НАЦИОНАЛЬНОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ СТРОИТЕЛЕЙ

Рекомендации

ПРОИЗВОДСТВО БЕТОННЫХ РАБОТ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД

Р НОСТРОЙ 9-2014

Проект первой редакции

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Южно-Уральский государственный университет»
(национальный исследовательский университет)
Москва 2014

Предисловие

1	РАЗРАБОТАНЫ	Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего профессионального образования «Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет)
2	ПРЕДСТАВЛЕНЫ НА УТВЕРЖДЕНИЕ	Комитетом по промышленному строительству Национального объединения строителей протокол от «__» _____ 20__ г. № ___
3	УТВЕРЖДЕНЫ И ВВЕДЕНЫ В ДЕЙСТВИЕ	Решением Совета Национального объединения строителей от _____ № _____
4	ВВЕДЕНЫ	ВПЕРВЫЕ

© Национальное объединение строителей, 2014

Распространение настоящего стандарта осуществляется в соответствии с действующим законодательством и с соблюдением правил, установленных Национальным объединение строителей

Содержание

Введение V
1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 2
3 Термины, определения и обозначения 4
4 Общие положения по выполнению бетонных работ в зимний период 8
5 Приготовление бетонной смеси и подготовка к ее укладке 10
6 Технологические параметры зимнего бетонирования 13
7 Прогрев бетона нагревательными проводами 21
8 Электропрогрев бетона 29
9 Обогрев бетона поверхностными нагревателями 32
10 Конвективный обогрев 33
11 Метод термоса 38
12 Предварительный разогрев бетонной смеси 38
13 Противоморозные добавки 39
14 Раннее нагружение 40
15 Контроль прочности бетона 44
16 Нормируемые показатели прочности бетона 47
17 Контроль температурных напряжений в бетоне 50
18 Расположение контрольных точек для измерения температуры 53
19 Компьютерный температурно-прочностной контроль бетона 56
20 Документирование температурно-прочностного контроля бетона 59
Приложение А (справочное) Теплотехнические характеристики утеплителей 61
Приложение Б (справочное) Основные характеристики для расчёта греющего провода 62
Приложение В (справочное) Пример расчёта параметров греющего провода 63

Приложение Г (справочное) Пример расчёта параметров электропрогрева бетона 65
Приложение Д (справочное) Технические характеристики теплогенераторов 67
Приложение Е (справочное) Пример расчёта параметров конвективного прогрева 68
Приложение Ж (справочное) Противоморозные добавки 71
Приложение И (справочное) Пример расчёта параметров раннего нагружения 73
Приложение К (справочное) Примеры расчёта прочности бетона, выдерживаемого по определённому температурному режиму 75
Приложение Л (справочное) Возможности ПО «Снежный барс v. 2.11» 77
Приложение М (рекомендуемое) Форма листа температурно-прочностного контроля 82
Библиография 84

Введение

Настоящие рекомендации разработаны в рамках Программы стандартизации Национального объединения строителей и направлены на реализацию Градостроительного кодекса Российской Федерации, Федеральных законов Российской Федерации от 27 декабря 2002 года № 184-ФЗ «О техническом регулировании», от 30 декабря 2009 года № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», постановления Правительства Российской Федерации от 21 июня 2010 года № 468 «О порядке проведения строительного контроля при осуществлении строительства, реконструкции и капитального ремонта объектов капитального строительства», приказа Министерства регионального развития Российской Федерации от 30 декабря 2009 года № 624 «Об утверждении Перечня видов работ по инженерным изысканиям, по подготовке проектной документации, по строительству, реконструкции, капитальному ремонту объектов капитального строительства, которые оказывают влияние на безопасность объектов капитального строительства» и иных законодательных и нормативных правовых актов, действующих в области градостроительной деятельности.

Настоящие рекомендации разработаны в развитие СТО НОСТРОЙ 2.6.54.-2011 «Конструкции монолитные бетонные и железобетонные. Технические требования к производству работ, правила и методы контроля» для выработки единых требований по производству и контролю качества бетонных работ в зимнее время.

