99. – Введ. 01.04.2000. – Минск : ГП «Стройтехнорм», 1999. – 47 с.
12. Методические рекомендации по составлению техн.-экон. обоснований для энергосберегающих мероприятий // Реестр нормативных правовых актов, 31.12.2003 г., № 8/10387 от ) / Комитет по энергоэффективности при Совете Министров Респ. Беларусь. – Минск, 2003. – 53 с.

## Приложение А

Таблица А.1 – Теплофизические показатели строительных материалов

Материал	Характеристики материала в сухом состоянии				Расчетное массовое отношение влаги в материале W, % (при условиях эксплуатации по таблице 4.2)		Расчетные коэффициенты (при условиях эксплуатации по таблице 4.2)				
	Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Удельная теплоемкость $c$ , кДж/(кг·°С)	Коэффициент теплопроводности $\lambda$ , Вт/(м·°С)	Влагосодержание $W$ , %							
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
<b>I Бетоны и растворы</b>											
<b>А Бетоны на природных плотных заполнителях</b>											
1 Железобетон	2500	0,84	1,69	2	3	1,92	2,04	17,98	19,70	0,03	
2 Бетон на гравии или щебне из природного камня	2400	0,84	1,51	2	3	1,74	1,86	16,77	17,88	0,03	
3 Плотный силикатный бетон	1800	0,88	0,81	2	4	0,99	1,16	9,77	10,90	0,11	
<b>Б Бетоны на искусственных пористых заполнителях</b>											
4 Керамзитобетон на керамзитовом песке и керамзитопенобетон	1800	0,84	0,66	5	10	0,80	0,92	10,50	12,33	0,090	

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
5 То же	1600	0,84	0,58	5	10	0,67	0,79	9,06	10,77	0,090
6 “	1400	0,84	0,47	5	10	0,56	0,65	7,75	9,14	0,098
7 “	1200	0,84	0,36	5	10	0,44	0,52	6,36	7,57	0,11
8 “	1000	0,84	0,27	5	10	0,33	0,41	5,03	6,13	0,14
9 “	800	0,84	0,21	5	10	0,24	0,31	3,83	4,77	0,19
10 “	600	0,84	0,16	5	10	0,20	0,26	3,03	3,78	0,26
11 “	500	0,84	0,14	5	10	0,17	0,23	2,55	3,25	0,30
12 Керамзитобетон на кварцевом песке с поризацией	1200	0,84	0,41	4	8	0,52	0,58	6,77	7,72	0,075
13 То же	1000	0,84	0,33	4	8	0,41	0,47	5,49	6,35	0,075
14 “	800	0,84	0,23	4	8	0,29	0,35	4,13	4,90	0,075
15 Перлитобетон	1200	0,84	0,29	10	15	0,44	0,50	6,96	8,01	0,15
16 “	1000	0,84	0,22	10	15	0,33	0,38	5,50	6,38	0,19
17 “	800	0,84	0,16	10	15	0,27	0,33	4,45	5,32	0,26
18 “	600	0,84	0,12	10	15	0,19	0,23	3,24	3,84	0,30
19 Аглопоритобетон и бетоны на топливных (котельных) шлаках	1800	0,84	0,70	5	8	0,85	0,93	10,82	11,98	0,075
20 То же	1600	0,84	0,58	5	8	0,72	0,78	9,39	10,34	0,083
21 “	1400	0,84	0,47	5	8	0,59	0,65	7,92	8,83	0,09
22 “	1200	0,84	0,35	5	8	0,48	0,54	6,64	7,45	0,11
23 “	1000	0,84	0,29	5	8	0,38	0,44	5,39	6,14	0,14

