ВНИИжелезобетон
Госстроя СССР

Пособие

по тепловой обработке сборных железобетонных конструкций и изделий

(к СНиП 3.09.01–85)



Москва 1989

gost.e-ecolog.ru

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 3
1. Общие положения 4
2. Цементы для бетонов, подвергаемых тепловой обработке . . 6
3. Тепловая обработка изделий из тяжелых бетонов 8
Пропаривание изделий в камерах периодического действия 8
Особенности тепловой обработки в камерах непрерывного действия 16
Особенности тепловой обработки изделий в термоформах и кассетных установках 17
Особенности тепловой обработки бетона с повышенными требованиями по морозостойкости 21
Особенности тепловой обработки преднапряженных конструкций 22
4. Тепловая обработка изделий из легких бетонов 24
5. Контроль и регулирование режимов тепловой обработки изделий 31
6. Особенности контроля прочности бетона при тепловой обработке 33
Приложение 1. Соответствие заводов-изготовителей группам цементов по эффективности при пропаривании . . 35
Приложение 2. Расчет показателя длительности остывания A блока камер с изделиями 36
Приложение 3. Расчет расхода тепловой энергии при тепловой обработке изделий с применением термосных режимов 40
Приложение 4. Подбор дроссельных диафрагм 46

Нормативно-производственное издание

ВНИИЖЕЛЕЗОБЕТОН

ПОСОБИЕ ПО ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКЕ СБОРНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ИЗДЕЛИЙ (К СНиП 3.09.01—85)

Редакция инструктивно-нормативной литературы
Зав. редакцией Л. Г. Бальян
Редактор И. А. Баринова
Мл. редактор И. Я. Драчевская
Технический редактор М. В. Павлова
Корректор И. В. Медведь
Н/К

Сдано в набор 04.05.88. Подписано в печать 25.08.88 Формат 84×108¹/₃₂. Бумага т.и. № 2. Гарнитура «Литературная». Печать высокая. Усл. печ. л. 2,52. Усл. кр.-отт. 2,83. Уч.-изд. л. 3,39. Тираж 15 000 экз. Изд. № XII-2855. Заказ 278. Цена 15 коп.

Стройиздат, 101442, Москва, Каляевская, 23а

ПО «Полиграфист». 509281, Калуга, пл. Ленина, 5.

Всесоюзный научно-исследовательский институт
заводской технологии железобетонных
конструкций и изделий (ВНИИжелезобетон)
Госстроя СССР

ПОСОБИЕ

по тепловой обработке сборных железобетонных конструкций и изделий (к СНиП 3.09.01-85)

Утверждено
приказом института
ВНИИжелезобетон
от 8 июля 1986 г. № 54

Москва Стройиздат 1989

УДК 666.982.035.5

Рекомендовано к изданию научно-техническим советом ВНИИжелезобетона Госстроя СССР.

Пособие по тепловой обработке сборных железобетонных конструкций и изделий (к СНиП 3.09.01—85) / ВНИИжелезобетон. — М.: Стройиздат, 1989.— с.

Содержит основные сведения по назначению режимов тепловой обработки сборных конструкций из тяжелого и легкого бетонов в различных тепловых установках, данные по контролю процесса тепловой обработки и качества бетона. Приведена методика расхода теплоэнергии при рекомендуемых режимах тепловой обработки бетона.

Для инженерно-технических работников заводов железобетонных изделий, проектных и строительных организаций.

Табл. 32, ил. 1.

П $\frac{3203000000-}{047(01)-89}$ Инструкт.-нормат. 1 вып. — 173—88.

© Стройиздат, 1989

ПРЕДИСЛОВИЕ

Пособие разработано к СНиП 3.09.01—85 «Производство сборных железобетонных конструкций и изделий».

Пособие содержит указания по тепловой обработке изделий из тяжелых и легких бетонов, направленные на снижение энергоемкости этого технологического процесса при производстве сборных железобетонных изделий и конструкций.

Даны классификация цементов по их реакции на тепловое воздействие и рекомендации по режимам тепловой обработки изделий из тяжелого и легкого бетонов в различных тепловых установках (в камерах пропаривания, кассетах, термоформах).

Приведена методика расчета и назначения энергосберегающих термосных режимов тепловой обработки бетона. Дан метод расчета расхода тепловой энергии при этих режимах.

Рассмотрены особенности тепловой обработки изделий из бетонов с химическими добавками, а также с повышенными требованиями по морозостойкости и предварительно напряженных конструкций. Пособие содержит сведения по контролю процесса тепловой обработки и качеству бетона.

Пособие разработано ВНИИжелезобетон Госстроя СССР (кандидаты техн. наук Р. В. Вегенер, Г. А. Объещенко, С. Е. Ленский, Э. А. Соколова, С. М. Трембицкий, В. Г. Довжик, инженеры В. П. Иванов, Б. Д. Дребский, Б. А. Верскайн, М. Г. Парфилова, О. Ю. Артемьев); НИИЖБ Госстроя СССР (доктора техн. наук Б. А. Крылов, Л. А. Малинина, С. А. Миронов, Н. А. Маркаров, кандидаты техн. наук А. И. Ли, Е. Н. Малинский, Н. Н. Куприянов, М. И. Бруссер, А. В. Лагойда, инж. Н. А. Королева); НИИСФ Госстроя СССР (д-р техн. наук С. В. Александровский, канд. техн. наук В. И. Лукьянов); ВНИПИТеплопроект Минмонтажспецстроя СССР (д-р техн. наук И. Б. Заседателев, канд. техн. наук С. А. Шифрин); ВТУ Металлургического комбината — г. Темиртау (инж. Д. С. Грейль); ЛИИЖТ МПС СССР (д-р техн. наук П. Г. Комохов, канд. техн. наук Т. М. Петрова); ЛПИ им. Калинина Минвуза РСФСР (д-р техн. наук А. А. Парийский, канд. техн. наук Л. И. Чумадова); ВЗИСИ Минвуза РСФСР (д-р техн. наук А. Н. Счастный, инж. М. М. Палеес); КТБ Мосоргстройматериалы Главмоспромстройматериалов (канд. техн. наук Л. Н. Беккер).

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Настоящее Пособие распространяется на заводы, полигоны и отдельные цеха в составе комбинатов стройиндустрии, изготовляющих строительные конструкции и изделия из бетонов на плотных и пористых заполнителях и вяжущем на основе портландцементного клинкера.

Примечание. Пособие не распространяется на тепловую обработку изделий и конструкций из специальных бетонов (ячеистых, автоклавного твердения, жаростойких, на напрягающих цементах и др.), а также бетонов, изготовленных с применением специальных методов уплотнения бетонной смеси (прессование, вибропрессование, центрифугирование и т. д.) или предназначенных для эксплуатации в химически агрессивных водных и газовых средах.

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

1.3. Под распалубочной прочностью бетона 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 устанавливается технологическими правилами производства для каждого вида изделия предприятием-изготовителем. При этом должны быть обеспечены соответствующие температурно-влажностные условия для достижения при последующем складировании и хранении отпускной прочности к моменту отгрузки изделий с предприятия-изготовителя и проектной прочности в установленные сроки.

1.4. Отпускная и передаточная прочности бетона должны соответствовать значениям, указанным в проектной документации, ГОСТах или Технических условиях на данное изделие с учетом требований ГОСТ 13015.0—83* (изменение № 1).

1.5. Проектная прочность (класс или марка) бетона указывается в проектной документации, ГОСТах или Технических условиях на данное изделие, и ее достижение должно быть гарантировано предприятием-изготовителем в 28-суточном возрасте или в любой другой срок, согласованный с проектной организацией-разработчиком изделия и заказчиком-потребителем.

1.6. Проектирование составов бетонных смесей для изделий, подвергаемых тепловой обработке, должно производиться любыми известными способами, обеспечивающими достижение бетоном на используемых материалах отпускной и проектной прочности в установленные сроки при наименьшем расходе цемента. При этом не допускается увеличение расхода цемента для достижения требуемой прочности в более короткие сроки по сравнению с необходимым расходом для получения заданного класса (марки) по прочности бетона, установленным при подборах состава, за исключением случаев, предусмотренных СНиП 5.01.23—83, а также с целью экономии топливно-энергетических ресурсов.

1.7. Тепловая обработка сборных железобетонных конструк-

ций и изделий может осуществляться в камерах периодического или непрерывного действия, в специальных термоформах, термопакетах и кассетных формах, а также под переносными колпаками. При этом в качестве теплоносителя (источника тепловой энергии) могут использоваться водяной пар, паровоздушная смесь, горячий воздух, электрический ток, солнечная энергия, продукты сгорания природного газа.

1.8. Способы, установки и общую продолжительность тепловой обработки следует выбирать на основе 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).

1.9. Режим тепловой обработки должен подбираться в каждом конкретном случае экспериментально и назначаться лабораторией с учетом фактического ритма работы тепловых установок и указаний разд. 3 и 4 настоящего Пособия.

1.10. В целях снижения расхода тепловой (электрической) энергии следует максимально использовать возможности:

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

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

учета набора 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.

1.11. Сокращение при необходимости длительности 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 цемента и тепловой (электрической) энергии.

1.12. С целью обеспечения расхода тепловой энергии при тепловой обработке в соответствии с Временными нормами для расчета расхода тепловой энергии при тепловлажностной обработке сборных бетонных и железобетонных изделий в заводских условиях (СН 513-79). М.: Стройиздат, 1980) необходимо наладить оперативный учет расхода энергии, увеличить коэффициент заполнения тепловых установок и осуществить мероприятия по максимальному снижению непроизводительных энергозатрат (теплопотерь в ок-

ружающую среду, в том числе при транспортировании теплоносителя, на нагрев форм, тепловых агрегатов и др.).

1.13. При строительстве новых и реконструкции действующих установок для тепловой обработки бетона следует предусматривать специальные меры по экономному расходованию тепловой энергии и устранению ее потерь за счет:

теплоизоляции ограждений камер, элементов термоформ и кассетных установок;

изготовления ограждающих конструкций из легкого бетона;

надежного уплотнения торцевых проемов в туннельных и щелевых камерах и т. п.

Примечание. Технические решения по повышению эффективности пропарочных камер приведены в Рекомендациях по снижению расхода тепловой энергии в камерах для тепловлажностной обработки железобетонных изделий (М.: Стройиздат, 1984) и в типовом проекте 409-28-40 «Камеры периодического действия для тепловой обработки изделий из тяжелого и легкого бетона».