В основу рекомендаций положены результаты научных исследований, выполненных на кафедре «Технология строительного производства» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет), и других научно-исследовательских, учебных и

производственных организаций Российской Федерации, а также накопленный опыт отечественного и зарубежного строительства в области зимнего бетонирования. Требования настоящих рекомендаций до введения их в действие прошли апробацию в строительных организациях Челябинской области.

Авторский коллектив: *докт. техн. наук, проф. Головнев С.Г.*, *канд. техн. наук, доц. Пикус Г.А., Мозгалёв К.М.* («Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет)), *Абаимов А.И.* (Управление регионального государственного строительного надзора Министерства строительства, инфраструктуры и дорожного хозяйства Челябинской области), *Десятков Ю.В.* (НП «Саморегулируемая организация Союз строительных компаний Урала и Сибири»).

РЕКОМЕНДАЦИИ НАЦИОНАЛЬНОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ СТРОИТЕЛЕЙ

ПРОИЗВОДСТВО БЕТОННЫХ РАБОТ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД

Production of concrete work in winter

1 Область применения

1.1 Рекомендации распространяются на производство бетонных работ в зимний период при устройстве всех видов бетонных и железобетонных конструкций, применяемых в гражданском и промышленном строительстве, изготовляемых на строительной площадке из тяжелых бетонов и ненапрягаемой арматуры.

Примечание - Зимним периодом, в соответствии с СП 70.13330, считается период, когда среднесуточная температура наружного воздуха ниже +5 ˚С, а минимальная суточная температура ниже 0 ˚С.

1.2 Настоящие рекомендации содержат основные требования к технологическим процессам, условиям производства работ и порядку контроля их выполнения.

1.3 Рекомендации содержат общие требования к процессам компьютерного контроля температуры и прочности бетона, а также способам выполнения отдельных этапов контроля и их документированию.

2 Нормативные ссылки

В настоящих рекомендациях используются нормативные ссылки на следующие стандарты и своды правил:

ГОСТ 7473-2010 Смеси бетонные. Технические условия

ГОСТ 10180-2012 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам

ГОСТ 10181-2000 Смеси бетонные. Методы испытаний

ГОСТ 17624-2012 Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности

ГОСТ 18105-2010 Бетоны. Правила контроля и оценки прочности

ГОСТ 22685-89 Формы для изготовления контрольных образцов бетона. Технические условия

ГОСТ 22690-88 Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля

ГОСТ 23732-2011 Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия

ГОСТ 24211-2008 Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия

ГОСТ 26633-2012 Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия

ГОСТ 27006-86 Бетоны. Правила подбора состава

ГОСТ 28570-90 Бетоны. Методы определения прочности по образцам, отобранным из конструкций

ГОСТ 30459-2008 Добавки для бетонов и строительных растворов. Определение и оценка эффективности

ГОСТ 31309-2005 Материалы строительные теплоизоляционные на основе минеральных волокон. Общие технические условия

ГОСТ 31914-2012 Бетоны высокопрочные тяжелые и мелкозернистые для монолитных конструкций. Правила контроля и оценки качества

ГОСТ Р 52085-2003 Опалубка. Общие технические условия

ГОСТ Р 52953-2008 Материалы и изделия теплоизоляционные. Термины и определения

СП 48.13330.2011 «СНиП 12-01-2004 Организация строительства»

СП 63.13330.2012 «СНиП 52-01-2003 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения»

СП 70.13330.2012 «СНиП 3.03.01-87 Несущие и ограждающие конструкции»

СП 131.13330.2012 «СНиП 23-01-99 Строительная климатология»

СТО НОСТРОЙ 2.6.54-2011 Конструкции монолитные бетонные и железобетонные. Технические требования к производству работ, правила и методы контроля

Примечание – При пользовании настоящими рекомендациями целесообразно проверить действие ссылочных нормативных документов в информационной системе обще го пользования − на официальных сайтах национального органа Российской Федерации по стандартизации и НОСТРОЙ в сети Интернет или по ежегодно издаваемым информационным указателям, опубликованным по состоянию на 1 января текущего года. Если ссылочный нормативный документ заменен (изменен, актуализирован), то при пользовании настоящими рекомендациями следует руководствоваться новым (измененным) нормативным документом. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины, определения и обозначения

3.1 В настоящих рекомендациях применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1.1 **активный метод:** Метод термообработки, при котором тепловое воздействие осуществляется в период выдерживания бетона.

