

Министерство образования и науки РФ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Воронежский государственный архитектурно-строительный университет»

Кафедра технологии
строительных материалов, изделий и конструкций

КОНСТРУКТИВНЫЙ И ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ЯМНОЙ ПРОПАРОЧНОЙ КАМЕРЫ

Методические указания
к выполнению курсовой работы
по дисциплине «Теплотехническое оборудование в технологии строительных
материалов» для студентов бакалавриата направления подготовки
«Строительство», профиль «Производство и применение
строительных материалов, изделий и конструкций»

Воронеж 2015

УДК 691:666 (07)
ББК 38.3я73

Составители

В.В. Власов, А.И. Макеев, С.В. Черкасов, А.М. Усачев

Конструктивный и теплотехнический расчет ямной пропарочной камеры [Текст]: метод. указания к выполнению курсовой работы / Воронежский ГАСУ; сост.: В.В. Власов, А.И. Макеев, С.В. Черкасов, А.М. Усачев. – Воронеж, 2015. – 40 с.

Представлена последовательность конструктивного и теплотехнического расчета ямной пропарочной камеры.

Предназначается для студентов бакалавриата, обучающихся по направлению подготовки «Строительство», профиль «Производство и применение строительных материалов, изделий и конструкций».

Ил. 23. Табл. 11. Библиогр.: 13 назв.

УДК 691:666 (07)
ББК 38.3я73

*Печатается по решению учебно-методического совета
Воронежского ГАСУ*

Рецензент – А.И. Колосов, к.т.н., доцент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела Воронежского ГАСУ.

ВВЕДЕНИЕ

Основными тепловыми агрегатами для тепловлажностной обработки бетонных и железобетонных изделий на заводах сборного железобетона являются ямные пропарочные камеры. В них ежегодно проходит тепловую обработку примерно 60 % бетонных и железобетонных изделий [1]. Эти камеры просты в обращении, хорошо вписываются в существующие технологии производства железобетонных изделий. Однако на тепловую обработку изделий в ямных камерах расходуется только 17...35 % тепловой энергии, а остальное составляют теплопотери [2, 3]. Это связано с потерями через ограждающие конструкции и неплотности установки, с несовершенством систем теплоснабжения. Поэтому актуальна проблема проектирования ямных пропарочных камер с минимальным расходом теплоты.

Настоящие указания содержат основополагающие принципы проектирования ямных пропарочных камер и помогают решать следующие задачи:

- выбирать эффективные схемы ограждающих конструкций и подбирать материалы для них;
- определять внутренние и внешние размеры камер;
- определять расход тепловой энергии на обработку изделий;
- определять коэффициент полезного использования теплоты;
- выполнять детальное и общее проектирование камер.

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ И МАССЫ ФОРМ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

В зависимости от вида изделий и их размеров по справочной литературе [1...3] определяются внутренние и внешние размеры форм (рис. 1.1).

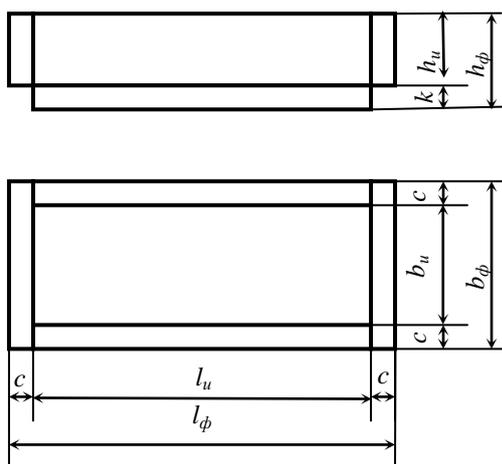


Рис. 1.1. Схема формы (вид сбоку и сверху): l_u, b_u, h_u – длина, ширина и высота изделия; l_ϕ, b_ϕ, h_ϕ – длина, ширина и высота формы; c – ширина бортов, k – толщина поддона формы

В работе допускается принимать ширину бортов форм 10...25 см, а толщину поддона 10...30 см. Ориентировочную массу форм можно определить по укрупненным показателям табл. 1.1 или расчетом.

Таблица 1.1

Удельная металлоемкость форм

Наименование изделий	Масса металла форм на 1 м ³ изделий, т/м ³
Плиты перекрытий жилых и общественных зданий	1,1...1,8
Плиты покрытий ребристые	2,7...3,4
Панели стеновые наружные жилых зданий	1,3...2,1
Панели стеновые наружные промышленных зданий	0,8...1,3
Панели внутренних стен	1,1...1,3
Балки фундаментные, обвязочные, пролетом 6 м	0,5...1,2
Блоки стен, подвалов и фундаментов	0,5...0,7
Ригели, прогоны 12...18 м (формы стационарные)	1,8...2,1
Колонны длиной > 6 м (формы стационарные)	0,6...1,2
Колонны длиной < 6 м	1,4...2,5
Лестничные марши и площадки	1,8...2,2
Фермы и тяжелые блоки	3,0...5,0
Многopустотные панели перекрытий	1,4...1,6

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВНУТРЕННИХ РАЗМЕРОВ ЯМНОЙ ПРОПАРОЧНОЙ КАМЕРЫ И ЕЕ ЗАГЛУБЛЕНИЯ В ГРУНТ

2.1. Определение внутренних размеров камеры

Внутренние размеры ямной пропарочной камеры определяются исходя из размеров форм с изделиями, количества форм в пакете (штабеле), количества пакетов в камере, а также из условия свободного движения теплоносителя внутри камеры (рис. 2.1).

Действующие на предприятиях ямные камеры имеют глубину не более 4 м, ширину – 2...4 м, длину – 7...14 м. Расстояние от форм до стен камеры обычно составляет не менее 100 мм, между пакетами форм – 150...200 мм, ме-

жду формами – 20...50 мм, между формой и дном камеры не менее 150 мм, между формами и крышкой камеры – 50...150 мм.

Технические характеристики ямных пропарочных камер, применяемых в производстве бетонных и железобетонных изделий, представлены в табл. 2.2.

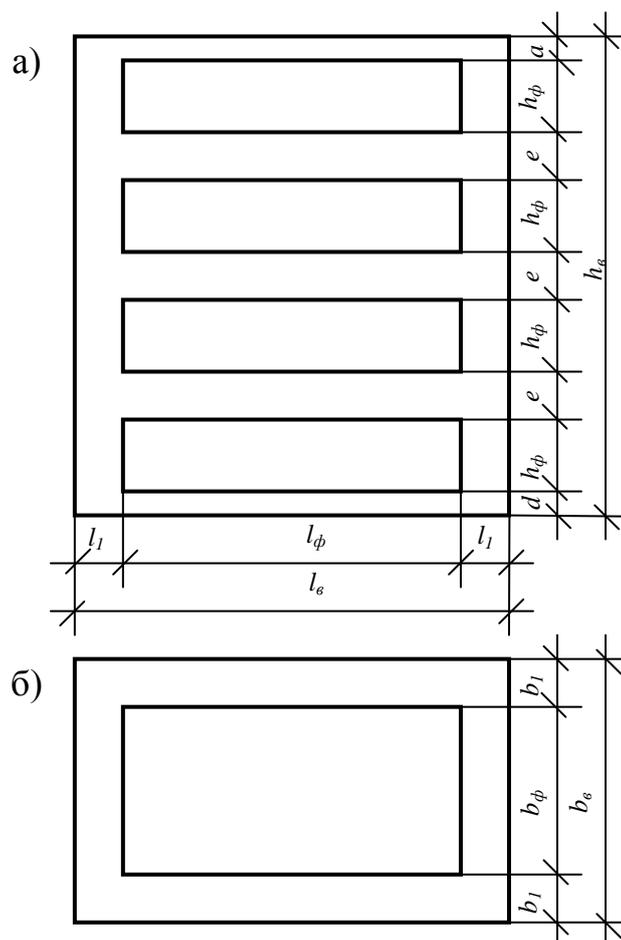


Рис. 2.1. Схема расположения форм в ямной пропарочной камере:

а, б – продольный разрез камеры и ее план соответственно; $l_в, b_в, h_в$ – внутренние размеры камеры (длина, ширина, глубина соответственно); a – расстояние между формами и крышкой камеры; d – расстояние между формами и дном камеры; l_1 и b_1 – расстояние между формами и стенками камеры; e – расстояние между формами

Таблица 2.2

Технические характеристики ямных пропарочных камер I, II и V типов [4]

Показатели	Тип камеры		
	I	II	V
Внутренний размер камеры, м:			
длина	7	7	14
ширина	2,5	3,75	4
глубина	3,5	3,5	4
Тип стоек для пакетирования	СМЖ-293А	СМЖ-293А	СМЖ-293А
Наибольший размер изделий	2×6	3×6	3×12
Объем бетона, загружаемого в одну камеру, м ³	6,7...9,2	6...12	20...23
Коэффициент загрузки камеры	0,11...0,15	0,05...0,14	0,09...0,1

Примечание: камеры III и IV типов имеют следующие внутренние размеры: 7,2×4,24×3,5 м и 8,5×3,75×3,5 м соответственно.

2.2. Определение коэффициента загрузки камеры

Коэффициенты загрузки камеры определяются по следующим формулам:

а) коэффициент загрузки камеры по изделиям

$$K_3 = \frac{V_{и}}{V_{кв}}, \quad (2.1)$$

где $V_{и}$ – объем изделий, находящихся в камере, m^3 ;

$V_{кв}$ – внутренний объем камеры, m^3 ;

б) коэффициент загрузки камеры по бетону

$$K_3 = \frac{V_б}{V_{кв}}, \quad (2.2)$$

где $V_б$ – объем бетона в изделиях, находящихся в камере, m^3 .

2.3. Определение величины заглубления ямной камеры в грунт

Ямные пропарочные камеры могут быть (рис. 2.2): напольными, заглубленными частично и заглубленными максимально (при этом вертикальные ограждения должны быть выше нулевой отметки цеха на 70...80 см).

Величина заглубления камер принимается в зависимости от вида изделий, высоты цеха, условий загрузки и выгрузки изделий, глубины камер, характеристик грунтов, на которых расположен цех, глубины грунтовых вод, глубины сточной канализации и т.д.

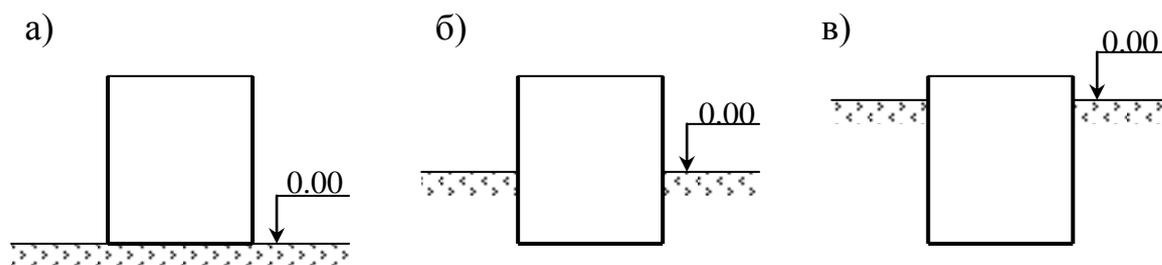


Рис. 2.2. Варианты схем заглубления ямных пропарочных камер:

а – напольная; б – частично заглубленная; в – максимально заглубленная

3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТЕН, ДНИЩА И КРЫШКИ КАМЕРЫ

Последовательность проектирования ограждающих конструкций ямных пропарочных камер:

1) определяются расчетные схемы стен, днища и крышки камеры (п. 3.1);

- 2) выбираются материалы для принятых схем ограждающих конструкций (п. 3.2, 3.3);
- 3) определяется толщина ограждающих конструкций и температура на внутренней и внешней стороне ограждений, а также на границе слоев (п. 3.5);
- 4) рассчитывается расход тепловой энергии и коэффициент полезного использования теплоты (раздел 4);
- 5) производится сравнение полученных показателей ямной камеры с нормативными данными. Если полученные показатели оказались хуже нормативных, схемы и толщина ограждающих конструкций корректируются и вновь выполняется теплотехнический расчет;
- б) выполняется детальное и общее проектирование ограждающих конструкций ямных пропарочных камер.