1.14. При проектировании новых и реконструируемых технологических линий и заводов сборного железобетона необходимо предусматривать дополнительные площади в цехе выдерживания изделий (в формах или без них), камеры «дозревания», утепленные склады для зимних условий, особенно в районах Крайнего Севера, Сибири и Дальнего Востока, технические решения по утилизации отработанного тепла из камер и др. Это позволит при некотором увеличении первоначальных капитальных вложений сократить удельные энергозатраты на тепловую обработку изделий, повысить оборачиваемость формовочной оснастки и тепловых агрегатов и тем самым снизить эксплуатационные расходы.

2. ЦЕМЕНТЫ ДЛЯ БЕТОНОВ, ПОДВЕРГАЕМЫХ ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКЕ

2.1. Для производства бетонных и железобетонных изделий, подвергаемых тепловой обработке, могут быть использованы портландцементы, быстротвердеющие цементы, шлакопортландцементы, соответствующие требованиям ГОСТ 10178—85. Сульфатостойкие и пуццолановые портландцементы следует применять только в случаях, указанных в ГОСТ 22266—76*.

2.2. Одним из основных показателей качества цемента для бетонов, подвергаемых тепловой обработке, является активность его при пропаривании, определяемая по ГОСТ 310.4—81*.

Активность цемента при пропаривании, характеризующая интенсивность твердения бетона на этом цементе в условиях теплового воздействия, является не нормируемой, а информационной характеристикой, численное значение которой для цементов конкретного завода-изготовителя достаточно стабильно. Она должна учитываться при назначении составов бетона и режимов тепловой обработки.

2.3. Учет активности цемента при пропаривании позволяет предприятиям строительной индустрии оптимизировать составы бетона по расходу цемента и режимы тепловой обработки — по продолжительности и удельному расходу энергоресурсов.

2.4. В целях учета активности цемента при пропаривании следует определять значение коэффициента его эффективности при тепловой обработке, $K_п$:

$$K_п = R_п / R_ц^{28},$$

где $R_п$ — активность цемента при пропаривании по ГОСТ 310.4—81*; $R_ц^{28}$ — активность цемента при нормальном твердении в возрасте 28 сут по ГОСТ 310.4—81*.

При экспрессном определении коэффициента эффективности за величину $R_ц^{28}$ следует принимать гарантированную марку цемента, указанную в паспорте.

2.5. В зависимости от значения $K_п$ цементы всех заводов подразделяются на три группы согласно табл. 1.

В прил. 1 приведены группы эффективности для цементов различных заводов-изготовителей.

Таблица 1

Группа цемента	Цемент	$K_п$
I	Высокоэффективный	0,68 и более
II	Среднеэффективный	0,57—0,67
III	Низкоэффективный	0,56 и менее

2.6. Цементы I группы характеризуются высоким темпом набора прочности и обеспечивают, как правило, получение 70%-ной прочности в зависимости от класса (марки) бетона при режимах тепловой обработки с общей продолжительностью менее 15 ч.

2.7. Цементы II группы характеризуются средним темпом набора прочности и обеспечивают получение 70%-ной прочности бетона при более длительных режимах тепловой обработки.

2.8. Цементы III группы характеризуются низким темпом набора прочности. Применение этих цементов для производства сборных изделий из бетонов класса В15 (М 200) и В22,5 (М 300), подвергаемых тепловой обработке, требует увеличения расхода цемента.

2.9. Распределение цементов по группам эффективности при тепловой обработке и их характеристики, изложенные в п.п. 2.6—2.8, распространяются как на портландцементы, так и на шлакопортландцементы, но при применении последних получение 70% прочности достигается при температурах 90—95° С и длительности прогрева на 30% большей, чем при применении равномарочных портландцементов.

2.10. При использовании шлакопортландцемента в условиях тепловлажностной обработки следует иметь в виду, что для обеспечения последующего роста прочности необходима среда с высокой относительной влажностью. В воздушно-сухих условиях рост прочности бетонов на шлакопортландцементах значительно замедляется.

2.11. Применение пуццолановых портландцементов вследствие повышенной водопотребности бетонной смеси приводит к увеличению расхода цемента (при получении равнопрочных бетонов), по-

вышению усадочных деформаций и понижению морозостойкости бетона. Прочность бетонов на таких цементах при последующем твердении в воздушно-сухих условиях практически не увеличивается.

Поэтому пуццолановые портландцементы и их разновидности при тепловлажностной обработке могут применяться только для изделий спецназначения с повышенными требованиями по водостойкости и солестойкости.

2.12. Применение пластифицированных цементов позволяет уменьшить водопотребность бетонной смеси. Однако вследствие замедления сроков схватывания и начального твердения, а также дополнительного воздухововлечения тепловлажностную обработку бетонов на таких цементах следует осуществлять по режимам с более длительным предварительным выдерживанием (не менее 4—6 ч), с замедленной скоростью подъема температуры либо производить тепловую обработку под пригрузом или в напорных пропарочных камерах.

2.13. Применение глиноземистого цемента при тепловлажностной обработке изделий не допускается.

3. ТЕПЛОВАЯ ОБРАБОТКА ИЗДЕЛИЙ ИЗ ТЯЖЕЛЫХ БЕТОНОВ

Пропаривание изделий в камерах периодического действия

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

3.2. В качестве теплоносителей в этих камерах могут применяться насыщенный водяной пар, паровоздушная смесь, аэрированная горячая вода, продукты сгорания природного газа.

Во избежание значительных влагопотерь при тепловой обработке изделий предпочтительным является использование в качестве теплоносителя насыщенного водяного пара. При использовании других теплоносителей и источников тепловой энергии (продуктов сгорания природного газа, электрообогрева, индукционного нагрева и т. п.), имеющих более высокую температуру, чем бетон изделий, может происходить интенсивное испарение влаги из бетона, приводящее к нарушению формирующейся структуры. Интенсивность испарения влаги зависит от режима тепловой обработки, водосодержания бетона, относительной влажности среды и скорости ее циркуляции. При значительных влагопотерях помимо нарушения структуры в процессе тепловой обработки наблюдается замедление процессов гидратации цемента в последующее время и как следствие недобор проектной прочности бетона. В этом случае обязательным является обеспечение влажности среды не менее 90—100% или защита открытых поверхностей изделий влагонепроницаемыми материалами или пленкообразующими составами. В период подъема температуры допускается снижение относительной влажности среды до 40—60%.

3.3. Структура режима тепловой обработки характеризуется длительностью предварительного выдерживания, температурой и скоростью разогрева, продолжительностью и способом (термосным или изотермическим) выдерживания разогретых изделий и выражается как сумма времени отдельных ее периодов в часах, например, 2+3+6+2=13, где 2 — время предварительного выдерживания; 3 — время разогрева до заданной температуры; 6 — время выдерживания в термосных или изотермических условиях; 2 — время остывания до распалубки (для случая с выдерживанием в изотермических условиях); 13 — общая продолжительность тепловой обработки).

Назначение режимов тепловой обработки заключается в установлении оптимальной продолжительности отдельных его периодов с целью обеспечения фактических ритмов работы тепловых установок и получения требуемой прочности без ухудшения конечных физико-механических свойств бетона.

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

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

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

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

С целью снижения энергоемкости процесса тепловой обработки при загрузке изделий в остывшие камеры рекомендуется повысить температуру среды до 40—45° С путем кратковременной подачи пара. При этом струи пара не должны быть направлены на поверхность свежеотформованных изделий.

Примечание. Предварительное выдерживание изделий не предусматривается при тепловой обработке изделий в малонапорных камерах, при использовании разогретых бетонных смесей, а также при изготовлении изделий из жестких бетонных смесей с дисперсным армированием.

3.5. Скорость нагрева оказывает наибольшее влияние на развитие деструктивных процессов в твердеющем бетоне, причем чем выше она, тем больше вероятность возникновения структурных нарушений. Поэтому для исключения излишних дефектов скорость нагрева бетона на поверхности изделий не должна превышать

20° С/ч. Исходя из этого условия следует назначать скорость подъема температуры среды в камере.

Скорость подъема температуры при пропаривании в зависимости от значения начальной прочности, достигнутой в период предварительного выдерживания, может ориентировочно приниматься по табл. 2.

Таблица 2

Начальная прочность бетона при сжатии, МПа	Скорость подъема температуры среды камеры, °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 с ребром не менее 10 см при испытании их на прессах мощностью не более 25 кН.

Повышение температуры среды камеры со скоростью более 60°С/ч, независимо от начальной прочности бетона, не рекомендуется.

3.6. Ввиду конвективно-кондуктивного характера теплопередачи при нагреве изделий в камерах скорость подъема температуры оказывает существенное влияние на однородность формирующегося температурного поля. С увеличением толщины изделия увеличивается температурный перепад между центром и поверхностью бетона, что ведет к неравномерному росту прочности. Поэтому при толщине изделий 40 см и более скорость нагрева бетона на поверхности должна быть снижена до 10—15° С/ч.

3.7. При изготовлении изделий из высокоподвижных бетонных смесей (с осадкой конуса 8 см и более) скорость подъема температуры 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%).

3.8. 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.

3.9. Снижению структурных нарушений в бетоне способствует использование ступенчатых режимов нагрева, когда, например, за первые 1—1,5 ч повышают температуру в камере до 40—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—45° С выдерживание в ней в течение 1,5—2 ч равноценно первой ступени подъема температуры.

3.10. Максимально допустимая температура бетона к концу периода нагрева не должна превышать 80—85° С при использовании портландцементов (в том числе с минеральными добавками) и 90—95° С при использовании шлакопортландцементов.

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—85° С.

3.11. 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.

Изотермический прогрев должен приниматься 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.

3.12. Изотермический прогрев осуществляется путем подвода тепловой энергии в количестве, компенсирующем затраты на нагрев ограждений камеры и потери через них. Режимы тепловой обработки изделий из тяжелого бетона с изотермической выдержкой при 80° С для двух оборотов тепловых установок в сутки приведены в табл. 3.

