

технический кодекс  
установившейся практики

**ТКП 45-5.03-13-2005 (02250)**

---

**ИЗДЕЛИЯ БЕТОННЫЕ  
И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ СБОРНЫЕ**  
Правила тепловлажностной обработки

**ВЫРАБЫ БЕТОННЫЯ  
І ЖАЛЕЗАБЕТОННЫЯ ЗБОРНЫЯ**  
Правілы цеплавільготнаснай апрацоўкі

---

Издание официальное

---

Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь  
Минск 2006

**Ключевые слова:** бетон, изделия бетонные, изделия железобетонные, тепловлажностная обработка, активность цемента, режимы прогрева, режимы беспрогревного выдерживания, распалубочная прочность, передаточная прочность, отпускная прочность, требуемая прочность.

## Предисловие

Цели, основные принципы, положения по государственному регулированию и управлению в области технического нормирования и стандартизации установлены Законом Республики Беларусь «О техническом нормировании и стандартизации».

1 РАЗРАБОТАН техническим комитетом по техническому нормированию и стандартизации в строительстве «Бетонные и железобетонные конструкции. Бетоны и растворы» (ТКС 08) при научно-проектно-производственном республиканском унитарном предприятии «Стройтехнорм» (РУП «Стройтехнорм»).

ВНЕСЕН РУП «Стройтехнорм».

2 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ приказом Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь от 18 августа 2005 г. № 202.

В Национальном комплексе технических нормативных правовых актов в области архитектуры и строительства настоящий технический кодекс установившейся практики входит в блок 5.03 «Железобетонные и бетонные конструкции и изделия».

3 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ.

Настоящий технический кодекс установившейся практики не может быть тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь.

## Содержание

1	Область применения .....	1
2	Нормативные ссылки .....	1
3	Термины и определения .....	2
4	Выбор цементов .....	2
5	Выбор химических добавок .....	3
6	Основные требования к расчету и устройству теплоизоляции ограждающих конструкций тепловых установок .....	3
7	Расчет рациональных режимов тепловой обработки изделий в паровоздушной среде и продолжительности последующего выдерживания .....	4
8	Расчет рациональных режимов тепловой обработки изделий в газовой среде .....	17
9	Особенности тепловой обработки изделий в термоформах и кассетных установках .....	20
10	Расчет рациональных режимов беспробного выдерживания изделий .....	22
11	Расчет теплового баланса и эффективности применения энергосберегающих методов тепловой обработки изделий .....	26
12	Особенности контроля прочности бетона при тепловой обработке .....	34
	Приложение А (справочное) Ориентировочные физико-технические характеристики некоторых белорусских цементов .....	35
	Приложение Б (справочное) Характеристики водопоглощения плотных мелкого и крупного заполнителей .....	36
	Приложение В (обязательное) Значения и зависимости функциональных коэффициентов прочности модифицированного бетона в возрасте 1, 2 и 28 сут при нормальных условиях твердения .....	37
	Приложение Г (справочное) Примеры расчета режимов тепловой обработки и последующего выдерживания изделий .....	39
	Приложение Д (справочное) Технические характеристики теплогенераторов ТОК-1 и ТОК-1А .....	44
	Приложение Е (справочное) Вязкость воды при различной температуре .....	45
	Приложение Ж (справочное) Пример расчета режимов беспробного выдерживания изделий .....	46
	Приложение К (рекомендуемое) Методика подбора и условия применения дроссельных диафрагм .....	49
	Приложение Л (справочное) Примеры расчета теплового баланса и эффективности применения энергосберегающих методов тепловой обработки изделий .....	52
	Библиография .....	56



## ТЕХНИЧЕСКИЙ КОДЕКС УСТАНОВИВШЕЙСЯ ПРАКТИКИ

**ИЗДЕЛИЯ БЕТОННЫЕ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ СБОРНЫЕ**  
**Правила тепловлажностной обработки****ВЫРАБЫ БЕТОННЫЯ І ЖАЛЕЗАБЕТОННЫЯ ЗБОРНЫЯ**  
**Правілы цеплавільготнаснай апрацоўкі**Precast concrete and reinforced concrete products  
Moist – steam curing rules

Дата введения 2006-01-01

**1 Область применения**

Настоящий технический кодекс установившейся практики (далее — технический кодекс) распространяется на сборные бетонные и железобетонные изделия, изготавливаемые с применением плотных и пористых заполнителей и вяжущих на основе портландцементного клинкера на заводах, полигонах и в отдельных цехах. Настоящий технический кодекс не распространяется на тепловую обработку изделий, изготовленных из бетонов крупнопористых, специальных (полимербетонов, бетонополимеров), ячеистых, автоклавного твердения, жаростойких, самоупрочивающихся, а также изготовленных с применением сухих бетонных смесей, специальных методов уплотнения бетонной смеси (гидропрессование, центрифугирование и т. д.).

Настоящий технический кодекс устанавливает основные правила назначения и методы расчета рациональных режимов тепловой обработки и последующего выдерживания сборных бетонных и железобетонных изделий для различных видов строительства, обеспечивающих сокращение потребляемой тепловой или электрической энергии.

**2 Нормативные ссылки**

В настоящем техническом кодексе использованы ссылки на следующие технические нормативные правовые акты в области технического нормирования и стандартизации (далее — ТНПА): <sup>1)</sup>

СТБ 1112-98 Добавки для бетонов. Общие технические условия

СТБ 1182-99 Бетоны. Правила подбора состава

СТБ 1544-2005 Бетоны конструкционные тяжелые. Технические условия

ГОСТ 310.2-76 Цементы. Методы определения тонкости помола

ГОСТ 310.4-81 Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии

ГОСТ 10060.0-95 Бетоны. Методы определения морозостойкости. Общие требования

ГОСТ 10178-85 Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия

ГОСТ 13015.0-83 Конструкции и изделия бетонные и железобетонные сборные. Общие технические требования

ГОСТ 13015.1-81 Конструкции и изделия бетонные и железобетонные сборные. Приемка

ГОСТ 17624-87 Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности

ГОСТ 23464-79 Цементы. Классификация

ГОСТ 26633-91 Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия

ГОСТ 30515-97 Цементы. Общие технические условия

СНБ 2.04.01-97 Строительная теплотехника

СНиП 3.05.02-88 Газоснабжение

<sup>1)</sup> СНБ, СНиП, Пособия к СНиП имеют статус технического нормативного правового акта на переходный период до их замены техническими нормативными правовыми актами, предусмотренными Законом Республики Беларусь «О техническом нормировании и стандартизации».

П1-99 к СНиП 3.09.01-85 Применение добавок в бетоне

П2-01 к СНиП 3.09.01-85 Изготовление сборных бетонных и железобетонных изделий.

*Примечание* — При пользовании настоящим техническим кодексом целесообразно проверить действие ТНПА по Перечню технических нормативных правовых актов по строительству, действующих на территории Республики Беларусь, и каталогу, составленным по состоянию на 1 января текущего года, и по соответствующим информационным указателям, опубликованным в текущем году.

Если ссылочные ТНПА заменены (изменены), то при пользовании настоящим техническим кодексом следует руководствоваться замененными (измененными) ТНПА. Если ссылочные ТНПА отменены без замены, то положение, в котором дана ссылка на них, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

### 3 Термины и определения

В настоящем техническом кодексе применяются термины с соответствующими определениями, установленные в действующих ТНПА.

### 4 Выбор цемента

**4.1** В качестве вяжущих материалов для приготовления бетонов рекомендуется применять портландцемент и его разновидности, удовлетворяющие требованиям ГОСТ 10178, ГОСТ 30515, П2 к СНиП 3.09.01. Другие виды цемента, соответствующие действующим стандартам и техническим условиям, могут применяться после испытаний их в бетоне и соответствующего технико-экономического обоснования.

**4.2** Вид цемента для изготовления изделий, эксплуатирующихся в различных условиях, следует принимать в соответствии с требованиями ГОСТ 23464 и ГОСТ 26633.

**4.3** При выборе марок цемента следует учитывать класс бетона по прочности на сжатие, активность цемента в возрасте 1 и 2 сут, подвижность или жесткость бетонной смеси, условия твердения изделий в технологической оснастке. Рекомендуемые и допускаемые марки цемента следует принимать в соответствии с таблицей 4.1.

Таблица 4.1

Класс бетона по прочности на сжатие	Марка цемента для бетона			
	тяжелого и мелкозернистого		легкого конструкционного и конструкционно-теплоизоляционного	
	рекомендуемая	допускаемая	рекомендуемая	допускаемая
B7,5	—	—	400	300
C <sup>8</sup> / <sub>10</sub> – C <sup>20</sup> / <sub>25</sub>	400	500	400	500
C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	500	550, 600	500	550, 600
C <sup>30</sup> / <sub>37</sub>	550	500, 600	550	500, 600
C <sup>35</sup> / <sub>45</sub> – C <sup>90</sup> / <sub>105</sub>	600	500, 550	—	—

*Примечание* — Обозначения классов бетона даны в соответствии с СТБ 1544. Класс бетона по ГОСТ 26633 соответствует цифре, указанной в знаменателе. Например, класс бетона B25 по ГОСТ 26633 соответствует классу C<sup>20</sup>/<sub>25</sub>.

**4.4** При использовании в исключительных случаях шлакопортландцемента необходимо обеспечить высокую относительную влажность (до 95 %) среды, в которой осуществляется тепловая обработка изделий.

**4.5** Пуццолановый портландцемент и его разновидности допускается применять только для изделий специального назначения с повышенными требованиями по водостойкости и солестойкости.

**4.6** Применение глиноземистого цемента для изготовления изделий с тепловлажностной обработкой не допускается.

**4.7** Для энергосберегающих режимов тепловой обработки бетона и беспрогревных технологий производства бетонных и железобетонных изделий дополнительно должны учитываться следующие рекомендации.

**4.7.1** Целесообразно применять бездобавочный портландцемент 1 и 2 групп по эффективности пропаривания, содержащий в клинкере более 58 % трехкальциевого силиката и 5 %–9 % трехкальциевого алюмината.

**4.7.2** Удельная поверхность цемента должна быть не менее 290 м<sup>2</sup>/кг.

**4.7.3** Активность цемента в возрасте 1 и 2 сут должна быть не менее 12 и 20 МПа, соответственно.

## **5 Выбор химических добавок**

**5.1** При выборе химических добавок для бетона с целью сокращения затрат тепловой или электрической энергии и сокращения сроков выдерживания изделий в тепловых установках следует руководствоваться указаниями П1 к СНиП 3.09.01 и рекомендациями настоящего технического кодекса. Свойства применяемых добавок должны удовлетворять требованиям СТБ 1112, стандартов и технических условий на конкретные виды добавок.

**5.2** Количество добавок должно определяться подбором состава бетона с учетом эффективности их влияния на снижение водопотребности бетонной смеси, на ускорение твердения бетона в различных температурных условиях и на прочность бетона в возрасте 28 сут (см. разделы 7–10). Общее содержание химических добавок не должно превышать пределы, указанные в действующих ТНПА и в любом случае должно быть не более 5 % от массы цемента.

**5.3** Если количество вводимой добавки составляет менее 0,2 % от массы цемента, ее следует вводить только с водой затворения с целью обеспечения ее равномерного распределения по всему объему бетона.

**5.4** Если объем раствора добавки превышает 3 л на 1 м<sup>3</sup> бетона, то его следует учитывать при определении водоцементного отношения.

**5.5** Если используется несколько видов химических добавок (комплексные добавки), их совместимость и общая эффективность, а также их влияние на долговечность (коррозионную стойкость бетона и арматуры, появление высолов и т. п.) должны быть проверены при подборе состава бетона.

## **6 Основные требования к расчету и устройству теплоизоляции ограждающих конструкций тепловых установок**

**6.1** С целью сокращения расхода тепловой энергии при тепловой обработке изделий в камерах и установках периодического действия рекомендуется применять термосные (без стадии изотермического прогрева) режимы выдерживания изделий, которые возможны при осуществлении надежной тепло- и влагоизоляции ограждающих конструкций камер. Скорость остывания среды в таких камерах в период снижения температуры изделий составляет 3–10 °С/ч.

**6.2** В качестве элементов ограждающих конструкций камер с повышенным термическим сопротивлением следует применять конструкции из легкого керамзитобетона, защищенного от увлажнения слоем пароизоляции; сборного или монолитного тяжелого бетона с экранной теплоизоляцией с внутренней стороны камер; слоистых элементов с теплоизоляционным слоем, паро- и гидрозащитными устройствами. При этом коэффициент полезного использования тепла должен быть для керамзитобетонных ограждающих конструкций не менее 0,55 и для теплоизолированных ограждающих конструкций — не менее 0,70.

**6.3** Теплозащитные свойства днищ камер следует повышать путем устройства теплоизоляции из материалов с повышенными механическими свойствами (пеностекла и др.) и с применением слоистых конструкций с воздушной прослойкой (с ребристыми и плоскими железобетонными плитами).

**6.4** Крышки камер должны иметь металлический каркас и теплоизоляционный слой, защищенный с двух сторон металлическими листами.

**6.5** Гидравлические затворы камер рекомендуется выполнять из швеллера с высотой полки 150 мм, но не менее 100 мм. Для камер длиной более 10 м, камер, расположенных в один ряд, или при наличии в блоке более четырех камер гидравлический затвор следует выполнять индивидуально для каждой камеры.

**6.6** Снижение расхода тепловой энергии в теплоизолированных камерах в полном объеме может быть обеспечено применением систем автоматического регулирования подачи расчетного количества пара или установкой дроссельных диафрагм со своевременным прекращением подачи пара.

**6.7** Для регулирования процесса тепловой обработки изделий в камерах могут применяться любые проверенные в производственных условиях автоматизированные системы, обеспечивающие снижение расхода тепловой энергии на 15 %–25 % по сравнению с аналогичными тепловыми установками, режим тепловой обработки в которых поддерживается вручную.

**6.8** Расчет термического сопротивления ограждающих конструкций камер тепловой обработки, а также разработку и осуществление конструктивных решений теплоизолированных камер следует производить по СНБ 2.04.01.

## 7 Расчет рациональных режимов тепловой обработки изделий в паровоздушной среде и продолжительности последующего выдерживания

7.1 Тепловая обработка сборных бетонных и железобетонных изделий производится с применением режимов, обеспечивающих минимальный расход топливно-энергетических ресурсов и ускоренное достижение бетоном заданных значений распалубочной, отпускной, передаточной (для предварительно напряженных изделий) или требуемой прочности.

7.2 Под распалубочной прочностью бетона ( $P_p$ ) понимается такая его прочность на сжатие, при которой обеспечиваются распалубка (выемка из форм) и безопасное внутрицеховое (внутризаводское) транспортирование изделий без их повреждения.

Значение распалубочной прочности для каждого вида изделий устанавливается изготовителем (технологическими правилами производства). При этом должны быть обеспечены соответствующие температурно-влажностные условия для достижения при последующем складировании и хранении отпускной прочности бетоном к моменту отгрузки изделий изготовителем и требуемой прочности — в установленные сроки.

7.3 Отпускная ( $P_{отп}$ ) и передаточная ( $P_n$ ) прочности бетона должны соответствовать значениям, указанным в проектной документации, действующих стандартах или технических условиях на конкретные изделия с учетом требований ГОСТ 13015.0.

7.4 Требуемая прочность бетона на сжатие ( $P_{тр}$ ) определяется по заданному классу бетона с учетом фактического коэффициента вариации прочности на сжатие или принимаемого равным 13,5 % при отсутствии статистических данных о фактической однородности бетона. Достижение требуемой прочности должно быть гарантировано изготовителем в возрасте бетона 28 сут или в любой другой срок, согласованный с проектной организацией-разработчиком и заказчиком.

7.5 Подбор составов бетонных смесей для изделий, подвергаемых тепловой обработке, должен производиться в соответствии с требованиями СТБ 1182.

7.6 Тепловая обработка изделий может производиться в камерах периодического или непрерывного действия, а также под переносными колпаками. При этом в качестве теплоносителя может использоваться водяной пар, паровоздушная смесь, горячий воздух или другая газообразная среда, не снижающая качества бетона изделий.

7.7 Способы, тепловые установки и общую продолжительность тепловой обработки следует выбирать на основании технико-экономического анализа в зависимости от технологической схемы производства, конструктивных особенностей изделий, тепловой инерционности установок и фактических ритмов их работы, требуемой продолжительности производственного цикла изготовления изделий, режима работы предприятия, а также климатических факторов (для полигонов).

7.8 Режим тепловой обработки должен подбираться в каждом конкретном случае расчетно-экспериментальным методом и назначаться лабораторией с учетом фактического ритма работы тепловых установок и требований настоящего раздела.

7.9 В целях снижения расхода тепловой энергии следует максимально использовать возможности:

— тепловой инерционности установок и осуществления за счет этого термосного выдерживания разогретых изделий;

— учета нарастания прочности бетона в период межсменных перерывов, включая выходные и праздничные дни, и снижения за счет этого максимальной температуры разогрева изделий;

— учета нарастания прочности бетона, в том числе после распалубки изделий, при выдерживании в цехе на специальных площадках или в камерах «дозревания», а также в период хранения на складах;

— применения цементов с более высоким показателем активности при пропаривании, а также быстротвердеющих цементов;

— применения химических добавок, интенсифицирующих твердение бетона при тепловом воздействии;

— применения низкотемпературных режимов выдерживания изделий.

7.10 Сокращение, при необходимости, продолжительности тепловой обработки с целью увеличения оборачиваемости форм или тепловых агрегатов следует осуществлять за счет применения быстротвердеющих цементов, химических добавок — ускорителей твердения, предварительного электро- и пароразогрева бетонных смесей, двухстадийной тепловой обработки с выдерживанием на второй стадии форм с изделиями или распалубленных изделий в специальных камерах «дозревания» и других технологических приемов, не приводящих к увеличению расхода тепловой энергии.

7.11 С целью обеспечения сокращения расхода тепловой энергии при тепловой обработке необходимо наладить оперативный учет расхода энергии, увеличить коэффициент заполнения тепловых



установок и осуществить мероприятия по максимальному снижению непроизводительных энергозатрат (теплопотерь в окружающую среду, в том числе при транспортировании теплоносителя, на нагрев форм, тепловых агрегатов и др.).

### Особенности тепловой обработки изделий в камерах периодического действия и последующего их выдерживания

**7.12** При тепловой обработке изделий в камерах периодического действия (ямных и тупиковых туннельных камерах) их прогрев осуществляется при непосредственном контакте с теплоносителем или кондуктивным способом.

**7.13** В качестве теплоносителей в камерах могут применяться насыщенный водяной пар, паровоздушная смесь, аэрированная горячая вода.

**7.14** Структура режима тепловой обработки характеризуется продолжительностью предварительного выдерживания  $\tau_{пр в}$ , температурой и скоростью разогрева, продолжительностью подъема температуры среды в камере  $\tau_n$ , продолжительностью и способом (термосным или изотермическим) выдерживания разогретых изделий  $\tau_{из}$  и продолжительностью остывания изделий до распалубки  $\tau_{ост}$ .

**7.15** Основным назначением предварительного выдерживания изделий (от момента закрытия крышкой загруженной камеры до начала тепловой обработки) является создание благоприятных условий для протекания процессов гидратации цемента и формирования начальной структуры бетона, способной без нарушения воспринимать развивающиеся при последующем тепловом воздействии деструктивные процессы.

Вследствие влияния многочисленных факторов на темп нарастания начальной прочности бетона (активности цемента, В/Ц бетона, скорости подъема температуры, температуры разогрева бетона и др.) продолжительность предварительного выдерживания, необходимая для достижения бетоном требуемой начальной прочности, не является постоянной величиной и колеблется от 1–2 до 4–8 ч.

Чем выше марка цемента, класс бетона и жесткость бетонной смеси, а также температура, при которой происходит предварительное выдерживание изделий, тем меньшей может быть продолжительность предварительного выдерживания. Введение химических добавок (ускорителей твердения) приводит к сокращению, а поверхностно-активных и, особенно, воздухововлекающих добавок — к увеличению оптимальной продолжительности предварительного выдерживания.

Увеличение продолжительности предварительного выдерживания особенно целесообразно при пропаривании распалубленных изделий, а также изделий с большими открытыми поверхностями.

**7.16** Скорость подъема температуры среды в камере тепловой обработки оказывает наибольшее влияние на развитие деструктивных процессов в твердеющем бетоне, причем, чем она выше, тем больше вероятность возникновения структурных нарушений. Поэтому для исключения излишних дефектов скорость нагрева бетона на поверхности изделий должна назначаться в зависимости от значения начальной прочности, достигнутой в период предварительного выдерживания по данным таблицы 7.1.

Таблица 7.1

Начальная прочность бетона на сжатие, МПа	Скорость подъема температуры среды в камере, °С/ч
0,1–0,2	10–15
0,2–0,4	15–25
0,4–0,5	25–35
0,5–0,6	35–45
Более 0,6	45–60

*Примечание* — Определение начальной прочности бетона производится на образцах-кубах с ребром не менее 10 см при испытании их на прессах мощностью не более 25 кН.

**7.17** При нагреве изделий в камерах скорость подъема температуры оказывает существенное влияние на однородность формирующегося температурного поля. С увеличением толщины изделия увеличивается температурный перепад в его поперечном сечении, что ведет к неравномерному росту прочности. Поэтому при толщине изделий 40 см и более скорость нагрева бетона на поверхности должна быть снижена до 10 °С/ч.

**7.18** При изготовлении изделий из высокоподвижных бетонных смесей (с осадкой конуса 8 см и более) скорость подъема температуры среды в камере должна быть снижена на 20 %–30 %. При использовании жестких смесей (с жесткостью 60 с и более) нагрев может осуществляться с большей скоростью на 15 %–20 %.

**7.19** В целях снижения деструктивного воздействия интенсивности нагрева на формирующуюся структуру бетона, особенно при коротких периодах предварительного выдерживания, допускается осуществлять подъем температуры с прогрессивно возрастающей скоростью, при которой учитывается нарастание прочности бетона в процессе подъема температуры, например, в первый час скорость подъема температуры среды в камере принимается 10–15 °С/ч, во второй — 15–25 °С/ч, в третий — 25–30 °С/ч и т. д. до достижения заданной максимальной температуры.

**7.20** Снижению структурных нарушений в бетоне способствует использование ступенчатых режимов нагрева, когда, например, за первые 1–1,5 ч повышают температуру среды в камере до 40 °С–50 °С, выдерживают изделия при этой температуре без подачи пара в течение 1–2 ч, а затем осуществляют интенсивный подъем температуры до максимального заданного значения в течение 1–1,5 ч.

При загрузке изделий в неохлажденную камеру с температурой 30 °С–45 °С выдерживание в ней в течение 1,5–2 ч равноценно первой ступени подъема температуры.

**7.21** Максимально допустимая температура бетона к концу периода нагрева не должна превышать 85 °С при использовании портландцемента (в том числе с минеральными добавками) и 95 °С — при использовании шлакопортландцемента.

Применение пониженных температур разогрева, обеспечивающих достижение заданной прочности бетона в требуемые сроки, позволяет снизить расход энергии в 1,5–2 раза по сравнению с расходом при 80 °С–85 °С.

**7.22** Выдерживание разогретых изделий в камерах до достижения заданной прочности может осуществляться путем термосного или изотермического прогрева. С точки зрения достижения минимальных энергозатрат на тепловую обработку предпочтительным является использование термосного выдерживания. При этом скорость остывания среды в камерах в период снижения температуры изделий должна быть не более 30 °С/ч, а при повышенных требованиях по морозостойкости и водонепроницаемости, а также при тепловой обработке изделий из мелкозернистого бетона, многослойных и с отделочными слоями — не более 20 °С/ч.