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
24 Бетон на зольном гравии	1400	0,84	0,47	5	8	0,52	0,58	7,46	8,34	0,09
25 То же	1200	0,84	0,35	5	8	0,41	0,47	6,14	6,95	0,11
26 “	1000	0,84	0,24	5	8	0,30	0,35	4,79	5,48	0,12
27 Полистиролбетон	600	0,85	0,10	2	4	0,11	0,12	2,14	2,36	0,06
28 “	500	0,85	0,09	2	4	0,10	0,11	1,86	2,06	0,07
<b>В Бетоны ячеистые</b>										
29 Газо- и пенобетон, газо- и пено- силикат	1000	0,84	0,29	6	7	0,36	0,37	5,35	5,53	0,11
29а То же	900	0,84	0,25	6	7	0,32	0,33	4,79	4,95	0,12
30 “	800	0,84	0,21	6	7	0,28	0,29	4,22	4,38	0,14
31 “	700	0,84	0,18	4	5	0,23	0,24	3,51	3,67	0,16
32 “	600	0,84	0,14	4	5	0,18	0,19	2,81	2,95	0,17
33 “	500	0,84	0,12	4	5	0,15	0,16	2,38	2,48	0,20
34 “	400	0,84	0,10	4	5	0,12	0,13	1,96	2,02	0,23
35 “	300	0,84	0,08	4	5	0,09	0,10	1,41	1,48	0,26
36 Газо- и пенозолотбетон	1200	0,84	0,29	15	22	0,52	0,58	8,17	9,46	0,075
37 То же	1000	0,84	0,23	15	22	0,44	0,50	6,86	8,01	0,098
38 “	800	0,84	0,17	15	22	0,35	0,41	5,48	6,49	0,12
<b>Г Цементные, известковые и гипсовые растворы</b>										
39 Цементно-песчаный	1800	0,84	0,58	2	4	0,76	0,93	9,60	11,09	0,09
40 Сложный (песок, известь, це- мент)	1700	0,84	0,52	2	4	0,70	0,87	8,95	10,42	0,098

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
41 Известково-песчаный	1600	0,84	0,47	2	4	0,70	0,81	8,69	9,76	0,12
42 Цементно-шлаковый	1400	0,84	0,41	2	4	0,52	0,64	7,00	8,11	0,11
43 То же	1200	0,84	0,35	2	4	0,47	0,58	6,16	7,15	0,14
44 Цементно-перлитовый	1000	0,84	0,21	7	12	0,26	0,30	4,64	5,42	0,15
45 То же	800	0,84	0,16	7	12	0,21	0,26	3,73	4,51	0,16
46 Гипсоперлитовый	600	0,84	0,14	10	15	0,19	0,23	3,24	3,84	0,17
47 Поризованный гипсоперлитовый	500	0,84	0,12	6	10	0,15	0,19	2,44	2,95	0,43
48 То же	400	0,84	0,09	6	10	0,13	0,15	2,03	2,35	0,53
49 Плиты из гипса	1200	0,84	0,35	4	6	0,41	0,47	6,01	6,70	0,098
50 То же	1000	0,84	0,23	4	6	0,29	0,35	4,62	5,28	0,11
51 Листы гипсовые обшивочные (сухая штукатурка)	800	0,84	0,15	4	6	0,19	0,21	3,34	3,36	0,075
<b>II Кирпичная кладка и облицовка природным камнем</b>										
<b>А Кладка из сплошного кирпича на цементно-песчаном растворе</b>										
52 Глиняного обыкновенного	1800	0,88	0,56	1	2	0,70	0,81	9,20	10,12	0,11
53 Силикатного	2000	0,88	1,12	2	4	1,36	1,63	10,99	12,13	0,088
54 “	1900	0,88	0,97	2	4	1,18	1,40	10,38	11,52	0,090
55 “	1800	0,88	0,81	2	4	0,99	1,16	9,77	10,90	0,110
56 Силикатного	1700	0,88	0,66	2	4	0,87	1,07	9,16	10,29	0,115
57 “	1600	0,88	0,57	2	4	0,69	0,81	8,59	9,79	0,120
<b>Б Кладка из кирпича и камней пустотных на цементно-песчаном растворе</b>										
58 Керамического плотностью 1400 кг/м <sup>3</sup> (брутто)	1600	0,88	0,47	1	2	0,63	0,78	7,91	8,48	0,14