Таблица 3

Класс (марка) бетона	Режимы тепловой обработки, ч, при толщине бетона в изделиях, мм		
	до 160	160—300	300—400
В15 (200)	11(3,5+5,5+2)	12(3,5+6,5+2)	13(3,5+6,5+3)
В22,5 (300)	9(3+4+2)	10(3+5+2)	11(3+5,5+2,5)
В30 (400)	8,5(3+3,5+2)	9,5(3+4,5+2)	10,5(3+5+2,5)
В37,5 (500)	8(3+3+2)	9(3+4+2)	10(3+4+2,5)
В45 (600)	7(3+2+2)	8(3+3+2)	9(3+3,5+2,5)

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

Таблица 4

Класс (марка) бетона	Заданная прочность, % от R_{28}	Температура разогрева бетона, °С, при значениях показателя A		
		10—40	41—80	81—150
I группа цементов при оборачиваемости камер в сутки $n=1$				
В15 (200)	50	60	55	50
	60	75	70	65
	70	—	—	80
В22,5 (300)	50	50	45	40
	60	65	60	55
	70	80	75	70
В30 (400)	50	40	35	30
	60	50	45	40
	70	65	60	55
В37,5 (500)	50	35	30	25
	60	45	40	35
	70	55	50	45
II группа цементов при оборачиваемости камер в сутки $n=1$				
В15 (200)	50	75	70	60
	60	—	80	70
В22,5 (300)	50	60	55	45
	60	75	70	65
	70	—	85	80
В30 (400)	50	45	50	40
	60	60	55	50
	70	80	75	70
В37,5 (500)	50	40	35	30
	60	50	45	40
	70	70	65	60
III группа цементов при оборачиваемости камер в сутки $n=1$				
В15 (200)	50	85	75	65
	60	—	—	80

Продолжение табл. 4

Класс (марка) бетона	Заданная прочность, % от R_{28}	Температура разогрева бетона, °С, при значениях показателя A		
		10—40	41—80	81—150
В22,5 (300)	50 60	75 —	70 80	65 75
В30 (400)	50 60 70	65 80 —	60 70 80	50 60 75
В37,5 (500)	50 60 70	55 70 80	50 60 75	40 50 65
I группа цементов при оборачиваемости камер в сутки n=1,5				
В15 (200)	50 60	75 —	70 85	70 80
В22,5 (300)	50 60	70 80	65 75	60 75
В30 (400)	50 60	60 75	55 70	50 70
В37,5 (500)	50 60 70	45 60 80	40 55 75	40 50 70
II группа цементов при сборачиваемсти камер в сутки n=1,5				
В15 (200)	50	85	80	75
В22,5 (300)	50 60	80 —	75 —	70 85
В30 (400)	50 60	70 85	65 80	65 75
В37,5 (500)	50 60	50 70	45 65	45 60

Продолжение табл. 4

Класс (марка) бетона	Заданная прочность, % от R_{28}	Температура разогрева бетона, °С, при значениях показателя A		
		10—40	41—80	81—150
III группа цементов при оборачиваемости камер в сутки n=1,5				
В22,5 (300)	50	—	85	80
В30 (400)	50 60	80 —	75 —	70 85
В37,5 (500)	50 60	70 85	65 80	60 75

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

3.13. Термосное выдерживание разогретых изделий в камерах осуществляется без дополнительного подвода тепла.

3.14. При термосном выдерживании температура бетона изделий принимается согласно данным табл. 4 в зависимости от группы цемента, класса бетона, требуемой оборачиваемости камер в сутки n, заданной прочности бетона изделий (% от R_{28}) к концу термосного цикла, а также показателя A, характеризующего длительность остывания разогретого блока камер с изделиями (т. е. его тепловую инерцию).

3.15. Показатель A рассчитывается с учетом конструктивных и теплофизических особенностей блока камер по прил. 2.

3.16. В табл. 4 приняты следующие постоянные значения:
длительность оборота камеры при n=1—24 ч, при n=1,5—16 ч;
предварительное выдерживание изделий в камере — 3 ч;
скорость подъема температуры бетона изделий — 10° С/ч;
суммарная длительность загрузки и выгрузки камеры — 2 ч;

Длительность подъема температуры в изделиях $\tau_р$, ч, определяется по формуле

$$\tau_р = t_р / 10, \quad (1)$$

где $t_р$ — температура разогрева, принимаемая по табл. 4.

Длительность термосного выдерживания $\tau_{тв}$, ч, определяется по следующим формулам:

для n=1 $\quad \tau_{тв} = 24 - (3 + \tau_р + 2)$; (2)

для n=1,5 $\quad \tau_{тв} = 16 - (3 + \tau_р + 2)$. (3)

3.17. С целью снижения энергоемкости процесса при последующем твердении распалубленных предварительно ненапряженных изделий в цехе не менее 12 ч следует уменьшить расчетную температуру разогрева на величину, приведенную в табл. 5.

Таблица 5

Группа цемента	Температурная поправка, °С, при числе оборотов камеры в сутки	
	1	1,5
I	5	10
II	5	10
III	10	15

3.18. При назначении термосных режимов следует учитывать, что с увеличением заданной прочности (распалубочной или передаточной) резко повышается расход энергии при тепловой обработке. Например, при увеличении заданной прочности с 50 до 70% от R_{28} 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.

3.19. При производстве сборных бетонных и железобетонных изделий, подвергаемых тепловлажностной обработке, могут применяться различные химические добавки (ускорители твердения, пластификаторы, а также комплексные добавки).

Выбор химических добавок следует осуществлять в соответствии с требованиями ГОСТ 24211—80* и рекомендациями СНиП 3.09.01—85.

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

применение ускорителей твердения позволяет снизить температуру разогрева бетона на 10—20° С при неизменном общем цикле тепловой обработки или сократить режим 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 ре-

жимы тепловой обработки могут оставаться неизменными. Для ряда добавок-пластификаторов, особенно суперпластификаторов, возможно снижение температуры разогрева изделий на 20—30° С для цементов I и II групп (для термосных режимов) или сокращение длительности изотермического выдерживания на 1—2 ч (для изотермических режимов).

3.21. При выгрузке изделий из камер температурный перепад между поверхностью изделий и температурой окружающей среды не должен превышать 40° С.

3.22. Изделия после распалубки в холодное время года (при среднесуточной температуре наружного воздуха ниже 5° С) необходимо выдерживать в цехе не менее 12 ч с целью уменьшения температурно-влажностных напряжений, приводящих к образованию трещин в изделиях. Ориентировочный прирост прочности бетона в течение этого периода может приниматься по табл. 6.

Таблица 6

Класс (марка) бетона	Коэффициент увеличения прочности бетона изделий при распалубочной прочности, % от $R_{вз}$		
	45—50	55—60	65—70
В15 (200)	1,1 —1,15	1,05—1,12	—
В22,5 (300)	1,1 —1,15	1,05—1,12	1,04—1,09
В30 (400)	1,09—1,15	1,05—1,09	1,04—1,08
В37,5 (500)	1,06—1,12	1,05—1,09	1,04—1,09

Особенности тепловой обработки в камерах непрерывного действия

3.23. 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 камерах регистры устанавливаются вдоль боковых стен по ее высоте. В качестве теплоносителя используется, как правило, водяной насыщенный пар давлением 0,5—0,6 МПа.

3.24. При прогреве изделий в камерах непрерывного действия следует применять изотермические режимы тепловой обработки в соответствии с рекомендациями п. 3.12.

3.25. 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 предварительной выдержки, зону активной тепловой обработки* и зону остывания.

3.26. В горизонтальных камерах непрерывного действия температурные зоны должны быть разделены. Для разделения зон

рекомендуется применять механизированные шторные разделители (по типу СМЖ-411 конструкции Гипростроммаша), а при их отсутствии — воздушные завесы (конструкции СКТБ Главмоспромстройматериалов) или шторы из теплостойкой резины.

В вертикальных камерах непрерывного действия указанные в п. 3.25 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 (по типу СМЖ-445 конструкции Гипростроммаша) или специальными герметизирующими устройствами конструкции СКТБ Главмоспромстройматериалов.

3.27. Пребывание изделий в зоне предварительной выдержки (для горизонтальных камер — в форкамере) должно быть не менее одного часа. Рекомендуется создавать в форкамере температуру 40—60° С и относительную влажность 40—60% и за счет рециркуляции паровоздушной среды, отбираемой из зоны охлаждения.

3.28. В зоне активной тепловой обработки производится нагрев и изотермическая выдержка изделий. Температура среды в этой зоне должна быть не более 80—85° С при относительной влажности среды не менее 90%. Отличительной особенностью зоны активной тепловой обработки в горизонтальных камерах является равномерность распределения температур 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 изотермической выдержки.

3.29. 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 вытяжного вентилятора при нахождении изделий в зоне остывания менее 1 ч нецелесообразно.

3.30. При изготовлении изделий на двухъярусных станах в верхнем ярусе рекомендуется осуществлять нагрев изделий до 60° С при относительной влажности среды 40—60%, а изотермическое выдерживание при температуре 80—85° С производить в нижнем ярусе стана при относительной влажности не менее 90%.

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

Особенности тепловой обработки изделий в термоформах и кассетных установках

3.32. При тепловой обработке железобетонных изделий в термоформах и кассетных установках прогрев бетона осуществляется контактно-кондуктивным способом путем подачи теплоносителя (па-

ра, 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.

3.33. 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.

3.34. 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.

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

3.36. 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. Борта форм должны быть заполнены теплоизоляционным материалом.

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

3.38. При изготовлении в термоформах длинномерных предварительно напряженных железобетонных изделий пар подается в тепловые секции, расположенные в поддоне, неподвижных и подвижных бортах формы. Вследствие большой длины изделий реко-

мендуется распределять пар в секциях с помощью перфорированного трубопровода, уложенного в нижней части секций.

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

3.40. Тепловая обработка изделий в термоформах, обогреваемых отсеках и 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.

3.41. Изотермические режимы рекомендуется применять при тепловой обработке изделий в одиночных термоформах — по данным табл. 3. При двух и более оборотах набранных в пакет форм или кассетных машин в сутки режимы тепловой обработки ориентировочно могут приниматься по данным табл. 7 (при расположении паровых отсеков через два рабочих отсека).

Таблица 7

Класс (марка) бетона	Толщина бетона в изделиях, мм	Режим тепловой обработки при 80—90°С, ч
В12,5 (150)	До 100	9(1+4+4)
В12,5 (150)	100—200	11(1+5+5)
В15 (200)	До 100	8(1+3,5+3,5)
В15 (200)	100—200	9,5(1+4+4,5)
В25 (350)	До 100	7(1+3+3)
В25 (350)	100—200	8,5(1+3,5+4)

Примечания: 1. Режим тепловой обработки включает время подъема температуры в тепловом отсеке, изотермического выдерживания с подачей пара в отсеки, выдерживания без подачи пара в отсеки.