Изотермический прогрев должен применяться в том случае, если термосное выдерживание в камере не обеспечивает достижения заданной прочности к моменту распалубки. При использовании изотермического прогрева необходимо до минимума сократить его продолжительность с последующим термосным выдерживанием. Изотермический прогрев осуществляется путем подвода тепловой энергии в количестве, компенсирующем затраты на нагрев ограждающих конструкций камеры и потери через них.

**7.23** Рекомендуемые режимы тепловой обработки бетонов классов C<sup>8/10</sup> – C<sup>35/45</sup>, обеспечивающие достижение около 70 % прочности бетона от проектной, приведены в таблице 7.2.

**Таблица 7.2**

Класс бетона	Режимы тепловой обработки, ч, при толщине бетона в изделиях, мм		
	До 160	160–300	300–400
C <sup>8/10</sup> – C <sup>16/20</sup>	3,5 + 5,5 + 2	3,5 + 6,5 + 2	3,5 + 6,5 + 3
C <sup>20/25</sup>	3 + 4 + 2	3 + 5 + 2	3 + 5,5 + 2,5
C <sup>25/30</sup>	3 + 3,5 + 2	3 + 4,5 + 2	3 + 5 + 2,5
C <sup>30/37</sup>	3 + 3 + 2	3 + 4 + 2	3 + 4 + 2,5
C <sup>35/45</sup> и более	3 + 2 + 2	3 + 3 + 2	3 + 3,5 + 2,5

*Примечание* — Режимы тепловой обработки включают время подъема температуры среды в тепловом агрегате, время изотермического выдерживания и время остывания изделий без подачи пара.

**7.24** При назначении режимов следует учитывать, что с увеличением заданной распалубочной или передаточной прочности резко повышается расход энергии при тепловой обработке. Например, при увеличении распалубочной или передаточной прочности от 50 % до 70 % (от требуемой прочности

бетона  $f_{c\ cube\ 28\ н\ в}$ ) расход тепловой энергии возрастает в 1,5–2 раза. В связи с этим следует стремиться к назначению минимально возможных в местных условиях значений распалубочной или передаточной прочности, учитывая последующее нарастание прочности бетона при выдерживании в цехе или на складе готовой продукции при положительных температурах наружного воздуха с учетом отгрузки изделий потребителям.

**7.25** При производстве сборных бетонных и железобетонных изделий, подвергаемых тепловой обработке, рекомендуется применять различные химические добавки (ускорители твердения, пластификаторы, а также комплексные добавки).

**7.26** Вследствие различной эффективности действия химических добавок, зависящей не только от вида и марки цемента, но и от конкретного производителя цемента, а также от состава бетона, режимы тепловой обработки бетона с химическими добавками следует, как правило, назначать опытным путем. При этом следует иметь в виду, что:

— применение ускорителей твердения позволяет снизить температуру разогрева бетона на  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  при неизменном общем цикле тепловой обработки или сократить режим тепловой обработки на 2–3 ч при неизменной температуре разогрева бетона;

— при применении добавок-пластификаторов, в том числе суперпластификаторов, корректировка режима тепловой обработки должна быть увязана с технологическим приемом и целью их введения, а именно: при пластификации смесей или экономии цемента при равной удобоукладываемости бетонной смеси режимы тепловой обработки должны корректироваться в сторону увеличения продолжительности предварительного выдерживания и времени разогрева;

— при уменьшении В/Ц и равной удобоукладываемости смеси режимы тепловой обработки могут оставаться неизменными. Для ряда добавок-пластификаторов, особенно суперпластификаторов, возможно снижение температуры разогрева изделий на  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  для цементов 1 и 2 групп по эффективности пропаривания (для термосных режимов) или сокращение продолжительности изотермического выдерживания на 1–2 ч (для изотермических режимов).

**7.27** При выгрузке изделий из камер температурный перепад между поверхностью изделий и температурой окружающей среды не должен превышать  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

**7.28** Изделия после распалубки в холодное время года (при среднесуточной температуре наружного воздуха ниже  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) необходимо выдерживать в цехе не менее 12 ч с целью уменьшения температурно-влажностных напряжений, приводящих к образованию трещин в изделиях. Ориентировочные значения коэффициента увеличения прочности бетона в течение этого периода приведены в таблице 7.3.

Таблица 7.3

Класс бетона	Коэффициент увеличения прочности бетона изделий при распалубочной прочности, % от $f_{c\ cube\ 28\ н\ в}$		
	45–50	55–60	65–70
$C^{8/10} - C^{16/20}$	1,10–1,15	1,05–1,12	—
$C^{20/25}$	1,10–1,15	1,05–1,12	1,04–1,09
$C^{25/30}$	1,09–1,15	1,05–1,09	1,04–1,08
$C^{30/37}$ и более	1,06–1,12	1,05–1,09	1,04–1,09

### Особенности тепловой обработки изделий в камерах непрерывного действия

**7.29** Отличительная особенность тепловой обработки изделий в камерах непрерывного действия состоит в том, что формы-вагонетки с изделиями перемещаются вдоль камеры, проходя при этом три зоны с различными температурно-влажностными параметрами: зону предварительного выдерживания, зону активной тепловой обработки и зону остывания.

**7.30** При тепловой обработке изделий в камерах непрерывного действия их прогрев осуществляется с применением «глухого» пара (регистров). Для повышения влажности среды следует дополнительно предусматривать подачу «острого» пара через перфорированные трубы. В горизонтальных камерах регистры устанавливаются на полу и под потолком, в вертикальных — вдоль боковых стен по высоте камеры. В качестве теплоносителя используется, как правило, водяной насыщенный пар давлением 0,5–0,6 МПа.

**7.31** При прогреве изделий в камерах непрерывного действия следует применять изотермические режимы тепловой обработки в соответствии с рекомендациями 7.22 и 7.23.

**7.32** В горизонтальных камерах непрерывного действия температурные зоны должны быть разделены. Для разделения зон рекомендуется применять механизированные шторные разделители, а при их отсутствии — воздушные завесы или шторы из теплостойкой резины.

В вертикальных камерах непрерывного действия указанные в 7.29 зоны предопределены конструкцией камеры и создаются самопроизвольно без использования специальных разделителей.

С целью экономии тепловой энергии торцы горизонтальных камер рекомендуется оборудовать дверьми с механическим приводом или специальными герметизирующими устройствами.

**7.33** Пребывание изделий в зоне предварительного выдерживания (для горизонтальных камер — в форкамере) должно быть не менее 1 ч. Рекомендуется создавать в форкамере температуру 40 °С–60 °С и относительную влажность 60 % за счет рециркуляции паровоздушной среды, отбираемой из зоны охлаждения. Производитель сборных железобетонных изделий вправе пользоваться другими методами, не противоречащими обязательным требованиям настоящего технического кодекса.

**7.34** В зоне активной тепловой обработки производится нагрев и изотермическое выдерживание изделий. Температура среды в этой зоне должна быть не выше 85 °С при относительной влажности среды не ниже 90 %. Отличительной особенностью зоны активной тепловой обработки в горизонтальных камерах является равномерность распределения значений температуры среды по длине зоны за исключением участков длиной 5–10 м у ее торцов.

Для интенсификации теплообмена между средой и изделием рекомендуется осуществлять в зоне активной тепловой обработки рециркуляцию среды. Скорость движения паровоздушной среды не должна превышать 1 м/с.

При двухсменном режиме работы предприятия (по формованию) в третью (нерабочую) смену в зоне активной тепловой обработки должна поддерживаться температура изотермического выдерживания.

**7.35** В зоне остывания горизонтальных камер изделия охлаждаются до 60 °С воздухом, отбираемым из цеха приточной установкой. Отработанный нагретый воздух подается в форкамеру либо удаляется вытяжной установкой в атмосферу. Применение вытяжной установки при нахождении изделий в зоне остывания менее 1 ч нецелесообразно.

**7.36** При изменении ритма работы конвейера следует производить соответствующую корректировку режимов тепловой обработки изделий.

### **Расчет энергосберегающих режимов тепловой обработки и последующего выдерживания изделий**

**7.37** Энергосберегающие режимы тепловой обработки изделий необходимо рассчитывать в следующей последовательности.

**7.37.1** Подбирается состав бетона по СТБ 1182.

**7.37.2** Задается ориентировочная средняя температура паровоздушной среды в тепловой установке (камере периодического или непрерывного действия) исходя из опыта производства на конкретном предприятии и с учетом рекомендаций 7.19 – 7.22, 7.33 – 7.35. При этом следует иметь в виду, что средняя температура паровоздушной среды в камере на 10 °С–15 °С ниже температуры изотермического прогрева.

**7.37.3** Определяется активность применяемого цемента в возрасте 1 сут ( $F_{ц1}$ ), 2 сут ( $F_{ц2}$ ) по методике ГОСТ 310.4 или принимается по приведенной в приложении А, а также устанавливается по паспортным данным на цемент содержание трехкальциевого алюмината  $C_3A$  в клинкере цемента.

**7.37.4** Принимается распалубочная, передаточная и отпускная прочность бетона на сжатие (соответственно,  $P_p$ ,  $P_n$ ,  $P_{отп}$ ) в процентах от требуемой прочности бетона  $f_{c cube 28 н в}$ , соответствующей проектной марке, по рекомендациям 7.24.

**7.37.5** Устанавливаются температурные режимы выдерживания изделий после тепловой обработки.

**7.37.6** Рассчитывается количество воды, поглощенной заполнителем,  $V_n$ , кг/м<sup>3</sup>, по формуле

$$V_n = (G_{кр} W_{кр} + G_m W_m) \cdot 10^{-2}, \quad (7.1)$$

где  $G_{кр}$ ,  $G_m$  — масса, соответственно, крупного и мелкого заполнителей в единице объема бетона, кг/м<sup>3</sup>;

$W_{кр}$ ,  $W_m$  — водопоглощение, соответственно, крупного и мелкого заполнителей, % по массе; значения приведены в таблицах Б.1 и Б.2 приложения Б.

**7.37.7** Рассчитывается водоцементное отношение в бетоне без учета воды, поглощенной заполнителем,  $W_6$  по формуле

$$W_6 = (B - B_n) / Ц, \quad (7.2)$$

где  $B$  — общее содержание воды в бетоне, кг/м<sup>3</sup>;  
 $Ц$  — содержание цемента в бетоне, кг/м<sup>3</sup>.

**7.37.8** Рассчитывается объемная концентрация цементного теста в бетоне  $m_T$  по формуле

$$m_T = 1 - \frac{G_M}{\rho_M} - \frac{G_{кр}}{\rho_{кр}}, \quad (7.3)$$

где  $\rho_M, \rho_{кр}$  — плотность (истинная) соответственно, мелкого и крупного заполнителей, кг/м<sup>3</sup>.

**7.37.9** Рассчитываются значения функциональных коэффициентов  $\Phi_{f1}, \Phi_{f2}$ , определяющих отношение прочности бетона в возрасте 1 и 2 сут к соответствующей активности цемента  $F_{ц1}, F_{ц2}$ , по формулам:

$$\Phi_{f1} = (8W_6 - 3,5) \cdot m_T - 7,22W_6 + 5,15 \quad \text{— при } W_6 \leq 0,3; \quad (7.4)$$

$$\Phi_{f1} = (-435W_6^3 + 705W_6^2 - 365W_6 + 57,8) \cdot m_T - 7,22W_6 + 5,15 \quad \text{— при } W_6 > 0,3; \quad (7.5)$$

$$\Phi_{f2} = 2,57 - 3,9(W_6 - 0,3)^{0,55} - 3,3(W_6 - 0,144) \cdot (m_T - 0,2). \quad (7.6)$$

**7.37.10** Определяются или принимаются в соответствии с таблицей В.1 приложения В значения функциональных коэффициентов прочности  $K_{fM1}$  и  $K_{fM2}$ , характеризующих отношение кубиковой прочности бетона на сжатие, твердеющего в нормальных температурно-влажностных условиях в течение, соответственно, 1 и 2 сут, с химическими добавками, к соответствующей прочности бетона без добавок.

**7.37.11** Рассчитывается прогнозируемая прочность на сжатие (кубиковая) бетона, твердеющего в нормально-влажностных условиях в течение 1 и 2 сут ( $f_{c\ cube\ 1\ нв}$ ) и ( $f_{c\ cube\ 2\ нв}$ ), соответственно, по формулам:

$$f_{c\ cube\ 1\ нв} = F_{ц1} K_{fM1} \Phi_{f1}; \quad (7.7)$$

$$f_{c\ cube\ 2\ нв} = F_{ц2} K_{fM2} \Phi_{f2}. \quad (7.8)$$

**7.37.12** Принимается средняя температура  $t_{cp}$  и ориентировочная продолжительность тепловой обработки бетона  $\tau_{пр}$ , сут, на основе имеющегося опыта или по 7.15 и 7.23.

**7.37.13** Рассчитывается значение функционального коэффициента  $K_{f\ t\ \tau\ m_T}$ , определяющего отношение прочности бетона на сжатие после тепловой обработки к прочности бетона, твердеющего в нормальных температурно-влажностных условиях в течение того же времени, по формуле

$$K_{f\ t\ \tau\ m_T} = K_{C_3A} \left[ 7,2 - 20m_T + b(24 - \tau_{пр})^n \right], \quad (7.9)$$

где  $K_{C_3A}$  — коэффициент, зависящий от содержания трехкальциевого алюмината ( $C_3A$ ) в цементе:

$$\left. \begin{aligned} K_{C_3A} &= 1 && \text{— при содержании } C_3A \text{ от } 3\% \text{ до } 5\% \text{ включ.} \\ K_{C_3A} &= 1,07 - 3,5 \cdot 10^{-3} \cdot t_{cp} && \text{— то же св. } 5\% \text{ " } 9\% \text{ " } \end{aligned} \right\}; \quad (7.10)$$

$b$  и  $n$  — коэффициенты, определяемые по формулам:

$$\left. \begin{aligned} b &= -4,67 \cdot 10^{-2} \cdot (m_T - 0,21) \cdot (t_{cp} - 30)^{0,25} + 0,11m_T^{0,8} - 30,4 \cdot 10^{-3} && \text{— при } m_T \geq 0,21 \\ b &= 0,8 \cdot 10^{-3} && \text{— при } m_T < 0,21 \end{aligned} \right\}; \quad (7.11)$$

$$n = 2,72 + 0,084(t_{cp} - 30)^{0,655}. \quad (7.12)$$

**7.37.14** Рассчитывается требуемая прочность бетона на сжатие в возрасте 28 сут по формуле

$$f_{c\ cube\ 28\ нв} = \frac{f_{c\ cube}^G}{1 - 1,64v}, \quad (7.13)$$

где  $f_{c\ cube}^G$  — гарантированная прочность бетона по СТБ 1544 или класс бетона по ГОСТ 26633;  
 $\nu$  — коэффициент вариации прочности бетона на осевое сжатие, который принимается по данным статистического контроля прочности бетона, или равным 0,135 при их отсутствии.

**7.37.15** Рассчитывается общая продолжительность тепловой обработки по формуле

$$\tau_{\text{ТО}} = \frac{\tau_{\text{НВЭТО}}}{K_{f\ t\ \tau\ m_T}}, \quad (7.14)$$

где  $\tau_{\text{НВЭТО}}$  — продолжительность нормально-влажностного выдерживания изделий до получения прочности, эквивалентной получаемой после тепловой обработки:

$$\tau_{\text{НВЭТО}} = 1 + \ln \left( 1 - \frac{P_i \cdot 10^{-2} \cdot f_{c\ cube\ 28\ \text{НВ}} - f_{c\ cube\ 1\ \text{НВ}}}{f_{c\ cube\ 2\ \text{НВ}} - f_{c\ cube\ 1\ \text{НВ}}} \cdot (1 - e^{n_{\text{НВ}}}) \right) / n_{\text{НВ}}, \quad (7.15)$$

$$\text{здесь } n_{\text{НВ}} = \ln \left( 1 - \frac{f_{c\ cube\ 2\ \text{НВ}} - f_{c\ cube\ 1\ \text{НВ}}}{f_{c\ cube\ 28\ \text{НВ}} - f_{c\ cube\ 1\ \text{НВ}}} \right); \quad (7.16)$$

$P_i$  — прочность бетона на сжатие (распалубочная  $P_p$ , передаточная  $P_n$ , отпускная  $P_{\text{омпн}}$ ) в процентах от требуемой в возрасте 28 сут.

**7.37.16** Принимается продолжительность предварительного выдерживания изделий  $\tau_{\text{прв}}$  по 7.15, скорость подъема температуры среды в камере  $\nu_n$  — по 7.16 – 7.19, температура бетона в момент распалубки  $t_p$  — по 7.27, скорость снижения температуры среды в камере  $\nu_{\text{ост}}$  — по 6.1 и 7.22.

**7.37.17** Рассчитывается продолжительность отдельных периодов тепловой обработки по формулам:  
 — продолжительность подъема температуры среды в камере

$$\tau_n = \frac{t_{\text{ср}} + 15 - t_n}{\nu_n}, \quad (7.17)$$

где  $t_n$  — температура изделия до начала тепловой обработки, °С;

— продолжительность остывания

$$\tau_{\text{ост}} = \frac{t_{\text{ср}} + 15 - t_p}{\nu_{\text{ост}}}; \quad (7.18)$$

— продолжительность изотермического прогрева

$$\tau_{\text{из}} = \tau_{\text{ТО}} \cdot 24 - \tau_{\text{прв}} - \tau_n - \tau_{\text{ост}}. \quad (7.19)$$

**7.37.18** Рассчитывается температура среды в камере при изотермическом прогреве изделий по формуле

$$t_{\text{из}} = \frac{t_{\text{ср}} \tau_{\text{ТО}} \cdot 24 - t_n (\tau_{\text{прв}} + 0,5 \tau_n) - 0,5 t_p \tau_{\text{ост}}}{0,5 \tau_n + \tau_{\text{из}} + 0,5 \tau_{\text{ост}}}. \quad (7.20)$$

**7.38** Расчет продолжительности последующего выдерживания изделий для достижения отпускной прочности бетона выполняется в следующей последовательности.

**7.38.1** Принимается продолжительность выдерживания изделий  $\tau_{\text{фц}}$  и температура окружающей среды  $t_{\text{фц}}$  в формовочном цехе с учетом 7.2, а также прогнозируется температура окружающей среды  $t_{\text{сгп}}$  при последующем выдерживании на складе готовой продукции.

**7.38.2** Рассчитываются значения функциональных коэффициентов  $K_{f\ t_{\text{фц}}}$  и  $K_{f\ t_{\text{сгп}}}$  по формулам:

$$K_{f\ t_{\text{фц}}} = K_{\text{С3А}} \cdot \left[ D_{\text{фц}} + (C_{\text{фц}} - D_{\text{фц}}) \cdot \left( \frac{\tau_{\text{фц}} - 0,5}{27,5} \right)^n \right]; \quad (7.21)$$

$$K_{f_{t_{c_{гп}}}} = K_{C_{3A}} \left[ D_{c_{гп}} + (C_{c_{гп}} - D_{c_{гп}}) \cdot \left( \frac{t_{c_{гп}} - 0,5}{27,5} \right)^n \right], \quad (7.22)$$

где  $K_{C_{3A}}$  — рассчитывается по формуле (7.10);

$$\left. \begin{aligned} D_{ф_{ц}} &= 0,15 + 4,25 \cdot 10^{-2} \cdot t_{ф_{ц}} && \text{— при } t_{ф_{ц}} \text{ от } 0 \text{ }^{\circ}\text{C до } 20 \text{ }^{\circ}\text{C включ.} \\ D_{c_{гп}} &= 0,15 + 4,25 \cdot 10^{-2} \cdot t_{c_{гп}} && \text{— при } t_{c_{гп}} \text{ " } 0 \text{ }^{\circ}\text{C " } 20 \text{ }^{\circ}\text{C " } \end{aligned} \right\}; \quad (7.23)$$

$$\left. \begin{aligned} D_{ф_{ц}} &= 1 + 7 \cdot 10^{-2} (t_{ф_{ц}} - 20) && \text{— при } t_{ф_{ц}} \text{ св. } 20 \text{ }^{\circ}\text{C до } 50 \text{ }^{\circ}\text{C} \\ D_{c_{гп}} &= 1 + 7 \cdot 10^{-2} (t_{c_{гп}} - 20) && \text{— при } t_{c_{гп}} \text{ " } 20 \text{ }^{\circ}\text{C " } 50 \text{ }^{\circ}\text{C} \end{aligned} \right\}; \quad (7.24)$$

$$\left. \begin{aligned} C_{ф_{ц}} &= 0,7 + 9,5 \cdot 10^{-2} t_{ф_{ц}}^{0,385} \\ C_{c_{гп}} &= 0,7 + 9,5 \cdot 10^{-2} t_{c_{гп}}^{0,385} \end{aligned} \right\}; \quad (7.25)$$

$t_{ф_{ц}}$  — продолжительность выдерживания распалубленных изделий в формовочном цехе при температуре окружающей среды  $t_{ф_{ц}}$ ;

$t_{c_{гп}}$  — то же, на складе готовой продукции при температуре  $t_{c_{гп}}$ ;

$n = 0,458$  — при температуре окружающей среды от  $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  включ.;

$n = 0,180$  — то же св.  $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  "  $50 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

**7.38.3** Рассчитывается продолжительность твердения бетона в нормально-влажностных условиях  $\tau_{нв}$  для достижения заданной отпускной прочности бетона по формуле

$$\tau_{нв} = 1 + \ln \left( 1 - \frac{P_{отп} \cdot 10^{-2} \cdot f_{c_{cube\ 28нв}} - f_{c_{cube\ 1нв}}}{f_{c_{cube\ 2нв}} - f_{c_{cube\ 1нв}}} \cdot (1 - e^{n_{нв}}) \right) / n_{нв}, \quad (7.26)$$

где  $n_{нв}$  — параметр, рассчитываемый по формуле (7.16);

**7.38.4** Рассчитывается продолжительность выдерживания изделий на складе готовой продукции до достижения отпускной прочности бетона по формуле

$$\tau_{c_{гп}} = \frac{\tau_{нв} - \tau_{то} K_{f_{t_{то}}} - \tau_{ф_{ц}} K_{f_{t_{ф_{ц}}}}}{K_{f_{t_{c_{гп}}}}}. \quad (7.27)$$

**7.39** Примеры расчета режимов тепловой обработки и последующего выдерживания изделий приведены в приложении Г.

**7.40** Рассчитанные режимы тепловой обработки и последующего выдерживания изделий до выдачи в производство рекомендуется проверить в условиях заводской лаборатории и, при необходимости, откорректировать.

**7.41** При расчете и назначении производственных режимов тепловой обработки изделий следует учитывать требования П2 к СНиП 3.09.01. При этом допускается использовать другие методики расчета, проверенные в условиях производства.

### Особенности назначения режимов тепловой обработки изделий с повышенными требованиями по морозостойкости

**7.42** К бетонам с повышенными требованиями по морозостойкости относятся бетоны марки F100 и выше по ГОСТ 10060.0.

**7.43** При изготовлении изделий с повышенными требованиями по морозостойкости должны соблюдаться общие требования по технологии изготовления, обеспечивающие получение плотного бетона с бездефектной структурой, особенно поверхностных слоев изделий, изложенные в ТНПА на конкретные виды изделий.

**7.44** Режимы тепловой обработки изделий из бетонов с повышенной морозостойкостью должны быть мягкими и включать:

- предварительное выдерживание не менее 3 ч;
- подъем температуры среды со скоростью не более  $20 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{ч}$ ;
- скорость остывания изделий не более  $15 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{ч}$ .

**7.45** Расчетная температура разогрева бетонов, к которым предъявляются повышенные требования по морозостойкости, должна назначаться минимально возможной для получения в заданный срок требуемой прочности и не превышать 80 °С.