При проектировании ограждающих конструкций камер следует руководствоваться следующими основными принципами:

- стеновые ограждения камер должны выполнять преимущественно теплозащитные функции, а их несущая способность должна быть достаточна для выдерживания подпора грунта и массы крыши;

- днище камер должно быть выполнено с повышенным тепловым сопротивлением, при этом вес стен камер и форм с изделиями должны воспринимать элементы конструкции днища камер, не связанные с материалом, выполняющим теплозащитные функции;

- для всех видов конструкций камер необходимо предусмотреть их защиту от механических повреждений (в том числе и от ударов форм), которую следует осуществлять с помощью металлических стоек, не передающих нагрузку на теплоизолированные ограждения конструкций.

3.1. Расчетные схемы вертикальных ограждений, днищ и крышек ямных пропарочных камер

При проектировании новых камер и реконструкции действующих вертикальные ограждения могут быть выполнены в следующих вариантах:

- ограждения из конструкционно-теплоизоляционного материала (например, из керамзитобетона);

- ограждения, состоящие из наружного конструкционного слоя (бетон, металлический каркас и т.д.) и внутреннего теплоизоляционного слоя, защищенного гидро- и пароизоляционными материалами;

- ограждения, состоящие из внутреннего конструкционного слоя и наружного теплоизоляционного слоя, покрытого гидро- и пароизоляцией;

- ограждения, состоящие из внутреннего и наружного конструкционных слоев и расположенного между ними теплоизоляционного слоя, защищенного гидро- и пароизоляцией.

Перегородки между камерами могут быть выполнены либо из одного материала (например, керамзитобетона), либо состоять из нескольких слоев: из внутреннего конструкционного слоя и наружных теплоизоляционных слоев, защищенных гидро- и пароизоляцией.

Вместо теплоизоляционных материалов теплоизолирующие слои могут быть выполнены в виде многослойных воздушных прослоек, разделенных листовыми пластиками. В качестве защитного слоя могут применяться асбестоцементные листы.

Основные расчетные схемы вертикальных ограждений приведены на рис. 3.1.

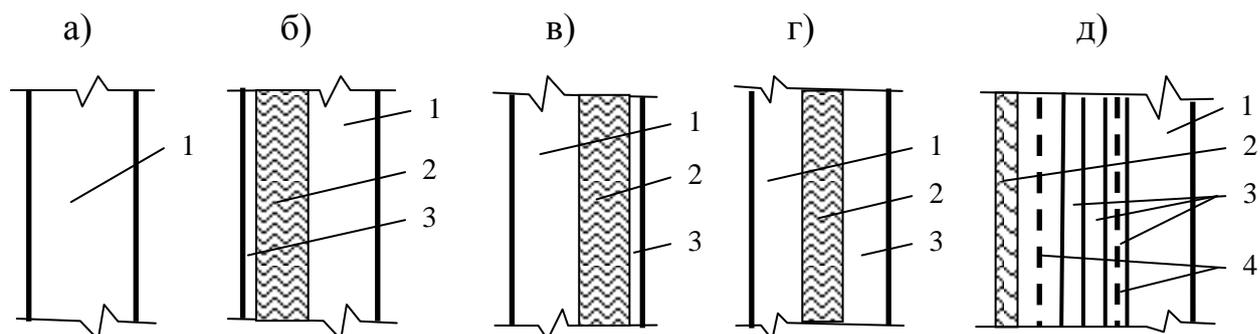


Рис. 3.1. Расчетные схемы вертикальных ограждающих конструкций:

- а – из конструктивно-теплоизоляционного материала (1 – керамзитобетонная стенка);
- б – с внутренним теплоизоляционным слоем (1 – конструкционный слой, 2 – теплоизоляционный слой, 3 – парогидрозащитный слой);
- в – с наружной теплоизоляцией (1 – конструкционный слой, 2 – теплоизоляционный слой, 3 – парогидрозащитный слой);
- г – трехслойные (1, 3 – конструкционный слой, 2 – теплоизоляционный слой);
- д – с воздушными прослойками (1 – конструкционный слой, 2 – асбестоцементный лист; 3 – пластиковые перегородки, 4 – алюминиевая фольга или светоотражающий лак)

Снижение непроизводительных потерь может быть обеспечено также при замене ограждений камер из тяжелого бетона на керамзитобетонные. Однако, учитывая, что коэффициент полезного использования теплоты в камерах в этом случае не может превышать 50...55 %, такой вариант реконструкции камер может быть рекомендован лишь в случаях, когда установка теплоизоляционных материалов или устройство воздушных прослоек, в силу местных условий, не представляется возможным.

Днище камер может быть выполнено сплошным или с воздушной плоскостью.

При проектировании новых камер под основанием днища из тяжелого или легкого монолитного или сборного железобетона устраивается подсыпка из керамзитового гравия либо выполняется несущий пол из тонких плоских или ребристых плит с созданием воздушной полости между полом и основанием.

При реконструкции камер на существующее бетонное основание укладываются блоки из пеностекла с последующей его гидрозащитой цементной стяжкой. Устройство керамзитовой подсыпки, воздушных полостей и установка ке-

рамытобетонных плит при реконструкции камер не рекомендуется в связи с уменьшением полезного объема камер [5].

Расчетные схемы днища камер приведены на рис. 3.2.

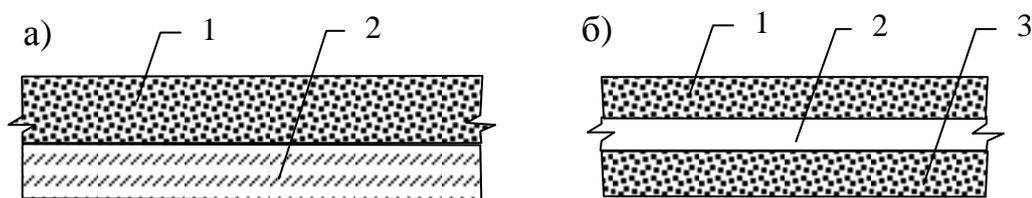


Рис. 3.2. Расчетные схемы днищ камер:

а – керамзитобетонная плита с подсыпкой (1 – бетонная плита, 2 – подсыпка из керамзитового гравия); б – фальш-днище (1 – бетонная плита перекрытия, 2 – воздушная прослойка, 3 – бетонное основание)

Крышки камер должны иметь металлический каркас и теплоизоляционный слой, защищенный с двух сторон металлическими листами (рис. 3.3).

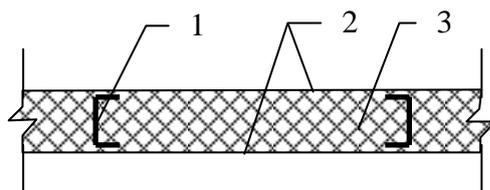


Рис. 3.3. Расчетная схема крышки:

1 – каркас, 2 – стальная обшивка, 3 – теплоизоляционный слой

3.2. Материалы для ограждающих конструкций ямных камер

При проектировании камер с керамзитобетонными ограждениями, как в сборном, так и в монолитном варианте, для ограждений следует использовать керамзитобетон марки 200 по прочности, составы которого представлены в табл. 3.1.

В керамзитобетон должна вводиться гидрофобизирующая добавка, а при приготовлении керамзитобетонной смеси для формирования сборных элементов ограждения дополнительно должна вводиться воздухововлекающая добавка в количестве 0,2 % массы цемента.

Пример конструктивных решений элементов стен и днища из керамзитобетона приведен на рис. 3.4.

Материалы, применяемые для теплоизоляции ограждающих конструкций пропарочных камер, должны отвечать следующим требованиям:

- обладать заданными механическими и теплофизическими свойствами;

- не разрушаться под действием температуры и возможного увлажнения в процессе эксплуатации;
- иметь срок службы не ниже нормативного срока эксплуатации камер.

Таблица 3.1

Составы керамзитобетона для ограждений пропарочных камер [5]

Марка керамзитобетона по средней плотности	λ , Вт/м ⁰ С, при влажности, %		Насыпная плотность керамзита, кг/м ³	Расход на 1 м ³			
	6	10		цемента, кг	керамзита, м ³	песка, м ³	
						строительного	керамзитового
D1200	0,46	0,52	550	400	0,75	0,05	0,4
D1300	0,52	0,58	550	390	0,75	0,20	0,25
			600	370	0,75	0,10	0,35
			700	350	0,75	-	0,50
D1400	0,58	0,64	550	370	0,85	0,35	0,10
			600	360	0,75	0,25	0,20
			700	340	0,75	0,15	0,30
D1500	0,64	0,70	550	370	0,80	0,40	-
			600	350	0,85	0,40	-
			700	330	0,85	0,35	0,05
			800	320	0,75	-	0,45
D1600	0,70	0,76	550	370	0,70	0,50	-
			600	350	0,75	0,45	-
			700	320	0,80	0,40	-
			800	310	0,75	0,20	0,25

Примечание. Приведенные составы рассчитаны на применение портландцемента марки 400; керамзитового гравия фракции 5...20 мм; строительного песка с $M_k = 2...2,5$; керамзитового песка, удовлетворяющего стандартным требованиям.

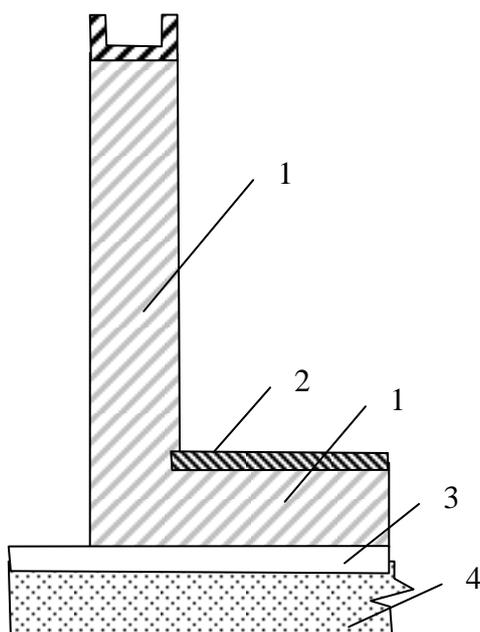


Рис. 3.4. Конструктивные элементы ограждений камеры из керамзитобетона:

- 1 – керамзитобетон;
- 2 – цементная стяжка состава 1:1 (цемент : песок) с гидрофобизирующей добавкой);
- 3 – бетонная подготовка (бетон марки 200);
- 4 – подсыпка из керамзитового гравия

Наиболее предпочтительными теплоизоляционными материалами для теплоизоляции ограждающих конструкций пропарочных камер являются [5, 6]:

- полужесткие и жесткие минераловатные плиты, плиты из пенопласта и термостойкие заливочные пенопласты при условии надежной паро- и гидрозащиты;

- пеностекло для днища реконструируемых камер;

- подсыпка из керамзитового гравия однородной фракции для днища вновь строящихся камер.

При выполнении ограждений камер с воздушными прослойками рекомендуется применять прессованный асбестоцементный лист толщиной 10...16 мм, стеклопластиковый лист толщиной 2 мм, фольгу алюминиевую рулонную или фольгоизол толщиной 0,2 мм [5].

3.3. Паро- и гидрозащита теплоизоляционных материалов

Расположенный на внутренней поверхности стенок камер периодического действия теплоизоляционный материал без надежной паро- и гидрозащиты быстро насыщается влагой, теряет свои теплоизоляционные свойства, поэтому его применение без паро- и гидрозащиты не допускается.