2. При прогреве изделий с двух сторон через один рабочий отсек общий цикл тепловой обработки уменьшается на 1 ч за счет изотермического выдерживания.

3.42. При изготовлении изделий в кассетных формах, учитывая, что бетон находится в практически замкнутом жестком объеме

и неопалубленная поверхность незначительна, допускается подъем температуры в бетоне осуществлять без предварительной выдержки со скоростью до 60° С/ч, но при этом максимальная температура на контакте бетона с поверхностью теплового отсека не должна быть выше 100° С.

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

Режимы двухстадийной тепловой обработки изделий, изготовляемых по стендовой и кассетной технологии, принимаются по табл. 8.

Таблица 8

Вид технологии	Класс бетона	Толщина изделий, мм	Режимы выдерживания, ч	
			I стадия при t=75—80°С	II стадия при t=60—70°С
Стендовая (термоформы)	До В15	200—400	9(3,5+5+0,5)	5
	Более В15	200—400	7,5(3+4+0,5)	4
Кассетная	В15	До 100	при t=80—90°С 6(1+3,5+1,5)	5
	В25	До 100	5(1+2,5+1,5)	4
	В15	100—200	6,5(1+4+1,5)	5
	В25	100—200	5,5(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.

3.44. При использовании термосного выдерживания разогретых изделий в пакете термоформ или кассетных установках требуемая температура разогрева бетона в зависимости от группы цемента, класса бетона по прочности, заданной распалубочной прочности и оборачиваемости кассет может ориентировочно приниматься по данным табл. 9 (для типовых кассетных машин Гипростроммаша с утепленными паровыми отсеками).

Таблица 9

Число оборотов в сутки	Группа цемента	Класс (марка) бетона	Температура разогрева бетона, °С, в зависимости от заданной усредненной относительной прочности бетона, % от R_{28}		
			50	60	70
1	I	В10—В15 (150—200)	50	60	75
		В22,5 (300)	45	55	65
	II	В10—В15 (150—200)	55	70	85
		В22,5 (300)	50	60	75
2	I	В10—В15 (150—200)	65	80	95
		В22,5 (300)	55	65	85
	II	В10—В15 (150—200)	70	85	100
		В22,5 (300)	60	75	90

Примечания: 1. При назначении длительности отдельных стадий термосного режима следует руководствоваться рекомендациями, приведенными в п. 3.16, исключив при этом время предварительного выдерживания.

2. При указанных температурах разогрева относительная прочность бетона в периферийном слое изделий меньше усредненной относительной прочности бетона в горячем состоянии примерно на 10%.

Особенности тепловой обработки бетона с повышенными требованиями по морозостойкости

3.45. К бетонам с повышенными требованиями по морозостойкости относятся бетоны с F=100 и более по ГОСТ 10060—76.

3.46. Повышенная морозостойкость бетонов достигается следующими технологическими приемами:

применением соответствующего типа цемента;

назначением возможно более низких значений водоцементного отношения и удобоукладываемости смеси;

введением в бетонную смесь воздухововлекающих, пластифицирующих и комплексных добавок на их основе.

3.47. Для получения бетонов повышенной морозостойкости без введения воздухововлекающих, пластифицирующих и комплексных добавок должны применяться морозостойкие заполнители и низкоалюминатные портландцементы (с содержанием минерала C_3A не более 6%) без минеральных добавок типа трепела или опоки.

Применение пуццолановых портландцементов и обычных шлакопортландцементов с повышенным содержанием шлака допускается лишь в бетонах, изготовляемых с применением упомянутых выше химических добавок.

3.48. Использование воздухововлекающих, пластифицирующих и комплексных добавок для повышения морозостойкости и водонепроницаемости бетона должно осуществляться в соответствии с Пособием по применению химических добавок в бетоне (М.: Стройиздат, 1981).

3.49. 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.

3.50. Режимы тепловой обработки изделий из бетонов повышенной морозостойкости должны быть мягкими и включающими:

предварительное выдерживание не менее 3 ч;

подъем температуры среды со скоростью не более 20° С/ч;

изотермическое или термосное выдерживание разогретых изделий до достижения требуемой прочности.

3.51. 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 тепловой обработки преднапряженных конструкций

3.52. Режимы тепловлажностной обработки предварительно напряженных изделий необходимо назначать не только из условий получения требуемой прочности бетона (передаточной, проектной, отпускной), но и учитывать ряд особенностей, связанных с наличием напрягаемой арматуры (проволочной, канатной, стержневой), натянутой на упоры стенда или силовой формы, иначе при тепловлажностной обработке может произойти снижение качества предварительно напряженных конструкций вследствие:

возникновения трещин (поперечных и продольных) при нагреве и охлаждении из-за неравномерного прогрева и охлаждения бетона, металлических форм и напрягаемой арматуры;

уменьшения (сверх допустимого по проекту) величины предварительного напряжения в арматуре при стендовой технологии изготовления от температурного перепада (разности между темпера-

турой напрягаемой арматуры, находящейся в пределах нагретой камеры, и температурой наружной среды, в которой находятся устройства, воспринимающие усилия предварительного напряжения);

обрыва предварительно напряженной арматуры и временных анкеров на свободных участках до передачи усилия обжатия на бетон;

ухудшения анкеровки арматуры на опорных участках или вдоль конструкции, увеличения зоны передачи напряжения;

увеличения ширины раскрытия трещин при эксплуатационных воздействиях.

3.53. С целью предотвращения возникновения трещин при тепловой обработке предварительно напряженных конструкций, изготовляемых 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 превышала 65° С, а температура разогрева бетона не превышала 80° С;

при изготовлении изделий в силовых формах предварительное выдерживание, не превышающее 1 ч;

регулирование начального предварительного напряжения в арматуре.

3.54. Режимы тепловой обработки предварительно напряженных конструкций при изготовлении на стендах приведены в табл. 10.

Таблица 10

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

При изготовлении предварительно напряженных конструкций в силовых формах время подъема температуры сокращается на 2,5 ч, а время остывания на 1,5 ч по сравнению с данными, приведенными в табл. 3, при сохранении неизменным общего цикла тепловой обработки.

3.55. С целью исключения возможности появления трещин в бетоне при стендовом изготовлении может быть использован метод регулирования предварительного напряжения и при охлаждении изделий. В этом случае регулирование предварительного напряжения производится путем отпуска натянутой арматуры с момента начала охлаждения изделий.

При стендовой технологии изготовления, кроме отпуска напряжения арматуры на неостывающий 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.

3.56. Для предотвращения технологических трещин и ухудше-

ния анкеровки предварительно напряженной арматуры, натянутой на силовые формы, рекомендуются следующие мероприятия:

размещение изделий с поддоном в камере сразу после формования;

немедленная после тепловлажностной 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, устройств тепловых завес и др.).

3.57. С целью исключения вредного влияния температурных деформаций на качество изделий, изготовляемых по агрегатно-поточной и конвейерной технологии, 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 тепловлажностной обработки конструкций, перед вводом в эксплуатацию новых силовых форм (поддонов) рекомендуется их опытная проверка для предотвращения возможности возникновения трещин в бетоне.

3.58. Для исключения возможности обрыва стержневой арматуры или высаженных головок и других временных анкеров при нагреве в процессе тепловой обработки предварительно напряженных конструкций, изготовляемых в силовых формах, необходимо применять химические добавки, замедляющие рост прочности бетона в период подъема температур и особенно при использовании бетонов класса В22,5 (М300) и более.

3.59. Тепловую обработку предварительно напряженных конструкций, изготовляемых в силовых формах, необходимо производить в неглубоких камерах периодического действия с установкой изделий в один ярус или в туннельных камерах с коэффициентом заполнения не менее 0,1.

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

4. ТЕПЛОВАЯ ОБРАБОТКА ИЗДЕЛИЙ ИЗ ЛЕГКИХ БЕТОНОВ

4.1. При назначении режима тепловой обработки изделий из легких бетонов существенное влияние оказывают не только особенности применяемого цемента, класса бетона, удобоукладываемость бетонной смеси, но и структура бетона (плотная, поризованная), наличие в его составе вовлеченного воздуха и объем его, прочность и объемная концентрация крупного пористого заполнителя, гидравлическая активность мелких пористых заполнителей, зол и золошлаковых отходов ТЭС.

4.2. Для конструкционно-теплоизоляционных легких бетонов, применяемых при изготовлении ограждающих конструкций зданий, режим тепловой обработки должен обеспечить минимально возможную отпускную влажность бетона изделий, не превышающую в процентах по объему:

15 — для бетона панелей и блоков производственных зданий и бетонов на вспученном перлитовом песке и золах ТЭС;

13 — для бетона панелей и блоков жилых и общественных зданий (за исключением приготовленных на вспученном перлитовом песке и золах ТЭС).

4.3. Для обеспечения минимальной отпускной влажности тепловую обработку следует проводить 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 длительности тепловой обработки до 150° С. С целью обеспечения заданной влажности изделий камеры рекомендуется оборудовать системой вентиляции.

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

4.4. Тепловлажностную обработку в паровоздушной среде с относительной влажностью 85—95% и температурой 90—95° С допускается проводить для изделий, изготовляемых из конструкционно-теплоизоляционных легких бетонов с низким начальным водосодержанием, или при производстве панелей для промышленного строительства при условии обеспечения требований п. 4.2.

4.5. При назначении режимов тепловой обработки изделий из конструкционно-теплоизоляционных легких бетонов следует учитывать следующие особенности кинетики роста их прочности:

замедление темпа нарастания прочности при тепловой обработке бетонов на гидравлически активных мелких заполнителях (дробленом керамзитовом песке, золе ТЭС) тем сильнее, чем ниже температура в тепловой установке;

увеличение содержания вовлеченного воздуха и снижение проектной прочности и плотности бетона приводят к замедлению темпа нарастания прочности при тепловой обработке, проявляющегося тем заметнее, чем ниже температура в тепловой установке;

при снижении плотности и прочности крупного пористого заполнителя темп нарастания прочности при прочих равных условиях повышается, и проявляется тем заметнее, чем ниже температура в тепловой установке.