**Особенности назначения режимов тепловой обработки предварительно напряженных изделий**

**7.46** С целью предотвращения возникновения трещин в бетоне при тепловой обработке предварительно напряженных изделий, изготавливаемых на стендах и в силовых формах, необходимо предусматривать:

- обеспечение условий, при которых величина перепада между температурой среды в камере и упоров при изготовлении изделий на стендах не превышает 65 °С, а температура разогрева бетона не превышает 80 °С;
- предварительное выдерживание не более 1 ч — при изготовлении изделий в силовых формах;
- регулирование начального предварительного напряжения в арматуре.

**7.47** Ориентировочные режимы тепловой обработки предварительно напряженных изделий при изготовлении на стендах приведены в таблице 7.4.

**Таблица 7.4**

Режим тепловой обработки	Время, ч
Подъем температуры до 80 °С	7,0
Изотермическое выдерживание при 80 °С	6,5
Остывание	1,5

**7.48** С целью исключения возможности появления трещин в бетоне при изготовлении на стендах рекомендуется использовать метод регулирования предварительного напряжения путем отпуска натянутой арматуры с момента начала охлаждения изделий.

**7.49** При стендовой технологии изготовления, кроме отпуска натяжения арматуры на горячий бетон для предотвращения температурных трещин, рекомендуется также устройство съемных вкладышей и температурных швов в металлических формах, частичная распалубка изделия (удаление фиксаторов при достижении прочности бетона не менее 3 МПа), а также предварительный подогрев формы.

**7.50** Для предотвращения технологических трещин и обеспечения надежных условий анкеровки предварительно напряженной арматуры, натянутой на силовые формы, рекомендуются следующие мероприятия:

- размещение изделий с поддоном в камере сразу после формования;
- немедленная, после тепловой обработки, передача усилия обжатия на горячий бетон и распалубка изделия;
- уменьшение величины перепада между максимальной температурой изделия при распалубке и температурой воздуха цеха (за счет снижения температуры прогрева, ограничения доступа холодного воздуха в цех, устройства тепловых завес и др.).

**7.51** С целью исключения вредного влияния температурных деформаций на качество изделий, изготавливаемых по агрегатно-поточной и конвейерной технологиям, следует использовать поддоны:

- у которых равнодействующая сил натяжения (усилия предварительного напряжения) приложена центрально или с минимальным эксцентриситетом относительно центра тяжести сечения поддона;
- открытого профиля (для многопустотных настилов и др.), которые при охлаждении меньше выгибаются и тем самым уменьшается возможность возникновения трещин.

В зависимости от конкретных условий производства, способов тепловой обработки изделий перед вводом в эксплуатацию новых силовых форм (поддонов) рекомендуется их опытная проверка для предотвращения возможности возникновения трещин в бетоне.

**7.52** Тепловую обработку предварительно напряженных изделий, изготавливаемых в силовых формах, необходимо производить в неглубоких камерах периодического действия с установкой изделий в один ярус или в тоннельных камерах с коэффициентом заполнения не менее 0,1.

**7.53** При изготовлении предварительно напряженных изделий в зимнее время на полигонах при отрицательных температурах режим тепловой обработки увеличивается на 2 ч за счет периода изотермического выдерживания.



### Особенности назначения режимов тепловой обработки изделий из легких бетонов на пористых заполнителях

**7.54** Режимы тепловой обработки изделий из легких бетонов должны обеспечивать не только распалубочную, передаточную, отпускную и проектную прочность бетона, но и требуемую проектной документацией на конкретные виды изделий отпускную влажность.

**7.55** Для обеспечения минимальной отпускной влажности тепловую обработку следует производить в условиях, способствующих испарению влаги из изделий.

Такой прогрев может осуществляться в тепловых установках периодического и непрерывного действия (в камерах ямного, тоннельного и щелевого типа), оборудованных регистрами, ТЭНами, калориферами, инфракрасными излучателями или теплогенераторами для сжигания природного газа. Максимальная температура среды в камерах сухого прогрева может быть повышена в зависимости от необходимой продолжительности тепловой обработки до 120 °С. С целью обеспечения заданной влажности изделий камеры рекомендуется оборудовать системой вентиляции, обеспечивающей поддержание влажности среды в камерах не более 60 %.

При тепловой обработке в термоформах не следует укрывать открытую поверхность изделий.

**7.56** Тепловую обработку в паровоздушной среде с относительной влажностью 85 %–95 % и температурой 90 °С–95 °С целесообразно производить для изделий, изготавливаемых из конструкционно-теплоизоляционных легких бетонов с низким начальным водосодержанием.

**7.57** При назначении режимов тепловой обработки изделий из конструкционно-теплоизоляционных легких бетонов следует учитывать ориентировочные данные по кинетике роста их прочности, приведенные в таблице 7.5.

Таблица 7.5

Класс бетона	Продолжительность тепловой обработки, ч	Прочность легкого бетона через 0,5 ч после тепловой обработки, % от проектной, с мелкими заполнителями различных типов и при температуре изотермической выдержки, °С									
		Песок пористый			Зола ТЭС			Песок плотный			
		60	80	95	60	80	95	60	80	95	
В3,5	6	10–15	20–25	30–40	15–20	40–45	50–60	30–35	45–50	50–55	
		30–35	40–45	50–60	30–35	50–55	55–65	45–50	55–60	60–65	
	10	25–30	35–40	55–60	35–40	50–55	70–75	50–55	65–70	70–75	
		45–50	55–60	70–75	50–55	65–70	75–80	65–70	75–80	80–85	
	14	35–40	45–50	70–75	45–50	60–65	80–85	60–65	70–75	75–80	
		50–55	65–70	80–85	60–65	75–80	85–90	75–80	85–90	90–95	
	18	40–45	55–60	75–80	50–55	65–70	85–90	65–70	75–80	80–85	
		55–60	70–75	85–90	65–70	80–85	85–90	80–85	85–90	90–95	
	В5	6	20–25	25–30	35–45	25–30	40–45	55–60	40–45	45–50	50–55
			35–40	45–50	55–60	40–45	55–60	60–70	55–60	60–65	65–70
		10	34–40	45–50	60–65	45–50	60–65	75–80	60–65	65–70	70–75
			50–55	60–65	70–75	60–65	70–75	80–85	70–75	75–80	80–85
14		45–50	55–60	75–80	55–60	70–75	80–85	85–70	75–80	80–85	
		60–65	70–75	80–85	65–70	80–85	85–90	80–85	85–90	90–95	
18		50–55	60–65	80–85	60–65	70–75	75–80	75–80	80–85	85–90	
		65–70	75–80	85–90	75–80	80–85	85–90	85–90	90–95	90–95	
В7,5		6	20–30	30–35	40–50	35–40	50–55	55–65	40–45	50–55	55–60
			—	—	—	—	—	—	—	—	—
		10	40–45	50–55	60–65	45–50	65–70	75–80	60–65	70–75	75–80
			—	—	—	—	—	—	—	—	—

Окончание таблицы 7.5

Класс бетона	Продолжительность тепловой обработки, ч	Прочность легкого бетона через 0,5 ч после тепловой обработки, % от проектной, с мелкими заполнителями различных типов и при температуре изотермической выдержки, °С								
		Песок пористый			Зола ТЭС			Песок плотный		
		60	80	95	60	80	95	60	80	95
В7,5	14	50–55	60–65	75–80	60–65	70–75	80–85	70–75	80–85	80–85
	18	55–60	65–70	80–85	70–75	80–85	85–90	75–80	80–85	85–90

*Примечание* — Данные таблицы относятся к бетонам с вовлеченным воздухом, приготовленным на крупном заполнителе с маркой по прочности П100 и более — над чертой и П50 — под чертой.

7.58 Для ориентировочного определения средней прочности бетона в изделиях значение прочности образца-куба следует принимать с коэффициентами, приведенными в таблице 7.6.

Таблица 7.6

Продолжительность тепловой обработки, ч	Коэффициент снижения средней прочности бетона изделий при тепловой обработке в камере при			
	пропаривании ( $t = 90\text{ °C} - 95\text{ °C}$ ) с использованием песка		сухом прогреве ( $t = 100\text{ °C} - 120\text{ °C}$ ) с использованием песка	
	плотного	пористого или золы	плотного	пористого или золы
6	0,65–0,75	0,4–0,5	0,5–0,6	0,1–0,2
10	0,85–0,90	0,8–0,9	0,7–0,8	0,3–0,4
14	0,90–0,95	0,85–0,95	0,8–0,9	0,8–0,9
18	0,95–1,00	0,95–1,00	0,90–0,95	0,90–0,95

*Примечание* — Данные таблицы относятся к бетону со средней плотностью 1000 кг/м<sup>3</sup> при толщине изделия 35 см.

7.59 При тепловой обработке изделий из конструкционно-теплоизоляционных легких бетонов, изготовленных на гидравлически активных мелких заполнителях, содержащих активные пылевидные фракции (золы ТЭС, дробленый керамзитовый песок), следует использовать режимы с максимально высокой температурой среды на стадии изотермического прогрева (95 °С–120 °С).

7.60 В случаях, когда по условиям организации технологического процесса, например, при производстве изделий в две смены, имеется возможность увеличить цикл тепловой обработки, следует применять энергосберегающие режимы с пониженной температурой разогрева, назначаемые с учетом кинетики роста прочности легкого бетона в зависимости от его класса, вида мелкого и прочности крупного заполнителей с использованием ориентировочных данных таблиц 7.5 и 7.6.

При назначении таких режимов тепловой обработки следует обеспечивать достижение требуемой распалубочной прочности бетона в изделиях, которая должна составлять не менее 2 МПа при наличии кантователей и 3 МПа — при их отсутствии, но не менее 35 % прочности бетона, соответствующей проектному классу.

7.61 В целях экономичного использования тепловой энергии при назначении режимов тепловой обработки следует учитывать последующее нарастание прочности бетона изделий в процессе их остывания в цехе в течение 12 ч в соответствии с данными, приведенными в таблице 7.7.

Таблица 7.7

Распалубочная прочность, % от проектной	35–40	40–50	50–60	60–70	70–80
Коэффициент увеличения прочности бетона изделий при остывании	2,0–2,3	1,6–2,0	1,4–1,6	1,2–1,4	1,1–1,2

**7.62** При установлении продолжительности и температуры тепловой обработки изделий из конструкционно-теплоизоляционных легких бетонов после тепловой обработки необходимо проверять достижение требуемой отпускной влажности бетона в изделиях  $W$ , %, по формуле

$$W = 0,1[B - 0,15Ц - i\tau_{\tau_0} (1/\Delta)], \quad (7.28)$$

- где  $B$  — начальное водосодержание или количество воды в свежееотформованной бетонной смеси с учетом влаги, содержащейся в заполнителе и растворе химической добавки, кг/м<sup>3</sup>;  
 $Ц$  — расход цемента, кг/м<sup>3</sup>;  
 $i$  — интенсивность испарения воды из изделия, кг/(м<sup>2</sup>·ч), определяемая по таблице 7.8;  
 $\tau_{\tau_0}$  — общая продолжительность тепловой обработки, ч;  
 $\Delta$  — толщина изделия, м.

Значения  $B$  и  $Ц$  устанавливаются по данным о фактическом составе бетона.

Рассчитанная величина  $W$  не должна превышать более чем на 2 % требуемую отпускную влажность легкого бетона.

**Таблица 7.8**

Начальное водосодержание $B$ , кг/м <sup>3</sup>	Интенсивность испарения воды $i$ , кг/(м <sup>2</sup> ·ч), при средней температуре паровоздушной среды ( $\varphi = 40$ %) в камере, °С							
	70	80	90	100	110	120	130	140
230–260	0,55	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,3	1,6
200–220	0,45	0,5	0,55	0,65	0,75	0,9	1,0	1,2
160–190	0,4	0,45	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0

**7.63** В случаях, когда рассчитанная или определенная экспериментально отпускная влажность легкого бетона выше требуемых значений, необходимо принять меры для ее уменьшения. Для этого следует, в первую очередь, использовать технологические приемы, снижающие начальное водосодержание бетонной смеси: уменьшение расхода воздухововлекающей добавки, применение одновременно с воздухововлекающей пластифицирующей добавки, исключение возможности применения горячего керамзита, повышение жесткости смеси и др. Следует также осуществить мероприятия с целью увеличения интенсивности процесса испарения влаги, в том числе принудительную вентиляцию в период остывания, повышение температуры тепловой обработки, а при отсутствии таких возможностей — рассмотреть целесообразность увеличения продолжительности тепловой обработки.

**7.64** Длительность предварительного выдерживания и скорость подъема температуры среды при тепловой обработке изделий из конструкционно-теплоизоляционного бетона принимаются в соответствии с данными таблиц 7.9 и 7.10. При применении предварительного разогрева смеси или подогрева изделий в формах длительность предварительного выдерживания составляет 0,5–1 ч, а скорость подъема температуры в формах — 30–45 °С/ч.

**Таблица 7.9**

Объем вовлеченного воздуха, %	Жесткость смеси, с	Длительность предварительного выдерживания, ч
0–5	11–20	0,5–1
5–10	5–10	1,5–2,5
10–15	5	2,5–3,5

**Таблица 7.10**

Способ тепловой обработки	Скорость подъема температуры среды, °С/ч, не более
Сухой прогрев в камерах	50
Прогрев в термоформах	40
Пропаривание в камерах	30

**7.65** Ориентировочную продолжительность изотермического прогрева рекомендуется принимать в соответствии с данными таблицы 7.11.

Таблица 7.11

Способ тепловой обработки	Продолжительность изотермического прогрева, ч
Сухой прогрев при температуре до 140 °С	6–8
Пропаривание в термоформах	5–7
Пропаривание в камерах острым паром при температуре 85 °С–95 °С	4–6
Пропаривание в закрытых формах (кассетах) при температуре 95 °С–100 °С	5–7
Тепловая обработка с подогревом в форкамерах при температуре 30 °С–40 °С	5–7
Тепловая обработка с применением предварительного разогрева смеси	4–6
<i>Примечание</i> — Большие значения принимаются при толщине изделий 300–400 мм, меньшие — при толщине 200–300 мм.	

**7.66** Скорость остывания поверхности изделий после изотермического прогрева должна быть не более 40 °С/ч. При выгрузке изделий из камеры температурный перепад между поверхностью изделия и температурой окружающей среды не должен превышать 40 °С.

**7.67** Способы и режимы тепловой обработки изделий из конструкционных легких бетонов классов выше В10 применяются, как для аналогичных изделий из тяжелых бетонов. При этом следует учитывать:

- возможность снижения относительной влажности паровоздушной среды в тепловом агрегате;
- влияние соотношения прочности применяемого пористого заполнителя и проектного класса бетона на темп роста его относительной прочности;
- увеличение продолжительности изотермического прогрева с увеличением толщины изделия.

**7.68** В случаях, когда марка по прочности пористого заполнителя равна или выше марки бетона, режимы тепловой обработки конструкционных легких бетонов не отличаются от режимов тепловой обработки равнопрочных тяжелых бетонов. При меньшей прочности заполнителя температура разогрева при термосном выдерживании может быть снижена на 5 °С–10 °С (тем больше, чем выше класс бетона и ниже марка по прочности заполнителя), а длительность изотермического периода при температуре 80 °С сокращена до значений, приведенных в таблице 7.12.

Таблица 7.12

Группа цемента по эффективности пропаривания	Класс бетона	Продолжительность изотермического прогрева при температуре 80 °С, ч для получения заданной относительной прочности конструкционного легкого бетона через 0,5 ч после извлечения изделия из камеры, % от проектной			
		50	60	70	80
1	В12,5	2–4	4–6	8–10	17–20
	В15	2–4	3–5	4–7	8–12
	В25	1–3	2–4	3–6	7–11
2	В12,5	4–6	5–7	9–11	—
	В15	3–5	4–6	5–8	13–16
	В25	2–4	3–5	5–7	9–12
3	В12,5	6–8	10–12	17–20	—
	В15	5–7	6–8	8–11	17–20
	В25	4–6	5–7	7–10	14–17
<i>Примечание</i> — Меньшие значения относятся к тепловой обработке изделий толщиной до 200 мм, приготовленных на пористых заполнителях минимальной прочности, большие — изделий толщиной более 300 мм, приготовленных на пористых заполнителях с повышенной прочностью.					

**7.69** Продолжительность охлаждения изделий в камере устанавливается в зависимости от толщины изделия и температуры окружающей среды в момент распалубки в соответствии с данными таблицы 7.13.

Таблица 7.13

Толщина изделия, мм	Продолжительность охлаждения в камере, ч при температуре среды, °С		
	от 30 до 20	от 20 до 10	от 10 до минус 10
До 200 включ.	0,5–1,0	1,0–1,5	1,5–2,5
Св. 200 “ 300 “	1,0–1,5	1,5–2,0	2,0–3,0
“ 300	1,5–2,0	2,0–2,5	2,5–3,5

## 8 Расчет рациональных режимов тепловой обработки изделий в газозвушной среде

### Особенности конструкций и проектирования тепловых установок

**8.1** Установки для тепловой обработки бетонных и железобетонных изделий в среде продуктов сгорания природного газа (ПСПГ) включают следующие элементы: камеру тепловой обработки; теплогенераторы; системы газоснабжения, вентиляции, обеспечения безопасной работы теплогенераторов.

**8.2** Для тепловой обработки изделий на предприятиях по производству сборного железобетона могут быть созданы новые или реконструированы действующие пропарочные камеры как в цехах, так и на полигонах.

Проектирование, монтаж и эксплуатация технологического оборудования тепловой обработки бетона в среде ПСПГ должны осуществляться в соответствии с Постановлением Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь от 11 февраля 2003 г. № 7 «Об утверждении Правил технической безопасности в области газоснабжения Республики Беларусь» (№ 47 (24.04.2003), рег. № 8/9386 (11.04.2003) в Национальном реестре правовых актов Республики Беларусь) и СНиП 3.05.02.

**8.3** Проектирование новых или реконструкцию действующих установок следует осуществлять на основе современных технических решений, обеспечивающих эффективную теплоизоляцию стен, днища и крышки камеры, а также надежную герметизацию гидрозатворов.

**8.4** Каждая камера тепловой обработки оборудуется одним или несколькими теплогенераторами типа ТОК-1 или ТОК-1А (приложение Д). Использование одного теплогенератора для обслуживания нескольких камер не рекомендуется.

**8.5** Количество теплогенераторов  $n$ , шт., необходимых для обслуживания одной камеры, определяется по формуле

$$n = \frac{P_{\text{треб}}}{P_{\text{ном}}}, \quad (8.1)$$

где  $P_{\text{треб}}$  — требуемая тепловая мощность, МДж/ч;

$P_{\text{ном}}$  — номинальная тепловая мощность теплогенератора, МДж/ч.

Требуемая тепловая мощность определяется из условия обеспечения заданных параметров режима тепловой обработки и может быть найдена из зависимости

$$P_{\text{треб}} = \frac{qV_6}{\tau_{\text{тоа}}}, \quad (8.2)$$

где  $q$  — расчетный удельный расход тепловой энергии на процесс тепловой обработки, МДж/м<sup>3</sup>;

$V_6$  — объем бетона в камере, м<sup>3</sup>;

$\tau_{\text{тоа}}$  — продолжительность активного периода тепловой обработки, ч.

Расчетный удельный расход тепловой энергии на процесс тепловой обработки определяется из теплового баланса для каждой конкретной камеры по действующим нормам для наиболее холодного времени года.

Объем бетона в камере, в случае колебания коэффициента заполнения полезного объема камеры, принимается по максимальному расчетному значению.

Продолжительность активного периода тепловой обработки (время работы теплогенератора) определяется как суммарная продолжительность периодов нагрева и изотермического выдерживания.

Расчетное значение требуемого количества теплогенераторов округляется до большего целого числа.

Номинальная тепловая мощность и другие технические характеристики теплогенераторов ТОК-1 и ТОК-1А приведены в приложении Д.

**8.6** Ямные камеры, длина которых превышает 12 м, независимо от результатов расчета, снабжаются не менее чем двумя теплогенераторами.

**8.7** Теплогенераторы целесообразно располагать вдоль стены камеры вплотную к ней.

**8.8** Не допускается размещение деталей теплогенератора, системы рециркуляции, элементов газопроводов и системы автоматики выше верхнего уровня камеры при снятой крышке.

**8.9** При открытом расположении теплогенераторов на полигонах необходимо предусмотреть защитный козырек для укрытия их от атмосферных воздействий.

**8.10** Для обеспечения нормальной циркуляции теплоносителя необходимо предусмотреть следующие зазоры между формами с изделиями и ограждающими конструкциями камеры: у пола и стен камеры — 100–150 мм, у крышки — 150–250 мм, между днищем верхней формы и поверхностью нижележащего изделия — не менее 50 мм.

#### **Особенности назначения режимов тепловой обработки**

**8.11** Изделия после формования необходимо выдержать в ямной камере до начала тепловой обработки не менее 3 ч при температуре окружающего воздуха не ниже 10 °С. При температуре бетонной смеси 20 °С время предварительного выдерживания — 2 ч, при температуре 40 °С — 1 ч.

**8.12** Изделия следует устанавливать в камеру тепловой обработки в виде пакета с зазором между расположенными одна над другой формами 10 см, у пола — 15 см, у крышки — 5–25 см, у боковых стен — 10–15 см, у торцевой стены со стороны подачи нагретых газов из теплогенератора — 40–60 см, у противоположной торцевой стены — 10–15 см.

**8.13** Коэффициент загрузки камеры должен быть не менее 0,1.

**8.14** Температуру теплоносителя в камере следует повышать с уменьшающейся во времени скоростью: 60–100 °С/ч — в первые 0,5 ч, 30–40 °С/ч — в следующие 0,5 ч и 10–20 °С/ч — в последующие 2 ч.

Скорость подъема температуры среды в камере, как и при пропаривании, может быть постоянной, постоянно возрастающей, ступенчатой. Чем ниже относительная влажность среды, тем выше может быть скорость подъема температуры, и при постоянном ее значении может быть увеличена для тяжелых и легких конструкционных бетонов до 30–40 °С/ч, для конструкционно-теплоизоляционных бетонов — до 40–50 °С/ч, для мелкозернистых бетонов — до 20–30 °С/ч. При большей скорости подъема температуры среды для мелкозернистых бетонов после прогрева изделий до 30 °С–40 °С выдерживание следует предусмотреть в течение 1–1,5 ч.

Время подъема температуры среды в камере до 80 °С–90 °С должно быть не менее 1,5 ч при толщине изделий до 300 мм и не менее 2,5 ч — при толщине изделий более 300 мм.

**8.15** Температура теплоносителя на выходе из теплогенератора должна быть не более 160 °С.

**8.16** Ямные камеры тепловой обработки должны работать под разрежением 5–15 Па.

Разрежение в камере регулируют шибером, установленным на вентиляционном вытяжном патрубке камеры.

**8.17** Режимы тепловой обработки должны быть отработаны на каждом предприятии из расчета достижения заданной распалубочной прочности бетона.

#### **Требования по защите бетона от преждевременного обезвоживания**

**8.18** При тепловой обработке изделий из тяжелого бетона в продуктах сгорания природного газа без увлажнения среды камеры необходимо предусмотреть защиту бетона от испарения влаги.

**8.19** Относительная влажность циркулирующих продуктов сгорания природного газа, определяемая на входе в теплогенератор, должна быть не менее 40 %. При этом их температура должна быть в пределах от 80 °С до 90 °С. Для изделий, изготовленных из тяжелых жестких и малоподвижных смесей, рекомендуется производить дополнительное увлажнение циркулирующих газов путем распыления воды за теплогенератором.

**8.20** Для защиты бетона изделий от испарения влаги могут быть использованы различные пленкообразующие, влагонепроницаемые и гидрофобизирующие составы, смазки и т. п.

**8.21** В качестве гидрофобизирующих и влагозащитных покрытий могут быть использованы эмульсол, машинное масло или составы, применяемые на заводах сборного железобетона для смазки форм.