3.1.2 **бетонная смесь, готовая к применению (БСГ):** Смесь вяжущих, заполнителей, химических добавок, пигментов (при необходимости) и воды, перемешанная до однородной массы и готовая для выполнения строительных работ.

3.1.3 **бетонные работы:** Комплекс работ по приготовлению, транспортировке, укладке и выдерживанию бетона в различных условиях окружающей среды.

3.1.4 **зимнее бетонирование:** Производство бетонных работ в зимний период.

3.1.5 **зимний период:** Время года с ожидаемой среднесуточной температурой наружного воздуха ниже + 5 ˚С и минимальной суточной температурой ниже 0 ˚С.

3.1.6 **класс бетона по прочности в проектном возрасте:** Значение класса бетона, указанное в документе о качестве бетонной смеси.

Примечание – Форма и содержание документа о качестве БСГ установлены ГОСТ 7473.

3.1.7 **компьютерный температурно-прочностной контроль:** Оценка, прогнозирование и документирование параметров твердения бетона с использованием компьютерных программ.

3.1.8 **критическая прочность $R_{кр}$, %:** Прочность бетона, после достижения которой замораживание уже не вносит необратимых нарушений в структуру бетона, а бетон в нормальных условиях набирает нормируемую прочность.

3.1.9 **массивность конструкции:** Взаимосвязь геометрических характеристик бетонной конструкции и распределения температуры внутри бетона за счет теплопроводности.

3.1.10 **метод зимнего бетонирования:** Виды теплового или иного воздействия с целью получения критической, промежуточной, распалубочной прочности или прочности бетона при поэтапном загружении.

3.1.11 **модуль поверхности конструкции** $М_п$, $м^{-1}$**:** Характеристика массивности конструкции, равная отношению площади охлаждаемой поверхности конструкции к ее объему.

3.1.12 **монолитная бетонная конструкция:** Элемент здания или сооружения, выполняемый из бетонной смеси непосредственно в проектном положении без рабочей арматуры.

[СТО НОСТРОЙ 2.6.54-2011, пункт 3.2.8]

3.1.13 **монолитная железобетонная конструкция:** Элемент здания или сооружения, выполняемый из бетонной смеси непосредственно в проектном положении с установкой рабочей арматуры.

[СТО НОСТРОЙ 2.6.54-2011, пункт 3.2.9]

3.1.14 **нормальные условия твердения бетона:** Температура окружающей среды (20 ± 3) ˚С и относительная влажность (95 ±5) %.

3.1.15 **нормируемое значение прочности бетона:** Прочность бетона в проектном возрасте или ее доля в промежуточном возрасте, установленная в нормативном или техническом документе, по которому изготавливают БСГ или конструкцию.

3.1.16 **пассивный метод:** Метод, при котором отсутствует термообработка бетона или тепловое воздействие происходит только на этапе нагрева бетонной смеси.

3.1.17 **партия бетонной смеси:** Объем БСГ одного номинального состава, изготовленный или уложенный за определенное время.

[ГОСТ 18105-2010, пункт 3.1.7]

3.1.18 **промежуточная прочность:** Прочность бетона на определенном этапе выдерживания бетона.

3.1.19 **прочность при поэтапном загружении:** Прочность бетона, определяемая с учетом допустимой интенсивности загружения конструкций при их выдерживании.

3.1.20 **распалубочная прочность:** Прочность бетона, при которой осуществляется снятие опалубки с поверхностей конструкции.