Ориентировочные данные по кинетике нарастания прочности конструкционно-теплоизоляционных легких бетонов приведены в табл. 11.

4.6. При назначении режима тепловой обработки изделий из конструкционно-теплоизоляционных легких бетонов необходимо учитывать замедленный темп нарастания прочности бетона в самом изделии по сравнению с кинетикой роста прочности в той же тепловой установке контрольных образцов-кубов. Это обусловлено замедлением прогрева бетона в изделии вследствие низкой его теплопроводности, проявляющимся тем больше, чем ниже плотность бе-

Таблица 11

Класс (марка) бетона	Длительность изотермической выдержки, ч	Прочность легкого бетона через 0,5 ч, % от проектной при различных мелких заполнителях и температуре, °С								
		песок пористый			зола ТЭС			песок плотный		
		60	80	95	60	80	95	60	80	95
В3,5 (50)	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 (75)	6	20—25	25—30	45—45	25—30	40—45	55—60	40—45	45—50	50—55
		35—40	45—50	55—45	40—45	55—60	60—70	55—60	60—65	65—70
	10	35—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	65—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 (100)	6	25—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
		—	—	—	—	—	—	—	—	—
	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	85—90	85—90
		—	—	—	—	—	—	—	—	—

Примечание. Данные таблицы относятся к бетонам с вовлеченным воздухом, приготовленным на крупном заполнителе с маркой по прочности П 100 и более — над чертой и П 50 — под чертой.

тона, больше толщина изделия, меньше относительная влажность паровоздушной среды, снижающая величину коэффициента теплоотдачи. Для ориентировочного определения средней прочности бетона в изделиях значение прочности образца-куба следует принимать с коэффициентами, приведенными в табл. 12.

Таблица 12

Длительность тепловой обработки, ч	Коэффициент снижения средней прочности бетона изделий при тепловой обработке в камере при			
	пропаривании при t=90—95°С с использованием песка		сухом прогреве при t=100—120°С 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—0,9	0,8—0,9	0,7—0,8	0,3—0,4
14	0,9—0,95	0,85—0,95	0,8—0,9	0,8—0,9
18	0,95—1	0 95—1	0,9—0,95	0,9—0,95

Примечание. Данные относятся к бетону с средней плотностью 1000 кг/м³ при толщине изделия 35 см.

4.7. 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—140° С) для обеспечения наиболее полного протекания реакции между активным кремнеземом мелких пористых заполнителей и продуктами гидратации твердеющего цементного камня и возможности использования этого эффекта для повышения прочности и снижения плотности легкого бетона.

4.8. В случаях, когда по условиям организации технологического процесса, например, при формировании 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 (марки), вида мелкого и прочности крупного заполнителей с использованием ориентировочных данных табл. 11 и 12.

При назначении таких режимов тепловой обработки следует обеспечивать достижение требуемой распалубочной прочности бетона в изделиях, которая должна составлять не менее 2 МПа (20 кГс/см²) при наличии кантователей и 3МПа (30 кГс/см²) при их отсутствии, но не менее 35% от проектного класса (марки) бетона.

4.9. 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 табл. 13.

4.10. При установлении продолжительности и температуры тепловой обработки изделий из конструционно-теплоизоляционных легких бетонов необходимо проверять после тепловой обработки до-

Таблица 13

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

стижение требуемой отпускной влажности бетона в изделиях (W, %) по формуле

$$W=0{,}1\ [B-0{,}15\,Ц-i\tau(1/\Delta)], \qquad (4)$$

где B — количество воды в свежеотформованной бетонной смеси с учетом влаги, содержащейся в заполнителе и растворе химической добавки, кг/м³; $Ц$ — расход цемента, кг/м³; i — интенсивность испарения воды из изделия, кг/м²·ч, определяемая по табл. 14; τ — общая продолжительность тепловой обработки, ч; Δ — толщина изделия, м.

Значения B и $Ц$ устанавливаются по данным о фактическом составе бетона, а при предварительных расчетах принимаются: $Ц$ — по СНиП 5.01.23—83, B — по табл. 12 и 13 Руководства по заводской технологии изготовления наружных стеновых панелей из легких бетонов на пористых заполнителях (М.: Стройиздат, 1980).

Таблица 14

Начальное влагосодержание B, л/м³	Интенсивность испарения воды i, кг/м²·ч, при средней температуре паровоздушной среды (φ=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	1,2
160—190	0,4	0,45	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1

Рассчитанная по формуле (4) величина W не должна превышать более чем на 2% требуемую отпускную влажность легкого бетона согласно п. 4.2.

4.11. В случаях когда рассчитанная по формуле (4) или определенная экспериментально 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. Во-вторых, следует провести ме-

роприятия для интенсифицирования процесса испарения влаги: принудительную вентиляцию в период остывания, повышение температуры тепловой обработки, а при отсутствии таких возможностей рассмотреть целесообразность увеличения длительности тепловой обработки.

Таблица 15

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

4.12. Длительность предварительного выдерживания и скорость подъема температуры среды при тепловой обработке изделий из конструкционно-теплоизоляционного бетона принимаются в соответствии с данными табл. 15 и 16.

Таблица 16

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

Примечание. При применении предварительного разогрева смеси или разогрева изделий в форкамерах предварительная выдержка составляет 0,5—1 ч, а скорость подъема температуры в них — 30—45°С/ч.

Таблица 17

Способ тепловой обработки	Продолжительность изотермического прогрева, ч
Сухой прогрев при температуре до 150°С	6—8
Пропаривание в термоформах	5—7
Пропаривание в камерах острым паром при температуре 85—95°С	4—6
Пропаривание в закрытых формах (кассетах) при температуре 95—100°С	5—7
Тепловая обработка с подогревом в форкамерах при температуре 30—40°С	5—7
Тепловая обработка с применением предварительного разогрева смеси	4—6

Примечание. Большие значения для изделий толщиной 300—400 мм, меньшие — при толщине 200—300 мм.

Таблица 18

Группа цементов по эффективности при тепловой обработке	Класс (марка) бетона	Длительность изотермического прогрева при температуре 80°С для получения заданной относительной прочности конструкционного легкого бетона через 0,5 ч после выхода из камеры, %			
		50	60	70	80
I	B12,5 (150)	2—4	4—6	8—10	17—20
	B15 (200)	2—4	3—5	4—7	8—12
	B25 (350)	1—3	2—4	3—6	7—11
II	B12,5 (150)	4—6	5—7	9—11	—
	B15 (200)	3—5	4—6	5—8	13—16
	B25 (350)	2—4	3—5	5—7	9—12
III	B12,5 (150)	6—8	10—12	17—20	—
	B15 (200)	5—7	6—8	8—11	17—20
	B25 (350)	4—6	5—7	7—10	14—17

Примечание. Меньшие значения относятся к тепловой обработке изделий толщиной до 200 мм, приготовленных на пористых заполнителях минимальной прочности, большие — толщиной более 300 мм, приготовленных на пористых заполнителях с оптимальной прочностью.

4.13. Продолжительность изотермического прогрева должна определяться временем, необходимым для достижения в центре изделий температуры 65—80° С в соответствии с данными табл. 17.

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

4.15. Скорость остывания поверхности изделий, к которым предъявляются повышенные требования по морозостойкости, не должна превышать 20° С/ч.

4.16. Способы и режимы тепловой обработки изделий из конструкционных легких бетонов классов В10—В30 применяются такие же, как для аналогичных изделий из тяжелых бетонов. При этом следует учитывать: возможность снижения относительной влажности паровоздушной среды в тепловом агрегате; влияние соотношения между прочностью применяемого пористого заполнителя и проектного класса бетона на темп роста его относительной прочности; увеличение длительности изотермического прогрева с увеличением толщины изделия.

4.17. Тепловая обработка изделий из конструкционных легких бетонов может производиться по термосному или изотермическому режимам. Время предварительного выдерживания, скорость подъема температуры и температура разогрева бетона должны назначаться в зависимости от начальной прочности бетона, удобоукладываемости и температуры бетонной смеси, группы применяемого цемента в соответствии с рекомендациями пп. 3.11—3.22.

4.18. С увеличением марки по прочности крупного пористого заполнителя при данном классе бетона темп нарастания прочности бетона при тепловой обработке замедляется. 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—10° С (тем больше, чем выше класс бетона и ниже марка по прочности заполнителя), а длительность изотермического периода при температуре 80° С сокращена до величин, приведенных в табл. 18.

4.19. Длительность охлаждения изделий в камере устанавливается в зависимости от толщины изделия и температуры окружающей среды в момент распалубки в соответствии с данными табл. 19.

Таблица 19

Толщина изделия, мм	Длительность охлаждения в камере, ч, при температуре окружающего воздуха, °С		
	от +30 до +20	от +20 до +10	от +10 до −10
До 200	0,5—1	1—1,5	1,5—2,5
200—300	1—1,5	1,5—2	2—3
Более 300	1,5—2	2—2,5	2,5—3,5

5. КОНТРОЛЬ И РЕГУЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ ИЗДЕЛИЙ

5.1. Эффективный контроль и регулирование режимов тепловой обработки изделий могут быть осуществлены при выполненном комплексе работ, направленных на нормализацию технологического теплопотребления.

Нормализация включает в себя:

паспортизацию действующих тепловых установок на предприятии и расчет агрегатных технологических норм расхода тепловой энергии.

Примечание. Расчет агрегатных технологических норм расхода тепловой энергии производится при применении изотермических режимов по СН 513—79, при термосных режимах — по прил. 3;

стабилизацию работы системы теплоснабжения предприятия путем установки на теплопроводах теплоизоляции (в соответствии с нормами допустимых тепловых потерь ВНИПИТеплопроекта для изолированных трубопроводов) и регуляторов давления пара на магистральных трубопроводах, 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 прил. 4;

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

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

5.2. 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).

Примечание. 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.

5.3. В качестве программных регуляторов температуры рекомендуется использовать:

электронные программные регуляторы типа Р-31М, выпускаемые Ивано-Франковским заводом «Геофизприбор» Минприбора СССР;

пневматические системы программного регулирования типа «Пуск», серийно выпускаемые Усть-Каменогорским заводом приборов Минприбора СССР;

комплексные системы автоматизации тепловлажностной обработки;

систему СПУРТ-1 на элементах пневмоавтоматики (изготовитель — Усть-Каменогорский завод приборов Минприбора СССР);

комплекс СКРЖ на базе блоков Р-31М (изготовитель — Тернопольский ЭРМЗ Минстроя УССР);

систему САУ-ТО на базе блоков Р-31М (изготовитель — опытный завод ВНИИжелезобетона).