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
59 То же, плотностью 1300 кг/м <sup>3</sup> (брутто)	1400	0,88	0,41	1	2	0,55	0,69	7,01	7,58	0,16
60 Камней керамических 18-щелевых плотностью 1600 кг/м <sup>3</sup>	1700	0,88	0,47	1	2	0,575	0,630	8,72	9,58	0,15
61 Кирпича силикатного утолщенного	1600	0,88	0,77	2	4	1,03	1,28	8,83	9,91	0,120
62 То же	1400	0,88	0,70	2	4	0,94	1,16	7,93	9,01	0,130
63 Камней силикатных	1400	0,88	0,65	2	4	0,79	0,93	7,93	9,01	0,140
64 То же	1300	0,88	0,58	2	4	0,70	0,81	7,37	8,41	0,150
<b>В Облицовка природным камнем</b>										
65 Гранит, гнейс и базальт	2800	0,88	3,49	0	0	3,49	3,49	25,04	25,04	0,008
66 Мрамор	2800	0,88	2,91	0	0	2,91	2,91	22,86	22,86	0,008
67 Известняк	2000	0,88	0,93	2	3	1,16	1,28	12,77	13,70	0,06
68 То же	1800	0,88	0,70	2	3	0,93	1,05	10,86	11,77	0,075
69 Известняк	1600	0,88	0,58	2	3	0,73	0,81	9,06	9,75	0,09
70 То же	1400	0,88	0,49	2	3	0,56	0,58	7,42	7,72	0,11
71 Туф	2000	0,88	0,76	3	5	0,93	1,05	11,68	12,92	0,075
72 “	1800	0,88	0,56	3	5	0,70	0,81	9,61	10,76	0,083
73 “	1600	0,88	0,41	3	5	0,52	0,64	7,81	9,02	0,09
74 “	1400	0,88	0,33	3	5	0,43	0,52	6,64	7,60	0,098
75 “	1200	0,88	0,27	3	5	0,35	0,41	5,55	6,25	0,11
76 “	1000	0,88	0,21	3	5	0,24	0,29	4,20	4,80	0,11

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<b>III Древесина, изделия из нее и других природных органических материалов</b>										
77 Сосна и ель поперек волокон	500	2,30	0,09	15	20	0,14	0,18	3,87	4,54	0,06
78 Сосна и ель вдоль волокон	500	2,30	0,18	15	20	0,29	0,35	5,56	6,33	0,32
79 Дуб поперек волокон	700	2,30	0,10	10	15	0,18	0,23	5,00	5,86	0,05
80 Дуб вдоль волокон	700	2,30	0,23	10	15	0,35	0,41	6,90	7,83	0,30
81 Фанера клееная	600	2,30	0,12	10	13	0,15	0,18	4,22	4,73	0,02
82 Картон облицовочный	1000	2,30	0,18	5	10	0,21	0,23	6,20	6,75	0,06
83 Картон строительный многослойный	650	2,30	0,13	6	12	0,15	0,18	4,26	4,89	0,083
84 Плиты древесноволокнистые и древесностружечные, скопдревесноволокнистые	1000	2,30	0,15	10	12	0,23	0,29	6,75	7,70	0,12
85 То же	800	2,30	0,13	10	12	0,19	0,23	5,49	6,13	0,12
86 “	400	2,30	0,08	10	12	0,11	0,13	2,95	3,26	0,19
87 “	200	2,30	0,06	10	12	0,07	0,08	1,67	1,81	0,24
88 Плиты фибролитовые и арболит на порландцементе	800	2,30	0,16	10	15	0,24	0,30	6,17	7,16	0,11
89 То же	600	2,30	0,12	10	15	0,18	0,23	4,63	5,43	0,11
90 “	400	2,30	0,08	10	15	0,13	0,16	3,21	3,70	0,26
91 “	300	2,30	0,07	10	15	0,11	0,14	2,56	2,99	0,30
92 Плиты волокнистые теплоизоляционные из отходов искусственного меха	175	0,84	0,07	7	12	0,098	0,118	1,60	1,71	0,45

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
93 То же	150	0,84	0,065	7	12	0,093	0,113	1,80	1,47	0,47
94 “	125	0,84	0,060	7	12	0,088	0,108	0,73	0,82	0,49
95 Плиты льнокоштричные изоляционные	250	2,30	0,054	7	12	0,091	0,11	1,30	1,47	0,49
96 Плиты торфяные теплоизоляционные	300	2,30	0,064	15	20	0,07	0,08	2,12	2,34	0,19
97 То же	200	2,30	0,052	15	20	0,06	0,064	1,60	1,71	0,49
98 Пакля	150	2,30	0,05	7	12	0,06	0,07	1,30	1,47	0,49
<b>IV Теплоизоляционные материалы</b>										
<b>А Минераловатные и стекловолокнистые</b>										
99 Маты минераловатные прошивные	125	0,84	0,044	0,6	2,0	0,046	0,051	0,60	0,66	0,56
100 То же	100	0,84	0,043	0,6	2,0	0,045	0,048	0,53	0,57	0,58
101 “	75	0,84	0,042	0,6	2,0	0,043	0,046	0,45	0,48	0,59
102 “	50	0,84	0,041	0,6	2,0	0,042	0,045	0,36	0,39	0,61
103 Плиты мягкие, полужесткие и жесткие минераловатные на синтетическом связующем	250	0,84	0,057	0,6	2,0	0,061	0,069	0,98	1,08	0,45
104 То же	200	0,84	0,054	0,6	2,0	0,057	0,064	0,85	0,93	0,49
105 “	175	0,84	0,051	0,6	2,0	0,053	0,059	0,76	0,83	0,51
106 “	125	0,84	0,048	0,6	2,0	0,050	0,054	0,63	0,67	0,53
107 “	75	0,84	0,045	0,6	2,0	0,047	0,051	0,47	0,51	0,57