3.1.21 **текущий контроль:** Контроль прочности бетона партии БСГ или конструкций, при котором значения фактической прочности и

однородности бетона по прочности рассчитывают по результатам контроля этой партии.

3.1.22 **текущая прочность:** Прочность бетона в процессе выдерживания бетона монолитных конструкций в зимних условиях.

3.1.23 **температурные напряжения:** Напряжения, возникающие в бетоне вследствие неравномерного распределения температуры по сечению монолитных конструкций.

3.1.24 **температурный режим:** Проектное или фактическое изменение температуры бетона во времени на разных этапах выдерживания бетона.

3.1.25 **требуемая прочность бетона:** Прочность бетона при твердении в нормальных условиях в течение 28 суток.

Примечание – Требуемая прочность бетона указывается в документе о качестве БСГ по ГОСТ 7473.

3.1.26 **трёхсуточная прочность бетона, R_3, МПа:** Прочность бетона в возрасте трёх суток при его выдерживании в нормальных условиях твердения.

3.1.27 **фактическая прочность бетона:** Среднее значение прочности бетона в партиях БСГ или конструкций, рассчитанное по результатам ее определения в контролируемой партии.

[ГОСТ 18105-2010, пункт 3.1.4]

3.1.28 **фактический класс бетона по прочности:** Значение класса бетона по прочности монолитных конструкций, рассчитанное по результатам определения текущей прочности бетона и ее однородности.

3.2 Основные обозначения, принятые в настоящих рекомендациях, приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Основные обозначения

Символ	Размерность	Значение
$t_{н.в.}$	˚С	Температура наружного воздуха
$\alpha_{прив}$	Вт/(м^2·˚С)	Приведенный коэффициент теплопередачи ограждения
$t_{б.см.}$	˚С	Температура приготовленной бетонной смеси на выходе из бетоносмесителя
$M_п$	м$^{-1}$	Модуль поверхности конструкции
$t_{из}$	˚С	Температура изотермического выдерживания бетона
$t_{б.н.}$	˚С	Начальная температура бетона, уложенного в конструкцию
$F_{охл}$	м^2	Площадь охлаждаемых поверхностей конструкции
V	м^3	Объём конструкции
$V_{под}$	˚С/час	Скорость подъёма температуры
$M_{оп}$	м$^{-1}$	Модуль опалубленной поверхности
$F_{оп}$	м^2	Площадь опалубленной поверхности

4 Общие положения по выполнению бетонных работ в зимний период

4.1 Применение методов зимнего бетонирования должно исключать преждевременное замораживание бетонной смеси и бетона, обеспечивать заданные темпы укладки бетонной смеси и получение нормируемых значений прочности бетона при сокращении времени твердения, а также создавать условия, исключающие образование трещин в конструкции из-за температурных перепадов по сечению конструкции.

4.2 На основании рабочих чертежей конструкций и расчетных климатических параметров выдерживания бетона организация, выполняющая бетонные работы, разрабатывает организационно-технологическую документацию зимнего бетонирования (технологические

карты, технологические регламенты и тому подобное), в которой должны быть приведены:

– технология приготовления и транспортирования бетонной смеси, обеспечивающие получение требуемых свойств и, прежде всего, заданной температуры этой смеси при выгрузке из бетоносмесителя и у места укладки в конструкции;

– нормируемые значения прочности бетона;

– температурные режимы выдерживания бетона, а при использовании активных методов зимнего бетонирования – дополнительно принципиальные и монтажные схемы прогрева;

– схемы размещения температурных скважин и типы приборов для измерения температуры бетона;

– расход материалов и трудозатраты на выполнение работ;

– требования к контролю качества;

– охрана труда и техника безопасности.