С той же целью могут быть использованы другие, вновь разрабатываемые программные регуляторы или системы, обеспечивающие регулирование температуры по заданной программе.

5.4. Для контроля температуры рекомендуются термометры сопротивления (ТСМ, ТСП) 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 конденсатоотводной линии отвода конденсата за датчиком должен быть установлен конденсатоотводчик или обратный клапан.

Если контрольный датчик показывает температуру выше 95° С, то это говорит 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.

5.5. Для обеспечения заданного режима по нормируемому расчетному расходу пара (тепловой энергии) в установке должны быть выполнены мероприятия, указанные в п. 5.1, и в первую очередь следует стабилизировать давление пара в магистральных трубопроводах. Расчет часового расхода пара и выбор дроссельной диафрагмы, обеспечивающей этот расход, приведены в прил. 4.

5.6. При всех способах контроля оператор заносит в журнал время загрузки камеры (установки), длительность отдельных периодов температурного режима, время открытия камеры или выгрузки изделий из тепловой установки.

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

6. ОСОБЕННОСТИ КОНТРОЛЯ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА ПРИ ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКЕ

6.1. Контроль прочности бетона изделий, подвергаемых тепловой обработке, производится в соответствии с требованиями ГОСТ 13015.1—81 или ГОСТ 18105—86 со следующими особенностями для различных видов тепловых установок.

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

Учитывая, что температура кубов-образцов с достаточной степенью точности следует за температурой среды в камере, при применении термосных режимов эти образцы необходимо устанавливать внутри рабочего объема камеры, например, на форме верхнего изделия или специальных площадках, пристроенных к стенкам (нишам) камеры. Устанавливать контрольные образцы в нишу стен камер при тепловой обработке изделий по термосным режимам запрещается.

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

6.4. 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 кубов, устанавливаемых в специальных нишах в паровых отсеках или на верхних торцах изделий под колпаком. В связи с этим к прочности контрольных кубов-образцов, 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.

6.5. 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 прочности этих образцов, испытываемых через 0,5—4 ч с момента распалубки, рекомендуется вводить коэффициент 1,15.

6.6. Если при отсутствии контроля и регулирования температурного режима контрольные кубы-образцы после тепловой обработки не набирают заданную прочность, то прочность бетона в изделиях должна быть установлена неразрушающими методами в соответствии с ГОСТ 17624—78. Если и в этом случае прочность бетона не отвечает заданным требованиям, изделия должны быть дополнительно выдержаны в тепловых установках без подачи пара.

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

СООТВЕТСТВИЕ ЗАВОДОВ-ИЗГОТОВИТЕЛЕЙ ГРУППАМ ЦЕМЕНТОВ ПО ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИ ПРОПАРИВАНИИ

№ пп.	Завод-изготовитель	Группа цемента	№ пп.	Завод-изготовитель	Группа цемента
1	Акмянский	II	46	Кувасайский	II
2	Амвросиевский	II	47	Липецкий	II
3	Ангарский	II	48	Магнитогорский	II
4	Араратский	III	49	Михайловский	II
5	Ахангаранский	I	50	Мордовский	II
6	Ачинский	I	51	Новоийский	I
7	Балаклейский	II	52	Невьянский	II
8	Бахчисарайский	I	53	Нижнетагильский	II
9	Безмеинский	I	54	Николаевский	III
10	Бекабадский	II	55	Новотроицкий	II
11	Белгородский	II	56	Норильский	II
12	„Большевик“	II	57	Одесский	II
13	Броценский	III	58	„Октябрь“	II
14	Брянский	III	59	Ольшанский	III
15	Волковысский	II	60	„Первомайский“	III
16	Волховский	II	61	Пикалевский	I
17	Воркутинский	II	62	„Победа Октября“	II
18	Воскресенский	I	63	Подгоренский	II
19	„Гигант“	I	64	Подольский	II
20	Горнозаводский	I	65	Поронайский	III
21	Днепродзержинский	II	66	„Пролетарий“	II
22	Душанбинский	I	67	„Пунане Кунда“	II
23	Днепропетровский	II	68	Рижский	II
24	Енакиевский	I	69	Руставский	III
25	Жигулевский	I	70	Рыбницкий	II
26	Здолбуновский	III	71	Савинский	I
27	Ивано-Франковский	II	72	Серебряковский	II
28	Каменец-Подольский	I	73	Семипалатинский	II
29	Кантский	II	74	Сланцевский	II
30	Карагандинский	II	75	„Спартак“	II
31	Карадагский	III	76	Спасский	II
32	Карачаевочеркесский	II	77	Старооскольский	III
33	*Косинский*	II	78	Стерлитамакский	II
34	Катаев-Ивановский	II	79	Сухоложский	II
35	Киевский	II	80	Теплоозерский	I
36	Коркинский	II	81	Тимлайский	II
37	Косогорский	II	82	Топкинский	II
38	Краматорский	II	83	Усть-Каменогорский	II
39	Краснодарский	III	84	Ульяновский	I
40	Красноярский	II	85	Чернореченский	II
41	„Красный Октябрь“	III	86	Чимкентский	III
42	Криворожский	II	87	Чечено-Ингушский	II
43	Кричевский	III	88	Щуровский	II
44	Кузнецкий	III	89	Якутский	III
45	Курментинский	III	90	Яшкинский	III

РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЯ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ОСТЫВАНИЯ *А* БЛОКА КАМЕР С ИЗДЕЛИЯМИ

Показатель длительности остывания A, ч, рассчитывается по формуле

$$A = \frac{(c\gamma)_б V_б + (c\gamma)_м V_м + (c\gamma)_{ок} V_{ок}}{3{,}6\,(K_1 F_1 + K_2 F_2 + K_3 F_3 + K_4 F_4)}, \qquad (1)$$

где $(c\gamma)_б$, $V_б$ — соответственно объемная теплоемкость, кДж/(м³·°С), и объем бетона изделий в плотном теле, м³, в блоке камер; $(c\gamma)_{ок}$, $V_{ок}$ — то же, ограждающих конструкций блока камер; $(c\gamma)_м$, $V_м$ — то же, для металла в блоке камер:

$$V_м = (g_ф + g_{кр} + g_п + g_{со}) / 7800. \qquad (2)$$

Здесь $g_ф$ — масса металла форм в блоке камер, кг; $g_м$ — масса металлических элементов крышек в блоке камер, кг; $g_п$ — масса стоек пакетировщиков (направляющих) внутри блока камер, кг; $g_{со}$ — масса стальной обшивки, учитываемая при теплоизоляции ограждений (например, по типовому проекту 409—28—40); K_1F_1 — соответственно коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·°С), и площадь поверхности наружных стен блока камер выше нулевой отметки пола, м²; K_2F_2 — то же, для наружных стен ниже нулевой отметки пола; K_3F_3 — то же, для днища блока камер; K_4F_4 — то же, для крышек блока камер.

Для расчетов рекомендуется принимать следующие значения объемных теплоемкостей $c\gamma$: для тяжелого бетона изделий и ограждающих конструкций камер — 2500 кДж/(м³·°С); для керамзитобетона ограждающих конструкций камер — 1600 кДж/(м³·°С) и для металла форм, стоек и т. п. — 3800 кДж/(м³·°С).

Таблица 1

Коэффициент	Значения коэффициентов теплопередачи, Вт/(м²·°С)			
	элементы ограждений камер		при ограждениях 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	2,3	2,2
		пустотный настил	1,3	—
K_4	Крышка		5,8	5,8

Значения коэффициентов теплопередачи $K_1 - K_4$ приведены в табл. 1.

В случае утепления внутренней поверхности ограждений из тяжелого бетона слоями изоляции толщиной δ, м, с сопротивлением теплопередаче R_0, (м²·° С)/Вт, значения коэффициентов теплопередачи ограждений принимаются по табл. 2.

Таблица 2

Материал ограждений	Коэффициенты	Значения коэффициентов теплопередачи, Вт/(м²·°С), при сопротивлении теплопередаче R_0, (м²·°С)/Вт							
		0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4
Тяжелый бетон	K_1	5,8	2,7	1,8	1,3	10	0,9	0,7	0,6
	K_2 и K_3	2,3	1,6	1,2	10	0,8	0,7	0,6	0,6
Керамзитобетон	K_1	2,6	1,7	1,3	10	0,9	0,7	0,6	0,6
	K_2 и K_3	2,2	1,6	1,2	10	0,8	0,7	0,6	0,5

Сопротивление теплопередаче R_0, (м²·°С)/Вт, рассчитывается по формуле

$$R_0 = \sum_{i=1}^{n} (\delta_i / \lambda_i), \qquad (3)$$

где δ_i — толщина i-го слоя ограждения (изоляции), м; λ_i — коэффициент теплопроводности материала i-го слоя ограждения, Вт/(м·°С). Принимается по прил. 3 СНиП II-3-79** «Строительная теплотехника».

Для конструкций ограждений с теплоизоляцией, имеющих воздушные прослойки, значения сопротивления теплопередаче каждой из воздушных прослоек приводятся в табл. 3.

Таблица 3

Толщина воздушной прослойки, м	0,03	0,04	0,05	0,1	0,15	0,2
R_0, (м²·°С)/Вт	0,28	0,3	0,32	0,38	0,41	0,45

Примечание. При наличии n воздушных прослоек величину R_0 следует умножить на n.

Пример расчета показателя длительности остывания A

I вариант. Тепловая обработка железобетонных изделий, приготовленных на цементе I группы класса В22,5 (М 300) осущест-

вляется в блоке, состоящем из трех камер ямного типа. Внутренние размеры одной камеры, м: длина — 7, ширина — 2,5, высота — 3,5. 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 — $V_б$=6,1 м³; масса находящегося в одной камере металла форм $g_ф$=18,3 т; масса металлических элементов крышки одной камеры $g_{кр}$=3,13 т; масса металла стоек пакетировщиков в одной камере $g_п$=1,86 т.