**8.22** Смазку необходимо проверить на испарение в лабораторных условиях. Для этого смазку наливают в металлическую или стеклянную емкость слоем 3–5 мм, взвешивают с точностью до 0,1 г до и после прогрева в сушильном шкафу при температуре 100 °С. Время прогрева должно соответствовать продолжительности принятого режима тепловой обработки. Если вес смазки не изменился, то она пригодна для защиты бетона изделий от испарения влаги.

**8.23** Смазка наносится на поверхность отформованных изделий с помощью установки СМЖ-18А или пульверизатора путем мелкого набрызга.

**8.24** Пленкообразующие составы наносятся на поверхность бетона не ранее чем через 2–3 ч после окончания формования. В этой связи применение пленкообразующих покрытий может быть рекомендовано для стендовой и частично — для конвейерной технологии производства. В последнем случае требуются дополнительные площади для выдерживания изделий перед нанесением покрытий.

**8.25** Снижение испарения влаги из бетона достигается введением добавок-электролитов, ускоряющих процесс гидратации цемента на ранней стадии твердения. Наиболее эффективными ускорителями твердения являются хлористый кальций (ХК) и нитрит-нитрат-хлорид кальция (ННХК), полиметаллический водный концентрат (ПВК), сульфат натрия (СН).

### **Общие правила безопасной эксплуатации установок**

**8.26** Изготовление, монтаж и отладка теплогенераторов осуществляются в соответствии с Постановлением Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь от 11 февраля 2003 г. № 7 «Об утверждении Правил технической безопасности в области газоснабжения Республики Беларусь», а также «Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей» и «Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей» (разделы БII и БIII).

**8.27** Эксплуатация нагревателя и панели приборов допускается при температуре окружающего воздуха от минус 15 °С до 40 °С, щита контроля и управления — от 5 °С до 40 °С.

**8.28** Теплогенератор устанавливается на бетонном фундаменте. Для камер периодического действия высота теплогенератора не должна превышать высоту камеры при снятой крышке.

**8.29** Газопроводы теплогенератора по окончании монтажных работ должны быть продуты сжатым воздухом при снятой горелке, а монтажные стыки — проверены на герметичность.

**8.30** Первичный пуск теплогенератора осуществляется специализированной организацией или потребителем по инструкции, утвержденной главным инженером предприятия, лицом, прошедшим специальное обучение и сдавшим экзамен.

**8.31** Монтаж установки прогрева должен осуществляться в полном соответствии с проектом.

**8.32** Щит контроля и управления, приборную панель располагают в освещенных местах, удобных для обслуживания, но не далее 6 м от теплогенератора. Расстояние от них до ближайшего оборудования со стороны обслуживания должно быть не менее 1 м.

**8.33** Щит контроля и управления, приборная панель, вентилятор и сам теплогенератор должны быть заземлены алюминиевым проводом сечением не менее 4 мм<sup>2</sup> или стальным прутком диаметром не менее 6 мм.

**8.34** Металлические элементы щита и внутрищитовые конструкции, предназначенные для крепления приборов, должны иметь надежный металлический контакт (без краски и масел) между собой, а также с корпусом щита, обеспечивающий надежную и постоянную электрическую цепь между всеми элементами конструкции.

**8.35** Приборы, имеющие специальные выводы «Земля», должны заземляться медными проводами сечением не менее 1,5 мм<sup>2</sup>.

**8.36** К работе с теплогенераторами допускаются лица не моложе 18 лет, обученные работе с ними, прошедшие медицинское освидетельствование и сдавшие экзамены на право обслуживания газового оборудования и электрооборудования.

**8.37** Работа теплогенераторов осуществляется под надзором оператора. Допускается обслуживание одним оператором не более 10 теплогенераторов ТОК-1 или 20 теплогенераторов ТОК-1А.

**8.38** Обслуживающему персоналу запрещается оставлять без присмотра работающие теплогенераторы, а также эксплуатировать их при наличии неисправностей.

**8.39** Перед розжигом горелки теплогенератора следует убедиться, что системы автоматики безопасности, вентиляции и рециркуляции исправны, горелочный тоннель не имеет околлов, трещин или оплавлений.

**8.40** Съем крышки камеры тепловой обработки осуществляется только с разрешения оператора после надлежащей вентиляции камеры.

**8.41** На рабочем месте оператора должна быть вывешена схема газоснабжения и производственная инструкция по эксплуатации, утвержденная руководителем предприятия.

**8.42** Участок, где расположены теплогенераторы, должен быть огражден; доступ к нему посторонних лиц категорически запрещен.

**8.43** Необходимо ежемесячно проверять исправность системы аварийного контроля и сигнализации.

**8.44** Уровень шума от теплогенератора при работе не должен превышать санитарных норм для производственных помещений — 85 дБ.

**8.45** Газопроводы к теплогенераторам следует размещать таким образом, чтобы исключить их повреждение транспортируемыми грузами: в проемах колонн, бороздах стен и т. д.

**8.46** Магистральный газопровод природного газа и газопроводы щита-распределителя должны быть окрашены в желтый цвет.

**8.47** Теплогенераторы могут устанавливаться в производственных помещениях, отнесенных по пожарной опасности к категории Г или Д, а также вне помещений.

**8.48** Запрещается перемещение грузов кранами непосредственно над теплогенераторами.

**8.49** Запрещается нахождение людей и размещение грузов на крышках камер с работающими теплогенераторами.

**8.50** Запрещается розжиг теплогенератора при нахождении крана над установкой прогрева.

**8.51** Подача газа в горелку теплогенератора должна быть немедленно прекращена при:

- неисправности системы автоматики безопасности;
- отсутствии разрежения;
- неисправностях в системах вентиляции, рециркуляции; отсутствии герметичности газопроводов; неисправностях шибберов, невозможности их фиксации и обнаружении утечек газа;
- наличии окол, трещин или оплавлений горелочного тоннеля;
- выбивании пламени в смотровой лючок, увеличении шума;
- появлении вибраций при работе теплогенератора.

**8.52** Повторный розжиг разрешается только после выявления и устранения неисправностей.

## **9 Особенности тепловой обработки изделий в термоформах и кассетных установках**

**9.1** При тепловой обработке железобетонных изделий в термоформах и кассетных установках прогрев бетона осуществляется кондуктивным способом путем подачи теплоносителя (пара, горячей воды, разогретого масла и др.) в тепловые отсеки (в бортах и поддоне форм, в стендах, в кассетных установках) или размещения в этих отсеках электронагревателей.

**9.2** Конструктивное исполнение тепловых отсеков при использовании любых теплоносителей и электронагревателей должно обеспечивать однородность температурного поля на поверхности теплового отсека, непосредственно контактирующего с бетоном изделий, в процессе всей тепловой обработки. Допустимый перепад температур не должен превышать 10 °С. С этой целью рекомендуется применять эжекторную систему пароснабжения с давлением пара 0,3–0,4 МПа.

**9.3** При тепловой обработке в термоформах и на обогреваемых стендах изделий, имеющих большие открытые (неопалубленные) поверхности, через которые происходит контакт с окружающей средой, в процессе нагрева и последующего выдерживания происходит испарение влаги из бетона, что может привести к снижению его физико-механических свойств и образованию трещин на поверхности изделий. Для предотвращения интенсивных влагопотерь из бетона и снижения теплопотерь в окружающую среду тепловая обработка изделий в термоформах и на обогреваемых стендах должна осуществляться с обязательным укрытием неопалубленных поверхностей паронепроницаемыми и теплозащитными материалами. В качестве таких укрытий могут быть использованы пленочные покрытия и пленкообразующие составы со слоем плитной теплоизоляции, многослойные пленочные покрытия с воздушными прослойками, инвентарные термовлагоизоляционные покрывала.

В холодный период года каждая термоформа должна быть укрыта теплоизолированной крышкой.

Благоприятные температурно-влажностные условия твердения бетона при прогреве в термоформах (особенно в условиях сухого и жаркого климата) могут быть получены путем создания «покрывающих водных бассейнов» толщиной 3–5 см.

**9.4** Для ускорения прогрева изделий целесообразно укладывать бетонную смесь в предварительно подогретые формы а также применять предварительно разогретые до 50 °С бетонные смеси.



**9.5** С целью снижения удельных энергозатрат при использовании отдельных термоформ целесообразно осуществлять тепловую обработку в пакете. При установке термоформ в пакет уменьшаются температурные перепады по сечению изделий, так как нагрев их происходит с двух сторон. Верхняя термоформа в пакете закрывается теплоизолированной крышкой. Борты форм должны быть заполнены теплоизоляционным материалом.

**9.6** При изготовлении объемных элементов (шахт лифтов, коллекторов и т. п.) в термоформах обработка производится с помощью подвижных и неподвижных тепловых отсеков. С целью снижения продолжительности тепловой обработки объемных изделий рекомендуется применение двухстороннего прогрева путем подачи пара при помощи эжектора как в тепловые отсеки, так и во внутреннюю полость сердечника формы.

**9.7** При изготовлении в термоформах длинномерных предварительно напряженных железобетонных изделий пар подается в тепловые отсеки, расположенные в поддоне, неподвижных и подвижных бортах формы. Вследствие большой длины изделий рекомендуется распределять пар в отсеках с помощью перфорированного трубопровода, уложенного в нижней части отсеков.

**9.8** При тепловой обработке изделий в термоформах и кассетных установках с использованием в качестве теплоносителя пара необходимо удалять из тепловых отсеков конденсат, накопление которого приводит к нарушению заданного режима тепловой обработки.

**9.9** Тепловая обработка изделий в термоформах, на обогреваемых стендах и в кассетных установках может осуществляться по режимам, включающим в себя термосную или изотермическую стадию выдерживания. Применение термосных режимов обеспечивает значительное сокращение (в 1,5–2 раза) расхода тепловой энергии.

**9.10** Ориентировочные изотермические режимы рекомендуется применять при тепловой обработке изделий в одиночных термоформах по данным таблицы 7.2. При двух и более оборотах в сутки набранных в пакет форм или кассетных машин ориентировочные режимы тепловой обработки могут приниматься по данным таблицы 9.1 (при расположении паровых отсеков через два рабочих отсека).

Таблица 9.1

Класс бетона	Толщина изделий, мм	Режим тепловой обработки при 80 °С–90 °С, ч
C <sup>10</sup> / <sub>12,5</sub>	До 100	1 + 4 + 4
	100–200	1 + 5 + 5
C <sup>12</sup> / <sub>15</sub>	До 100	1 + 3,5 + 3,5
	100–200	1 + 4 + 4,5
C <sup>20</sup> / <sub>25</sub>	До 100	1 + 3 + 3
	100–200	1 + 3,5 + 4
<p><i>Примечания</i></p> <p>1 Режим тепловой обработки включает время подъема температуры в тепловом отсеке, время изотермического выдерживания с подачей пара в отсеки, время выдерживания без подачи пара в отсеки.</p> <p>2 При прогреве изделий с двух сторон через один рабочий отсек общий цикл тепловой обработки уменьшается на 1 ч за счет изотермического выдерживания.</p>		

**9.11** При изготовлении изделий в кассетных формах, учитывая, что бетон находится в практически замкнутом жестком объеме и неопалубленная поверхность незначительна, допускается осуществлять подъем температуры в бетоне без предварительного выдерживания со скоростью до 60 °С/ч, но при этом максимальная температура на контакте бетона с поверхностью теплового отсека не должна быть выше 100 °С.

**9.12** С целью увеличения оборачиваемости термоформ и кассетных машин рекомендуется производить двухстадийную тепловую обработку изделий: первая стадия — до приобретения бетоном распалубочной прочности, составляющей, как правило, до 50 % проектной прочности, и вторая — при последующем твердении в соответствующих температурно-влажностных условиях (в камерах дозревания без подачи пара, в цехе или на складе при положительных температурах) до достижения отпускной прочности.

Ориентировочные режимы двухстадийной тепловой обработки изделий, изготавливаемых по стендовой и кассетной технологиям, принимаются по таблице 9.2.

**9.13** При использовании термосного выдерживания разогретых изделий в пакете термоформ или в кассетных установках требуемая температура разогрева бетона, в зависимости от группы цемента, класса бетона по прочности на сжатие, заданной распалубочной прочности и оборачиваемости кассет может ориентировочно приниматься по данным таблицы 9.3 (для типовых кассетных машин Гипростром-маша с утепленными паровыми отсеками).

**Таблица 9.2**

Вид технологии	Класс бетона	Толщина изделий, мм	Режимы выдерживания, ч	
			Первая стадия (при $t = 75\text{ }^{\circ}\text{C} - 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ )	Вторая стадия (при $t = 60\text{ }^{\circ}\text{C} - 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ )
Стендовая (термоформы)	До $C^{12}/_{15}$ включ.	200–400	3,5 + 5 + 0,5	5
	Выше $C^{12}/_{15}$	200–400	3 + 4 + 0,5	4
Кассетная	$C^{12}/_{15}$	До 100	1 + 3,5 + 1,5 (при $t = 80\text{ }^{\circ}\text{C} - 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ )	5
	$C^{20}/_{25}$	До 100	1 + 2,5 + 1,5	4
	$C^{12}/_{15}$	100–200	1 + 4 + 1,5	5
	$C^{20}/_{25}$	100–200	1 + 3 + 1,5	4

*Примечания*  
 1 Вторая стадия тепловой обработки может производиться в агрегатах любого типа.  
 2 Перерыв между первой и второй стадиями тепловой обработки должен быть не более 1 ч.

**Таблица 9.3**

Число оборотов в сутки	Группа цемента по эффективности пропаривания	Класс бетона	Температура разогрева бетона, $^{\circ}\text{C}$ , в зависимости от заданной усредненной относительной прочности бетона, % от $f_{c, cube 28 \text{ н в}}$		
			50	60	70
1	1	От $C^8/_{10}$ до $C^{12}/_{15}$ включ.	50	60	75
		Выше $C^{12}/_{15}$	45	55	65
	2	От $C^8/_{10}$ до $C^{12}/_{15}$ включ.	55	70	85
		Выше $C^{12}/_{15}$	50	60	75
2	1	От $C^8/_{10}$ до $C^{12}/_{15}$ включ.	65	80	95
		Выше $C^{12}/_{15}$	55	65	85
	2	От $C^8/_{10}$ до $C^{12}/_{15}$ включ.	70	85	100
		Выше $C^{12}/_{15}$	60	75	90

**9.14** Расчет режимов тепловой обработки изделий в стендовых и кассетных установках производится по зависимостям, приведенным в разделе 7, с учетом указаний настоящего раздела.

## 10 Расчет рациональных режимов беспрогревного выдерживания изделий

**10.1** Режимы беспрогревного выдерживания изделий для достижения распалубочной, передаточной и отпускной прочности бетона рекомендуется применять, как правило, в летний период года при температуре бетонной смеси и окружающей среды в формовочном цехе не ниже  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . При этом должны быть выполнены технико-экономические обоснования эффективности применения режимов беспрогревного выдерживания изделий с учетом возможных дополнительных затрат на увеличение расхода цемента, применение химических добавок, дополнительное выдерживание распалубленных изделий в формовочном цехе и на складах готовой продукции. Следует также учитывать условия применения режимов беспрогревного выдерживания изделий, указанные в П2 к СНиП 3.09.01.

**10.2** При подборе состава бетона для режимов беспрогревного выдерживания изделий рекомендуется учитывать влияние на интенсивность набора прочности бетоном в условиях низких температур окружающей среды таких существенных факторов, как активность цемента в возрасте 1, 2 и 28 сут; удельное содержание цемента в бетоне; водоцементное отношение без учета воды, поглощенной заполнителем; вид и свойства химических добавок, оказывающих влияние на водопотребность бетона; степень гидратации цемента и выделение экзотермического тепла; сроки и условия твердения бетона до достижения заданных показателей качества, включая удельную металлоемкость технологической оснастки, степень термоизоляции камер выдерживания изделий, коэффициент их заполнения.

**10.3** Исходными данными для расчета рациональных режимов беспрогревного выдерживания изделий являются:

- состав бетона, подобранный в соответствии с СТБ 1182 с учетом требований 10.2;
- минералогический и вещественный состав цемента, его активность в возрасте 1, 2 и 28 сут;
- удельная металлоемкость технологической оснастки;
- среднее содержание арматуры в изделиях;
- коэффициент заполнения камер выдерживания изделий;
- начальная температура бетонной смеси;
- распалубочная, передаточная и отпускная прочность бетона в процентах от требуемой;
- температурные условия выдерживания изделий после распалубки.

**10.4** Расчет рациональных режимов беспрогревного выдерживания изделий в камерах тепловой обработки или в технологической оснастке до достижения распалубочной или передаточной прочности бетона, а также последующего выдерживания в формовочном цехе или на складе готовой продукции до достижения отпускной прочности бетона производится с использованием зависимостей, представленных в разделе 7. Допускается также производить расчеты по другим методикам, проверенным в условиях производства. Для этой цели производится расчет средней температуры выдерживания в камерах тепловой обработки или в технологической оснастке в следующей последовательности.

**10.4.1** Подбирается состав бетона по СТБ 1182 с учетом рекомендаций 10.2.

**10.4.2** Определяются характеристики активности применяемого цемента  $F_{ц1}$  и  $F_{ц2}$ , его минералогический и вещественный состав, а также удельная поверхность по данным завода-изготовителя.

**10.4.3** Рассчитывается водоцементное отношение  $W_6$  без учета воды, поглощенной заполнителем, по формулам (7.1) и (7.2).

**10.4.4** Рассчитывается ориентировочная средняя температура беспрогревного выдерживания изделий в камерах тепловой обработки или в технологической оснастке  $t'_{cp}$ , °C, по формуле

$$t'_{cp} = t_{б см} + \Delta t_{M1} + 2 \cdot 10^{-2} \cdot (Ц_{cp} - 300) - 0,85(M_{cp} - 1), \quad (10.1)$$

где  $t_{б см}$  — начальная температура бетонной смеси, °C;

$M_{cp}$  — средний модуль поверхности, равный отношению суммы площадей охлаждаемых поверхностей к объему изделий в плотном теле, м<sup>-1</sup>;

$Ц_{cp}$  — среднее содержание цемента в бетоне, кг/м<sup>3</sup>;

$\Delta t_{M1}$  — приращение температуры изделий с модулем поверхности  $M_{cp}$ , равным 1, и принятое по данным таблицы 10.1.

**Таблица 10.1**

Наличие в бетоне химических добавок	Значение $\Delta t_{M1}$ , °C
Бетон, не содержащий химических добавок, или с химическими добавками-пластификаторами	10
СН; ГО	12
ПВК; ХК; ПВК + (С-3)	15

**10.4.5** Рассчитываются значения температурных функций  $K_t$  по формулам:

$$K_t = 2^{(t_{cp} - 20)/\Delta E} \quad \text{— при } t'_{cp} \text{ от } 0 \text{ °C до } 20 \text{ °C включ.}, \quad (10.2)$$

где  $\Delta E$  — характерная разность температур, °C, принимаемая для пуццоланового портландцемента равной 4,3 °C, а для портландцемента с минеральными добавками шлака и трепела вычисляемая по формуле

$$\Delta E = 11,7 - 16,5r_d. \quad (10.3)$$

здесь  $r_d$  — относительное массовое содержание минеральной добавки;

$$K_t = \frac{1 + 0,5 \cdot \left[ 1 - \exp(-0,16(t'_{cp} - 20)) \right]}{\eta_t^2 + \frac{K(1 - \eta_t^3)}{t'_{cp}}} \quad \text{— при } t'_{cp} \text{ св. } 20 \text{ }^\circ\text{C до } 100 \text{ }^\circ\text{C}, \quad (10.4)$$

где  $\eta_t$  — вязкость воды при температуре  $t'_{cp}$ , принимаемая по приложению Е, МПа·с;

$K$  — коэффициент, учитывающий влияние вида и содержания добавок в портландцементе на скорость гидратации и принимаемый:

для портландцемента —  $K = 4$ ;

для портландцемента

с пуццолановой добавкой:

в количестве 4 %–5 % —  $K = 3$ ;

в количестве 10 %–14 % —  $K = 0$ ;

для пуццоланового портландцемента —  $K = -3$ ;

для шлакопортландцемента —  $K = -2$ .

Для портландцемента с другим содержанием минеральных добавок трепела и шлака коэффициент  $K$  следует вычислять по формуле

$$K = 4 - 15r_d. \quad (10.5)$$

**10.4.6** По рабочим чертежам на изделия рассчитывается среднее содержание арматуры  $G_{s \text{ ср}}$ , кг/м<sup>3</sup>, в изделиях, размещаемых в одной камере или в технологической оснастке.

**10.4.7** По техническим характеристикам форм и технологической оснастки рассчитывается средняя масса теплоизоляции  $G_{из \text{ ср}}$  и конструкций форм  $G_{ф \text{ ср}}$ , приведенная к 1 м<sup>3</sup> бетона.

**10.4.8** Рассчитывается средняя теплоемкость бетонной смеси  $c_{б \text{ см ср}}$ , кДж/(кг·°C), изделий, размещаемых в одной камере или в технологической оснастке, по формуле

$$c_{б \text{ см ср}} = \frac{0,837 \cdot (Ц_{ср} + П_{ср} + Д_{н \text{ ср}} + Щ_{ср}) + 4,2V_{ср}}{\rho_{б \text{ см ср}}}, \quad (10.6)$$

где  $Ц_{ср}$ ,  $П_{ср}$ ,  $Д_{н \text{ ср}}$ ,  $Щ_{ср}$ ,  $V_{ср}$  — среднее содержание, соответственно, цемента, песка, тонкодисперсного наполнителя, щебня или гравия и воды, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_{б \text{ см ср}}$  — средняя плотность бетонной смеси, кг/м<sup>3</sup>.

**10.4.9** Рассчитывается средняя начальная температура бетонной смеси, арматуры, форм и технологической оснастки по формуле

$$t_{б \text{ н ср}} = \frac{c_{б \text{ см ср}} \rho_{б \text{ см ср}} t_{б \text{ см}} + (c_s G_{s \text{ ср}} + c_{из \text{ ср}} G_{из \text{ ср}} + c_{ф \text{ ср}} G_{ф \text{ ср}}) \cdot t_{ф \text{ ц}}}{c_{б \text{ см ср}} \rho_{б \text{ см ср}} + c_s G_{s \text{ ср}} + c_{из \text{ ср}} G_{из \text{ ср}} + c_{ф \text{ ср}} G_{ф \text{ ср}}}, \quad (10.7)$$

где  $c_s$  — удельная теплоемкость арматурной стали, равная 0,48 кДж/(кг·°C);

$c_{из \text{ ср}}$  — средняя удельная теплоемкость изоляционного материала форм и технологической оснастки (для минеральной ваты  $c_{из \text{ ср}} = 0,754$  кДж/(кг·°C));

$c_{ф \text{ ср}}$  — удельная теплоемкость материала форм и технологической оснастки (для металлических форм и оснастки принимается равной 0,48 кДж/(кг·°C), для деревянных — 2,52 кДж/(кг·°C));

$t_{ф \text{ ц}}$  — температура воздуха в формовочном цехе, °C.