4.3 Выбор метода зимнего бетонирования рекомендуется осуществлять на основе технико-экономической оценки эффективности, выполняемой посредством комплексного моделирования инвестиционных строительных проектов. При этом кроме обычных показателей эффективности, таких как продолжительность строительства и (или) реализации инвестиционного строительного проекта, трудоёмкость строительства, стоимость, чистый доход, период окупаемости, необходимо использовать дисконтированные показатели – чистый дисконтированный доход, дисконтируемый период окупаемости, индекс прибыльности или индекс доходности.

4.4 При выполнении бетонных работ в зимний период следует соблюдать нижеприведенные требования охраны труда и техники безопасности.

4.4.1 При эксплуатации электроустановок для электротермообработки бетона помимо общих требований правил безопасного производства работ

согласно СНиП 12-03-2001 «Безопасность труда в строительстве. Часть 1. Общие требования» следует руководствоваться «Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей».

4.4.2 В течение всего периода эксплуатации электроустановок для электротермообработки бетона рабочая зона должна быть оборудована знаками безопасности и иметь защитное ограждение высотой не менее 1 м. Вдоль ограждения устанавливаются красные сигнальные лампы под напряжение не более 42 В, которые загораются одновременно с включением установок электротермообрабоки. В ночное время ограждение рабочей зоны должно быть освещено. Участок электротермообработки бетона должен постоянно находиться под надзором дежурного электрика.

4.4.3 Запрещается:

– хождение людей, размещение посторонних предметов на поверхности обогреваемых конструкций;

– проводить работы по электротермообработке во время оттепели, а также без ограждения зоны производства работ;

– работать при обнаруженной неисправности электропроводки;

– прокладывать электрические провода непосредственно по грунту;

– размещать легковоспламеняющиеся материалы вблизи установок для электротермообработки бетона;

– выполнять ремонтные и обслуживающие работы при включенном напряжении.

5 Приготовление бетонной смеси и подготовка к ее укладке

5.1 Приготовление бетонной смеси следует производить в обогреваемых бетоносмесительных установках, применяя подогретую воду, оттаянные или подогретые заполнители, обеспечивающие получение бетонной смеси с температурой не ниже требуемой по расчёту. Допускается

применение неотогретых сухих заполнителей, не содержащих наледи на зёрнах и смёрзшихся комьев. При этом продолжительность перемешивания бетонной смеси должна быть увеличена не менее чем на 25 % по сравнению с летними условиями (СП 70.13330).

5.2 Температура приготовленной бетонной смеси $t_{б.см.}$, °С, на выходе из бетоносмесителя определяется по формуле [1, 2]:

$$t_{б.см.} = \frac{0{,}84 \cdot (q_ц \cdot t_ц + q_п \cdot t_п + q_{к.з.} \cdot t_{к.з.}) + 4{,}2 \cdot q_в \cdot t_в}{0{,}84 \cdot (q_ц + q_п + q_{к.з.})} + \frac{4{,}2 \cdot (i_п \cdot q_п \cdot t_п + i_{к.з.} \cdot q_{к.з.} \cdot t_{к.з.})}{4{,}2 \cdot q_в}, \quad (1)$$

где $i_п$, $i_{к.з.}$ – относительная влажность песка и крупного заполнителя по массе, %;

$q_ц$, $q_п$, $q_{к.з.}$, $q_в$ – соответственно масса цемента, песка, крупного заполнителя и воды в 1 м^3 бетонной смеси, кг (в расчёте на сухие заполнители);

$t_ц$, $t_п$, $t_{к.з.}$, $t_в$ – соответственно температура цемента, песка, крупного заполнителя и воды при загрузке в смеситель, °С;

0,84 – удельная теплоёмкость цемента, песка и крупного заполнителя, кДж/(кг·°С);

4,2 – удельная теплоёмкость воды, кДж/(кг·°С).

5.3 Из формулы (1) можно определить температуру любого компонента бетонной смеси ($t_ц$, $t_п$, $t_{к.з.}$, $t_в$), задаваясь ее температурой и температурой остальных компонентов.

5.4 Наибольшая допустимая температура воды для бетонов на портланд- и шлакопортландцементах не должна превышать 80 °С, на быстротвердеющих цементах – 60 °С.