Наиболее надежной паро- и гидрозащитой является листовая сталь толщиной 3...4 мм. Стальные листы подлежат антикоррозионному покрытию, которое наносится на сторону металлического листа, обращенную к теплоизоляционному материалу.

Для паро- и гидрозащиты днища может использоваться бутилкаучуковая пленка (гидробутил) при обеспечении мер защиты от механических воздействий.

При наличии грунтовых вод теплоизоляционный слой подземной части камеры должен быть защищен гидроизоляцией с двух сторон. Для гидрозащиты наружных поверхностей ограждающих конструкций, соприкасающихся с грунтом, применяют рубероид на битумной мастике или двукратное покрытие горячим битумом наружной стороны подземных ограждений камеры [5].

3.4. Конструкции стен, перегородок, днища и крышек ямных пропарочных камер

При проектировании или реконструкции камер периодического действия теплоизоляционные материалы следует располагать с внутренней стороны ограждающих конструкций. На перегородки блока камер устанавливается теплоизоляционный материал толщиной, равной половине толщины расчетного теплоизоляционного слоя. Теплоизоляционные материалы должны быть защищены с обеих сторон от увлажнения. Паро- и гидрозащита теплоизоляционного слоя может быть обеспечена герметичной металлической обшивкой, нанесением фактурного бетонного (растворного) слоя с покрытием его гидрозащитным

составом (например, латексным составом ЛСП–904), а также иными способами, обеспечивающими надежную изоляцию.

Поверхность теплоизоляционных материалов со стороны, обращенной к листовой стали, должна быть защищена фольгоизолом или алюминиевой фольгой. Для камеры с металлической паро- и гидрозащитой следует устраивать воздушную полость между листовой сталью и теплоизоляционным материалом с целью удаления конденсата при случайном проникновении пара в результате разгерметизации стальной обшивки стен. Воздушная полость должна сообщаться с рабочим объемом камеры с помощью U-образных патрубков (гидрозатворов). U-образные патрубки служат как для сброса случайно проникшего конденсата, так и для вентиляции воздушной полости и подсушки теплоизоляционных материалов. U-образные патрубки в рабочем положении должны быть заполнены водой. Радиус закругления патрубков должен быть больше высоты верхнего гидрозатвора.

Пример конструкционного решения отдельных узлов стен камер с теплоизоляцией приведен на рис. 3.5.

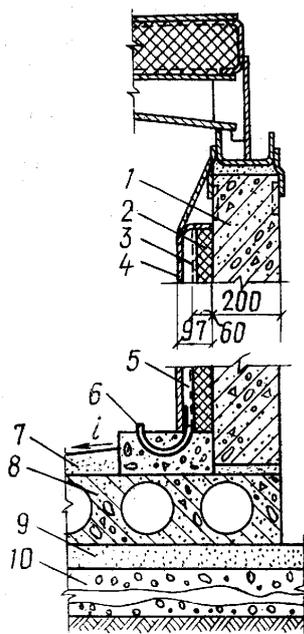


Рис. 3.5. Конструктивные элементы ограждений камер

с теплоизоляционными материалами:

- 1 – железобетон;
- 2 – утеплитель;
- 3 – фольгоизол, фольга;
- 4 – стальная обшивка;
- 5 – воздушная прослойка;
- 6 – U-образный патрубок (гидрозатвор);
- 7 – цементная стяжка;
- 8 – легковесная панель;
- 9 – песчаная подготовка;
- 10 – керамзитовый гравий

Наружное ограждение камер с экранной изоляцией состоит из сборного или монолитного железобетона и экранной изоляции, выполненной из нескольких стеклопластиковых листов, создающих замкнутые воздушные прослойки. Со стороны внутреннего объема камеры стеклопластик должен быть закрыт асбестоцементными листами, предохраняющими воздушные прослойки от проникновения пара. Внутренние поверхности бетонного ограждения и асбестоцементных листов должны быть покрыты фольгоизолом или алюминиевой фольгой.

Перегородки блока камер могут быть выполнены в двух вариантах:

- бетонная перегородка, с двух сторон которой расположена экранная

изоляция из стеклопластика, закрытого асбестоцементными листами;

- металлический или бетонный каркас, внутри которого расположена экранная изоляция.

Для обеспечения надежной паронепроницаемости ограждений с экранной изоляцией стык асбестоцементных листов должен осуществляться на антисептированных деревянных закладных брусках. Швы между листами должны быть уплотнены мастикой или цементно-песчаным раствором с добавкой жидкого стекла.

Примеры конструктивных решений стен и перегородок с экранной изоляцией представлены на рис. 3.6 и 3.7.

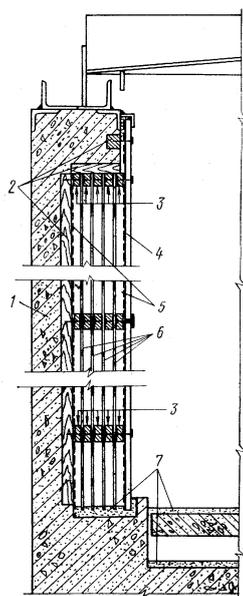


Рис. 3.6. Наружное ограждение камеры с экранной изоляцией:

- 1 – железобетон;
- 2 – закладные деревянные бруски;
- 3 – деревянные прокладки;
- 4 – асбестоцементный лист;
- 5 – фольгоизол, фольга;
- 6 – экраны;
- 7 – цементная стяжка

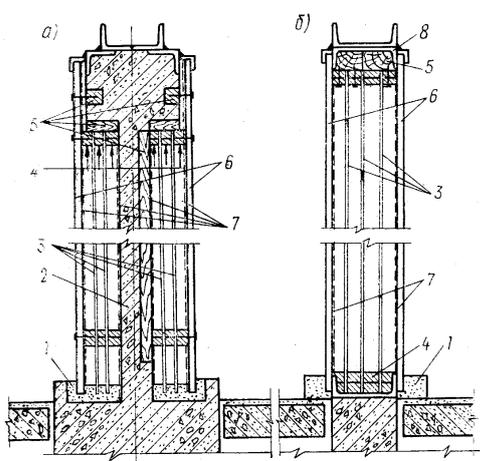


Рис. 3.7. Конструкции перегородок блока камер с экранной изоляцией:

- а – с бетонной стенкой:
 - 1 – цементная стяжка;
 - 2 – железобетон;
 - 3 – экраны;
 - 4 – деревянные прокладки;
 - 5 – закладные деревянные бруски;
 - 6 – асбестоцементные листы;
 - 7 – фольгоизол или фольга);
- б – с металлическим каркасом:
 - 1 – цементная стяжка;
 - 2...3 – экраны;
 - 4 – деревянные прокладки;
 - 5 – закладные деревянные бруски;
 - 6 – асбестоцементные листы;
 - 7 – фольгоизол или фольга;
 - 8 – элементы каркаса)

Основанием дна камеры должна служить монолитная железобетонная (керамзитобетонная) плита, на которой устанавливаются несущие элементы, воспринимающие нагрузку от форм с изделиями. Устройство монолитной плиты осуществляется по песчаной подготовке и керамзитовому гравия. Теплозащита дна может быть осуществлена либо с помощью теплоизоляционных материалов с повышенными механическими свойствами, либо с применением воздушной прослойки. При защите теплоизоляционными материалами следует применять керамзитобетонные многопустотные плиты для вновь строящихся камер, или блоки из пеностекла – для реконструируемых камер. В последнем случае на существующий бетонный пол устанавливаются опорные балки, между которыми укладываются блоки из пеностекла.

В случае применения воздушной полосы для повышения теплозащитных свойств дна следует использовать ребристые тонкостенные или плоские плиты покрытий, образующие фальш-дно. Уклоны фальш-дна и бетонного основания выполняются в противоположных направлениях. Примеры конструктивных решений дна пропарочных камер приведены на рис. 3.8. и 3.9.

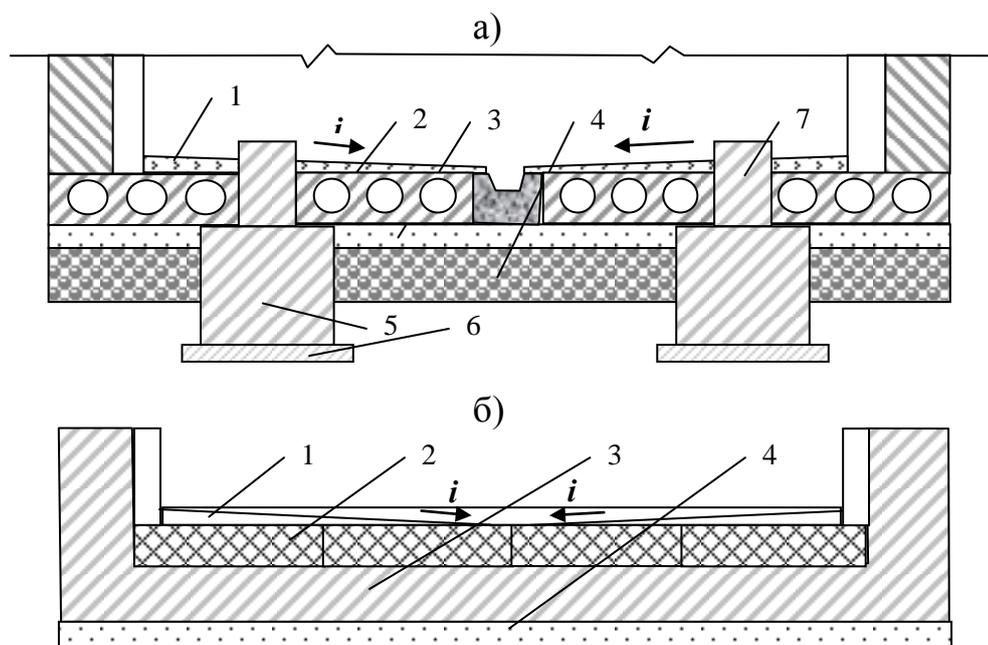


Рис. 3.8. Конструкции дна камер с теплоизоляцией:

- а – из многопустотных керамзитобетонных плит (1 – цементная стяжка, 2 – многопустотная плита, 3 – песчаная подготовка, 4 – подсыпка из керамзитового гравия, 5 – фундаментная балка, 6 – бетонная балка); б – с применением блоков из пеностекла (1 – цементная стяжка, 2 – пеностекло, 3 – бетонное днище; 4 – песчаная подготовка)

Крышки камер выполняются из металлического каркаса с расположенным внутри теплоизоляционным материалом, который защищен с двух сторон металлическими листами толщиной 3...4 мм. Крышки должны с запасом воспринимать статические и динамические нагрузки, быть паронепроницаемыми и

иметь надежный гидравлический затвор. Верхняя обшивка крышек камер, эксплуатируемых на полигоне, должна быть водонепроницаема.