Расчет

Площадь поверхности наружных стен блока камер выше нулевой отметки пола

$$F_1=2[(7+2\cdot0{,}3)+3\cdot2{,}5+4\cdot0{,}3](3{,}5-0{,}5)=98 \text{ м}^2;$$

площадь поверхности наружных стен блока камер ниже нулевой отметки пола

$$F_2=2[(7+2\cdot0{,}3)+3\cdot2{,}5+4\cdot0{,}3](0{,}5+0{,}3)=26 \text{ м}^2;$$

поверхность днища блока камер

$$F_3=(7+2\cdot0{,}3)(3\cdot2{,}5+4\cdot0{,}3)=66 \text{ м}^2;$$

площадь поверхности крышек принимаем равной площади поверхности днища $F_4=F_3=66$ м².

Объем бетона ограждающих конструкций, включая перегородки

$$V_{ок}=7\cdot3{,}5\cdot4\cdot0{,}3+(2{,}5\cdot3+4\cdot0{,}3)3{,}5\cdot2\cdot0{,}3+(7+2\cdot0{,}3)\ (2{,}5\cdot3+4\cdot0{,}3)0{,}3=67{,}5\approx68 \text{ м}^3.$$

Общий объем металла в блоке камер по формуле (2)

$$V_м=(g_ф+g_{кр}+g_п)/7800=$$

$$(18300\cdot3+3130\cdot3+1860\cdot3)/7800=8{,}96\approx9 \text{ м}^3.$$

Значения объемных теплоемкостей принимаем:

для тяжелого бетона изделий и ограждений $(c\gamma)_б=(c\gamma)_{ок}=2500$ кДж/(м³·°С);

для металла форм, стоек и крышек $(c\gamma)_м=3800$ кДж/(м³·°С).

Значения коэффициентов теплопередачи K_i принимаем в соответствии с данными **табл. 1.**

Показатель длительности остывания A рассчитываем по формуле

$$A=\frac{(c\gamma V)_б+(c\gamma V)_м+(c\gamma V)_{ок}}{3{,}6(K_1F_1+K_2F_2+K_3F_3+K_4F_4)}=$$

$$=\frac{2500\cdot6{,}1\cdot3+3800\cdot9+2500\cdot68}{3{,}6(5{,}8\cdot98+2{,}3\cdot26+2{,}3\cdot66+5{,}8\cdot66)}=59{,}7\approx60 \text{ ч.}$$

II вариант (по типовому проекту 409—28—40). Ограждения камер толщиной 0,3 м из тяжелого бетона (см. вариант I) 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 пустотного настила толщиной 220 мм, песчаной подготовки толщиной 80 мм и слоя керамзитового гравия толщиной 200 мм.

Поскольку тепловая изоляция выполнена с внутренней стороны, расчетные параметры остаются теми же, что в варианте I:

площадь поверхности наружных стен блока камер выше нулевой отметки пола F_1=98 м²; площадь поверхности наружных стен ниже нулевой отметки пола F_2=26 м²; площадь поверхности днища блока камер F_3=66 м²; площадь поверхности крышек камер F_4=66 м²; объем бетона ограждающих конструкций $V_{ок}$=68 м³; объем материала теплоизоляции (минеральной ваты) — 8 м³. По СНиП II-3-79** удельная теплоемкость минераловатных плит с объемным весом 200 кг/м³ c=0,84 кДж/(кг·°С), т. е. $c\gamma$= =168 кДж/(м³·°С).

Расход стали на обшивку стен одной камеры $g_{со}$=2,6 т.

Расчет

Объем металла в блоке камер (по формуле (2):

$$V_м = (18300 \cdot 3 + 3130 \cdot 3 + 1860 \cdot 3 + 2600 \cdot 3) / 7800 = 10 \text{ м}^3.$$

Сопротивление теплопередаче слоев ограждения R_0, (м²·° С)/Вт, рассчитывается по формуле (3)

$$R_0 = \delta_б / \lambda_б + \delta_{из} / \lambda_{из} + R_{пр},$$

где $\delta_б$ и $\lambda_{из}$ — соответственно толщина слоев тяжелого бетона и минераловатной плиты, м; $\lambda_б$ и $\lambda_{из}$—коэффициенты теплопроводности тяжелого бетона и минераловатной плиты, принимаемые по СНиП II-3-79**: $\lambda_б$ =1,86 и $\lambda_{из}$ =0,076 Вт/(м·°С); $R_{пр}$ — сопротивление теплопередаче воздушной прослойки шириной 0,35 мм по табл. 3 $R_{пр}$=0,29 (м²·°С)/Вт.

$$R_0 = 0{,}3/1{,}86 + 0{,}06/0{,}076 + 0{,}29 = 1{,}24 \quad (м^2 \cdot ° С)/Вт.$$

Принимаем R_0=1,25 (м²·° С)/Вт и по табл. 2 определяем значения коэффициентов теплопередачи K_1=0,675 и K_2=0,6 Вт/(м²·°С). Для днища по табл. 1 K_3=1,3 Вт/(м²/°С).

Рассчитываем показатель длительности остывания A по формуле (1)

$$A = \frac{2500 \cdot 18{,}3 + 3800 \cdot 10 + 2500 \cdot 68 + 168 \cdot 8}{3{,}6(0{,}675 \cdot 98 + 0{,}6 \cdot 26 + 1{,}3 \cdot 66 + 5{,}8 \cdot 66)} = 127 \text{ ч}.$$

Таким образом, для блока камер с ограждениями из тяжелого бетона показатель длительности остывания A равен 60 ч, а для теплоизолированных ограждений — 127 ч.

При изготовлении изделий из бетона класса В22,5 на портландцементе I группы по активности при пропаривании, требуемой прочности 70% от проектной марки и одном обороте камер в сутки по табл. 4 назначаем температуру разогрева бетона: для неизолированных камер — 75° С, для теплоизолированных камер — 70° С.

РАСЧЕТ РАСХОДА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ПРИ ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКЕ ИЗДЕЛИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕРМОСНЫХ РЕЖИМОВ

В камерах периодического действия

Общий расход тепловой энергии Q, МДж/м³ при разогреве бетона изделий на

$$\Delta t = t_{\text{р}} - 15$$

определяется по формуле

$$Q = K(Q_{\text{б}} + Q_{\text{м}} + Q_{\text{р}}^{\text{п}}), \qquad (1)$$

где K — коэффициент, учитывающий потери тепла с конденсатом. Численные значения коэффициента приведены в табл. 1; $Q_{\text{б}}$ — расход тепловой энергии на разогрев бетона изделий с учетом тепловыделения, МДж/м³; определяется по табл. 2; $Q_{\text{м}}$ — расход тепловой энергии на разогрев металла форм, МДж/м³; определяется

Таблица 1

Температура разогрева, °С	40	50	60	70	80	85
Коэффициент K	1,03	1,04	1,045	1,055	1,065	1,07

Таблица 2

Класс (марка) бетона	Расход тепловой энергии, МДж/м³, для разогрева бетона на тяжелых заполнителях с учетом тепловыделения цемента до температуры, °С					
	40	50	60	70	80	85
В15 (200)	54	75	92	109	126	134
В22,5 (300)	54	71	88	100	113	121
В30 (400)	50	67	80	96	105	109
В37,5 (500)	50	63	75	84	92	96

Таблица 3

Масса металла форм, т на 1 м³ бетона	Расход тепловой энергии, МДж/м³, для разогрева металла форм 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 4

Ограждения		Компоненты тепловых потерь	Расход тепловой энергии, МДж/м², на разогрев и компенсацию потерь при остывании ограждений из тяжелого бетона при разогреве изделий до температуры, °С					
			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	19,5
	15	q_1'	22,2	25,5	29,3	31,8	33,9	35
Наружные стены ниже нулевой отметки пола		q_2	10,5	11,7	13	14	15,5	15,9
Днище		q_3	10,5	11,7	13	14	15,5	15,9
Крышка		q_4	5,9	6,3	6,7	7,1	7,7	8
Перегородки при длительности перерывов, ч	5	q_5	7,1	9,6	12,6	15,1	18	19,7
	15	q_5'	12,6	17,6	22,6	28	32,6	35,6

по табл. 3; $Q_р^п$ — расход тепловой энергии на разогрев элементов ограждений блока камер, включая потери тепла за время разогрева, МДж/м³.

$$Q_р^п=(q_1 F_1 + q_2 F_2 + q_3 F_3 + q_4 F_4 + q_5 F_5)/V_б , \quad (2)$$

где F_1 — площадь поверхности наружных стен блока камер выше нулевой отметки пола, м²; F_2 — площадь поверхности наружных

Таблица 5

Ограждения		Компоненты тепловых потерь	Расход тепловой энергии, МДж/м², на разогрев и компенсацию потерь при остывании ограждений из керамзитобетона при разогреве изделий до температуры, °С					
			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	13,2
	15	q_1'	10,8	12,1	13,4	14,6	15,9	16,3
Наружные стены ниже нулевой отметки пола		q_2	8	8,4	8,8	9,6	10,9	11,7
Днище	из керамзитобетона	q_3	8	8,4	8,8	9,6	10,9	11,7
	из керамзитобетонного пустотного настила с подсыпкой керамзитового гравия	q_3'	9,2	10,5	12,1	13,4	15,5	16,3
Крышка		q_4	5,9	6,3	6,7	7,1	7,7	8
Перегородки при длительности перерывов, ч	5	q_5	5,4	7,5	9,6	11,7	14,2	15,1
	15	q_5'	7,5	10,5	13,4	16,3	19,2	20,9

стен блока камер ниже нулевой отметки пола, м²; F_3 — площадь поверхности днища, м²; F_4 — площадь поверхности крышки, м²; F_5 — площадь поверхности перегородок, м²; $V_б$ — объем бетона прогреваемых изделий, м³; $q_1 - q_5$ — удельные потери тепловой энергии, приходящиеся на 1 м² поверхности отдельных ограждений при различных температурах разогрева изделий, °С; определяются по табл. 4 и 5, МДж/м².

При внутренней тепловой изоляции ограждающих конструкций рассчитывается сопротивление теплопередаче R_0 (м²·°С)/Вт, по формуле

$$R_0 = \sum_{i=1}^{n} \frac{\delta_i}{\lambda_i}, \qquad (3)$$

где δ_i — толщина i-го слоя ограждения, м; λ_i — коэффициент теплопроводности материала i-го слоя ограждения, Вт/(м·°С). Принимается по прил. 3 СНиП II-3-79** «Строительная теплотехника».