5.5 Наибольшая допустимая температура бетонной смеси на выходе из бетоносмесителя не должна превышать 35 °С.

5.6 Применяемые средства и продолжительность транспортирования бетонной смеси должны исключать возможность охлаждения её ниже значения, установленного организационно-технологической документацией.

5.7 Бетонная смесь должна обеспечивать набор бетоном требуемой прочности. Требуемая прочность бетона определяется, исходя из проектного класса бетона по прочности, согласно п. 7.1 ГОСТ 18105.

5.8 Перед укладкой бетонной смеси основание, установленные опалубка и арматура должны быть очищены от снега и наледи. Для предотвращения попадания на них снега следует сразу после их подготовки и монтажа укрывать защитными материалами (плёнками, брезентом и т.п.).

5.9 Укладку бетонной смеси необходимо производить такими методами, которые исключают возможность замерзания смеси в зоне контакта с основанием.

5.10 Обеспечение положительных температур основания возможно осуществить следующими основными способами:

– утеплением;

– электродным прогревом;

– прогревом гибкими термоактивными покрытиями;

– отогревом тепловыми пушками или инфракрасными обогревателями в тепляках.

5.11 При отогреве основания тепловыми пушками, последние равномерно устанавливают в тепляке таким образом, чтобы их сопла были направлены в одну сторону (например, по часовой стрелке). Такое расположение обеспечивает эффективный отогрев основания за счет возникновения замкнутых потоков теплого воздуха. В тепляке необходимо поддерживать температуру воздуха не ниже 5 ˚С на уровне основания. Количество тепловых пушек в тепляке следует определять по формуле:

$$n=\frac{m \cdot F \cdot \Delta t \cdot \alpha_{прив}}{q_к}, \qquad (2)$$

где m – коэффициент, учитывающий теплопотери ($m=1{,}2$);

F – площадь ограждения тепляка, м^2;

Δt – перепад температуры между воздухом в тепляке и наружным воздухом, ˚С;

$\alpha_{прив}$ – приведенный коэффициент теплопередачи ограждения (внешнего контура и основания тепляка), Вт/(м$^2\cdot$˚С);

$q_к$ – мощность одной тепловой пушки, Вт.

Тепловые пушки прямого нагрева можно устанавливать только снаружи тепляка, а подачу теплого воздуха от них в тепляк осуществлять с помощью гибкого отвода. Выполнение каких-либо работ в тепляке при этом запрещается.

Тепловые пушки непрямого нагрева позволяют в процессе отогрева основания выполнять совмещенные работы в тепляке, однако при этом необходимо систематически проветривать тепляк.

5.12 Использование инфракрасных обогревателей целесообразно в высоких тепляках. Обогреватели расставляют равномерно по тепляку, направляя его излучение на отогреваемое основание.

5.13 Необходимую продолжительность обогрева оснований (час) следует определять по формулам:

– для глин и суглинков

$$\tau=10{,}41\cdot h-0{,}18\cdot t_{н.в.}-0{,}13\cdot t_{об}+7{,}15, \quad (3)$$

– для супесей и песчаных грунтов

$$\tau=11{,}95\cdot h-0{,}20\cdot t_{н.в.}-0{,}15\cdot t_{об}+8{,}61, \quad (4)$$

где h – глубина промерзания грунта, м;

$t_{н.в.}$ – среднесуточная температура наружного воздуха на период обогрева, ˚С;

$t_{об}$ – средняя рабочая температура обогрева основания, ˚С.

5.14 Отогрев оснований выполняется на глубину не менее 300 мм для непучинистых и бетонных оснований и не менее 500 мм для пучинистых, с

последующим предохранением их от замерзания до момента укладки бетонной смеси.

5.15 Допускается не отогревать непучинистые основания в случаях:

– использования активных методов зимнего бетонирования;

– использования пассивных методов зимнего бетонирования, если по расчёту в зоне контакта на протяжении расчетного периода выдерживания бетона не произойдет его замерзания.