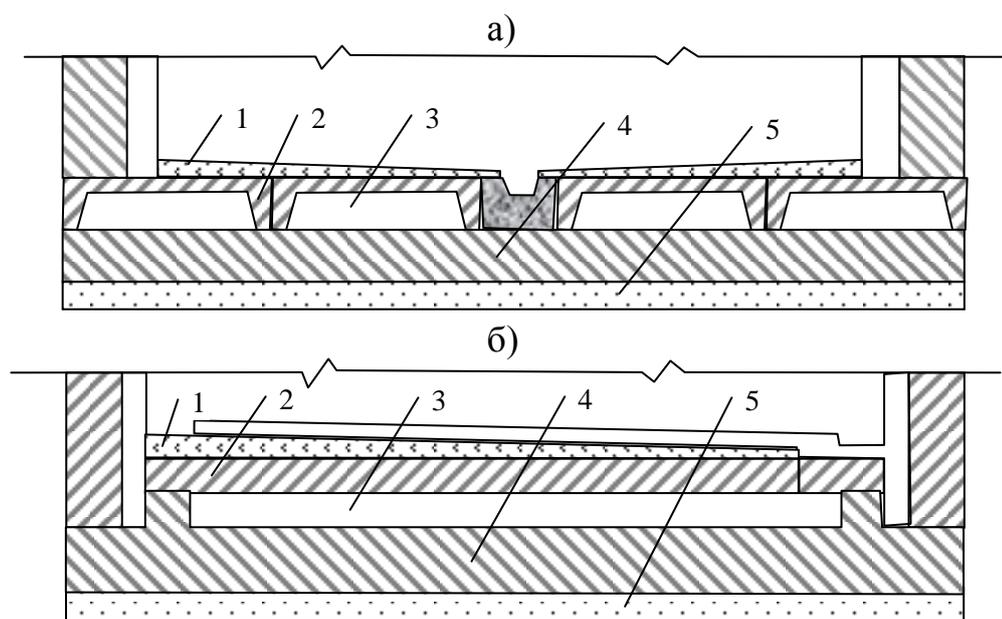


Рис. 3.9. Конструкции днищ с воздушными полостями:

а – с ребристыми плитами (1 – цементная стяжка, 2 – ребристая плита, 3 – воздушная прослойка, 4 – бетонное днище, 5 – песчаная подготовка); б – с плоскими плитами (1 – цементная стяжка, 2 – плоская плита, 3 – воздушная прослойка, 4 – бетонное днище, 5 – песчаная подготовка)

Крышки могут быть выполнены плоскими или двускатными. Плоские крышки должны иметь с внутренней стороны наклонный подвесной экран в виде металлических листов, собранных внахлестку, для организованного отвода конденсата в гидрозатвор. Для повышения жесткости и устранения пропеллерности рекомендуется применять двускатные крышки арочного типа, выполненные из легких стальных ферм.

С целью увеличения сопротивления гидрозатвора и уменьшения потерь теплоты через него, опорную часть борта крышки рекомендуется изготавливать в виде двойного ребра из полосовой стали толщиной не менее 10 мм.

Для штабелирования крышек (но не более двух в одном штабеле) на их верхнем поясе должны быть предусмотрены специальные опоры по периметру крышки.

Не рекомендуется применение железобетонных, керамзитобетонных, деревометаллических крышек, а также крышек с насыпной теплоизоляцией.

Гидравлический затвор камер должен быть выполнен из швеллера с высотой полки не менее 100 мм. С целью повышения герметичности гидрозатвора рекомендуется увеличивать высоту полки швеллера до 150 мм. Для камер, расположенных на полигонах, внешнее ребро затвора на наружных стенках должно быть ниже внутреннего ребра – для слива полости затвора атмосферной влаги. Для камер, расположенных в один ряд, или при наличии в блоке более чем

четырех камер, гидрозатвор следует выполнять индивидуально для каждой камеры.

Примеры конструктивных решений крышек камер представлены на рис. 3.10.

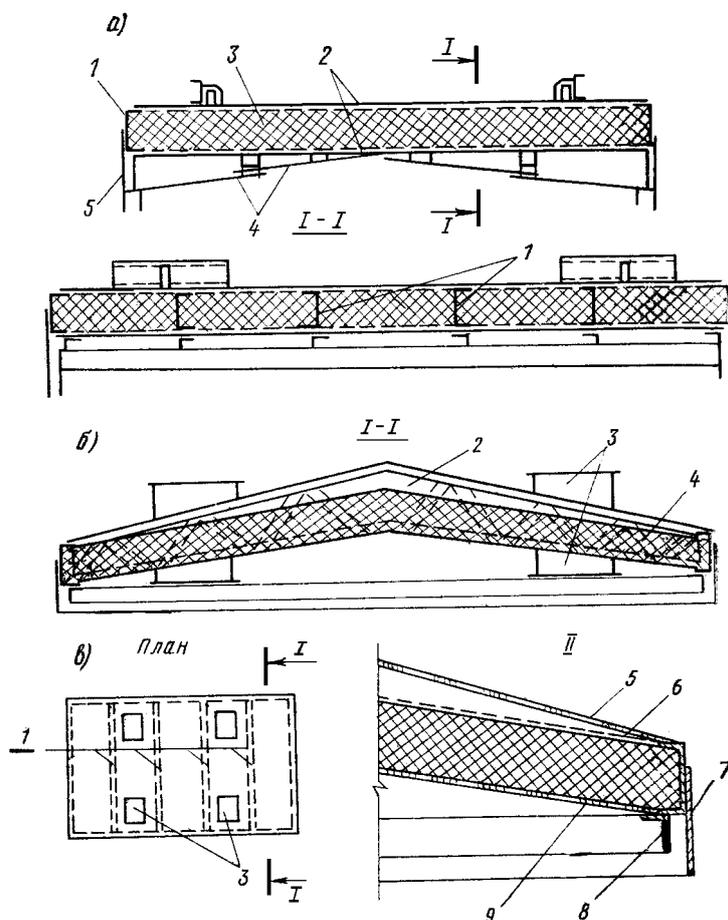


Рис. 3.10 Конструктивные схемы крышек камер:

а – плоские крышки (1 – каркас, 2 – стальная обшивка, 3 – минераловатная теплоизоляция, 4 – стальные экраны, 5 – опорное ребро); б – двускатные крышки (1 – фермы каркаса, 2 – вентилируемое пространство, 3 – опора, 4 – теплоизоляция, 5 – верхняя стальная обшивка, 6 – стальная сетка, 7 – опорное ребро, 8 – уплотняющее ребро, 9 – нижняя стальная обшивка); в – план и узел двускатной крышки

3.5. Определение толщины вертикальных ограждающих конструкций, днища, теплоизоляционного слоя крышки камеры, а также температуры на границе слоев и средней температуры в материалах конструкций

На основании данных, представленных в разделах 3.1...3.4, принимаются конструкции крышки, вертикальных ограждающих конструкций и днища.

3.5.1. Определение толщины теплоизоляционного слоя крышки

Крышка ямной пропарочной камеры представляет собой многослойную конструкцию (рис. 3.11). При определении общей толщины таких конструкций толщина конструктивного слоя может приниматься по справочной литературе или рассчитываться исходя из условий обеспечения требуемой несущей способности конструкции, а толщина теплоизоляционного слоя рассчитывается с целью создания необходимой теплозащиты конструкции. При этом задаются либо температурой на наружной поверхности ограждающих конструкций, либо величиной термического сопротивления.

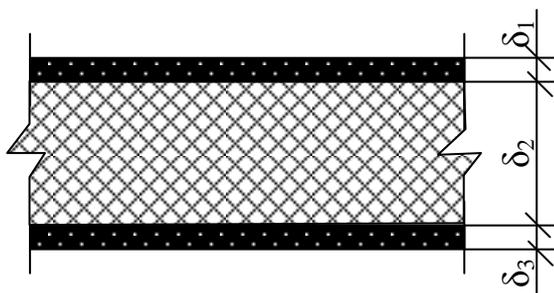


Рис. 3.11. Фрагмент крышки

Последовательность определения толщины теплоизоляционного слоя крышки, если задается температура на наружной поверхности ограждающих конструкций, следующая:

- 1) принимается температура на наружной поверхности конструкции в период изотермической выдержки ($t_{\text{нп}}$, °С) при условии, что она не превышает 40 °С. Наиболее эффективны ограждения, у которых температура на наружной поверхности в этот период выше температуры окружающей среды не более чем на 2...3 °С (температура окружающей среды в цехах по выпуску железобетонных изделий принимается равной 15 °С [5]);
- 2) определяется плотность теплового потока через ограждения q , Вт/м², по формуле [7]

$$q = \alpha_n \cdot (t_{\text{нп}} - t_c), \quad (3.1)$$

где α_n – коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности в окружающую среду, Вт/(м²·°С). Для плоских поверхностей с температурой на наружной стороне не более 100 °С и неподвижной средой он может быть определен по формуле [8]

$$\alpha_n = 9,8 + 0,07 \cdot (t_{\text{нп}} - t_c), \quad (3.2)$$

где t_c – температура окружающей среды, °С. В цехах по выпуску железобетонных изделий $t_c = 15$ °С [5].

3) определяется толщина теплоизоляционного слоя крышки:

$$q = k \cdot (t_b - t_c), \quad (3.3)$$

где k – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·°С):

$$k = \frac{1}{R_0}, \quad (3.4)$$

где R_0 – термическое сопротивление ограждающей конструкции, (м²·°С)/Вт:

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_b} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_h}, \quad (3.5)$$

где α_b – коэффициент теплоотдачи от теплоносителя к внутренней поверхности ограждающих конструкций, Вт/(м²·°С) [8]. Если теплоноситель – пар, то при расчетах допускается принимать $\alpha_b = 1000 \dots 2000$ Вт/(м²·°С), если горячий воздух или дымовые газы температурой 50...100 °С, то $\alpha_b = 8 \dots 12$ Вт/(м²·°С);

$\delta_1 \dots \delta_n$ – толщина отдельных слоев крышки, м. Толщина верхнего и нижнего слоя металлических листов составляет 3...5 мм;

$\lambda_1 \dots \lambda_n$ – коэффициенты теплопроводности отдельных слоев крышки, Вт/(м²·°С) [6];

t_b – температура внутри установки, °С. В ямных пропарочных камерах она принимается равной температуре изотермической выдержки.

Уравнение (3.3) можно привести к виду

$$q = \frac{(t_b - t_c)}{\frac{1}{\alpha_b} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_h}}. \quad (3.6)$$

Из (3.6) определяется толщина неизвестного слоя. Например, толщина второго слоя δ_2 вычисляется по формуле:

$$\delta_2 = \left[\frac{(t_b - t_c)}{q} - \left(\frac{1}{\alpha_b} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_h} \right) \right] \cdot \lambda_2. \quad (3.7)$$

3.5.2. Определение температуры на границе слоев материалов крышки и средней температуры в материалах

Температуры на границе слоев материалов крышки и средние температуры в материалах определяются как до начала тепловой обработки, так и в период изотермической выдержки в процессе тепловой обработки (рис. 3.12), что необходимо для последующих расчетов.

Температуры на границе слоев могут быть определены по следующим формулам:

$$t_{вп} = t_{в} - q \cdot \frac{1}{\alpha_{в}}; \quad (3.8)$$

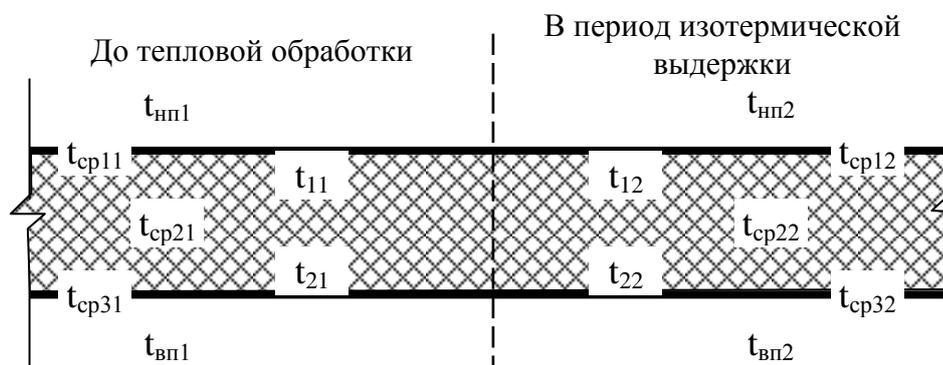


Рис. 3.12. Схема распределения температур в крышке

$$t_1 = t_{в} - q \cdot \left(\frac{1}{\alpha_{в}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} \right); \quad (3.9)$$

$$t_2 = t_{в} - q \cdot \left(\frac{1}{\alpha_{в}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} \right); \quad (3.10)$$

$$t_{нп} = t_{в} - q \cdot \left(\frac{1}{\alpha_{в}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \right); \quad (3.11)$$

$$t_c = t_{в} - q \cdot \left(\frac{1}{\alpha_{в}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_{н}} \right), \quad (3.12)$$

где $t_{вп}$ — температура на нижней поверхности нижнего слоя (металла), °С;

t_1, t_2 — температура на границе слоев, °С;

$t_{нп}$ — температура на поверхности наружного слоя крышки, °С.