**10.4.10** Рассчитывается значение удельного экзотермического тепловыделения портландцемента при твердении бетона в нормальных температурно-влажностных условиях в течение 1 сут. В качестве приближенного значения допускается рассчитывать тепловыделение  $q_{н 1}$ , кДж/кг, для портландцемента ПЦ 400-Д20 по формуле

$$q_{н 1} = 97K_{f \text{ М 1}}. \quad (10.8)$$

**10.4.11** Расчет удельного экзотермического тепловыделения цемента в течение 1 сут  $q_{н1}$ , кДж/кг, с учетом минералогического и вещественного состава, удельной поверхности, водоцементного отношения  $W_6$  производится по формуле

$$q_{н1} = \frac{q_1 K_1 C_3 A + q_2 K_2 C_4 AF + q_3 K_3 C_3 S + q_4 K_4 C_2 S}{C_3 A + C_4 AF + C_3 S + C_2 S} \cdot (1 - r_d) \cdot \varphi_{SO_3} \varphi_S \varphi_{W_6} K_{fM1}, \quad (10.9)$$

где  $r_d$  — относительное содержание минеральных добавок в цементе;  
 $q_1, q_2, q_3, q_4$  — удельное тепловыделение минералов клинкера при нормальных температурно-влажностных условиях твердения, равное, кДж/кг:  
 для  $C_3A$  —  $q_1 = 832$ ;  
 “  $C_4AF$  —  $q_2 = 420$ ;  
 “  $C_3S$  —  $q_3 = 504$ ;  
 “  $C_2S$  —  $q_4 = 250$ ;  
 $K_1, K_2, K_3, K_4$  — коэффициенты, характеризующие степень гидратации минералов клинкера —  $C_3A, C_4AF, C_3S$  и  $C_2S$  — за 1 сут твердения бетона в нормальных температурно-влажностных условиях и, соответственно, вычисляемые по формулам:

$$K_1 = 0,52 \cdot \left( 1 - 0,1 \cdot \frac{C_3 S - 8}{52} \right); \quad (10.10)$$

$$K_2 = 0,2 \cdot \left( 1,1 + 7,5 \cdot 10^{-3} \cdot (68 - C_3 S) \right); \quad (10.11)$$

$$K_3 = 0,16 + 0,29 \cdot \frac{C_3 A}{C_4 AF}; \quad (10.12)$$

$$K_4 = 0,1 \cdot \left[ 0,42 \cdot \left( 1 - \frac{C_3 A - 1}{40} \right) + \frac{C_3 A - 1}{40} \right]; \quad (10.13)$$

$\varphi_{SO_3}, \varphi_S, \varphi_{W_6}$  — функции, отражающие влияние на кинетику гидратации цемента, соответственно, содержания гипса, удельной поверхности цемента, водоцементного отношения и определяемые по следующим формулам:

$$\varphi_{SO_3} = 0,803 + 0,132 \cdot \frac{C_3 A - 2}{12} + \left[ 0,043 \cdot \frac{C_3 A - 2}{12} + 0,132 \cdot \left( 1 - \frac{C_3 A - 2}{12} \right) \right] \cdot SO_3; \quad (10.14)$$

$$\varphi_S = 1 + 0,815 \cdot \left[ 1 - \exp\left(-4,2 \cdot 10^{-3} \cdot (S_{уд} - 320)\right) \right]; \quad (10.15)$$

здесь  $S_{уд}$  — удельная поверхность цемента, м<sup>2</sup>/кг, принимаемая по данным завода-изготовителя или определяемая по ГОСТ 310.2. Допускается также рассчитывать удельную поверхность цемента по формуле

$$S_{уд} = \frac{0,126 \cdot 10^6}{\rho_c \left( 0,384 - \frac{K_{нr} - K_{ди} r_{ди}}{1 - r_{ди}} \right)}, \quad (10.16)$$

$r_{ди}$  — относительное массовое содержание  $i$ -ой минеральной добавки в цементе;  
 $K_{ди}$  — коэффициент для конкретных видов минеральных добавок, принимаемый равным для шлака, трепела, опоки, пемзы, соответственно, 0,37; 0,31; 0,49; 0,6;

$$\varphi_{W_6} = 1 + 1,5 \cdot 10^{-2} \cdot \left[ 1 - \exp\left(10 \cdot (0,5 - W_6)\right) \right]; \quad (10.17)$$

$K_{fM1}$  — функциональный коэффициент прочности модифицированного бетона в возрасте 1 сут при нормальных условиях твердения, определяемый в соответствии с приложением В.

**10.4.12** Удельное тепловыделение портландцемента при твердении бетона в течение 1 сут в температурных условиях, отличных от нормальных,  $q_{t1}$ , кДж/кг, рассчитывается по формуле

$$q_{t1} = 580 \cdot \left[ 1 - \exp\left(K_t \ln\left(1 - \frac{q_{н1}}{580}\right)\right) \right]. \quad (10.18)$$

10.4.13 Рассчитывается приращение температуры бетона в изделиях за 1 сут  $\Delta t$ , °С, по формуле

$$\Delta t = \frac{K_n q_t \Pi_{\text{ср}}}{c_{\text{б см ср}} \rho_{\text{б см ср}} + c_s G_{s \text{ ср}} + c_{\text{из ср}} G_{\text{из ср}} + c_{\text{ф ср}} G_{\text{ф ср}}}, \quad (10.19)$$

где  $K_n$  — коэффициент, учитывающий теплопотери в окружающую среду:

- $K_n = 1$  — при выдерживании форм, теплоизолируемых слоем минеральной ваты толщиной 4–6 см, в закрытых камерах периодического действия;  
 $K_n = 0,95$  — в камерах непрерывного действия в теплоизолированных формах и в камерах периодического действия в нетеплоизолированных формах;  
 $K_n = 0,9$  — в нетеплоизолированных формах, выдерживаемых в цехе и в камерах непрерывного действия.

**10.4.14** Рассчитывается средняя температура бетона  $t_{cp}$ , °С, при выдерживании в течение 1 сут по формуле

$$t_{cp} = t_{бн,ср} + 0,5\Delta t. \quad (10.20)$$

**10.4.15** Сопоставляется рассчитанная средняя температура выдерживания бетона с ориентировочной средней температурой беспрогревного выдерживания, определенной по 10.4.4. Расчет признается удовлетворительным, если сопоставляемые температуры отличаются не более чем на  $\pm 5$  °С. В противном случае расчет средней температуры следует повторить при новом значении ориентировочной температуры, равной среднему значению из принятой по 10.4.4 и полученной в результате первого расчета.

**10.4.16** Рассчитывается общая продолжительность выдерживания изделий в камерах или в технологической оснастке для достижения распалубочной прочности  $\tau_{выд}$  по зависимостям (7.3) – (7.8), (7.13) – (7.16). При этом, в формуле (7.14) обозначение  $\tau_{то}$  заменяется на  $\tau_{выд}$ ,  $\tau_{нвэто}$  — на  $\tau_{нв}$ , коэффициент  $K_{f, t, m, \tau}$  — на  $K_{f, t_{выд}}$ , который рассчитывается по формулам (7.21) – (7.25). При этом  $\tau_{пр}$  принимается равным 1 сут.

**10.4.17** Расчет продолжительности последующего выдерживания изделий для достижения отпускной прочности бетона выполняется в соответствии с 7.39.

**10.4.18** Пример расчета режимов беспрогревного выдерживания изделий приведен в приложении Ж.

## 11 Расчет теплового баланса и эффективности применения энергосберегающих методов тепловой обработки изделий

**11.1** Экономичность тепловых установок и принятых режимов тепловой обработки изделий следует определять по коэффициенту полезного использования тепловой энергии  $\eta$ , вычисляемому по формуле

$$\eta = Q_n / (Q_n + Q_{нп}), \quad (11.1)$$

- где  $Q_n$  — полезный расход тепловой энергии на разогрев бетона (с учетом тепловыделения цемента), арматуры, металла форм и металлических элементов в камере, МДж/м<sup>3</sup>;  
 $Q_{нп}$  — суммарные непроизводительные потери тепла, МДж/м<sup>3</sup>.

**11.2** Значения  $Q_n$  рекомендуется определять в зависимости от класса бетона, вида цемента и металлоемкости форм по данным таблиц 11.1, 11.2 и 11.3, которые рассчитаны, исходя из начальной температуры бетона и форм  $t_n = 15$  °С.

При другой начальной температуре данные таблиц следует умножать на коэффициент  $K_{t_n}$ , определяемый по формуле

$$K_{t_n} = \frac{t - t_n}{t - 15}, \quad (11.2)$$

где  $t$  — температура разогрева бетона и форм, °С.

Для промежуточных классов бетона данные таблиц 11.1 и 11.2 определяются по интерполяции.

**11.3** Непроизводительные удельные потери тепла при тепловой обработке изделий с применением термосных режимов  $Q_{нп}$ , МДж/м<sup>3</sup>, определяются путем суммирования отдельных компонентов теплового баланса за полный цикл тепловой обработки:

$$Q_{нп} = K_{t_n} K_k (q_1 F_1 + q_2 F_2 + q_3 F_3 + q_4 F_4 + q_5 F_5) / V_6, \quad (11.3)$$

- где  $F_1, F_2, F_3, F_4, F_5$  — площадь поверхности, м<sup>2</sup>, соответственно, наружных стен блока камер выше нулевой отметки пола, наружных стен блока камер ниже нулевой отметки пола, днища, крышки, перегородок;

$q_1, q_2, q_3, q_4, q_5$  — удельные потери тепловой энергии, приходящиеся на 1 м<sup>2</sup> поверхности соответствующих отдельных ограждающих конструкций при различных температурах разогрева изделий, МДж/м<sup>2</sup>;  
 $V_6$  — объем бетона изделий в плотном теле, м<sup>3</sup>, в блоке камер;  
 $K_k$  — коэффициент, учитывающий потери тепла с конденсатом, определяется по таблице 11.4.

Таблица 11.1

Класс бетона	Расход тепловой энергии, МДж/м <sup>3</sup> , для разогрева бетона на тяжелых заполнителях, с учетом тепловыделения цемента, до температуры, °С					
	40	50	60	70	80	85
C <sup>12</sup> / <sub>15</sub>	$\frac{54}{65}$	$\frac{75}{90}$	$\frac{92}{110}$	$\frac{109}{130}$	$\frac{126}{151}$	$\frac{134}{160}$
C <sup>16</sup> / <sub>20</sub>	$\frac{52}{60}$	$\frac{71}{81}$	$\frac{88}{101}$	$\frac{100}{115}$	$\frac{113}{130}$	$\frac{121}{140}$
C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	$\frac{50}{56}$	$\frac{67}{75}$	$\frac{80}{90}$	$\frac{96}{101}$	$\frac{105}{117}$	$\frac{109}{125}$
C <sup>30</sup> / <sub>37</sub>	$\frac{48}{52}$	$\frac{63}{69}$	$\frac{75}{82}$	$\frac{84}{90}$	$\frac{92}{100}$	$\frac{96}{105}$

*Примечание* — В числителе приведены значения для портландцемента марок 400–500, в знаменателе — для шлакопортландцемента марок 400–500.

Таблица 11.2

Класс бетона	Расход тепловой энергии, МДж/м <sup>3</sup> , для разогрева легкого бетона, с учетом тепловыделения цемента, до температуры, °С					
	40	50	60	70	80	85
B5	$\frac{30}{34}$	$\frac{42}{47}$	$\frac{51}{57}$	$\frac{60}{67}$	$\frac{70}{79}$	$\frac{78}{88}$
B15	$\frac{46}{50}$	$\frac{60}{66}$	$\frac{72}{79}$	$\frac{85}{93}$	$\frac{100}{110}$	$\frac{108}{119}$
B30	$\frac{43}{51}$	$\frac{56}{67}$	$\frac{67}{78}$	$\frac{77}{90}$	$\frac{90}{105}$	$\frac{95}{112}$
B37	$\frac{42}{52}$	$\frac{53}{66}$	$\frac{62}{77}$	$\frac{70}{87}$	$\frac{80}{100}$	$\frac{84}{105}$

*Примечание* — В числителе приведены значения для портландцемента марок 400–500, в знаменателе — для шлакопортландцемента марок 400–500.

Таблица 11.3

Масса металла форм, т на 1 м <sup>3</sup> бетона	Расход тепловой энергии, МДж/м <sup>3</sup> , для разогрева металла до температуры, °С					
	40	50	60	70	80	85
2	29	42	54	67	80	84
3	42	59	75	96	113	121
4	54	80	100	121	146	159
5	67	96	126	155	180	192
6	84	113	151	188	214	226



Таблица 11.4

Температура разогрева $t$ , °C	40	50	60	70	80	85
Коэффициент $K_x$	1,030	1,040	1,045	1,055	1,065	1,070

11.4 Удельные потери тепловой энергии  $q_1, \dots, q_5$  в нетеплоизолированных камерах определяются по таблицам 11.5 и 11.6.

Таблица 11.5

Ограждающие конструкции	Компоненты тепловых потерь	Расход тепловой энергии, МДж/м <sup>2</sup> , на разогрев и компенсацию потерь при остывании ограждающих конструкций из тяжелого бетона, при разогреве изделий до температуры, °C					
		40	50	60	70	80	85
Наружные стены выше нулевой отметки пола, при длительности перерывов, ч:							
	5	$q_1$	16,7	17,6	18,2	18,8	19,2
15	$q'_1$	22,2	25,5	29,3	31,8	33,9	35,0
Наружные стены ниже нулевой отметки пола	$q_2$	10,5	11,7	13,0	14,0	15,5	15,9
Днище	$q_3$	10,5	11,7	13,0	14,0	15,5	15,9
Крышка	$q_4$	5,9	6,3	6,7	7,1	7,7	8,0
Перегородки, при длительности перерывов, ч:							
	5	$q_5$	7,1	9,6	12,6	15,1	18,0
15	$q'_5$	12,6	17,6	22,6	28,0	32,6	35,6

Таблица 11.6

Ограждающие конструкции	Компоненты тепловых потерь	Расход тепловой энергии, МДж/м <sup>2</sup> , на разогрев и компенсацию потерь при остывании ограждающих конструкций из керамзитобетона, при разогреве изделий до температуры, °C					
		40	50	60	70	80	85
Наружные стены выше нулевой отметки пола, при длительности перерывов, ч:							
	5	$q_1$	8,4	9,2	10,5	11,3	12,6
15	$q'_1$	10,8	12,1	13,4	14,6	15,9	16,3
Наружные стены ниже нулевой отметки пола	$q_2$	8,0	8,4	8,8	9,6	10,9	11,7
Днище:							
	из керамзитобетона	$q_3$	8,0	8,4	8,8	9,6	10,9
из керамзитобетонного пустотного настила с подсыпкой керамзитового гравия	$q'_3$	9,2	10,5	12,1	13,4	15,5	16,3

Окончание таблицы 11.6

Ограждающие конструкции	Компоненты тепловых потерь	Расход тепловой энергии, Мдж/м <sup>2</sup> , на разогрев и компенсацию потерь при остывании ограждающих конструкций из керамзитобетона, при разогреве изделий до температуры, °С					
		40	50	60	70	80	85
Крышка	$q_4$	5,9	6,3	6,7	7,1	7,7	8,0
Перегородки, при длительности перерывов, ч:							
	5	$q_5$	5,4	7,5	9,6	11,7	14,2
15	$q'_5$	7,5	10,5	13,4	16,3	19,2	20,9

11.5 При наличии внутренней тепловой изоляции ограждающих конструкций удельные потери тепловой энергии рассчитываются с учетом поправочных коэффициентов, вычисляемых в следующей последовательности.

11.5.1 Рассчитывается термическое сопротивление элементов ограждающей конструкции  $R_k$ , м<sup>2</sup>·°С/Вт, по формуле

$$R_k = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}, \quad (11.4)$$

где  $\delta_i$  — толщина  $i$ -го слоя ограждающей конструкции, м;

$\lambda_i$  — коэффициент теплопроводности материала  $i$ -го слоя ограждающей конструкции, Вт/(м·°С), который принимается по приложению А СНБ 2.04.01.

11.5.2 Если ограждающая конструкция с теплоизоляцией включает замкнутые воздушные прослойки, дополнительное термическое сопротивление каждой прослойки назначается по приложению Б СНБ 2.04.01.

11.5.3 Определяются поправочные коэффициенты к компонентам удельных тепловых потерь  $q_1, \dots, q_5$  по таблице 11.7.

Таблица 11.7

$R_k, \text{ м}^2 \cdot \text{°С} / \text{Вт}$	0	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8
Поправочный коэффициент $K$	1,00	0,64	0,47	0,32	0,25	0,20	0,17	0,15	0,13	0,11	0,10

11.6 Общий расход тепловой энергии при тепловой обработке изделий с применением термосных режимов рассчитывается по формуле

$$Q_{т.р} = Q_n + Q_{н.п}. \quad (11.5)$$

11.7 Расход тепловой энергии при прогреве изделий по термосным режимам в типовых кассетах «Гипростроммаш» допускается определять по таблице 11.8.

11.8 Температура разогрева бетона при тепловой обработке изделий с применением термосных режимов ориентировочно определяется согласно данным таблицы 11.9 в зависимости от группы цемента, класса бетона, требуемой оборачиваемости камер в сутки  $n$ , распалубочной прочности бетона  $R_p$ , % от  $f_{c, \text{cube } 28 \text{ н.в}}$  и показателя  $A$ , характеризующего длительность остывания разогретого блока камер с изделиями.

Таблица 11.8

Обозначение установок и типовых проектов «Гипростроммаш»	Габариты установки, м	Количество изделий	$g_m$ , т/м <sup>3</sup>	Объем бетона, м <sup>3</sup>	Расход тепловой энергии, Q, МДж/м <sup>3</sup> , при разогреве изделий до температуры, °С					
					40	50	60	70	80	90
СМЖ-253	8×3,76×0,16	10	2,5	42,05	605	795	965	1130	1320	1485
”	8×3,76×0,14	10	2,9	36,79	690	880	1045	1235	1400	1570
”	8×3,76×0,12	12	2,8	37,84	795	965	1130	1320	1570	1655
СМЖ-3212										
(СМЖ-3312)	6,8×3,3×0,16	10	3,1	28,80	690	880	965	1235	1400	1570
”	6,8×3,3×0,14	10	3,6	25,20	690	880	1045	1320	1485	1655
”	6,8×3,3×0,12	12	3,5	25,90	795	965	1130	1400	1570	1840
СМЖ-3222	6,8×3,76×0,05	12	7,5	12,24	1675	2010	2280	2720	3160	3330
”	6,8×3,76×0,05	14	7,4	14,28	1570	1925	2280	2640	3055	3330
СМЖ-3302	8×3,3×0,16	10	2,6	34,56	690	795	965	1130	1320	1485
”	8×3,3×0,14	10	3,0	30,24	690	880	1045	1235	1485	1655
”	8×3,3×0,12	12	2,9	31,10	795	965	1130	1400	1570	1840
СМЖ-3322	6,8×3,3×0,06	12	8,2	11,66	1485	1840	2200	2535	2890	3245
”	6,8×3,3×0,06	14	7,0	13,60	1485	1840	2095	2535	2890	3245
7412/1	6,5×3,3×0,10	10	4,2	18,13	880	1130	1320	1570	1760	2010
7412/2	6,5×2,78×0,10	10	4,5	15,05	880	1130	1320	1570	1840	2010
7412/3	6,5×2,78×0,12	10	3,8	17,40	795	1045	1235	1400	1655	1840
7412/4	6,5×2,78×0,12	10	4,1	17,40	795	1045	1235	1400	1655	1840
7412/5	6,5×2,78×0,14	6	6,1	7,69	1045	1320	1570	1840	2095	2365

Таблица 11.9

Класс бетона	Распалубочная прочность $P_p$ , % от $f_{c cube 28 н в}$	Температура разогрева бетона, °С, при значениях показателя A		
		10–40	41–80	81–150
1 группа цемента при оборачиваемости камер в сутки $n = 1$				
C <sup>12</sup> / <sub>15</sub>	50	60	55	50
	60	75	70	65
	70	—	—	80
C <sup>16</sup> / <sub>20</sub>	50	50	45	40
	60	65	60	55
	70	80	75	70
C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	50	40	35	30
	60	50	45	40
	70	65	60	55
C <sup>30</sup> / <sub>37</sub>	50	35	30	25
	60	45	40	35
	70	55	50	45

Продолжение таблицы 11.9

Класс бетона	Распалубочная прочность $P_p$ , % от $f_c$ кубе 28 н в	Температура разогрева бетона, °С, при значениях показателя А		
		10–40	41–80	81–150
2 группа цемента при оборачиваемости камер в сутки $n = 1$				
C <sup>12</sup> / <sub>15</sub>	50	75	70	60
	60	—	80	70
C <sup>16</sup> / <sub>20</sub>	50	60	55	45
	60	75	70	65
	70	—	85	60
C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	50	45	50	40
	60	60	55	50
	70	80	75	70
C <sup>30</sup> / <sub>37</sub>	50	40	35	30
	60	50	45	40
	70	70	65	60
3 группа цемента при оборачиваемости камер в сутки $n = 1$				
C <sup>12</sup> / <sub>15</sub>	50	85	75	65
	60	—	—	80
C <sup>16</sup> / <sub>20</sub>	50	75	70	65
	60	—	80	75
C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	50	65	60	50
	60	80	70	60
	70	—	80	75
C <sup>30</sup> / <sub>37</sub>	50	55	50	40
	60	70	60	50
	70	80	75	65
1 группа цемента при оборачиваемости камер в сутки $n = 1,5$				
C <sup>12</sup> / <sub>15</sub>	50	75	70	70
	60	—	85	80
C <sup>16</sup> / <sub>20</sub>	50	70	65	60
	60	80	75	75
C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	50	60	55	50
	60	75	70	70
C <sup>30</sup> / <sub>37</sub>	50	45	40	40
	60	60	55	50
	70	80	75	70
2 группа цемента при оборачиваемости камер в сутки $n = 1,5$				
C <sup>12</sup> / <sub>15</sub>	50	85	80	75
C <sup>16</sup> / <sub>20</sub>	50	80	75	70
	60	—	—	85

Окончание таблицы 11.9

Класс бетона	Распалубочная прочность $P_p$ , % от $f_{c, cube 28 н в}$	Температура разогрева бетона, °С, при значениях показателя $A$		
		10–40	41–80	81–150
C <sup>25</sup> /30	50	70	65	65
	60	85	80	75
C <sup>30</sup> /37	50	50	45	45
	60	70	65	60
3 группа цемента при оборачиваемости камер в сутки $n = 1,5$				
C <sup>16</sup> /20	50	—	85	80
C <sup>25</sup> /30	50	80	75	70
	60	—	—	85
C <sup>30</sup> /37	50	70	65	60
	60	85	80	75

*Примечание* — Приведенные в таблице значения температуры разогрева бетона приняты из условия испытания контрольных образцов-кубов через 0,5 ч после окончания тепловой обработки.

**11.9** Показатель длительности остывания блока камер  $A$  рассчитывается по формуле

$$A = \frac{c_b \rho_b V_b + c_m \rho_m V_m + c_{ок} \rho_{ок} V_{ок}}{3,6 \cdot (K_1 F_1 + K_2 F_2 + K_3 F_3 + K_4 F_4)}, \quad (11.6)$$

где  $c_b, \rho_b, V_b$  — соответственно, удельная теплоемкость, кДж/(кг·°С), принимаемая по приложению А СНБ 2.04.01; плотность, кг/м<sup>3</sup>, и объем бетона изделий в плотном теле, м<sup>3</sup>, в блоке камер;

$c_m, \rho_m, V_m$  — то же, для металла блока камер;

$c_{ок}, \rho_{ок}, V_{ок}$  — то же, для ограждающих конструкций блока камер;

$K_1, F_1$  — соответственно, коэффициент теплопередачи, Вт/(м<sup>2</sup>·°С), и площадь поверхности наружных стен блока камер выше нулевой отметки пола, м<sup>2</sup>;

$K_2, F_2$  — то же, для наружных стен ниже нулевой отметки пола;

$K_3, F_3$  — то же, для днища блока камер;

$K_4, F_4$  — то же, для крышек блока камер.

Объем металла в блоке камер  $V_m$ , м<sup>3</sup>, рекомендуется рассчитывать по формуле

$$V_m = (m_{ф} + m_{кр} + m_{п} + m_{со}) / \rho_m, \quad (11.7)$$

где  $m_{ф}, m_{кр}, m_{п}, m_{со}$  — соответственно, масса в блоке камер металла форм, крышек, стоек пакетировщиков (направляющих), стальной обшивки теплоизоляции ограждений, кг.

Значения коэффициентов теплопередачи  $K_1, \dots, K_4$  для неутепленных ограждающих конструкций приведены в таблице 11.10.