5.16 При температуре наружного воздуха ниже -10 ˚С и наличии арматуры диаметром более 24 мм (или крупных закладных деталей) следует выполнять предварительный отогрев металла до положительной температуры (за исключением случаев укладки бетонной смеси с предварительным разогревом).

6 Технологические параметры зимнего бетонирования

6.1 В качестве расчётных климатических параметров принимаются:

– температура наружного воздуха;

– скорость ветра.

6.2 Температура наружного воздуха в заданном месяце, на стадии разработки проекта, для всех методов, кроме метода с применением противоморозных добавок, определяется по формуле:

$$t_{н.в}=t^{ср}_{н.в}-\frac{\Delta t_{max}}{2}, \qquad (5)$$

где $t^{ср}_{н.в}$ – среднемесячная температура наружного воздуха, °С, в заданном месяце (табл. 5.1 СП 131.13330);

Δt_{max} – максимальная амплитуда колебаний суточной температуры, °С, в заданном месяце (табл. 11.1 СП 131.13330).

6.3 Температура наружного воздуха, на стадии разработки проекта, для метода с применением противоморозных добавок принимается:

– для конструкций с модулем поверхности менее 3 $м^{-1}$ – как среднемесячная температура наружного воздуха в заданном месяце с увеличением температуры на 5 ˚С;

– для конструкций с модулем поверхности 3…6 $м^{-1}$ – как среднемесячная температура наружного воздуха в заданном месяце;

– для конструкций с модулем поверхности более 6 $м^{-1}$ по формуле:

$$t_{н.в} = t^{ср}_{н.в.} - \frac{\Delta t_{ср}}{2}, \qquad (6)$$

где $\Delta t_{ср}$ – средняя амплитуда колебаний суточной температуры, ˚С, в заданном месяце (табл. 11.1 СП 131.13330).

6.4 Температура наружного воздуха, при прогнозировании поведения бетона уложенного в конструкцию, определяется по данным прогноза метеостанций.

6.4.1 Для всех методов, кроме метода с применением противоморозных добавок:

$$t_{н.в.} = t^{с.п.}_{н.в.} - \frac{\Delta t^{п}_{max}}{2}, \qquad (7)$$

где $t^{с.п.}_{н.в.}$ – среднесуточная температура наружного воздуха на период прогноза, ˚С;

$\Delta t^{п}_{max}$ – максимальная за период прогноза амплитуда колебаний суточной температуры наружного воздуха, ˚С.

6.4.2 Для метода с применением противоморозных добавок:

– для конструкций с модулем поверхности менее 3 $м^{-1}$ – как средняя температура наружного воздуха на первые 20 суток твердения с увеличением температуры на 5 ˚С;

– для конструкций с модулем поверхности от 3 до 6 $м^{-1}$ – как средняя температура наружного воздуха по прогнозу на первые 20 суток;

– для конструкций с модулем поверхности более 6 $м^{-1}$ – как минимальная среднесуточная температура наружного воздуха по прогнозу на первые 20 суток.

6.5 Скорость ветра, м/с, на стадии разработки проекта, определяется как максимальная из средних скоростей ветра в январе по румбам (табл. 3.1 СП 131.13330).

6.6. Скорость ветра, м/с, при прогнозировании поведения бетона уложенного в конструкцию, определяется как средняя из максимальных суточных скоростей ветра на период прогноза.

6.7. Скорость ветра, определенная по п.п. 6.5 и 6.6, принимается действующей на высоте до 10 метров от уровня планировочной отметки грунта. На высоте свыше 10 метров скорость ветра следует определять по формуле:

$$v=v_{10}\cdot\left(\frac{h}{10}\right)^{n}, \qquad (8)$$

где v_{10} – скорость ветра на высоте 10 м, м/с;

h – высота, на которой определяется скорость ветра, м;

n – показатель степени (n = 0,14 – для открытой местности, n = 0,22 – для лесных массивов и городских территорий, равномерно покрытых препятствиями высотой более 10 м, n = 0,33 – для территорий с застройкой зданиями высотой свыше 25 м).