Обозначение остальных величин в (3.2) - (3.7).

В период охлаждения $t_{нп}$, t_1 , t_2 , $t_{вп}$ можно принимать равными температуре в цехе – 15 °С.

Средняя температура в материале принимается равной полусумме температур на поверхностях материала. Так например, средняя температура теплоизоляционного слоя крышки (рис. 3.12) в период изотермической выдержки определяется по формуле

$$t_{ср22} = \frac{t_{12} + t_{22}}{2}. \quad (3.13)$$

Полученные значения температур представляются в табличной форме (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Значения температур в крышке

Обозначение температур	Величина температур, °С	
	до ТО	при ТО
Температура на поверхности наружного слоя, $t_{нп1}$, $t_{нп2}$	$(t_{нп1})$	$(t_{нп2})$
Температура на границе наружного и среднего слоя, t_{11} , t_{12}	(t_{11})	(t_{12})
Средняя температура наружного слоя, $t_{ср11}$, $t_{ср12}$	$(t_{ср11})$	$(t_{ср12})$
Температура на границе среднего и нижнего слоя, t_{21} , t_{22}	(t_{21})	(t_{22})
Средняя температура среднего слоя, $t_{ср21}$, $t_{ср22}$	$(t_{ср21})$	$(t_{ср22})$
Температура на нижней поверхности нижнего слоя, $t_{вп1}$, $t_{вп2}$	$(t_{вп1})$	$(t_{вп2})$
Средняя температура нижнего слоя, $t_{ср31}$, $t_{ср32}$	$(t_{ср31})$	$(t_{ср32})$

3.5.3. Определение толщины вертикальных ограждающих конструкций, расположенных выше нулевой отметки

Последовательность определения толщины многослойных вертикальных ограждающих конструкций (рис. 3.13), расположенных выше нулевой отметки, когда задана температура на наружной поверхности ограждающих конструкций, аналогична расчету толщины крышки (п. 3.5.1).

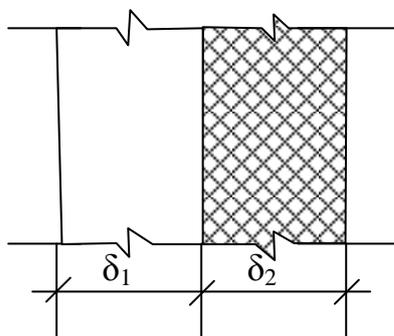


Рис. 3.13. Фрагмент вертикальных ограждений, расположенных выше нулевой отметки

3.5.4. Определение температур на границе слоев материалов вертикальных ограждений, расположенных выше нулевой отметки, и средней температуры в материалах

Температура на границе слоев материалов вертикальных ограждающих конструкций и средняя температура в материалах слоев (рис. 3.14) определяется аналогично расчету температур крышки (п. 3.5.2).

Полученные значения температур представляются в табличной форме (табл. 3.3).

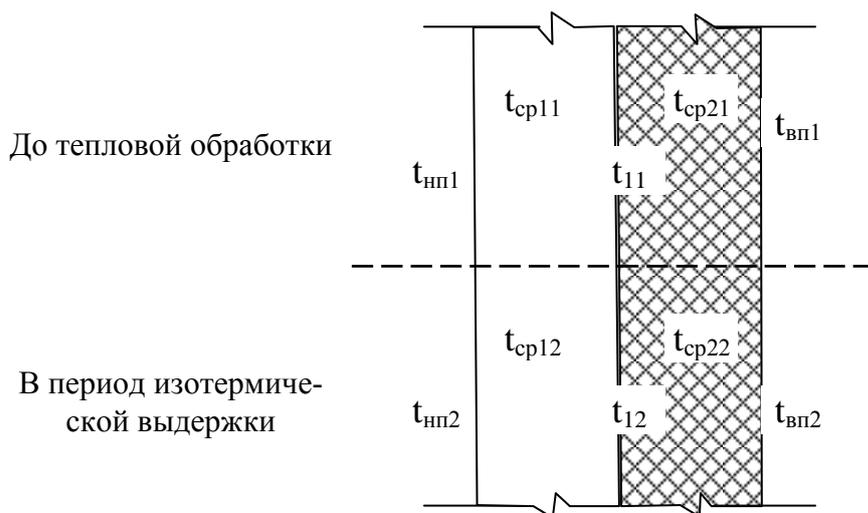


Рис. 3.14. Схема обозначения температур

Таблица 3.3

Значения температур в вертикальных ограждающих конструкциях, расположенных выше нулевой отметки

Обозначение температур	Величина температур, °С	
	До ТО	При ТО
Температура на поверхности наружного слоя, $t_{нп1}$, $t_{нп2}$	$(t_{нп1})$	$(t_{нп2})$
Температура на границе наружного и среднего слоя, t_{11} , t_{12}	(t_{11})	(t_{12})
Средняя температура наружного слоя, $t_{сп11}$, $t_{сп12}$	$(t_{сп11})$	$(t_{сп12})$
Температура на границе среднего и внутреннего слоя, t_{21} , t_{22}	(t_{21})	(t_{22})
Средняя температура среднего слоя, $t_{сп21}$, $t_{сп22}$	$(t_{сп21})$	$(t_{сп22})$
Температура на наружной поверхности внутреннего слоя, $t_{вп1}$, $t_{вп2}$	$(t_{вп1})$	$(t_{вп2})$
Средняя температура внутреннего слоя, $t_{сп31}$, $t_{сп32}$	$(t_{сп31})$	$(t_{сп32})$

3.5.5. Определение толщины вертикальных ограждающих конструкций, расположенных ниже нулевой отметки

Конструкцию и толщину вертикальных ограждающих конструкций, расположенных ниже нулевой отметки (рис. 3.15), в проекте допускается прини-

мать аналогично вертикальным конструкциям, расположенным выше нулевой отметки (п. 3.5.3).

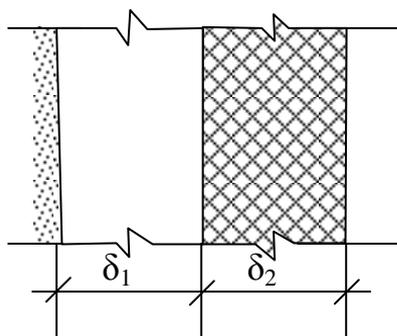


Рис. 3.15. Фрагмент вертикальных ограждений, расположенных ниже нулевой отметки

3.5.6. Определение температуры на границе слоев материалов вертикальных ограждений, расположенных ниже нулевой отметки, и средней температуры в материалах

Определение температур на границе слоев (рис. 3.16) ведется следующим образом:

1. Определяется плотность теплового потока через ограждения q , Вт/м², по (3.6), но вместо температуры среды (t_c) берется температура грунта (t_r). В средней полосе России она принимается равной 5 °С [5]. Поскольку величина теплоотдачи от наружной поверхности в грунт довольно высокая, то составляющая $1/\alpha_n$ будет мала и поэтому (3.6) примет вид:

$$q = \frac{(t_b - t_r)}{\frac{1}{\alpha_b} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n}}. \quad (3.14)$$

2. По (3.8) - (3.12) определяются температуры на границах слоев. В данном случае $t_{вп}$ – это температура на границе грунта и поверхности наружного слоя.

3. Далее по (3.13) определяются средние температуры слоев ограждающей конструкции.

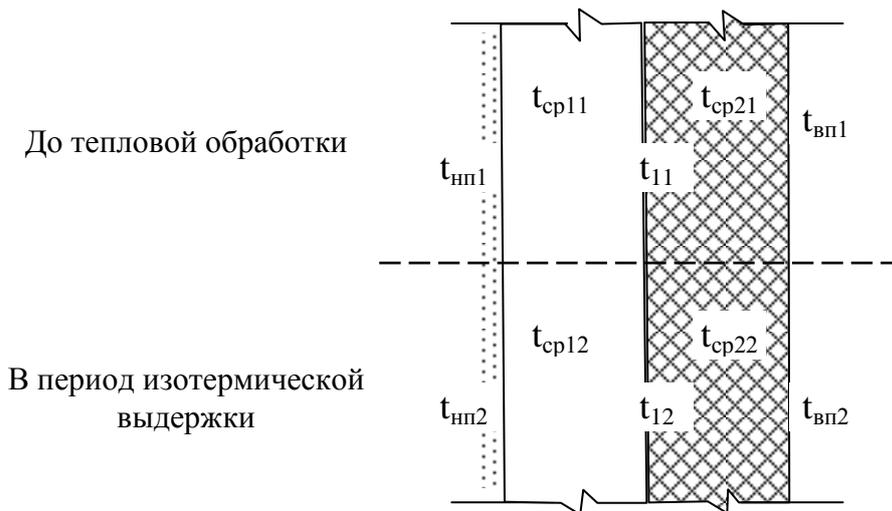


Рис. 3.16. Схема распределения температур на границе слоев

Полученные значения температур представляются в табличной форме (табл. 3.4).

Таблица 3.4

Значения температур в вертикальных ограждающих конструкциях, расположенных ниже нулевой отметки

Обозначение температур	Величина температур, °С	
	До ТО	При ТО
Температура на поверхности наружного слоя, $t_{нп1}, t_{нп2}$	$(t_{нп1})$	$(t_{нп2})$
Температура на границе наружного и среднего слоя, t_{11}, t_{12}	(t_{11})	(t_{12})
Средняя температура наружного слоя, $t_{ср11}, t_{ср12}$	$(t_{ср11})$	$(t_{ср12})$
Температура на границе среднего и внутреннего слоя, t_{21}, t_{22}	(t_{21})	(t_{22})
Средняя температура среднего слоя, $t_{ср21}, t_{ср22}$	$(t_{ср21})$	$(t_{ср22})$
Температура на наружной поверхности внутреннего слоя, $t_{вп1}, t_{вп2}$	$(t_{вп1})$	$(t_{вп2})$
Средняя температура внутреннего слоя, $t_{ср31}, t_{ср32}$	$(t_{ср31})$	$(t_{ср32})$

3.5.7. Определение толщины днища ямной пропарочной камеры

Толщина отдельных слоев днища (рис. 3.17) принимается по справочной литературе или рассчитывается исходя из условий обеспечения требуемой несущей способности конструкции и теплозащиты днища.

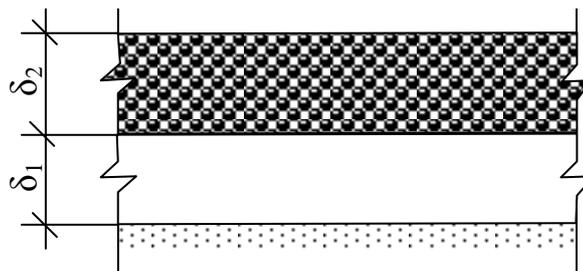


Рис. 3.17. Фрагмент днища

3.5.8. Определение температуры на границе слоев материалов днища и средней температуры в материалах

Определение температур на границе слоев днища и средней температуры материалов (рис. 3.18) ведется аналогично определению температур в вертикальных ограждающих конструкциях, расположенных ниже нулевой отметки (п.п. 3.5.6).