В случае утепления внутренних поверхностей ограждающих конструкций из тяжелого бетона слоями изоляции значения коэффициентов теплопередачи принимаются по таблице 11.11. При этом термическое сопротивление  $R_k$  вычисляется по 11.5.1 и 11.5.2.

**11.10** Применение энергосберегающих методов тепловой обработки изделий должно сопровождаться мероприятиями по нормализации технологического теплопотребления, включающими в себя:

— паспортизацию действующих тепловых установок на предприятии и расчет агрегатных технологических норм тепловой энергии по [1] при применении изотермических режимов и по 11.6 — при термосных режимах;

Таблица 11.10

Коэффициент теплопередачи	Элементы ограждающих конструкций камер	Значения коэффициентов теплопередачи, Вт/(м <sup>2</sup> ·°С), для ограждающих конструкций из	
		тяжелого бетона	керамзитобетона
$K_1$	Наружные стены выше нулевой отметки пола	5,8	2,6
$K_2$	Наружные стены ниже нулевой отметки пола	2,3	2,2
$K_3$	Днище: из бетона пустотный настил	2,3	2,2
		1,3	—
$K_4$	Крышка	5,8	5,8

Таблица 11.11

Материал ограждающих конструкций	Коэффициенты теплопередачи	Значения коэффициентов теплопередачи, Вт/(м <sup>2</sup> ·°С), при термическом сопротивлении $R_{к}$ , м <sup>2</sup> ·°С/Вт							
		0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4
Тяжелый бетон	$K_1$	5,8	2,7	1,8	1,3	1,0	0,9	0,7	0,6
	$K_2$ и $K_3$	2,3	1,6	1,2	1,0	0,8	0,7	0,6	0,6
Керамзитобетон	$K_1$	2,6	1,7	1,3	1,0	0,9	0,7	0,6	0,6
	$K_2$ и $K_3$	2,2	1,6	1,2	1,0	0,8	0,7	0,6	0,6

— стабилизацию работы системы теплоснабжения предприятия путем установки на теплопроводах теплоизоляции и регуляторов давления пара на магистральных теплопроводах, например, 21ч10НЖ или РД. Настройку регуляторов давления пара рекомендуется производить из условия поддержания давления пара перед камерами, кассетами и термоформами не более 0,3 МПа (2 ати);

— оборудование каждого ввода в тепловую установку дроссельными диафрагмами в соответствии с рекомендациями, изложенными в приложении К;

— устранение утечек пара в паропроводах, запорной арматуре и через неплотности в тепловых установках;

— обеспечение работоспособности устройств для отвода и возврата конденсата из тепловых установок.

**11.11** Обеспечение заданного температурного режима тепловой обработки, позволяющего получить требуемые качественные характеристики бетона изделий, может быть осуществлено с применением:

— автоматизированных систем управления и программного регулирования температуры и прочности изделий;

— дроссельных диафрагм, обеспечивающих подачу в тепловые установки расчетного количества тепловой энергии (при отсутствии систем автоматического контроля и регулирования).

При применении термосных режимов с использованием систем автоматического регулирования температурный датчик должен регистрировать температуру изделий. С этой целью настройку регулятора следует осуществлять с учетом коррекции между температурой среды и температурой изделия, определяемой отдельно в каждом конкретном случае.

**11.12** Для контроля температуры рекомендуются термометры сопротивления (ТСМ, ТСР) и термопары (ТХК, ТМК).

Контрольные датчики температуры должны устанавливаться в местах, где температуру среды в тепловой установке можно считать средней. В ямных камерах датчики устанавливаются в специальных нишах внутри камеры на половине ее высоты в месте, исключающем прямое попадание на них потока пара. В камерах непрерывного действия (вертикальных или горизонтальных) контрольный датчик устанавливается в начале зоны с максимальной температурой среды, по возможности, на уровне изделия.

При прогреве изделий через паровые рубашки контрольный датчик температуры может помещаться на линии отвода конденсата не далее 0,5 м от формы.

Для гарантии постоянного нахождения датчика в проточном конденсате на линии отвода конденсата за датчиком должен быть установлен конденсатоотводчик или обратный клапан.

Если контрольный датчик показывает температуру выше 95 °С, то это свидетельствует о непосредственном попадании на него струи пара, и необходимо принять соответствующие меры, например, уменьшить подачу пара.

Как исключение допускается производить замер температуры в камерах с помощью ртутного термометра или термощупа.

**11.13** При всех способах контроля оператор заносит в журнал сведения о времени загрузки камеры (установки), длительности отдельных периодов температурного режима, времени открытия камеры или выгрузки изделий из тепловой установки.

В зимнее время оператор регистрирует не реже 1 раза в смену и записывает в журнал температуру воздуха в цехе, где хранятся распалубленные изделия.

**11.14** Примеры расчета теплового баланса и эффективности применения энергосберегающих методов тепловой обработки изделий приведены в приложении Л.

## **12 Особенности контроля прочности бетона при тепловой обработке**

**12.1** Контроль прочности бетона изделий, подвергаемых тепловой обработке, производится в соответствии с требованиями ГОСТ 13015.1 со следующими особенностями для различных видов тепловых установок.

**12.2** При тепловой обработке изделий в камерах периодического действия с применением изотермических режимов контрольные образцы-кубы следует устанавливать в специальных нишах, оборудованных в стенах камер, или на форме верхнего изделия.

**12.3** При применении термосных и беспрогревных режимов эти образцы необходимо устанавливать внутри рабочего объема камеры, например, на форме верхнего изделия или на специальных площадках, пристроенных к стенкам (нишам) камеры. Устанавливать контрольные образцы в нишу стен камер при тепловой обработке изделий по термосным и беспрогревным режимам запрещается.

**12.4** При тепловой обработке изделий в камерах непрерывного действия контрольные образцы-кубы следует устанавливать на формах-вагонетках с изделиями.

**12.5** При тепловой обработке изделий в кассетах необходимо иметь в виду, что прочность бетона в наиболее слабых (краевых) зонах панелей, как правило, выше, чем у контрольных образцов-кубов, устанавливаемых в специальных нишах в паровых отсеках или на верхних торцах изделий под колпаком. В связи с этим к значениям прочности контрольных образцов-кубов, испытываемых через 0,5–4 ч с момента их распалубки, рекомендуется вводить коэффициенты: 1,15 — при их прогреве в нишах и 1,3 — при прогреве под колпаком.

**12.6** При тепловой обработке изделий в термоформах контрольные образцы прогреваются в специальных нишах-карманах, расположенных в торцах термоформ. При контроле прочности бетона изделий после завершения их тепловой обработки к значениям прочности этих образцов, испытываемых через 0,5–4 ч с момента распалубки, рекомендуется вводить коэффициент 1,15.

**12.7** Если при отсутствии контроля и регулирования температурного режима контрольные образцы-кубы после тепловой обработки не набирают заданную прочность, то прочность бетона изделий должна быть установлена неразрушающими методами в соответствии с ГОСТ 17624. Если и в этом случае прочность бетона не отвечает заданным требованиям, изделия должны быть дополнительно выдержаны в тепловых установках без подачи пара.

**12.8** Если толщина изделия отличается от размера ребра контрольных образцов-кубов более чем в три раза, то режимы тепловой обработки изделий должны корректироваться опытным путем с применением неразрушающих методов контроля.





**Приложение А**  
(справочное)

**Ориентировочные физико-технические характеристики некоторых белорусских цемента**

Таблица А.1

Вид цемента и предприятие- изготовитель	Минералогический состав клинкера, %				SO <sub>3</sub> , %	Активные минеральные добавки, %	Удельная поверхность S <sub>уд</sub> , м <sup>2</sup> /кг	Нормальная густота, %	Группа по эффективности пропаривания	Активность цемента, МПа	
	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF						F <sub>ц1</sub>	F <sub>ц2</sub>
ПЦ 550-Д0 ОАО «Красносельск- стройматериалы»	57–58	18–19	4,5–5,1	13–14	1,5–3,5	—	290–320	23–25	2	20	30
ПЦ 500-Д0 ОАО «Красносельск- стройматериалы»	57–58	18–19	4,5–5,1	13–14	1,5–3,5	—	290–320	23–25	2	14	21
ПЦ 500-Д0 ПРУП «Белорусский цементный завод»	61–62	15–16	6–7	13–14	1,8	—	300–330	26–27	1	18	25
ПЦ 500-Д0 ПРУП «Кричев- цементношифер»	58–61	13–15	6–8	14–16	1,5–3,5	—	260–310	24,5–26,5	2	14	20
ПЦ 500-Д20 ОАО «Красносельск- стройматериалы»	57–58	18–19	4,5–5,1	13–14	1,5–3,5	Шлак 18–19	290–320	23–25	2	11,5	18
ПЦ 500-Д20 ПРУП «Белорусский цементный завод»	61–62	15–16	6–7	13–14	1,8	Шлак 18–19	300–330	26–27	1	13	20
ПЦ 400-Д20 ПРУП «Кричев- цементношифер»	58–61	13–15	6–8	14–16	1,5–3,5	Шлак 5–20	293–338	25–27	3	10,5	16,5

**Приложение Б**  
(справочное)

**Характеристики водопоглощения плотных мелкого  
и крупного заполнителей**

Таблица Б.1 — Данные для расчета водопоглощения мелкого заполнителя

Фракция песка, мм	Водопоглощение песков $W_{i м}$ , %	
	из отсевов дробления	природных и обогащенных
От 5,0 до 2,5 включ.	0,75	1,59
Св. 2,5 “ 1,2 “	0,66	1,26
“ 1,2 “ 0,6 “	0,61	0,82
“ 0,6 “ 0,3 “	0,56	0,58
“ 0,3 “ 0,15 “	0,38	0,35
“ 0,15 “ 0,088 “	0,18	0,31

Таблица Б.2 — Данные для расчета водопоглощения крупного заполнителя

Наименование заполнителя	Водопоглощение пор $W_{i кр}$ , %			
	при размере фракции, мм			
	60–40	40–20	20–10	10–5
Гранитный щебень	0,50	0,50	0,42	0,40
Базальтовый щебень	1,40	1,40	1,40	1,29
Известковый щебень	1,09	1,10	1,95	0,80
Щебень из песчаника	4,60	4,52	4,92	4,16
Речной гравий	1,00	1,00	0,90	0,80

Водопоглощение мелкого и крупного заполнителей определяется по формуле

$$W_{м(кр)} = 0,01 \sum_{i=1}^n P_{i м(кр)} \cdot W_{i м(кр)}, \quad (Б.1)$$

где  $P_{i м(кр)}$  — процентное содержание  $i$ -ой фракции (по расसेву);

$W_{i м(кр)}$  — водопоглощение  $i$ -ой фракции, %, (по данным таблиц Б.1 и Б.2)

*Примечание* — Таблицы Б.1 и Б.2 заимствованы из [2].

**Приложение В**  
(обязательное)

**Значения и зависимости функциональных коэффициентов прочности модифицированного бетона  
в возрасте 1, 2 и 28 сут при нормальных условиях твердения**

Таблица В.1

Условное обозначение или химическая формула модификаторов	Содержание модификаторов, % от $\frac{Ц}{В}$	$K_{fM1}$	$K_{fM2}$
С-3	От 0,6 до 1,2	При $200 \leq Ц \leq 400$ $1,14 + 0,2Ц10^{-3} - 0,7m_d \cdot 10^2$	При $200 \leq Ц \leq 400$ $1,1 + 0,2Ц10^{-3} - 0,45m_d \cdot 10^2$
	—	При $400 \leq Ц \leq 650$ $1,56 + (1,9m_d \cdot 10^2 - 1)Ц10^{-3} -$ $- 1,4m_d \cdot 10^2$	При $400 \leq Ц \leq 650$ $1,5 + (1,9m_d \cdot 10^2 - 1)Ц10^{-3} -$ $- 1,15m_d \cdot 10^2$
ЛСТМ-2	0,2 —	0,90 при $C_3A = 3\% - 5\%$	0,95 при $C_3A = 3\% - 5\%$
		0,85 при $C_3A = 5\% - 7\%$	0,90 при $C_3A = 5\% - 7\%$
		0,80 при $C_3A = 7\% - 9\%$	0,95 при $C_3A = 7\% - 9\%$
ЛСТ	От 0,15 до 0,25 —	$1 - 0,5m_d \cdot 10^2$	$1 - 0,45m_d \cdot 10^2$
ХК (CaCl <sub>2</sub> )	0,5 —	$\frac{1,10A}{1 - 1,8 \cdot 10^{-3} \cdot B}$	$\frac{1,10A}{1 - 1,3 \cdot 10^{-3} \cdot B}$
	1,0 —	$\frac{1,12A}{1 - 2,4 \cdot 10^{-3} \cdot B}$	$\frac{1,12A}{1 - 1,8 \cdot 10^{-3} \cdot B}$
	2,0 —	$\frac{1,24A}{1 - 1,9 \cdot 10^{-3} \cdot B}$	$\frac{1,24A}{1 - 1,4 \cdot 10^{-3} \cdot B}$

Окончание таблицы В.1

Условное обозначение или химическая формула модификаторов	Содержание модификаторов, % от $\frac{Ц}{В}$	$K_{FM1}$	$K_{FM2}$
НН <sub>1</sub> (NaNO <sub>3</sub> )	$\frac{1,0}{—}$	$\frac{0,97A}{1 - 2,0 \cdot 10^{-3} \cdot B}$	$\frac{0,97A}{1 - 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot B}$
	$\frac{2,0}{—}$	$\frac{1,02A}{1 - 2,0 \cdot 10^{-3} \cdot B}$	$\frac{1,02A}{1 - 2,0 \cdot 10^{-3} \cdot B}$
СН (Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	$\frac{1,0}{—}$	$\frac{0,7 + 3,75 \cdot 10^{-2} \cdot (15 - C_3A)}{1,0 - 0,75 \cdot 10^{-3} \cdot (C_3A - 1) \cdot B}$	$\frac{0,7 + 3,75 \cdot 10^{-2} \cdot (15 - C_3A)}{1,0 - 0,75 \cdot 10^{-3} \cdot (C_3A - 1) \cdot B}$
	$\frac{2,0}{—}$	$\frac{0,7 + 3,75 \cdot 10^{-2} \cdot (15 - C_3A)}{1,0 - 0,75 \cdot 10^{-3} \cdot (C_3A - 1) \cdot B}$	$\frac{0,7 + 3,75 \cdot 10^{-2} \cdot (15 - C_3A)}{1 - 0,8 \cdot 10^{-3} \cdot (3 + 0,15 \cdot C_3A) \cdot B}$
ПВК	$\frac{1,3}{—}$	$0,25 + 2,85W_6$	$0,77 + 1,25W_6$
ГО (NaCl)	$\frac{1,0}{—}$	$\frac{0,94A}{1 - 4 \cdot 10^{-3} \cdot B}$	$\frac{0,94A}{1 - 3 \cdot 10^{-3} \cdot B}$
	$\frac{2,0}{—}$	$\frac{0,95A}{1 - 4,8 \cdot 10^{-3} \cdot B}$	$\frac{0,95A}{1 - 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot B}$
ГО+НН+ЛСТ (ЛМГ)	$\frac{0,15ЛСТ}{4ГО + 4НН}$	$1,4 - 40 \cdot (m_T - 0,3)^2$	1,1
<p><i>Примечания</i></p> <p>1 В представленных зависимостях функциональные коэффициенты А и В имеют следующий вид: <math>A = 0,9 + 4,7 \cdot 10^{-3} B</math>; <math>B = 75 - f_{cube 28 н.в.}</math></p> <p>2 <math>m_d</math> — содержание модификаторов в бетоне.</p>			

## Приложение Г (справочное)

### Примеры расчета режимов тепловой обработки и последующего выдерживания изделий

**Г.1** Требуется рассчитать режим тепловой обработки железобетонных изделий и продолжительность последующего выдерживания.

**Г.1.1** Исходные данные:

- класс бетона —  $C^{20/25}$ ;
- цемент ПЦ 500-Д0 ОАО «Красносельскстройматериалы»;
- щебень микашевичского ПРУП ДСЗ «Гранит» фракции 5–20 мм,  $\rho_{щ} = 2700 \text{ кг/м}^3$ ;  $W_{щ} = 0,49 \%$ ;
- песок карьера «Крапужино»,  $\rho_{п} = 2650 \text{ кг/м}^3$ ;  $W_{п} = 0,68 \%$ ;
- состав бетона: Ц = 320 кг/м<sup>3</sup>; П = 770 кг/м<sup>3</sup>; Щ = 1120 кг/м<sup>3</sup>; В = 190 кг/м<sup>3</sup>;
- толщина изделий — 160–300 мм;
- начальная температура бетонной смеси  $t_n = 15 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- температура окружающей среды в формовочном цехе  $t_{фц} = 22 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- температура окружающей среды при выдерживании изделий на складе готовой продукции  $t_{сгп} = 18 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- начальная прочность бетона на сжатие, достигнутая в период предварительного выдерживания в течение 2 ч ( $\tau_{прв} = 2 \text{ ч}$ ), находится в пределах от 0,2 до 0,4 МПа;
- относительная распалубочная прочность бетона  $P_p = 50 \%$  от  $f_{с cube 28 \text{ н в}}$ ;
- относительная отпускная прочность бетона  $P_{отп.} = 70 \%$  от  $f_{с cube 28 \text{ н в}}$ .

**Г.1.2** Рассчитывается количество воды, поглощенной заполнителем, и водоцементное отношение  $W_6$  по формулам (7.1) и (7.2):

$$V_n = (1120 \cdot 0,49 + 770 \cdot 0,68) \cdot 10^{-2} = 11 \text{ кг/м}^3;$$

$$W_6 = \frac{190 - 11}{320} = 0,56.$$

**Г.1.3** Рассчитывается объемная концентрация цементного теста в бетоне по формуле (7.3):

$$m_\tau = 1 - \frac{770}{2650} - \frac{1120}{2700} = 0,295.$$

**Г.1.4** Рассчитываются значения функциональных коэффициентов  $\Phi_{f1}$  и  $\Phi_{f2}$  по формулам (7.5) и (7.6):

$$\Phi_{f1} = (-435 \cdot 0,56^3 + 705 \cdot 0,56^2 - 365 \cdot 0,56 + 57,8) \cdot 0,295 - 7,22 \cdot 0,56 + 5,15 = 0,545;$$

$$\Phi_{f2} = 2,57 - 3,9 \cdot (0,56 - 0,3)^{0,55} - 3,3 \cdot (0,56 - 0,144) \cdot (0,295 - 0,2) = 0,58.$$

**Г.1.5** Рассчитываются значения прочности бетона  $f_{с cube 1 \text{ н в}}$  и  $f_{с cube 2 \text{ н в}}$  по формулам (7.7) и (7.8) и приложению А:

$$f_{с cube 1 \text{ н в}} = 14 \cdot 0,545 = 7,6 \text{ МПа};$$

$$f_{с cube 2 \text{ н в}} = 21 \cdot 0,58 = 12,2 \text{ МПа}.$$

**Г.1.6** Принимается ориентировочное время тепловой обработки изделий по 7.15 и 7.23 —  $\tau_{пр} = 0,63 \text{ сут}$  и средняя температура тепловой обработки по 7.19 – 7.22 —  $t_{ср} = 45 \text{ }^\circ\text{C}$ .

**Г.1.7** Рассчитывается значение функционального коэффициента  $K_{ft, m_\tau}$  по формулам (7.9) – (7.12):

$$K_{ft, m_\tau} = 1 \cdot \left[ 7,2 - 20 \cdot 0,295 + 3,2 \cdot 10^{-3} \cdot (24 - 15)^{3,22} \right] = 4,9,$$

где  $K_{C_3A} = 1$  — при содержании  $C_3A$  от 3 % до 5 %;

$$b = -4,67 \cdot 10^{-2} \cdot (0,295 - 0,21) \cdot (45 - 30)^{0,25} + 0,11 \cdot 0,295^{0,8} - 30,4 \cdot 10^{-3} = 3,2 \cdot 10^{-3};$$

$$n = 2,72 + 0,084 \cdot (45 - 30)^{0,655} = 3,22.$$

Г.1.8 Рассчитывается требуемая прочность бетона в возрасте 28 сут по формуле (7.13):

$$f_{c\text{ cube } 28 \text{ н.в.}} = \frac{25}{1 - 1,64 \cdot 0,135} = 32,1 \text{ МПа.}$$

Г.1.9 Рассчитывается общая продолжительность тепловой обработки по формулам (7.14) – (7.16):

$$n_{\text{н.в.}} = \ln \left( 1 - \frac{12,2 - 7,6}{32,1 - 7,6} \right) = -0,206;$$

$$\tau_{\text{н.в.} \rightarrow \tau_{\text{т.о.}}} = 1 + \ln \left( 1 - \frac{50 \cdot 10^{-2} \cdot 32,1 - 7,6}{12,2 - 7,6} \cdot (1 - e^{-0,206}) \right) / (-0,206) = 3,05 \text{ сут.}$$

$$\tau_{\text{т.о.}} = \frac{3,05}{4,9} = 0,62 \text{ сут.}$$

Г.1.10 Принимается продолжительность предварительного выдерживания изделий по 7.15 —  $\tau_{\text{пр.в.}} = 2$  ч; скорость подъема температуры среды в камере по 7.16 – 7.19 —  $v_n = 20$  °С/ч; температура бетона в момент распалубки по 7.27 —  $t_p = 40$  °С; скорость снижения температуры среды в камере по 6.1 и 7.22  $v_{\text{ост}} = 3$  °С/ч.

Г.1.11 Рассчитывается продолжительность отдельных периодов тепловой обработки изделий по формулам (7.17) – (7.19):

$$\tau_n = \frac{45 + 15 - 15}{20} = 2,3 \text{ ч;}$$

$$\tau_{\text{ост}} = \frac{45 + 15 - 40}{3} = 6,7 \text{ ч;}$$

$$\tau_{\text{из}} = 0,62 \cdot 24 - 2 - 2,3 - 6,7 = 4 \text{ ч.}$$

Г.1.12 Рассчитывается температура среды в камере при изотермическом прогреве изделий по формуле (7.20):

$$t_{\text{из}} = \frac{45 \cdot 0,62 \cdot 24 - 15 \cdot (2 + 0,5 \cdot 2,3) - 0,5 \cdot 40 \cdot 6,7}{0,5 \cdot 2,3 + 4 + 0,5 \cdot 6,7} = 58 \text{ °С.}$$

Г.1.13 Принимается продолжительность выдерживания изделий в формовочном цехе  $\tau_{\text{ф.ц.}} = 0,5$  сут при температуре окружающей среды 22 °С и на складе готовой продукции  $\tau_{\text{с.г.п.}} = 2$  сут при температуре окружающей среды 18 °С.

Г.1.14 Рассчитываются значения коэффициентов  $K_{f t_{\text{ф.ц.}}}$  и  $K_{f t_{\text{с.г.п.}}}$  по формулам (7.21) – (7.25):

$$C_{\text{ф.ц.}} = 0,7 + 9,5 \cdot 10^{-2} \cdot 22^{0,385} = 1,01;$$

$$C_{\text{с.г.п.}} = 0,7 + 9,5 \cdot 10^{-2} \cdot 18^{0,385} = 0,99;$$

$$D_{\text{ф.ц.}} = 1 + 7 \cdot 10^{-2} \cdot (22 - 20) = 1,14;$$

$$D_{\text{с.г.п.}} = 0,15 + 4,25 \cdot 10^{-2} \cdot 18 = 0,92;$$

$$K_{f t_{\text{ф.ц.}}} = 1 \cdot \left[ 1,14 + (1,01 - 1,14) \cdot \left( \frac{0,5 - 0,5}{27,5} \right)^{0,18} \right] = 1,14;$$

$$K_{f t_{\text{с.г.п.}}} = 1 \cdot \left[ 0,92 + (0,99 - 0,92) \cdot \left( \frac{2 - 0,5}{27,5} \right)^{0,458} \right] = 0,93.$$

Г.1.15 Рассчитывается значение  $\tau_{\text{н.в.}}$  по формуле (7.26):

$$\tau_{\text{н.в.}} = 1 + \ln \left( 1 - \frac{70 \cdot 10^{-2} \cdot 32,1 - 7,6}{12,2 - 7,6} \cdot (1 - e^{-0,206}) \right) / (-0,206) = 5,5 \text{ сут.}$$

**Г.1.16** Рассчитывается продолжительность выдерживания изделий на складе готовой продукции по формуле (7.27):

$$\tau_{с.г.п} = \frac{5,5 - 0,31 \cdot 9,95 - 0,5 \cdot 1,14}{0,93} = 2 \text{ сут.}$$

**Г.2** Требуется рассчитать режим тепловой обработки предварительно напряженных железобетонных изделий и продолжительность последующего выдерживания.