Если конструкция ограждений с теплоизоляцией включает воздушные прослойки, сопротивление теплопередаче каждой прослойки назначается по табл. 6.

Таблица 6

Толщина воздушной прослойки, м	0,03	0,04	0,05	0,1	0,15	0,2
R_0, (м²·°С)/Вт	0,28	0,3	0,32	0,38	0,41	0,45

Примечание. При наличии n воздушных прослоек величину R_0 следует умножить на n.

По принятым по формуле (3) или табл. 6 значениям сопротивления теплопередаче по табл. 7 определяются коэффициенты к компонентам удельных тепловых потерь q_i, значения которых приведены в табл. 4.

Таблица 7

R_0, (м²·°С)/Вт	0	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8
K	1	0,64	0,47	0,32	0,25	0,2	0,17	0,15	0,13	0,11	0,1

В тепловых кассетных установках

Удельный расход тепловой энергии при прогреве изделий по термосным режимам в типовых кассетах «Гипростроммаш» приведен в табл. 8.

Таблица 8

Шифр установок и типовых проектов Гипростром-маш	Габариты установки, м	Количество изделий	$g_м$, т/м³	Объем бетона, м³	Расход тепловой энергии, Q, МДж/м³, 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	28,8	690	880	965	1235	1400	1570
»	6,8×3,3×0,14	10	3,6	25,2	690	880	1045	1320	1485	1655
»	6,8×3,3×0,12	12	3,5	25,9	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	30,24	690	880	1045	1235	1485	1655
»	8×3,3×0,12	12	2,9	31,1	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	13,6	1485	1840	2095	2535	2890	3245
7412/1	6,5×3,3×0,1	10	4,2	18,13	880	1130	1320	1570	1760	2010
7412/2	6,5×2,78×0,1	10	4,5	15,05	880	1130	1320	1570	1840	2010
7412/3	6,5×2,78×0,12	10	3,8	17,4	795	1045	1235	1400	1655	1840
7412/4	6,5×2,78×0,12	10	4,1	17,4	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

ПРИМЕР РАСЧЕТА РАСХОДА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ПРИ ТЕРМОСНЫХ РЕЖИМАХ

Для расчета расхода тепловой энергии использованы данные примера, приведенного в прил. 3 настоящего Пособия.

Тепловая обработка железобетонных изделий, приготовленных на цементе I группы класса В22,5 (М 300), осуществляется в блоке камер ямного типа: а) неизолированных с ограждениями из тяжелого бетона, б) теплоизолированных минераловатными плитами, мм: толщиной 60 с воздушной прослойкой шириной 35 и обшивкой стальным листом толщиной 3.

Площадь поверхности наружных стен блока камер выше нулевой отметки пола $F_1=98$ м²; площадь поверхности наружных стен блока камер ниже нулевой отметки пола $F_2=26$ м²; площадь поверхности днища блока камер $F_3=66$ м²; площадь поверхности крышек $F_4=66$ м²; площадь поверхности перегородок $F_5=49$ м².

Объем бетона прогреваемых изделий в блоке камер $V_б=18{,}3$ м³.

Масса металла форм, приходящаяся на 1 м³ бетона

$$g_м=18{,}3/6{,}1=3 \text{ т/м}^3.$$

Расчет варианта I (разогрев изделий в неизолированных камерах до температуры 75° С).

Расход тепловой энергии на разогрев бетона изделий (по табл. 2) $Q_б=107$ МДж/м³; расход тепловой энергии на разогрев металла форм (по табл. 3) $Q_м=105$ МДж/м³; расход тепловой энергии на разогрев и компенсацию потерь при остывании ограждений из тяжелого бетона (по табл. 4):

для наружных стен выше нулевой отметки пола

$$q_1=(18{,}8+19{,}2)/2=19 \text{ МДж/м}^2;$$

для наружних стен выше нулевой отметки пола

$$q_2=(14+15{,}5)/2=14{,}75 \text{ МДж/м}^2;$$

для днища

$$q_3=(14+15{,}5)/2=14{,}75 \text{ МДж/м}^2;$$

для крышек

$$q_4=(7{,}1+7{,}7)/2=7{,}4 \text{ МДж/м}^2;$$

для перегородок

$$q_5=(15{,}1+18)/2=16{,}55 \text{ МДж/м}^2.$$

Рассчитываем суммарные удельные теплопотери по формуле (2)

$$Q_р^п=(q_1F_1+q_2F_2+q_3F_3+q_4F_4+q_5F_5)/V_б, \text{ МДж/м}^3,$$

$$Q_р^п=(19\cdot98+14{,}75\cdot26+14{,}75\cdot66+7{,}4\cdot66+16{,}5\cdot49)/18{,}3=247 \text{ МДж/м}^3.$$

Коэффициент K, учитывающий потери тепла с конденсатом при разогреве изделий до 75° С, определяется по табл. 1— $K=1{,}06$.

Общий расход тепловой энергии Q, МДж/м³, по формуле (1)

$$Q=K(Q_б+Q_м+Q_р^п),$$

$$Q=1{,}06(107+105+247)=486{,}5 \text{ МДж/м}^3.$$

Расчет варианта II (разогрев изделий в теплоизолированных камерах до температуры 70° С)

Рассчитываем сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций R_0, м²·° С/Вт, по формуле (3)

$$R_0 = \delta_б / \lambda_б + \delta_{из} / \lambda_{из} + R_{пр},$$

где $\delta_б$ и $\delta_{из}$ — соответственно толщина слоя тяжелого бетона (0,3 м) и минераловатной плиты (0,06 м); $\lambda_б$ и $\lambda_{из}$ — соответственно коэффициенты теплопроводности тяжелого бетона и минераловатной плиты, принимаемые по прил. 3 СНиП II-3-79**: $\lambda_б = 1{,}86$, $\lambda_{из} = 0{,}076$ Вт/(м·°С); $R_{пр}$ — сопротивление теплопередаче воздушной прослойки шириной 0,35 м; по табл. 6 $R_{пр} = 0{,}29$ (м²·°С)/Вт.

$$R_0 = 0{,}3/1{,}86 + 0{,}06/0{,}076 + 0{,}29 = 1{,}24 \quad (м^2 \cdot ° С)/Вт.$$

Принимаем $R_0 = 1{,}25$ м²·° С/Вт и по табл. 7 определяем коэффициент $K = 0{,}145$.

Определяем расход тепловой энергии на разогрев и компенсацию потерь при остывании ограждений (по табл. 4 и 5) с учетом коэффициента $K = 0{,}145$:

для наружных стен выше нулевой отметки пола $q_1 = 18{,}8 \cdot 0{,}145 = 2{,}7$ МДж/м²;

для наружных стен ниже нулевой отметки пола $q_2 = 14 \cdot 0{,}145 = 2$ МДж/м²;

для днища из керамзито-бетонного пустотного настила (по табл. 5) $q_3' = 13{,}4$ МДж/м²;

для крышек $q_4 = 7{,}1$ МДж/м²;

для перегородок $q_5 = 15{,}5 \cdot 0{,}145 = 2{,}2$ МДж/м².

Рассчитываем суммарные удельные теплопотери по формуле (2)

$$Q_р^п = (2{,}7 \cdot 98 + 2 \cdot 26 + 13{,}4 \cdot 66 + 7{,}1 \cdot 66 + 2{,}2 \cdot 49) / 18{,}3 = 84{,}1 \text{ МДж/м}^3.$$

Расход тепловой энергии для разогрева бетона (по табл. 2) $Q_б = 100$ МДж/м³.

Расход тепловой энергии для разогрева металла форм (по табл. 3) $Q_м = 96$ МДж/м³.

Общий расход тепловой энергии по формуле (1) $Q = 1{,}055(100 + 96 + 84) = 295{,}4$ МДж/м³.

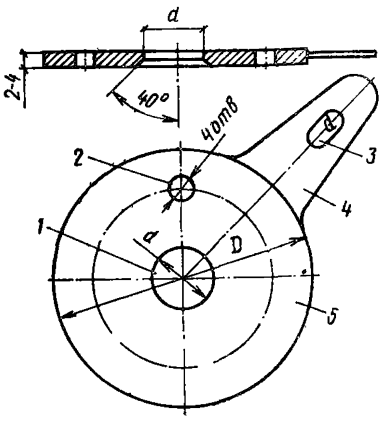
Таким образом, расход тепловой энергии для тепловой обработки железобетонных изделий класса В22,5 (М 300) составляет: в неизолированных камерах — 486 МДж/м³; в теплоизолированных камерах — 295 МДж/м³.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

ПОДБОР ДРОССЕЛЬНЫХ ДИАФРАГМ

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

Монтаж дроссельных диафрагм следует производить одновременно на всех тепловых установках, питающихся от каждого отдельного магистрального паропровода. В противном слу-



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

чае произойдет перераспределение давления и пар будет поступать в значительно меньшем количестве в установки, оснащенные дроссельными диафрагмами, что приведет к недогреву изделий.

2. Дроссельные диафрагмы устанавливаются на паровых вводах в установки, как при наличии автоматизированных 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.

3. Дроссельная диафрагма представляет собой стальную пластину толщиной 2—3 мм, в которой выполнено отверстие, рассчитанное для пропускания требуемого количества пара (см. рисунок).

4. Для подбора диаметра отверстий дроссельных диафрагм первоначально определяется удельный расчетный расход тепловой энергии Q в соответствии с рекомендациями прил. 3.

5. По удельному расходу тепловой энергии Q, кг/ч, рассчитывается часовой расход пара по формуле

$$G = Q V_б \ 0{,}43 / \tau,$$

где $V_б$ — объем пропариваемого бетона в плотном теле, м^3;

τ — продолжительность подачи пара в установку, ч;

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

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	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	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	1,07	2	4,5	8	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	0,11	0,08	2,2	5	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	23	41	64	92	125	164	208	257	310	369	433	508	576
0,23	0,133	0,097	2,7	6	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	26	46	72	104	139	185	234	289	349	416	487	565	650
0,26	0,15	0,11	3	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	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
0,3	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	9	16	25	36	64	100	144	194	256	324	400	484	576	676	784	900
0,,4	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	0,26	0,19	5,1	11,5	20,5	32	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	71	126	196	282	361	500	686	734	950	1127	1320	1535	1762
0,8	0,482	0,318	9	20,2	35,8	56	81	144	224	328	434	572	726	896	1080	1290	1510	1754	2020

gost.e-ecolog.ru