Полученные значения температур представляются в табличной форме (табл. 3.5)

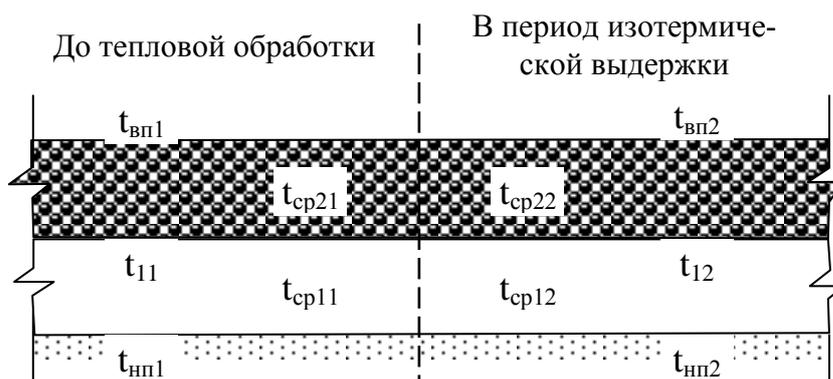


Рис. 3.18. Схема распределения температур в днище

Таблица 3.5

Значения температур в днище ямной камере

Обозначение температур	Величина температур, °С	
	до ТВО	в период ТВО
Температура на поверхности наружного слоя, $t_{нп1}, t_{нп2}$	$(t_{нп1})$	$(t_{нп2})$
Температура на границе наружного и среднего слоя, t_{11}, t_{12}	(t_{11})	(t_{12})
Средняя температура наружного слоя, $t_{ср11}, t_{ср12}$	$(t_{ср11})$	$(t_{ср12})$
Температура на границе среднего и внутреннего слоя, t_{21}, t_{22}	(t_{21})	(t_{22})
Средняя температура среднего слоя, $t_{ср21}, t_{ср22}$	$(t_{ср21})$	$(t_{ср22})$
Температура на наружной поверхности внутреннего слоя, $t_{вп1}, t_{вп2}$	$(t_{вп1})$	$(t_{вп2})$
Средняя температура внутреннего слоя, $t_{ср31}, t_{ср32}$	$(t_{ср31})$	$(t_{ср32})$

3.6. Определение наружных размеров камеры, размеров крышки

Исходя из внутренних размеров камеры (см. п. 2), толщины вертикальных ограждающих конструкций и днища определяются наружные размеры камеры (рис. 3.19).

Размеры крышки в плане принимаются исходя из условия, что ребра крышки опираются на швеллер посередине верхнего обреза вертикальных ограждающих конструкций (рис. 3.20).

Высота крышки с ребрами принимается равной 0,3...0,45 м.

3.7. Определение площади наружной поверхности вертикальных ограждающих конструкций, днища и крышки

Исходя из наружных размеров камеры и ее заглубления, определяются:

- площадь наружной поверхности камеры выше нулевой отметки (S_c^B),
- площадь наружной поверхности камеры ниже нулевой отметки ($S_c^Г$),
- площадь днища (S_d),
- площадь крышки (S_k) складывается из площади верхней поверхности (S_1) и площади боковой поверхности крышки (S_2).

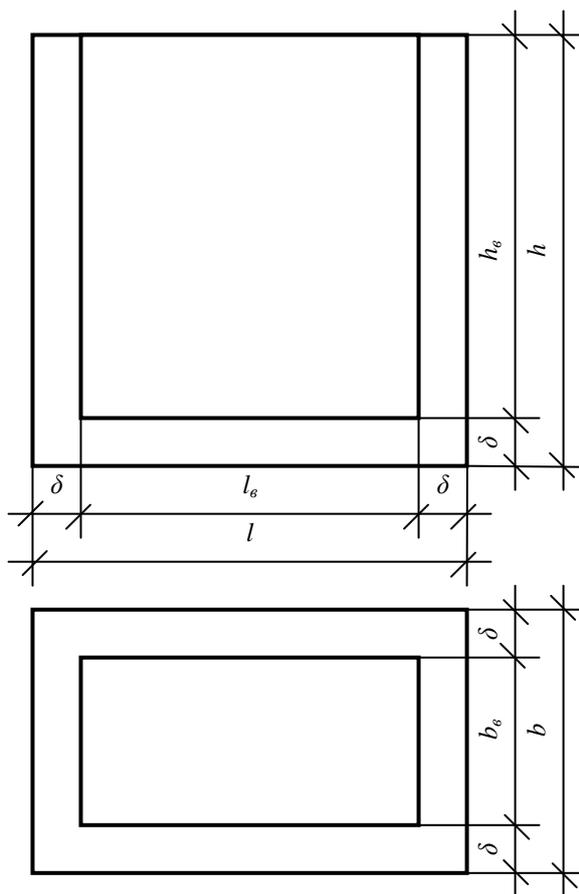


Рис. 3.19. Внешние размеры ямной камеры

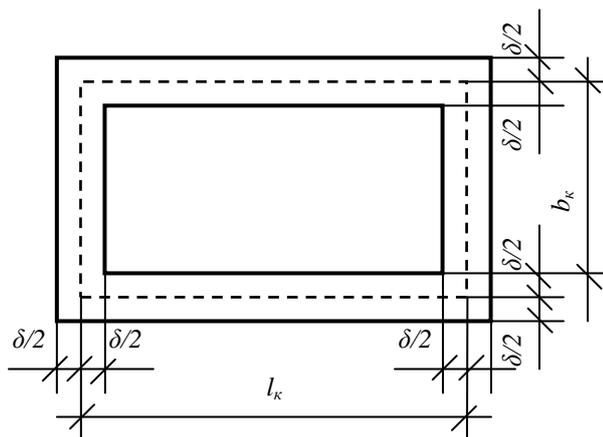


Рис. 3.20. Размеры крышки в плане

Полученные данные заносятся в табл. 3.6.

Таблица 3.6

Значения площадей поверхностей ямной камеры

Обозначение площадей	Величина площадей, м ²
Площадь наружной поверхности стен камеры выше нулевой отметки, S_c^B	
Площадь наружной поверхности стен камеры ниже нулевой отметки, $S_c^Г$	
Площадь днища, S_d	
Площадь крышки, S_k	

3.8. Определение массы вертикальных ограждающих конструкций, днища и массы крышки

Исходя из наружных и внутренних размеров камеры, средней плотности материала ограждающих конструкций камеры и днища определяются:

- масса ограждающих конструкций выше нулевой отметки ($m_{ст1}$),
- масса ограждающих конструкций ниже нулевой отметки ($m_{ст2}$),
- масса днища (m_d).

В многослойных конструкциях определяются массы каждого отдельного слоя.

Для крышки, исходя из ее размеров и плотности материалов, определяются:

- масса теплоизоляционного слоя ($m_{кт}$) (расчет толщины слоя см. 3.5),
- масса нижнего ($m_{кМН}$) и верхнего ($m_{кМВ}$) листов металла крышки.

Общая масса крышки (m_k) определяется исходя из условия, что масса 1 м² крышки по практическим данным составляет 110...140 кг:

$$m_k = (110 \dots 140) \cdot S_k. \quad (3.15)$$

Масса металла крышки ($m_{км}$) определяется по разности между общей массой и массой теплоизоляции:

$$m_{км} = m_{к} - m_{кт}. \quad (3.16)$$

Масса верхнего и нижнего металла крышки определяется по формуле

$$m_{кМВ} = m_{кМН} = \frac{m_{км}}{2} \quad (3.17)$$

Полученные данные заносятся в табл. 3.7.

Таблица 3.7

Массы ограждающих конструкций, днища, крышки

Обозначение масс	Масса, кг
Масса стен камеры выше нулевой отметки, $m_{ст1}$	
Масса стен камеры ниже нулевой отметки, $m_{ст2}$	
Масса днища, $m_{д}$	
Масса теплоизоляционного слоя крышки, $m_{кт}$	
Масса верхнего слоя металла крышки, $m_{кМВ}$	
Масса верхнего нижнего слоя металла крышки, $m_{кМН}$	

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ТЕПЛОТЫ НА ТЕПЛОВУЮ ОБРАБОТКУ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

Данный расчет позволяет определить расход теплоты, рассчитать расход теплоносителя и определить эффективность тепловой установки. Он заключается в составлении теплового баланса, включающего составляющие по расходу теплоты на нагрев (металла, форм, установки), потери теплоты (через неплотности, с поверхности ограждающих конструкций) и приход теплоты с теплоносителем, с формами, за счет химических реакций и т.д.

4.1. Определение расхода теплоты на нагрев

4.1.1. Определение расхода теплоты на нагрев изделий

Расход теплоты на нагрев изделий в кДж/период рассчитывается по формуле

$$Q_{и} = m_{и} \cdot c_{и} \cdot (t_{к} - t_{н}), \quad (4.1)$$

где $m_{и}$ – масса изделий, находящихся в установке, кг;
 $c_{и}$ – теплоемкость изделий, кДж/(кг·°С);
 $t_{к}$, $t_{н}$ – начальная и конечная температура изделий, °С.

Поскольку в процессе тепловлажностной обработки изменяется масса и теплоемкость железобетонных изделий, то допускается расход теплоты в кДж/период определять по формуле

$$Q_{\text{и}} = Q_{\text{с}} + Q_{\text{в}} + Q_{\text{а}} \quad (4.2)$$

или

$$Q_{\text{и}} = m_{\text{с}} \cdot c_{\text{с}} \cdot (t_{\text{к}} - t_{\text{н}}) + m_{\text{в}} \cdot c_{\text{в}} \cdot (t_{\text{к}} - t_{\text{н}}) + m_{\text{а}} \cdot c_{\text{а}} \cdot (t_{\text{к}} - t_{\text{н}}), \quad (4.3)$$

где $Q_{\text{с}}$, $Q_{\text{в}}$, $Q_{\text{а}}$ – расходы теплоты на нагрев сухих составляющих, воды и арматуры всех изделий, находящихся в установке, кДж/период;

$m_{\text{с}}$, $m_{\text{в}}$, $m_{\text{а}}$ – массы сухих составляющих изделий (вяжущего, заполнителей, сухих добавок и т.д.), воды, арматуры, кг. Расход составляющих на 1 м³ бетона принимается по нормативным документам;

$c_{\text{с}}$, $c_{\text{в}}$, $c_{\text{а}}$ – удельные теплоемкости сухих составляющих, воды и арматуры, кДж/(кг·°C). Для сухих составляющих (силикатов) принимается $c_{\text{с}} = 0,84$ кДж/(кг·°C); для воды $c_{\text{в}} = 4,18$ кДж/(кг·°C), для стальной арматуры $c_{\text{а}} = 0,48$ кДж/(кг·°C), для органических материалов $c = 1,68$ кДж/(кг·°C) [6, 9, 10, 11];

$t_{\text{к}}$ – температура, до которой нагреваются составляющие железобетона, °C. Ее обычно принимают равной температуре изотермической выдержки (режим и температура тепловлажностной обработки принимается по нормативным документам, например по отраслевым нормам технологического проектирования, ОНТП);

$t_{\text{н}}$ – начальная температура составляющих, °C. При изготовлении изделий в цехе она равна 15 °C [5].

4.1.2. Определение расхода теплоты на нагрев форм

Расход теплоты в кДж/период на нагрев форм рассчитывается по формуле

$$Q_{\text{ф}} = m_{\text{ф}} \cdot c_{\text{ф}} \cdot (t_{\text{к}} - t_{\text{н}}), \quad (4.4)$$

где $m_{\text{ф}}$ – масса форм, находящихся в установке, кг (см. разделы 1 и 2);

$c_{\text{ф}}$ – удельная теплоемкость, форм, кДж/(кг·°C). Для стальных форм $c_{\text{ф}} = 0,48$ кДж/(кг·°C) [6].