**Г.2.1** Исходные данные:

- класс бетона —  $C^{25}/30$ ;
- цемент ПЦ 500-Д20 ОАО «Красносельскстройматериалы»;
- щебень микашевичского ПРУП ДСЗ «Гранит» фракции 5–20 мм,  $\rho_{щ} = 2700 \text{ кг/м}^3$ ;  $W_{щ} = 0,49 \%$ ;
- песок карьера «Крапужино»,  $\rho_{п} = 2650 \text{ кг/м}^3$ ;  $W_{п} = 0,68 \%$ ;
- состав бетона: Ц = 280 кг/м<sup>3</sup>; П = 834 кг/м<sup>3</sup>; Щ = 1146 кг/м<sup>3</sup>; В = 147 кг/м<sup>3</sup>;
- толщина изделий — 160–300 мм;
- начальная температура бетонной смеси  $t_n = 15 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- температура окружающей среды в формовочном цехе  $t_{ф.ц} = 22 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- температура окружающей среды при выдерживании изделий на складе готовой продукции  $t_{с.г.п} = 18 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

— начальная прочность бетона на сжатие, достигнутая в период предварительного выдерживания в течение 1 ч ( $\tau_{пр.в} = 1 \text{ ч}$ ), находится в пределах от 0,2 до 0,4 МПа;

— относительная передаточная прочность бетона  $P_n = 70 \%$  от  $f_{с.кубе 28 н.в.}$ ;

— относительная отпускная прочность бетона  $P_{отп} = 80 \%$  от  $f_{с.кубе 28 н.в.}$ .

**Г.2.2** Рассчитывается количество воды, поглощенной заполнителем, и водоцементное отношение  $W_6$  по формулам (7.1) и (7.2):

$$B_n = (1146 \cdot 0,49 + 834 \cdot 0,68) \cdot 10^{-2} = 11 \text{ кг/м}^3;$$

$$W_6 = \frac{147 - 11}{280} = 0,485.$$

**Г.2.3** Рассчитывается объемная концентрация цементного теста в бетоне по формуле (7.3):

$$m_\tau = 1 - \frac{834}{2650} - \frac{1146}{2700} = 0,261.$$

**Г.2.4** Рассчитываются значения функциональных коэффициентов  $\Phi_{f1}$  и  $\Phi_{f2}$  по формулам (7.5) и (7.6):

$$\Phi_{f1} = (-435 \cdot 0,485^3 + 705 \cdot 0,485^2 - 365 \cdot 0,485 + 57,8) \cdot 0,261 - 7,22 \cdot 0,485 + 5,15 = 0,862;$$

$$\Phi_{f2} = 2,57 - 3,9 \cdot (0,485 - 0,3)^{0,55} - 3,3 \cdot (0,485 - 0,144) \cdot (0,261 - 0,2) = 0,961.$$

**Г.2.5** Рассчитываются значения прочности бетона  $f_{с.кубе 1 н.в.}$  и  $f_{с.кубе 2 н.в.}$  по формулам (7.7) и (7.8) и приложению А:

$$f_{с.кубе 1 н.в.} = 11,5 \cdot 0,862 = 9,9 \text{ МПа};$$

$$f_{с.кубе 2 н.в.} = 18 \cdot 0,961 = 17,3 \text{ МПа}.$$

**Г.2.6** Принимается ориентировочное время тепловой обработки изделий по 7.15 и 7.23 —  $\tau_{пр} = 0,55 \text{ сут}$  и средняя температура тепловой обработки по 7.19 – 7.22 —  $t_{ср} = 50 \text{ }^\circ\text{C}$ .

**Г.2.7** Рассчитывается значение функционального коэффициента  $K_{f t \tau m_\tau}$  по формулам (7.9) – (7.12):

$$K_{f t \tau m_\tau} = 1 \cdot \left[ 7,2 - 20 \cdot 0,261 + 1,48 \cdot 10^{-3} \cdot (24 - 13)^{3,32} \right] = 7,67,$$

где  $K_{C_3A} = 1$  — при содержании  $C_3A$  от 3 % до 5 %;

$$b = -4,67 \cdot 10^{-2} \cdot (0,261 - 0,21) \cdot (50 - 30)^{0,25} + 0,11 \cdot 0,261^{0,8} - 30,4 \cdot 10^{-3} = 2,12 \cdot 10^{-3};$$

$$n = 2,72 + 0,084 \cdot (50 - 30)^{0,655} = 3,32.$$

**Г.2.8** Рассчитывается требуемая прочность бетона в возрасте 28 сут по формуле (7.13):

$$f_{c\ cube\ 28\ нв} = \frac{30}{1 - 1,64 \cdot 0,135} = 38,5 \text{ МПа.}$$

**Г.2.9** Рассчитывается общая продолжительность тепловой обработки по формулам (7.14) – (7.16):

$$n_{нв} = \ln\left(1 - \frac{17,3 - 9,9}{38,5 - 9,9}\right) = -0,299;$$

$$\tau_{нв\ \text{э}\ \tau_{то}} = 1 + \ln\left(1 - \frac{70 \cdot 10^{-2} \cdot 38,5 - 9,9}{17,3 - 9,9} \cdot (1 - e^{-0,299})\right) / (-0,299) = 4,04 \text{ сут};$$

$$\tau_{то} = \frac{4,04}{7,67} = 0,53 \text{ сут.}$$

**Г.2.10** Принимается продолжительность предварительного выдерживания изделий по 7.15 —  $\tau_{прв} = 1$  ч; скорость подъема температуры среды в камере по 7.16 – 7.19 —  $v_n = 20$  °С/ч; температура бетона в момент распалубки по 7.27 —  $t_p = 40$  °С; скорость снижения температуры среды в камере по 6.1 и 7.22 —  $v_{ост} = 3$  °С/ч.

**Г.2.11** Рассчитывается продолжительность отдельных периодов тепловой обработки изделий по формулам (7.17) – (7.19):

$$\tau_n = \frac{50 + 15 - 15}{20} = 2,5 \text{ ч};$$

$$\tau_{ост} = \frac{50 + 15 - 40}{3} = 8,3 \text{ ч};$$

$$\tau_{из} = 0,53 \cdot 24 - 1 - 2,5 - 8,3 = 0,9 \text{ ч.}$$

**Г.2.12** Рассчитывается температура среды в камере при изотермическом прогреве изделий по формуле (7.20):

$$t_{из} = \frac{50 \cdot 0,53 \cdot 24 - 15 \cdot (1 + 0,5 \cdot 2,5) - 0,5 \cdot 40 \cdot 8,3}{0,5 \cdot 2,5 + 0,9 + 0,5 \cdot 8,3} = 69 \text{ °С.}$$

**Г.2.13** Принимается продолжительность выдерживания изделий в формовочном цехе  $\tau_{фц} = 0,5$  сут при температуре окружающей среды 22 °С и на складе готовой продукции —  $\tau_{сгп} = 0,5$  сут при температуре окружающей среды 18 °С.

**Г.2.14** Рассчитываются значения коэффициентов  $K_{ft_{фц}}$  и  $K_{ft_{сгп}}$  по формулам (7.21) – (7.25):

$$C_{фц} = 0,7 + 9,5 \cdot 10^{-2} \cdot 22^{0,385} = 1,01;$$

$$C_{сгп} = 0,7 + 9,5 \cdot 10^{-2} \cdot 18^{0,385} = 0,99;$$

$$D_{фц} = 1 + 7 \cdot 10^{-2} \cdot (22 - 20) = 1,14;$$

$$D_{сгп} = 0,15 + 4,25 \cdot 10^{-2} \cdot 18 = 0,92;$$

$$K_{ft_{фц}} = 1 \cdot \left[ 1,14 + (1,01 - 1,14) \cdot \left( \frac{0,5 - 0,5}{27,5} \right)^{0,18} \right] = 1,14;$$

$$K_{ft_{сгп}} = 1 \cdot \left[ 0,92 + (0,99 - 0,92) \cdot \left( \frac{0,5 - 0,5}{27,5} \right)^{0,458} \right] = 0,935.$$

**Г.2.15** Рассчитывается значение  $\tau_{нв}$  по формуле (7.26):

$$\tau_{нв} = 1 + \ln\left(1 - \frac{80 \cdot 10^{-2} \cdot 38,5 - 9,9}{17,3 - 9,9} \cdot (1 - e^{-0,299})\right) / (-0,299) = 5,4 \text{ сут.}$$



**Г.2.16** Рассчитывается продолжительность выдерживания изделий на складе готовой продукции по формуле (7.27):

$$\tau_{\text{сгп}} = \frac{5,4 - 0,53 \cdot 7,61 - 0,5 \cdot 1,14}{0,935} = 0,9 \text{ сут.}$$

**Приложение Д**  
(справочное)

**Технические характеристики теплогенераторов  
ТОК-1 и ТОК-1А**

Таблица Д.1

Наименование характеристики, единицы измерения	Значение	
	ТОК-1	ТОК-1А
1 Номинальная тепловая мощность*, МДж/ч	780	780
2 Коэффициент избытка воздуха горелки	1,02–1,08	1,02–1,08
3 Коэффициент рабочего регулирования по тепловой мощности	2,75	3,2
4 Номинальное давление газа перед горелкой, кПа	80	105±25
5 Температура теплоносителя на выходе из теплогенератора, °С	180	180
6 Скорость теплоносителя на выходе из теплогенератора, м/с	25	25
7 Производительность вентилятора, м³/с (м³/ч)	1,95(7000)	1,95(7000)
8 Напряжение питания, В:		
двигатели вентилятора	380	380
системы автоматики	220	220
9 Габаритные размеры, мм:		
теплогенератора	2865×850×1200	2720×590×1200
приборной панели	240×420×402	300×460×400
щита управления	400×600×250	585×1000×600
10 Масса, кг:		
теплогенератора	675±20	510
приборной панели	6,0±0,2	11
щита управления	26,0±0,8	82
* Указана для газа с низшей теплотой сгорания — 35,7 МДж/м³.		

**Приложение Е**  
(справочное)

**Вязкость воды при различной температуре**

Таблица Е.1

Температура, °С	Вязкость, МПа·с	Температура, °С	Вязкость, МПа·с	Температура, °С	Вязкость, МПа·с	Температура, °С	Вязкость, МПа·с
20	1,0005	40	0,6560	60	0,4688	80	0,3565
21	0,9810	41	0,6439	61	0,4618	81	0,3521
22	0,9579	42	0,6321	62	0,4550	82	0,3478
23	0,9358	43	0,6207	63	0,4483	83	0,3436
24	0,9143	44	0,6097	64	0,4418	84	0,3395
25	0,8937	45	0,5988	65	0,4355	85	0,3355
26	0,8737	46	0,5883	66	0,4293	86	0,3315
27	0,8545	47	0,5782	67	0,4233	87	0,3276
28	0,8360	48	0,5683	68	0,4174	88	0,3239
29	0,8180	49	0,5588	69	0,4117	89	0,3202
30	0,8007	50	0,5494	70	0,4061	90	0,3165
31	0,7840	51	0,5404	71	0,4006	91	0,3180
32	0,7679	52	0,5315	72	0,3952	92	0,3095
33	0,7523	53	0,5229	73	0,3900	93	0,3060
34	0,7371	54	0,5146	74	0,3849	94	0,3027
35	0,7225	55	0,5064	75	0,3799	95	0,2994
36	0,7085	56	0,4985	76	0,3751	96	0,2962
37	0,6947	57	0,4907	77	0,3702	97	0,2930
38	0,6814	58	0,4832	78	0,3655	98	0,2899
39	0,6685	59	0,4759	79	0,3610	99	0,2868
						100	0,2838

**Приложение Ж**  
(справочное)

**Пример расчета режимов беспрогревного выдерживания изделий**

**Ж.1** Требуется рассчитать режим беспрогревного выдерживания железобетонной непрямоугольной многослойной плиты перекрытия размерами 1,5×6 м и высотой 220 мм при следующих исходных данных:

- класс бетона — C<sup>20</sup>/25;
- цемент ПЦ 500-Д20 ОАО «Красносельскстройматериалы», содержание C<sub>3</sub>S = 59,0 %; C<sub>2</sub>S = 17,4 %; C<sub>3</sub>A = 4,9 %; C<sub>4</sub>AF = 14,5 %; SO<sub>3</sub> = 1,8 %; K<sub>н.г</sub> = 0,258;
- щебень микашевичского ПРУП ДСЗ «Гранит» фракции 5–20 мм, ρ<sub>щ</sub> = 2700 кг/м<sup>3</sup>; W<sub>щ</sub> = 0,45 %;
- песок карьера «Крапужино», ρ<sub>п</sub> = 2650 кг/м<sup>3</sup>; W<sub>п</sub> = 0,85 %;
- состав бетона: Ц = 280 кг/м<sup>3</sup>; П = 880 кг/м<sup>3</sup>; Щ = 1170 кг/м<sup>3</sup>; ПВК = 3,7 кг/м<sup>3</sup> (1,3 % от массы цемента по сухому веществу); В = 150;
- начальная температура бетонной смеси t<sub>б см</sub> = 18 °С;
- температура окружающей среды в формовочном цехе t<sub>ф ц</sub> = 20 °С;
- удельная металлоемкость технологической оснастки G<sub>ф ср</sub> = 2210 кг/м<sup>3</sup>;
- среднее содержание арматуры в изделии G<sub>с ср</sub> = 77 кг/м<sup>3</sup>;
- относительная распалубочная прочность бетона P<sub>p</sub> = 50 % от f<sub>c cube 28 н в</sub>;
- относительная отпускная прочность бетона P<sub>отп</sub> = 80 % от f<sub>c cube 28 н в</sub>.

**Ж.2** Рассчитывается количество воды, поглощенной заполнителем, и водоцементное отношение W<sub>б</sub> по формулам (7.1) и (7.2):

$$V_n = (1170 \cdot 0,45 + 880 \cdot 0,85) \cdot 10^{-2} = 12,8 \text{ кг/м}^3;$$

$$W_b = \frac{150 - 12,8}{280} = 0,49.$$

**Ж.3** Рассчитывается ориентировочная средняя температура беспрогревного выдерживания изделий в камерах тепловой обработки или в технологической оснастке по формуле (10.1), определив для этого средний модуль поверхности, равный отношению суммы площадей охлаждаемых поверхностей к объему изделия в плотном теле

$$M_{cp} = \frac{2 \cdot (1,5 \cdot 6 + 0,22 \cdot (1,5 + 6))}{0,22 \cdot 1,5 \cdot 6 - 7 \cdot 6 \cdot \pi \cdot 0,159^2} = 15 \text{ м}^{-1};$$

$$t'_{cp} = 18 + 15 + 2 \cdot 10^{-2} \cdot (280 - 300) - 0,85 \cdot (15 - 1) = 20,7 \text{ °С}.$$

**Ж.4** Рассчитывается значение температурной функции K<sub>t</sub> по формуле (10.3):

$$K_t = \frac{1 + 0,5 \cdot [1 - \exp(-0,16 \cdot (20,7 - 20))]}{0,995^2 + \frac{4 \cdot (1 - 0,995^3)}{20,7}} = 1,063.$$

**Ж.5** Рассчитывается средняя теплоемкость бетонной смеси изделий, размещаемых в одной камере или в технологической оснастке, по формуле (10.6):

$$c_{б см ср} = \frac{0,837 \cdot (280 + 880 + 1170) + 4,2 \cdot 150}{280 + 880 + 1170 + 150} = 1,04 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{°С)}.$$

**Ж.6** Рассчитывается средняя начальная температура бетонной смеси, арматуры, форм и технологической оснастки в изделиях по формуле (10.7):

$$t_{б н ср} = \frac{1,04 \cdot 2480 \cdot 18 + (0,48 \cdot 77 + 0,48 \cdot 2210) \cdot 20}{1,04 \cdot 2480 + 0,48 \cdot 77 + 0,48 \cdot 2210} = 18,6 \text{ °С}.$$

**Ж.7** Рассчитывается значение удельного экзотермического тепловыделения цемента при твердении бетона в нормальных температурно-влажностных условиях в течение 1 сут, с учетом минералогического и вещественного состава, удельной поверхности, водоцементного отношения  $W_6$ , по формулам (10.9) – (10.17):

$$q_{н1} = \frac{832 \cdot 0,47 \cdot 4,9 + 420 \cdot 0,23 \cdot 14,5 + 504 \cdot 0,26 \cdot 59 + 250 \cdot 0,05 \cdot 17,4}{4,9 + 14,5 + 59 + 17,4} \times \\ \times (1 - 0,2) \cdot 1,034 \cdot 0,895 \cdot 0,998 \cdot 1,642 = 142 \text{ кДж/кг};$$

$$K_1 = 0,52 \cdot \left( 1 - 0,1 \cdot \frac{59 - 8}{52} \right) = 0,47;$$

$$K_2 = 0,2 \cdot (1,1 + 7,5 \cdot 10^{-3} \cdot (68 - 59)) = 0,23;$$

$$K_3 = 0,16 + 0,29 \cdot \frac{4,9}{14,5} = 0,26;$$

$$K_4 = 0,1 \cdot \left[ 0,42 \cdot \left( 1 - \frac{4,9 - 1}{40} \right) + \frac{4,9 - 1}{40} \right] = 0,05;$$

$$\varphi_{SO_3} = 0,803 + 0,132 \cdot \frac{4,9 - 2}{12} + \left[ 0,043 \cdot \frac{4,9 - 2}{12} + 0,132 \cdot \left( 1 - \frac{4,9 - 2}{12} \right) \right] \cdot 1,8 = 1,034;$$

$$\varphi_s = 1 + 0,815 \cdot \left[ 1 - \exp(-4,2 \cdot 10^{-3} \cdot (291 - 320)) \right] = 0,895;$$

$$S_{уд} = \frac{0,126 \cdot 10^6}{3100 \cdot \left( 0,384 - \frac{0,258 - 0,31 \cdot 0,2}{1 - 0,2} \right)} = 291 \text{ м}^2/\text{кг};$$

$$\varphi_{W_6} = 1 + 1,5 \cdot 10^{-2} \cdot \left[ 1 - \exp(10 \cdot (0,5 - 0,49)) \right] = 0,998.$$

**Ж.8** Рассчитывается значение удельного тепловыделения портландцемента при твердении бетона в течение 1 сут в температурных условиях, отличных от нормальных, по формуле (10.18):

$$q_{t1} = 580 \cdot \left[ 1 - \exp\left( 1,063 \cdot \ln\left( 1 - \frac{143}{580} \right) \right) \right] = 150 \text{ кДж/кг}.$$

**Ж.9** Рассчитывается приращение температуры бетона в изделиях за 1 сут по формуле (10.19):

$$\Delta t = \frac{0,95 \cdot 150 \cdot 280}{1,04 \cdot 2480 + 0,48 \cdot 77 + 0,48 \cdot 2210} = 10,9 \text{ }^\circ\text{C}.$$

**Ж.10** Рассчитывается средняя температура бетона при выдерживании в течение 1 сут по формуле (10.20):

$$t_{cp} = 18,6 + 0,5 \cdot 10,9 = 24,0 \text{ }^\circ\text{C}.$$

**Ж.11** Сопоставляется рассчитанная средняя температура выдерживания бетона с ориентировочной температурой, определенной по Ж.3. Расчет признается удовлетворительным, так как сопоставляемые температуры не отличаются более чем на  $\pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ .

**Ж.12** Рассчитывается объемная концентрация цементного теста в бетоне по формуле (7.3):

$$m_t = 1 - \frac{880}{2650} - \frac{1170}{2700} = 0,235.$$

**Ж.13** Рассчитываются значения функциональных коэффициентов  $\Phi_{f1}$  и  $\Phi_{f2}$  по формулам (7.4) и (7.5):

$$\Phi_{f1} = (-435 \cdot 0,49^3 + 705 \cdot 0,49^2 - 365 \cdot 0,49 + 57,8) \cdot 0,235 - 7,22 \cdot 0,49 + 5,15 = 0,925;$$

$$\Phi_{f2} = 2,57 - 3,9 \cdot (0,49 - 0,3)^{0,55} - 3,3 \cdot (0,49 - 0,144) \cdot (0,235 - 0,2) = 0,973.$$

**Ж.14** Рассчитываются значения прочностей бетона  $f_{c\ cube\ 1\ нв}$  и  $f_{c\ cube\ 2\ нв}$  по формулам (7.7) и (7.8) и приложению А:

$$f_{c\ cube\ 1\ нв} = 11,5 \cdot 1,642 \cdot 0,925 = 17,5 \text{ МПа};$$

$$f_{c\ cube\ 2\ нв} = 18 \cdot 1,381 \cdot 0,973 = 24,2 \text{ МПа}.$$

**Ж.15** Рассчитывается требуемая прочность бетона в возрасте 28 сут по формуле (7.13):

$$f_{c\ cube\ 28\ нв} = \frac{25}{1 - 1,64 \cdot 0,135} = 32,1 \text{ МПа}.$$

**Ж.16** Рассчитывается значение функционального коэффициента  $K_{f\ t_{\text{выд}}}$  по формулам (7.21) – (7.25).

При этом  $\tau_{\text{пр}}$  принимается равным 1.

$$D = 1 + 7 \cdot 10^{-2} \cdot (24 - 20) = 1,28;$$

$$C = 0,7 + 9,5 \cdot 10^{-2} \cdot 24^{0,385} = 1,023;$$

$$K_{f\ t_{\text{выд}}} = 1 \cdot \left[ 1,28 + (1,023 - 1,28) \cdot \left( \frac{1 - 0,5}{27,5} \right)^{0,18} \right] = 1,156.$$

**Ж.17** Рассчитывается общая продолжительность выдерживания изделий в камерах или в технологической оснастке для достижения распалубочной прочности, по формулам (7.14) – (7.16).

$$n_{\text{нв}} = \ln \left( 1 - \frac{24,2 - 17,5}{32,1 - 17,5} \right) = -0,613;$$

$$\tau_{\text{нв в э т о}} = 1 + \ln \left( 1 - \frac{50 \cdot 10^{-2} \cdot 32,1 - 17,5}{24,2 - 17,5} \cdot (1 - e^{-0,613}) \right) / (-0,613) = 0,85 \text{ сут};$$

$$\tau_{\text{выд}} = \frac{0,85}{1,156} = 0,74 \text{ сут}.$$

**Ж.18** Принимается продолжительность выдерживания изделий в формовочном цехе  $\tau_{\text{ф ц}} = 0,5$  сут при температуре окружающей среды 20 °С и на складе готовой продукции  $\tau_{\text{с г п}} = 1$  сут при температуре окружающей среды 18 °С.