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
<b>Б Полимерные</b>											
108	Плиты пенополистирольные	50	1,34	0,041	2	10	0,043	0,052	0,46	0,55	0,05
109	То же	35	1,34	0,038	2	10	0,041	0,05	0,40	0,48	0,05
110	“	25	1,34	0,041	2	10	0,043	0,052	0,33	0,39	0,05
111	“	15	1,34	0,043	2	10	0,045	0,054	0,25	0,30	0,05
112	Пенополиуретан	80	1,47	0,041	2	5	0,05	0,05	0,67	0,70	0,05
113	Пенополиуретан	60	1,47	0,035	2	5	0,041	0,041	0,53	0,55	0,05
114	“	40	1,47	0,029	2	5	0,04	0,04	0,40	0,42	0,05
115	Плиты из резольнофенолформальдегидного пенопласта	100	1,68	0,047	5	20	0,052	0,076	0,85	1,18	0,15
116	То же	75	1,68	0,043	5	20	0,05	0,07	0,72	0,98	0,23
117	“	50	1,68	0,041	5	20	0,05	0,064	0,59	0,77	0,23
118	“	40	1,68	0,038	5	20	0,041	0,06	0,48	0,66	0,23
119	Плиты полистиролбетонные теплоизоляционные	300	0,90	0,085	2	4	0,092	0,10	1,42	1,56	0,08
120	То же	260	0,90	0,075	2	4	0,082	0,09	1,25	1,38	0,085
121	“	230	0,90	0,068	2	4	0,075	0,085	1,12	1,26	0,085
<b>В Засыпки</b>											
122	Гравий керамзитовый	800	0,84	0,18	2	3	0,21	0,23	3,36	3,60	0,21
123	То же	600	0,84	0,14	2	3	0,17	0,20	2,62	2,91	0,23
124	“	400	0,84	0,12	2	3	0,13	0,14	1,87	1,99	0,24
125	“	300	0,84	0,108	2	3	0,12	0,13	1,56	1,66	0,25
126	“	200	0,84	0,099	2	3	0,11	0,12	1,22	1,30	0,26

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
127 Щебень и песок из перлита вспученного	600	0,84	0,11	1	2	0,111	0,12	2,07	2,20	0,26
128 То же	400	0,84	0,076	1	2	0,087	0,09	1,50	1,56	0,30
129 “	200	0,84	0,06	1	2	0,076	0,08	0,99	1,04	0,34
130 Песок для строительных работ	1600	0,84	0,35	1	2	0,47	0,58	6,95	7,91	0,17
<b>Г Пеностекло и газостекло</b>										
131 Пеностекло и газостекло	200	0,84	0,082	0,2	0,3	0,083	0,086	1,013	1,034	0,0018
132 То же	180	0,84	0,074	0,2	0,3	0,076	0,078	0,920	0,934	0,0027
133 Пеностекло и газостекло	160	0,84	0,066	0,2	0,3	0,068	0,070	0,820	0,834	0,0030
<b>V Материалы кровельные, гидроизоляционные, облицовочные и рулонные покрытия для полов</b>										
<b>А Асбестоцементные</b>										
134 Листы асбестоцементные плоские	1800	0,84	0,35	2	3	0,47	0,52	7,55	8,12	0,03
135 То же	1600	0,84	0,23	2	3	0,35	0,41	6,14	6,80	0,03
<b>Б Битумные</b>										
136 Битумы нефтяные строительные и кровельные	1400	1,68	0,27	0	0	0,27	0,27	6,80	6,80	0,008
137 То же	1200	1,68	0,22	0	0	0,22	0,22	5,69	5,69	0,008
138 “	1000	1,68	0,17	0	0	0,17	0,17	4,56	4,56	0,008
139 Асфальтобетон	2100	1,08	1,05	0	0	1,05	1,05	13,18	13,18	0,008
140 Изделия из вспученного перлита на битумном связующем	400	1,26	0,111	1	2	0,12	0,13	2,13	2,26	0,04
141 То же	300	1,12	0,087	1	2	0,09	0,099	1,51	1,61	0,04
142 Рубероид, пергамин, толь	600	1,68	0,17	0	0	0,17	0,17	3,53	3,53	См. прил. Ж