4.1.3. Определение расхода теплоты на испарение влаги из материала в период изотермической выдержки

Расход теплоты на испарение влаги из материала в кДж/период определяется по формуле

$$Q_{\text{ив}} = m_c \cdot r \cdot (W_1 - W_2) / 100, \quad (4.5)$$

где m_c – масса сухой части материала, находящегося в камере, кг (см. п. 4.1.1);
 r – теплота парообразования, кДж/кг. Она принимается по паровым таблицам [4, 14] исходя из условия, что температура изделий в конце изотермической выдержки на $3 \dots 7$ °С выше температуры изотермической выдержки;

W_1, W_2 – абсолютная влажность материала в начале тепловой обработки и в конце периода изотермической выдержки, %. Из практики, разность $W_1 - W_2$ составляет $0,5 \dots 1,5$ %

4.1.4. Определение расхода теплоты на нагрев ограждающих конструкций камеры (стен, днища, крышки)

Расход теплоты на нагрев ограждающих конструкций камеры (стен, днища, крышки) в кДж/период рассчитывается по формуле

$$Q_{\text{ок}} = Q_{\text{ст1}} + Q_{\text{ст2}} + Q_{\text{д}} + Q_{\text{к}}, \quad (4.6)$$

где $Q_{\text{ст1}}, Q_{\text{ст2}}, Q_{\text{д}}, Q_{\text{к}}$ – расходы теплоты на нагрев стен камеры выше и ниже нулевой отметки, днища и крышки камеры, кДж/период.

Если конструкции однослойные, то расход теплоты может быть определен по формуле

$$Q_{\text{ок}} = m_{\text{ст1}} \cdot c_{\text{ст1}} \cdot (t_{\text{к}} - t_{\text{н}}) + m_{\text{ст2}} \cdot c_{\text{ст2}} \cdot (t_{\text{к}} - t_{\text{н}}) + m_{\text{д}} \cdot c_{\text{д}} \cdot (t_{\text{к}} - t_{\text{н}}) + m_{\text{к}} \cdot c_{\text{к}} \cdot (t_{\text{к}} - t_{\text{н}}), \quad (4.7)$$

где $m_{\text{ст1}}, m_{\text{ст2}}, m_{\text{д}}, m_{\text{к}}$ – массы стен выше и ниже нулевой отметки, массы днища и крышки, кг (табл. 3.7);

$c_{\text{ст}}, c_{\text{д}}, c_{\text{к}}$ – удельная теплоемкость стен, днища и крышки, кДж/(кг·°С) (п. 4.1.1);

$t_{\text{н}}, t_{\text{к}}$ – средняя температура ограждающих конструкций до ТВО и в период ТВО, °С (табл. 3.2...3.5).

Для многослойных конструкций расход теплоты определяется для каждого слоя отдельно и затем определяется общий расход теплоты.

4.1.5. Определение расхода теплоты на нагрев внутреннего пространства в установке

Расход теплоты на нагрев внутреннего пространства в установке в кДж/период рассчитывается по формуле

$$Q_{\text{вп}} = m_{\text{вз}} \cdot c_{\text{вз}} \cdot (t_{\text{к}} - t_{\text{н}}), \quad (4.8)$$

где $m_{вз}$ – масса воздуха, находящегося внутри установки, кг:

$$m_{вз} = V_{вн} \cdot \rho_{вз}, \quad (4.9)$$

где $V_{вн}$ - внутренний свободный объем установки, м³;

$\rho_{вз}$ - плотность воздуха, кг/м³, при средней температуре среды в камере

$$t_{cp} = \frac{(t_n + t_k)}{2}, \quad (4.10)$$

где t_n – начальная температура воздуха в установке, °С. При длительном остывании $t_n = t_c = 15$ °С. При загрузке камеры сразу после выгрузки $t_n = 30 \dots 40$ °С;

t_k – конечная температура воздуха, °С. Обычно принимается равной температуре изотермической выдержки.

4.2. Определение потерь теплоты

4.2.1. Определение потерь теплоты через ограждающие конструкции

Потери теплоты через ограждающие конструкции в кДж/период рассчитывается по общей формуле

$$Q_{п} = 3,6 \cdot S_{огр} \cdot \alpha_n \cdot (t_{нп} - t_c) \cdot \tau; \quad (4.11)$$

где $S_{огр}$ – площадь наружной поверхности ограждающих конструкций камеры, м²;

α_n – коэффициент теплоотдачи от наружных поверхностей, Вт/(м²·°С);

$t_{нп}$ – средняя температура наружной поверхности ограждающих конструкций, °С;

t_c - температура среды, °С;

τ – время работы установки, ч.

Поскольку при работе камеры зачастую температуры наружной поверхности стен, днища и крышки неодинаковы, и, кроме того, эти температуры различны в периоде подъема и изотермической выдержки, то потери теплоты определяются по формуле

$$Q_{п} = Q_k + Q_c^B + Q_c^Г + Q_g \quad (4.12)$$

или

$$Q_{п} = 3,6 \cdot \{ S_k \cdot [\alpha_{нп}^{кп} \cdot (t_{нп}^{кп} - t_c) \cdot \tau_{п} + \alpha_{нп}^{кв} \cdot (t_{нп}^{кв} - t_c) \cdot \tau_{в}] + \\ + S_c^B \cdot [\alpha_{нп}^{сп} \cdot (t_{нп}^{сп} - t_c) \cdot \tau_{п} + \alpha_{нп}^{св} \cdot (t_{нп}^{св} - t_c) \cdot \tau_{в}] + \\ + S_c^Г \cdot [k^{пс} \cdot (t_{в}^{п} - t_{г}) \cdot \tau_{п} + k^{вс} \cdot (t_{в} - t_{г}) \cdot \tau_{в}] + \\ + S_d \cdot [k^{пд} \cdot (t_{в}^{п} - t_{г}) \cdot \tau_{п} + k^{вд} \cdot (t_{в} - t_{г}) \cdot \tau_{в}] \}, \quad (4.13)$$

где $S_k, S_c^B, S_c^Г, S_d$, – площади наружной поверхности крышки, стен выше и ниже нулевой отметки, днища соответственно, m^2 (табл. 3.6);

$\alpha_{нп}^{кп}, \alpha_{нп}^{сп}$ – коэффициенты теплоотдачи с поверхности крышки и стен, находящихся выше нулевой отметки в период подъема температуры $Вт/м^2 \cdot ^\circ C$. Их можно определить по (3.2). Например, для стен:

$$\alpha_{нп}^{сп} = 9,8 + 0,07 \cdot (t_{нп}^{сп} - t_c), \quad (4.14)$$

где $t_{нп}^{сп}$ – средняя температура на поверхности стен в период подъема температуры (табл. 3.3);

$\alpha_{нп}^{св}, \alpha_{нп}^{кв}$ – коэффициенты теплоотдачи с поверхности стен, находящихся выше нулевой отметки и крышки в период выдержки температуры $Вт/м^2 \cdot ^\circ C$. Их также можно определить по (3.2). Например, для стен:

$$t_{нп}^{сп} = \frac{(t_{нп1} + t_{нп2})}{2}, \quad (4.15)$$

аналогично определяется $\alpha_{нп}^{кп}$.

$\alpha_{нп}^{кв}, \alpha_{нп}^{св}$ – коэффициенты теплоотдачи с поверхности крышки и стен, находящихся выше нулевой отметки в период выдержки температуры $Вт/м^2 \cdot ^\circ C$. Их также можно определить по (3.2). Например, для стен:

$$\alpha_{нп}^{св} = 9,8 + 0,07 \cdot (t_{нп}^{св} - t_c), \quad (4.16)$$

где $t_{нп}^{св}$ – температура на наружной поверхности стен в период изотермической выдержки, $^\circ C$ ($t_{нп}^{св} = t_{нп2}$, табл. 3.3);

t_c, t_r – температура среды в цехе ($15^\circ C$) и грунта ($5^\circ C$);

$k^{пс}, k^{пд}$ – коэффициенты теплопередачи от внутреннего пространства камеры в грунт в период подъема температуры, $Вт/м^2 \cdot ^\circ C$. Они определяются по (3.4). Величину R_0 можно определить по (3.5), но поскольку величина теплоотдачи от наружной поверхности в грунт довольно высокая, то составляющая $1/\alpha_n$ будет мала и поэтому (3.5) примет вид:

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_B} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n}; \quad (4.17)$$

$t_B^{п}$ – средняя температура в камере в период подъема, $^\circ C$:

$$t_B^{п} = \frac{(t_B^H + t_B)}{2}, \quad (4.18)$$

где t_B^H – начальная температура в камере, °С. При длительном остывании $t_B^H = 15$ °С. При загрузке камеры сразу после выгрузки $t_B^H = 30 \dots 40$ °С;

t_B – температура изотермической выдержки, °С;

$\tau_{п}, \tau_B$ – время подъема и выдержки температуры, ч.

4.2.2. Потери теплоты с паром через неплотности установки*

Потери теплоты с паром через неплотности установки, кДж/период, определяются по формуле

$$Q_{пп} = k \cdot D \cdot i_{п}, \quad (4.19)$$

где k – доля потери пара, $k = 0,1 \dots 0,2$

D – масса пара, затраченного на тепловую обработку, кг/период. Незвестная величина, определяемая из уравнения теплового баланса (4.31);

$i_{п}$ – энтальпия пара с определенной степенью сухости, кДж/кг. Она может быть взята из таблиц или диаграммы J-H в зависимости от давления и влажности пара [4, 11], либо определена по формуле

$$i_{п} = i' + r \cdot x, \quad (4.20)$$

где i' , r – энтальпия жидкости и теплота парообразования, кДж/кг. Эти величины принимаются по паровым таблицам [4, 11, 12] в зависимости от давления пара, подаваемого в установку. Чаще всего это давление составляет 0,1...0,2 МПа;

x – степень сухости пара в долях:

$$x = 1 - y, \quad (4.21)$$

где y – влажность пара, подающегося в установку, доли. Она обычно составляет 0,15...0,3.

4.2.3. Потери теплоты с конденсатом пара

Потери пара с конденсатом, кДж/период, рассчитываются по формуле

$$Q_k = m_k \cdot c_k \cdot t_k = [D - (k \cdot D + V_{вн} \cdot \rho_{п})] \cdot c_k \cdot t_k, \quad (4.22)$$

где m_k – масса конденсата, образующегося при тепловой обработке, кг;

c_k – теплоемкость конденсата, принимаем $c_k = 4,18$ кДж/(кг·°С);

$V_{вн}$ – внутренний свободный объем установки, м³;

$\rho_{п}$ – плотность пара при принятом давлении [4, 11, 12], кг/м³;

t_k – температура конденсата, °С. Обычно она составляет 60...70 °С;
 k – доля потери пара (см. 4.2.2).

4.2.3. Определение неучтенных потерь теплоты

Неучтенные потери теплоты, кДж/период, рассчитываются по формуле

$$Q_{\text{нп}} = (0,05 \dots 0,15) \cdot (Q_{\text{и}} + Q_{\text{ф}} + Q_{\text{ив}} + Q_{\text{ок}} + Q_{\text{вп}} + Q_{\text{п}} + Q_{\text{пп}} + Q_{\text{к}}). \quad (4.23)$$

4.3. Приход теплоты

4.3.1. Приход теплоты с паром

Приход теплоты с паром, кДж/период, рассчитывается по формуле:

$$Q_{\text{т}}^{\text{п}} = D \cdot i_{\text{п}}, \quad (4.24)$$

где D , $i_{\text{п}}$ см. п. 4.2.2

4.3.2. Приход теплоты от экзотермических реакций в изделиях

Приход теплоты от экзотермических реакций в изделиях в кДж/период определяется по формуле

$$Q_{\text{эи}} = V_6 \cdot m_{\text{ц}} \cdot Q_{\text{эц}} \cdot p, \quad (4.25)$$

где V_6 – объем бетона, находящегося в установке, м³;

$m_{\text{ц}}$ – масса цемента в 1 м³ бетона, участвующего в химических реакциях при ТВО, кг;

p – степень гидратации портландцемента, которая после ТВО обычно составляет 0,4...0,6;

$Q_{\text{эц}}$ – теплота, выделяемая цементом в процессе ТВО, кДж/кг. Для портландцемента эта величина определяется по формуле [12]

$$Q_{\text{эц}} = 1,85 \cdot Q_{\text{ц28}} \cdot (V/\text{Ц})^{0,44} \cdot (1 - \epsilon), \quad (4.26)$$

где $Q_{\text{ц28}}$ – тепловыделение цемента при 28-дневном твердении в нормальных условиях, кДж/кг (табл. 4.1);

V – расход воды на 1 м³ бетона, кг;

Ц – масса цемента в 1 м³ бетона, кг;

ϵ – величина, зависящая от градусо-часов (n) твердения бетона:

$$n = t_{\text{п}} \cdot \tau_{\text{п}} + t_{\text{в}} \cdot \tau_{\text{в}}, \quad (4.27)$$

где $\tau_{\text{п}}$, $\tau_{\text{в}}$ – время подъема и выдержки температуры, ч;

$t_{п}$ – средняя температура бетона в период подъема, °С:

$$t_{п} = \frac{(t_{н} + t_{к})}{2}, \quad (4.28)$$

где $t_{н}$ - начальная температура бетона (15 °С);

$t_{к}$ - конечная температура нагрева бетона, °С. Ее можно принимать равной температуре изотермической выдержки.