**Ж.19** Рассчитываются значения коэффициентов  $K_{f\ t_{\text{ф ц}}}$  и  $K_{f\ t_{\text{с г п}}}$  по формулам (7.21) – (7.25):

$$C_{\text{ф ц}} = 0,7 + 9,5 \cdot 10^{-2} \cdot 20^{0,385} = 1,0;$$

$$C_{\text{с г п}} = 0,7 + 9,5 \cdot 10^{-2} \cdot 18^{0,385} = 0,99;$$

$$D_{\text{ф ц}} = 1 + 7 \cdot 10^{-2} \cdot (20 - 20) = 1,0;$$

$$D_{\text{с г п}} = 0,15 + 4,25 \cdot 10^{-2} \cdot 18 = 0,92;$$

$$K_{f\ t_{\text{ф ц}}} = 1 \cdot \left[ 1,0 + (1,0 - 1,0) \cdot \left( \frac{0,5 - 0,5}{27,5} \right)^{0,18} \right] = 1;$$

$$K_{f\ t_{\text{с г п}}} = 1 \cdot \left[ 0,92 + (0,99 - 0,92) \cdot \left( \frac{1,0 - 0,5}{27,5} \right)^{0,458} \right] = 0,93.$$

**Ж.20** Рассчитывается значение  $\tau_{\text{нв}}$  по формуле (7.26):

$$\tau_{\text{нв}} = 1 + \ln \left( 1 - \frac{80 \cdot 10^{-2} \cdot 32,1 - 17,5}{24,2 - 17,5} \cdot (1 - e^{-0,613}) \right) / (-0,613) = 2,345 \text{ сут}.$$

**Ж.21** Рассчитывается продолжительность выдерживания изделий на складе готовой продукции по формуле (7.27):

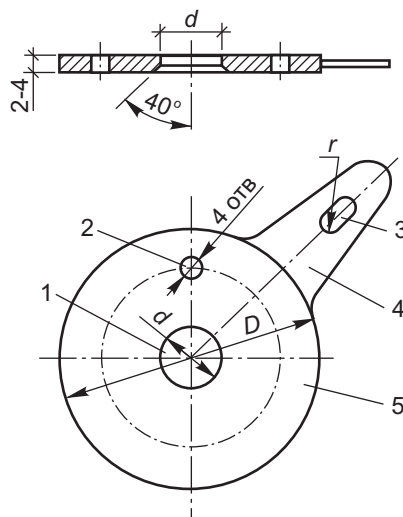
$$\tau_{\text{с г п}} = \frac{2,345 - 0,74 \cdot 1,156 - 0,5 \cdot 1}{0,927} = 1,1 \text{ сут}.$$

## Приложение К (рекомендуемое)

### Методика подбора и условия применения дроссельных диафрагм

**К.1** Дроссельные диафрагмы предназначены для обеспечения дозированной расчетной подачи пара в тепловую установку в единицу времени.

**К.2** Дроссельная диафрагма представляет собой стальную пластину толщиной 2–4 мм, в которой выполнено отверстие, рассчитанное для пропускания требуемого количества пара (рисунок К.1).



1 — проходное отверстие диафрагмы; 2 — крепежные отверстия;  
3 — клеймо; 4 — рукоятка; 5 — корпус (шайба)

**Рисунок К.1 — Дроссельная диафрагма**

**К.3** Монтаж дроссельных диафрагм следует производить одновременно на всех тепловых установках, питающихся от каждого отдельного магистрального паропровода. В противном случае произойдет перераспределение давления, и пар будет поступать в значительно меньшем количестве в установки, оснащенные дроссельными диафрагмами, что приведет к недогреву изделий.

**К.4** Дроссельные диафрагмы устанавливаются на паровых вводах в установки как при наличии автоматических систем регулирования температурного режима, так и без них. При применении автоматических систем регулирования диафрагма подбирается из условия максимального часового расхода пара. Дроссельные диафрагмы могут эффективно работать только при оснащении магистральных паропроводов регуляторами давления пара.

**К.5** Для подбора диаметра отверстий дроссельных диафрагм первоначально определяется расчетный удельный расход тепловой энергии  $Q$ , МДж/м<sup>3</sup>, в соответствии с рекомендациями 11.10.

**К.6** По расчетному удельному расходу тепловой энергии рассчитывается часовой расход пара  $G$ , кг/ч, по формуле

$$G = QV_6 \cdot 0,43 / \tau, \quad (\text{К.1})$$

где  $V_6$  — объем пропариваемого бетона в плотном теле, м<sup>3</sup>;  
 $\tau$  — продолжительность подачи пара в установку, ч.

**К.7** Выбор диаметра отверстия дроссельной диафрагмы, обеспечивающего дозированный расчетный расход пара в час, осуществляется по таблице К.1 пропускной способности дроссельных диафрагм для заданного стабилизированного давления пара.

Таблица К.1 — Пропускная способность дроссельных диафрагм

Давление пара, МПа		Максимальный перепад давления в отверстии, МПа	Максимальное количество пара, кг/ч, проходящее через отверстие диаметром, мм																
до отверстия	за отверстием		2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
0,108	0,1	0,008	0,7	1,5	2,6	4,1	5,9	11	16	24	32	42	53	66	80	95	112	129	148
0,11	0,1	0,01	0,8	1,7	2,9	4,6	6,5	12	18	26	36	47	59	73	88	105	123	143	164
0,12	0,1	0,02	1,0	2,4	4,1	6,5	9,4	17	26	40	50	66	84	103	125	150	176	203	233
0,13	0,1	0,03	1,3	2,9	5,1	8,0	11,5	20	32	46	62	82	104	128	155	185	217	251	289
0,14	0,1	0,04	1,5	3,4	6,1	9,5	13,6	24	38	55	74	97	123	151	183	214	256	297	341
0,15	0,1	0,05	1,7	3,7	6,6	10,4	14,9	26	41	60	80	106	134	166	200	239	280	324	372
0,16	0,1	0,06	1,8	4,2	7,1	11,4	16,9	29	45	65	88	110	147	181	220	262	307	355	408
0,17	0,1	0,07	2,0	4,5	8,0	12,5	17,9	32	50	72	97	127	162	199	240	287	337	390	448
0,18	0,104	0,076	2,1	4,7	8,4	13,2	19	34	53	76	102	135	171	211	255	304	357	414	476
0,19	0,110	0,080	2,2	5,0	8,9	13,9	20	36	56	80	108	142	180	223	268	320	376	436	500
0,20	0,115	0,085	2,4	5,3	9,4	14,7	21	38	59	85	115	151	191	236	296	340	399	462	532
0,21	0,121	0,089	2,5	5,5	9,8	15,3	22	39	61	88	119	157	198	245	297	353	414	480	550
0,22	0,127	0,093	2,6	5,7	10,2	16,0	23	41	64	92	125	164	208	257	310	369	433	508	576
0,23	0,133	0,097	2,7	6,0	10,7	16,7	24	43	67	96	130	171	217	267	328	384	452	522	602
0,24	0,139	0,101	2,7	6,2	11,1	17,2	25	44	69	99	134	177	224	276	334	398	466	540	621
0,25	0,145	0,105	2,9	6,5	11,5	18,0	26	46	72	104	139	185	234	289	349	416	487	565	650
0,26	0,150	0,110	3,0	6,8	12,1	18,9	27	48	76	109	147	193	245	303	365	435	511	592	682
0,27	0,156	0,114	3,1	7,0	12,5	19,6	28	50	78	113	152	200	254	314	379	451	536	614	704
0,28	0,162	0,118	3,2	7,2	12,9	20,1	29	52	81	116	157	203	262	323	389	464	545	632	726
0,29	0,168	0,122	3,3	7,4	13,1	20,6	30	53	82	118	160	208	267	329	398	474	556	645	740



Окончание таблицы К.1

Давление пара, МПа		Максимальный перепад давления в отверстии, МПа	Максимальное количество пара, кг/ч, проходящее через отверстие диаметром, мм																
до отверстия	за отверстием		2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
0,30	0,173	0,127	3,4	7,7	13,6	21,3	31	53	85	123	166	216	277	341	413	492	577	668	768
0,35	0,202	0,148	4,0	9,0	16,0	25,0	36	64	100	144	194	256	324	400	484	576	676	784	900
0,40	0,231	0,169	4,6	10,2	18,2	28,5	41	79	114	162	220	290	368	455	550	652	768	890	1020
0,45	0,260	0,190	5,1	11,5	20,5	32,0	46	82	128	184	248	328	415	512	620	737	865	1000	1150
0,5	0,269	0,231	5,7	12,9	22,9	35,7	52	92	143	206	278	366	466	572	693	824	966	1120	1285
0,6	0,347	0,253	6,8	15,2	26,9	42,2	61	108	169	243	326	432	548	676	820	975	1140	1320	1520
0,7	0,405	0,295	7,8	17,7	31,4	49,0	71	126	196	282	361	500	686	734	950	1127	1320	1535	1762
0,8	0,482	0,318	9,0	20,2	35,8	56,0	81	144	224	328	434	572	726	896	1080	1290	1510	1754	2020

## Приложение Л (справочное)

### Примеры расчета теплового баланса и эффективности применения энергосберегающих методов тепловой обработки изделий

**Л.1** Требуется рассчитать температуру разогрева бетона в блоке нетеплоизолированных камер при применении термосных режимов тепловой обработки.

**Л.1.1** Исходные данные: тепловая обработка железобетонных изделий (при оборачиваемости камер в сутки  $n = 1$ ), приготовленных на портландцементе 1 группы по эффективности пропаривания класса бетона  $C^{16}/_{20}$ , с распалубочной прочностью  $P_p = 50 \%$ , осуществляется в блоке, состоящем из трех камер ямного типа. Внутренние размеры одной камеры: длина — 7 м, ширина — 2,5 м, высота — 3,5 м. Заглубление днища камеры в грунт относительно пола цеха — 0,5 м. Толщина бетонных стенок, днища и перегородок камеры — 0,3 м, материал — тяжелый бетон.

Объем бетона прогреваемых изделий в каждой камере  $V_6 = 6,1 \text{ м}^3$ ; масса находящегося в одной камере металла форм  $m_{\text{ф}} = 18,3 \text{ т}$ ; масса металлических элементов крышки одной камеры  $m_{\text{кр}} = 3,13 \text{ т}$ ; масса металла стоек пакетировщиков в одной камере  $m_{\text{п}} = 1,86 \text{ т}$ .

**Л.1.2** Рассчитывают показатель длительности остывания блока камер  $A$  в следующей последовательности.

Площадь поверхности наружных стен блока камер выше нулевой отметки пола

$$F_1 = 2 \cdot [(7 + 2 \cdot 0,3) + 3 \cdot 2,5 + 4 \cdot 0,3] \cdot (3,5 - 0,5) = 98 \text{ м}^2;$$

площадь поверхности наружных стен блока камеры ниже нулевой отметки пола

$$F_2 = 2 \cdot [(7 + 2 \cdot 0,3) + 3 \cdot 2,5 + 4 \cdot 0,3] \cdot (0,5 + 0,3) = 26 \text{ м}^2;$$

площадь поверхности днища блока камер

$$F_3 = (7 + 2 \cdot 0,3) \cdot (3 \cdot 2,5 + 4 \cdot 0,3) = 66 \text{ м}^2;$$

площадь поверхности крышек принимаем равной площади поверхности днища:  $F_4 = F_3 = 66 \text{ м}^2$ .

Объем бетона ограждающих конструкций, включая перегородки,

$$V_{\text{ок}} = 7 \cdot 3,5 \cdot 4 \cdot 0,3 + (2,5 \cdot 3 + 4 \cdot 0,3) \cdot 3,5 \cdot 2 \cdot 0,3 + (7 + 2 \cdot 0,3) \cdot (2,5 \cdot 3 + 4 \cdot 0,3) \cdot 0,3 = 67,5 \approx 68 \text{ м}^3.$$

Общий объем металла в блоке камер по формуле (11.7):

$$V_{\text{м}} = (18 \cdot 300 \cdot 3 + 3130 \cdot 3 + 1860 \cdot 3) / 7800 = 8,96 \approx 9 \text{ м}^3.$$

Значения удельной теплоемкости принимают, Дж/(кг·°С) (приложение А СНБ 2.04.01):

— для тяжелого бетона изделий и ограждений —  $c_6 = c_{\text{ок}} = 0,84$ ;

— для металла форм, стоек и крышек —  $c_{\text{м}} = 0,482$ .

Значения коэффициентов теплопередачи  $K_1, \dots, K_4$  принимают в соответствии с данными таблицы 11.10.

Показатель длительности остывания  $A$  рассчитывают по формуле (11.6):

$$A = \frac{0,84 \cdot 2500 \cdot 6,1 \cdot 3 + 0,482 \cdot 7850 \cdot 9 + 0,84 \cdot 2400 \cdot 68}{3,6 \cdot (5,8 \cdot 98 + 2,3 \cdot 26 + 2,3 \cdot 66 + 5,8 \cdot 66)} = 50 \text{ ч.}$$

**Л.1.3** Согласно данным таблицы 11.9 принимают температуру разогрева бетона  $t = 45 \text{ °С}$ .

**Л.2** Требуется рассчитать температуру разогрева бетона в блоке теплоизолированных камер при применении термосных режимов тепловой обработки.

**Л.2.1** Исходные данные: ограждающие конструкции камер толщиной 0,3 м из тяжелого бетона (см. Л.1) изолированы жесткой минераловатной плитой толщиной 60 мм, покрытой фольгоизолом с воздушной прослойкой шириной 35 мм и стальным листом толщиной 3 мм. Днище камеры состоит из керамзитобетонного пустотного настила толщиной 220 мм, песчаной подготовки толщиной 80 мм и слоя керамзитового гравия толщиной 200 мм.

Другие необходимые для расчета исходные данные — см. Л.1.1.

**Л.2.2** Рассчитывают показатель длительности остывания блока камер А в следующей последовательности.

Поскольку тепловая изоляция выполнена с внутренней стороны, расчетные параметры площади и объем элементов ограждающих конструкций остаются такими же, как в примере Л.1, т. е.:

$$F_1 = 98 \text{ м}^2; F_2 = 26 \text{ м}^2; F_3 = 66 \text{ м}^2; F_4 = 66 \text{ м}^2; V_{\text{ок}} = 68 \text{ м}^3.$$

Объем материала теплоизоляции

$$V_{\text{из}} = (98 + 26) \cdot 0,06 = 7,44 \text{ м}^3.$$

По СНБ 2.04.01 удельная теплоемкость минераловатных плит плотностью 200 кг/м<sup>3</sup> составляет  $c = 0,84 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{°C)}$ .

Объем металла на обшивку стен блока камер

$$V_{\text{мет}} = (98 + 26) \cdot 0,003 = 0,37 \text{ м}^3.$$

Общий объем металла блока камер

$$V_{\text{м}} = 9 + 0,37 = 9,37 \text{ м}^3.$$

Коэффициенты теплопроводности тяжелого бетона и минераловатной плиты принимают по СНБ 2.04.01:  $\lambda_{\text{б}} = 1,86 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$  и  $\lambda_{\text{из}} = 0,076 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ .

Термическое сопротивление замкнутой воздушной прослойки шириной 0,035 м принимают по приложению Б СНБ 2.04.01:  $R_{\text{пр}} = 0,14 \cdot 2 = 0,28 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ .

Термическое сопротивление слоев ограждающей конструкции рассчитывают по 11.5.1 и 11.5.2.

$$R_{\text{к}} = 0,3/1,86 + 0,06/0,076 + 0,28 = 1,23 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

По таблице 11.11 определяют значения коэффициентов теплопередачи  $K_1 = 0,675 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$  и  $K_2 = 0,6 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$ , а по таблице 11.10 — значение  $K_3 = 1,3 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$  — для дна.

Рассчитывают показатель длительности остывания блока камер по формуле (11.6):

$$A = \frac{0,84 \cdot 2500 \cdot 6,1 \cdot 3 + 0,482 \cdot 7850 \cdot 9,37 + 0,84 \cdot 2400 \cdot 68 + 0,84 \cdot 200 \cdot 7,44}{3,6 \cdot (0,675 \cdot 98 + 0,6 \cdot 26 + 1,3 \cdot 66 + 5,8 \cdot 66)} = 107 \text{ ч}.$$

**Л.2.3** Согласно данным таблицы 11.9 принимают температуру разогрева бетона  $t = 40 \text{ °C}$ .

**Л.3** Требуется рассчитать тепловой баланс в блоке нетеплоизолированных камер при применении термосных режимов тепловой обработки изделий.

**Л.3.1** Исходные данные аналогичны данным Л.1. Начальная температура бетона и форм  $t_{\text{н}} = 18 \text{ °C}$ . Температура разогрева бетона и форм  $t = 45 \text{ °C}$  (принята по результатам расчета Л.1).

**Л.3.2** По таблице 11.1 определяют (по интерполяции) полезный расход тепловой энергии на разогрев бетона при начальной температуре  $15 \text{ °C}$ :

$$Q_{\text{п1}} = \frac{52 + 71}{2} = 61,5 \text{ МДж/м}^3.$$

**Л.3.3** Рассчитывают удельную массу металла в камере, приходящуюся на 1 м<sup>3</sup> бетона:

$$m_{\text{мy}} = \frac{m_{\text{ф}} + m_{\text{кр}} + m_{\text{п}}}{V_6} = \frac{18,3 + 3,13 + 1,86}{6,1} = 3,82 \text{ т/м}^3.$$

**Л.3.4** По таблице 11.3 определяют (по интерполяции) расход полезной тепловой энергии на разогрев металла при начальной температуре бетона  $15 \text{ °C}$ :

$$Q_{\text{п2}} = \left\{ [42 + (54 - 42) \cdot 0,8] + [59 + (80 - 59) \cdot 0,8] \right\} / 2 = 63,7 \text{ МДж/м}^3.$$

**Л.3.5** Рассчитывают коэффициент  $K_{t_{\text{н}}}$ , учитывающий влияние начальной температуры бетона, по формуле (11.2):

$$K_{t_{\text{н}}} = \frac{45 - 18}{45 - 15} = 0,9.$$

**Л.3.6** Рассчитывают полезный расход тепловой энергии на разогрев бетона и металла в камере:

$$Q_n = 0,9 \cdot (61,5 + 63,7) = 112,7 \text{ МДж/м}^3.$$

**Л.3.7** Определяют по таблице 11.5 (по интерполяции) удельные потери тепловой энергии на разогрев и компенсацию потерь при остывании ограждающих конструкций из тяжелого бетона при длительности перерывов 5 ч: наружных стен блока камер выше нулевой отметки пола —  $q_1$ ; наружных стен блока камер ниже нулевой отметки пола —  $q_2$ ; днища —  $q_3$ ; крышки —  $q_4$ ; перегородок —  $q_5$ :

$$q_1 = (16,7 + 17,6) / 2 = 17,2 \text{ МДж/м}^2;$$

$$q_2 = (10,5 + 11,7) / 2 = 11,1 \text{ МДж/м}^2;$$

$$q_3 = (10,5 + 11,7) / 2 = 11,1 \text{ МДж/м}^2;$$

$$q_4 = (5,9 + 6,3) / 2 = 6,1 \text{ МДж/м}^2;$$

$$q_5 = (7,1 + 9,6) / 2 = 8,4 \text{ МДж/м}^2.$$

**Л.3.8** Площадь поверхности ограждающих конструкций камер  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$  и  $F_4$  принимают из Л.1. Площадь поверхности перегородок вычисляют по геометрическим параметрам блока камер:

$$F_5 = 2,5 \cdot 3,5 \cdot 2 = 17,5 \text{ м}^2.$$

**Л.3.9** По таблице 11.4 определяют (по интерполяции) значение коэффициента  $K_k$ , учитывающего потери тепла с конденсатом:

$$K_k = (1,030 + 1,040) / 2 = 1,035.$$

**Л.3.10** Непроизводительные удельные потери тепловой энергии вычисляют по формуле (11.3):

$$Q_{np} = 0,9 \cdot 1,035 \cdot (17,2 \cdot 98 + 11,1 \cdot 26 + 11,1 \cdot 66 + 6,1 \cdot 66 + 8,4 \cdot 17,5) / 6,1 / 3 = 165,8 \text{ МДж/м}^3.$$

**Л.3.11** Рассчитывают коэффициент полезного использования тепловой энергии по формуле (11.1):

$$\eta = 112,7 / (112,7 + 165,8) = 0,4.$$

**Л.4** Требуется рассчитать тепловой баланс в блоке теплоизолированных камер при применении термосных режимов тепловой обработки изделий.

**Л.4.1** Исходные данные аналогичны данным Л.2. Начальная температура бетона и форм  $t_n = 18$  °С. Температура разогрева бетона и форм  $t = 40$  °С (принята по результатам расчета Л.2).

**Л.4.2** По таблице 11.1 определяют расход тепловой энергии на разогрев бетона при начальной температуре 15 °С:  $Q_{n1} = 52$  МДж/м<sup>3</sup>.

**Л.4.3** Удельную массу металла в камере, приходящуюся на 1 м<sup>3</sup> бетона, принимают из Л.3:  $m_{my} = 3,82$  т/м<sup>3</sup>.

**Л.4.4** По таблице 11.5 определяют (по линейной интерполяции) расход полезной тепловой энергии на разогрев металла при начальной температуре бетона 15 °С:

$$Q_{n2} = 42 + (54 - 42) \cdot 0,8 = 51,6 \text{ МДж/м}^3.$$

**Л.4.5** Рассчитывают коэффициент  $K_{tn}$ , учитывающий влияние начальной температуры бетона по формуле (11.2):

$$K_{tn} = \frac{40 - 18}{40 - 15} = 0,88.$$

**Л.4.6** Рассчитывают полезный расход тепловой энергии на разогрев бетона и металла в камере:

$$Q_n = 0,88 \cdot (52 + 51,6) = 103,6 \text{ МДж/м}^3.$$

**Л.4.7** Термическое сопротивление утепленных наружных стен и перегородок камер принимают из Л.2:

$$R_{k1} = R_{k2} = 1,24 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}.$$

**Л.4.8** Определяют поправочный коэффициент  $K$  к компонентам удельных потерь тепловой энергии на разогрев наружных стен и перегородок по таблице 11.7 (по интерполяции):

$$K = 0,15 - \frac{0,15 - 0,13}{1,4 - 1,2} \cdot (1,24 - 1,20) = 0,146.$$

**Л.4.9** Рассчитывают удельные потери тепловой энергии на разогрев и компенсацию потерь при остывании ограждающих конструкций камер (по таблицам 11.5 и 11.6) с учетом коэффициента  $K = 0,14$ :

- для наружных стен выше нулевой отметки пола —  $q_1 = 16,7 \cdot 0,146 = 2,4$  МДж/м<sup>2</sup>;
- для наружных стен ниже нулевой отметки пола —  $q_2 = 10,5 \cdot 0,146 = 1,5$  МДж/м<sup>2</sup>;
- для днища из керамзитобетонного пустотного настила (по таблице 11.6) —  $q_3 = 9,2$  МДж/м<sup>2</sup>;
- для крышек —  $q_4 = 5,9$  МДж/м<sup>2</sup>;
- для перегородок —  $q_6 = 7,1 \cdot 0,146 = 1,0$  МДж/м<sup>2</sup>.

**Л.4.10** По таблице 11.4 определяют значение коэффициента  $K_k$ , учитывающего потери тепла с конденсатом:  $K_k = 1,030$ .

**Л.4.11** Рассчитывают суммарные непроизводительные потери тепловой энергии по формуле (11.3):

$$Q_{нп} = 0,88 \cdot 1,030 \cdot (2,4 \cdot 98 + 1,5 \cdot 26 + 9,2 \cdot 66 + 5,9 \cdot 66 + 1,0 \cdot 49) / 6,1/3 = 65,4 \text{ МДж/м}^3.$$

**Л.4.12** Рассчитывают коэффициент полезного использования тепловой энергии по формуле (11.1):

$$\eta = 103,6 / (103,6 + 65,4) = 0,6.$$

### Библиография

- [1] СН 513-79 Временные нормы для расчета расхода тепловой энергии при тепловлажностной обработке сборных бетонных и железобетонных изделий в заводских условиях.
- [2] Ахвердов И.Н. Высокопрочный бетон. — М., Госстройиздат, 1961.