Окончание таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<b>В Линолеумы</b>										
143	Линолеум поливинилхлоридный многослойный	1800	1,47	0,38	0	0	0,38	0,38	8,56	0,02
144	То же	1600	1,47	0,33	0	0	0,33	0,33	7,52	0,02
145	Линолеум поливинилхлоридный на тканевой подоснове	1800	1,47	0,35	0	0	0,35	0,35	8,22	0,002
146	То же	1600	1,47	0,29	0	0	0,29	0,29	7,05	0,002
147	“	1400	1,47	0,23	0	0	0,23	0,23	5,87	0,002
<b>VI Металлы и стекло</b>										
148	Сталь стержневая арматурная	7850	0,482	58	0	0	58	58	126,5	0
149	Чугун	7200	0,482	50	0	0	50	50	112,5	0
150	Алюминий	2600	0,84	221	0	0	221	221	187,6	0
151	Медь	8500	0,42	407	0	0	407	407	326	0
152	Стекло оконное	2500	0,84	0,76	0	0	0,76	0,76	10,79	0
<i>Примечания:</i>										
1 Расчетные значения коэффициента теплоусвоения материала в конструкции вычислены по формуле										
$s = 0,27\sqrt{\lambda\rho} (c+0,0419W)$ ,										
где $\lambda$ , $\rho$ , $c$ , $W$ приняты по соответствующим графам настоящей таблицы.										
2 Для материалов, не указанных в таблице, значения показателей следует принимать по нормативно-технической документации на них.										
3 Материалы, указанные в поз. 29 – 35, следует применять для ограждающих конструкций помещений с сухим и нормальным влажностными режимами.										
4 Расчетное массовое отношение влаги в материале при условиях эксплуатации А и Б по таблице 4.2 равно значению сорбционной влажности материала при относительной влажности воздуха 75% для условий эксплуатации А и значению сорбционной влажности материала при относительной влажности воздуха 90% – для условий эксплуатации Б. Сорбционную влажность материала следует определять по ГОСТ 24816, коэффициент теплопроводности, соответствующий расчетному массовому отношению влаги в материале при условиях эксплуатации, – по СТБ 1618, сопротивление паропроницанию – по ГОСТ 25898.										

## Приложение Б

Таблица Б.1 – Термическое сопротивление замкнутых воздушных прослоек

Толщина воздушной прослойки, м	Термическое сопротивление замкнутой воздушной прослойки $R_T, \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$			
	горизонтальной, при потоке тепла снизу вверх, и вертикальной		горизонтальной, при потоке тепла сверху вниз	
	при температуре воздуха в прослойке			
	положительной	отрицательной	положительной	отрицательной
0,01	0,13	0,15	0,14	0,15
0,02	0,14	0,15	0,15	0,19
0,03	0,14	0,16	0,16	0,21
0,05	0,14	0,17	0,17	0,22
0,10	0,15	0,18	0,18	0,23
0,15	0,15	0,18	0,19	0,24
0,20–0,30	0,15	0,19	0,19	0,24

*Примечание* – При оклейке одной или обеих поверхностей, ограничивающих воздушную прослойку, алюминиевой фольгой термическое сопротивление следует увеличивать в 2 раза.

## СОДЕРЖАНИЕ

Практическое занятие № 1. Расчет количества энергосберегающих источников освещения .....	1
Практическое занятие № 2. Техничко-экономическое обоснование применения энергоэкономичных осветительных приборов .....	19
Практическое занятие № 3. Расчет количества энергии, вырабатываемой солнечными коллекторами и солнечными батареями .....	22
Часть 1. Расчет солнечного коллектора .....	22
Часть 2. Расчет солнечных батарей .....	35
Практическое занятие № 4. Расчет сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций .....	41
Практическое занятие № 5. Расчет теплоусвоения поверхности пола .....	55
Практическое занятие № 6. Термореновация ограждающих конструкций .....	60
Практическое занятие № 7. Расчет теплоэнергетических параметров здания .....	73
Практическое занятие № 8. Техничко-экономическое обоснование термореновации ограждающих конструкций зданий .....	85
Литература .....	88
Приложение .....	89