Таблица 4.1

Тепловыделение портландцемента при 28-дневном твердении
в нормальных условиях [4, 12]

Марка цемента	500	400	300	200
Тепловыделение цемента, кДж/кг	501	418	334	251

Если количество градусо-часов (n) не превышает 375, то $\epsilon = e^{-0,0015n}$ и (4.28) принимает вид

$$Q_{эц} = 1,85 \cdot Q_{ц28} \cdot (В/Ц)^{0,44} \cdot (1 - e^{-0,0015n}), \quad (4.29)$$

а если $375 < n < 2000$, то $\epsilon = 0,666 \cdot e^{-0,0004n}$, и (4.28) принимает вид

$$Q_{эц} = 1,85 \cdot Q_{ц28} \cdot (В/Ц)^{0,44} \cdot (1 - 0,666 \cdot e^{-0,0004n}). \quad (4.30)$$

4.4 Уравнение теплового баланса

$$Q_{т}^{п} + Q_{эи} = Q_{и} + Q_{ф} + Q_{ив} + Q_{ок} + Q_{вп} + Q_{п} + Q_{пп} + Q_{к} + Q_{нп} \quad (4.31)$$

Решая уравнение теплового баланса, находят расход теплоты - $Q_{т}^{п}$, кДж/период, расход пара - D , кг/период, удельный расход пара - d , кг/м³, по (4.32). Далее составляется сводная таблица теплового баланса (табл. 4.1) и рассчитывается коэффициент полезного использования теплоты - η (4.33).

Удельный расход пара определяется по формуле

$$d = \frac{D}{V_{б}}, \text{ кг/м}^3, \quad (4.32)$$

где $V_{б}$ – объем бетона в тепловой установке, м³

Коэффициент полезного использования теплоты определяется по формуле

$$\eta = \frac{Q_{и}}{Q_{т}^{п}} \cdot 100, \% \quad (4.33)$$

Сводная таблица теплового баланса

Статьи баланса	Обозначения статей	Расход теплоты	
		кДж/период	%
ПРИХОД ТЕПЛОТЫ:			
с паром	$Q_T^п$		
от экзотермических реакций	$Q_{эи}$		
ВСЕГО:			100
РАСХОД И ПОТЕРИ ТЕПЛОТЫ:			
на нагрев изделий	$Q_{и}$		
на нагрев форм	$Q_{ф}$		
на нагрев ограждающих конструкций	$Q_{ок}$		
на испарение влаги	$Q_{ив}$		
на нагрев внутреннего пространства	$Q_{вп}$		
потери с поверхности	$Q_{п}$		
потери с ушедшим паром	$Q_{пп}$		
потери с конденсатом	$Q_{к}$		
неучтенные потери	$Q_{нп}$		
ВСЕГО по расходным статьям			100

По окончании теплотехнических расчетов выполняется анализ основных теплотехнических показателей путем сравнения их с нормативными данными и делается вывод об эффективности тепловой установки.

4.5. Другие источники энергии – горячий воздух, природный газ, электроэнергия

4.5.1. Теплоноситель – горячий воздух

Определение прихода теплоты с горячим воздухом

Приход теплоты с горячим воздухом, кДж/период, рассчитывается по формуле

$$Q_T^B = B \cdot i_x, \quad (4.34)$$

где B – масса горячего воздуха, затрачиваемого на тепловую обработку (неизвестная величина, определяемая из уравнения теплового баланса), кг/период;

i_x – энтальпия воздуха, кДж/кг. Она определяется по таблицам или J - x диаграмме [4, 9, 10, 11] в зависимости от температуры и влажности воздуха. В проекте допускается температуру воздуха принимать на 30...50 °С выше темпера-

туры изотермической выдержки, а относительную влажность воздуха – 5...10 %.

Определение потерь теплоты с воздухом через неплотности

Потери теплоты с воздухом через неплотности, кДж/период, рассчитываются по формуле

$$Q_{\text{пв}} = \kappa \cdot V \cdot i_x, \quad (4.35)$$

где κ – доля потери воздуха через неплотности ($\kappa = 0,1 \dots 0,2$).

Определение потерь теплоты с отработанным теплоносителем

Потери теплоты с отработанным теплоносителем, кДж/период, рассчитываются по формуле

$$Q_{\text{от}} = (1 - \kappa) \cdot V \cdot i_x', \quad (4.36)$$

где i_x' – энтальпия отработанного теплоносителя [4, 9, 10, 11]. В проекте допускается температуру отработанного теплоносителя принимать на 20...30 °С ниже температуры изотермической выдержки, а его относительную влажность W – 40...60 % (для тепловой обработки бетона).

Определение неучтенных потерь

Неучтенные потери, кДж/период, рассчитываются по формуле

$$Q_{\text{нп}} = (0,1 \dots 0,2) \cdot (Q_{\text{и}} + Q_{\text{ф}} + Q_{\text{ив}} + Q_{\text{ок}} + Q_{\text{вп}} + Q_{\text{п}} + Q_{\text{пв}} + Q_{\text{от}}). \quad (4.37)$$

Далее составляется уравнение теплового баланса, определяется расход теплоты - $Q_{\text{т}}^{\text{в}}$, кДж/период, расход воздуха - V , кг/период, и удельный расход воздуха - v , м³/м³. Затем составляется сводная таблица теплового баланса, рассчитываются коэффициенты полезного использования теплоты - η и делается анализ полученных результатов (см. п. 4.4).

4.5.2. Теплоноситель – дымовые газы

В разделе представлена методика расчета расхода газообразного топлива на получение дымовых газов в теплогенераторе.

Определение прихода теплоты от сжигания газообразного топлива

Приход теплоты от сжигания газообразного топлива, кДж/период, рассчитывается по формуле

$$Q_T^r = \Gamma \cdot Q_{\Gamma}, \quad (4.38)$$

где Γ – расход газообразного топлива, кг/период. Неизвестная величина, определяемая из уравнения теплового баланса;

Q_{Γ} – теплотворная способность газообразного топлива, кДж/м³ [11, 13].

Определение неучтенных потерь

Неучтенные потери, кДж/период, рассчитываются по формуле

$$Q_{нп} = (0,2 \dots 0,3) \cdot (Q_{и} + Q_{ф} + Q_{ив} + Q_{ок} + Q_{вп} + Q_{п}). \quad (4.39)$$

Далее составляется уравнение теплового баланса, из которого определяется расход теплоты на установку - Q_T^r , кДж/период, расход газообразного топлива - Γ , м³/период, удельный расход топлива - γ , м³/м³. Затем составляется сводная таблица теплового баланса, рассчитывается коэффициент полезного использования теплоты - η и делается анализ полученных результатов (см. п. 4.4).

4.5.3. Источник теплоты – электроэнергия

Определение прихода теплоты с энергией

Приход теплоты с энергией, кДж/период, определяется по формуле

$$Q_T^э = \mathcal{E} \cdot 3600, \quad (4.40)$$

где \mathcal{E} – расход электроэнергии, кВт·ч. Неизвестная величина, определяемая из уравнения теплового баланса;

3600 – переводной коэффициент: 1 кВт·ч = 3600 кДж.

Определение неучтенных потерь

Неучтенные потери, кДж/период, рассчитываются по формуле

$$Q_{нп} = (0,15 \dots 0,25) \cdot (Q_{м} + Q_{ф} + Q_{ив} + Q_{ок} + Q_{вп} + Q_{п}). \quad (4.41)$$

Далее составляется уравнение теплового баланса, из которого определяется расход теплоты на период - Q_T , кДж/период, расход электроэнергии на период - \mathcal{E} , кВт·ч/период, удельный расход электроэнергии - ε , кВт ч/м³, составляется сводная таблица теплового баланса, рассчитываются коэффициенты полезного использования теплоты - η и проводится анализ полученных результатов (см. п. 4.4).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теплотехника / - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Бастет, 2010 – 324 с.
2. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов. 14-е издание стереотипное. Перепечатка с девятого издания 1973 г. – М.; ООО ИД «Альянс», 2008. – 753 с.
3. Левченко П.В. Расчет печей и сушил силикатной промышленности: уч. пособие для вузов. 2-е изд. – М.: ООО ИД «Альянс», 2007. – 366 с.
4. Бацук В. Экономия теплоэнергии // Сельское строительство. – 1988. - №1. – С. 36-38.
5. Перегудов В.В., Роговой М.И. Тепловые процессы и установки в технологии строительных материалов.- М.: Стройиздат, 1983.
6. Павлов В.Ф., Павлов С.В. Основы проектирования тепловых установок: Учеб. пособие. – М.: Высш.шк., 1987. - 143 с.
7. Рекомендации по снижению расхода тепловой энергии в камерах для тепло-влажностной обработки железобетонных изделий. – М.: Стройиздат, 1984. – 56 с.
8. Строительные нормы и правила. Строительная теплотехника: СНиП II-3-79* / Госстрой СССР: Введ. 01.07.86. – М., 1986. – 32 с.
9. Тепловая изоляция: Учеб. пособие / Г.Ф. Кузнецов, В.И. Бельский, В.П. Горбачев и др.; Под ред. Г.Ф. Кузнецова. – М.: Стройиздат, 1985. – 421 с.
10. Теплотехнический справочник / Под ред. В.Н. Юренева и П.Д. Лебедева. Т.1. – М.: Энергия, 1975. – 744 с.
11. Теплотехнический справочник / Под ред. В.Н. Юренева и П.Д. Лебедева. Т.2. – М.: Энергия, 1976. – 896 с.
12. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов технологии. – Л.: Химия, 1969. – 624 с.
13. Почапский Н.Ф. и др. Расчет и конструирование тепловых установок: Учеб. пособие. – Киев: УМКВО, 1969. – 188 с.

Оглавление

Введение.....	3
1. Определение размеров и массы форм для изготовления бетонных и железобетонных изделий.....	3
2. Определение внутренних размеров ямной пропарочной камеры и ее заглубления в грунт.....	4
3. Проектирование стен, днища и крышки камеры.....	6
4. Определение расхода тепловой энергии на тепловую обработку материалов и изделий.....	27

Конструктивный и теплотехнический расчет ямной пропарочной камеры

Методические указания к выполнению курсовой работы по дисциплине «Теплотехническое оборудование в технологии строительных материалов» для бакалавров направления подготовки «Строительство», профиль «Производство и применение строительных материалов, изделий и конструкций»

Составители: к.т.н., проф. Виктор Васильевич Власов,
к.т.н., доц. Алексей Иванович Макеев,
доц. Сергей Васильевич Черкасов,
к.т.н., доц. Александр Михайлович Усачев

Редактор Аграновская Н.Н.

Подписано в печать 10.12.2015. Формат 60×84 1/16. Уч.- изд.л. 2,5
Усл. -печ.л. 2,6. Бумага писчая. Тираж 50 экз. Заказ № _____

Отпечатано: отдел оперативной полиграфии издательства учебной литературы
и учебно-методических пособий Воронежского ГАСУ
394006 Воронеж, 20-летия Октября, 84