6.8 Железобетонная конструкция может соприкасаться (одновременно или в сочетании) с опалубкой, утеплителем, грунтом, ранее возведённой конструкцией.

6.9 Коэффициент теплопередачи опалубки, утеплителя или тонкостенной ранее возведенной конструкции, Вт/(м$^2\cdot$°С), определяется по формуле:

$$\alpha=\frac{1}{\frac{1}{\alpha_л+\alpha_к}+\sum\frac{\delta_i}{\lambda_i}}, \qquad (9)$$

где $\alpha_л$, $\alpha_к$ – соответственно лучистая и конвективная составляющая коэффициента теплопередачи, Вт/(м$^2\cdot$°С);

δ_i – толщина i-го слоя ограждения, м;

λ_i – коэффициент теплопроводности i-го слоя ограждения, Вт/(м·˚С).

Значение коэффициентов теплопроводности некоторых утеплителей приведены в приложении А.

6.10 Лучистая составляющая коэффициента теплопередачи:

$$\alpha_л=\left(4{,}6+0{,}045t_{н.в.}\right)\cdot\varepsilon, \qquad (10)$$

где ε – степень черноты полного нормального излучения материала ограждения (при расчетах можно принимать ε = 0,65).

6.11 Конвективная составляющая коэффициента теплопередачи:

$$\alpha_к=\frac{4{,}32\left[\left(1{,}293-0{,}058t_{н.в.}\right)\cdot v\right]^{0,8}}{l^{0,2}}, \qquad (11)$$

где v – скорость ветра, м/с;

l – определяющий размер (для тел прямоугольного и квадратного сечений) или радиус конструкции (для цилиндрических тел), м.

6.12 В случае, если бетонная поверхность укрыта гидроизоляционным материалом, необходимо учитывать коэффициент теплопередачи у открытой поверхности бетона по формуле:

$$\alpha=\alpha_л+\alpha_к. \qquad (12)$$

6.13 Теплопроводность материалов, входящих в состав опалубки и утеплителя, и нагретых до температуры $t_м$ определяется по формуле:

$$\lambda_t=\lambda_0\cdot\left(1+0{,}0025\cdot t_м\right), \qquad (13)$$

где λ_0 – коэффициент теплопроводности материалов при 0 ˚С, Вт/(м·˚С).

6.14 Коэффициент теплопередачи грунта – непостоянная величина, которую можно определить по формуле:

$$\alpha=1{,}13\cdot\eta\cdot\sqrt{\frac{\lambda\cdot c\cdot\gamma}{\tau}}, \qquad (14)$$

где η – коэффициент, для талого грунта равный 1, для мерзлого грунта при влажности 5 % – 1,5, 10 % – 2,1, 20 % – 3,2;

λ – коэффициент теплопроводности грунта, Вт/(м·°С);

c – удельная теплоёмкость грунта, Вт·час/(кг·°С);

γ – удельный вес грунта, кг/м^3;

τ – время от начала выдерживания бетона, час.

Значение $\sqrt{\lambda \cdot c \cdot \gamma}$ можно определить по таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Значения $\sqrt{\lambda \cdot c \cdot \gamma}$

Грунт	Значение $\sqrt{\lambda \cdot c \cdot \gamma}$ при влажности грунта (%)				
	0	5	10	15	20
Песчаный	10,5	16,7	23,6	29,5	35,7
Супесь	11,4	18,6	25,8	32,9	40,0
Суглинок	12,2	20,2	28,1	36,2	44,1
Глина	13,1	22,1	30,4	39,3	48,4

6.15 Приведенный коэффициент теплопередачи ограждения, состоящего из материалов с различными значениями коэффициента теплопередачи α_i и площади соприкосновения с бетоном F_i ,определяется по формуле:

$$\alpha_{прив} = \frac{\sum(\alpha_i \cdot F_i)}{\sum F_i}. \qquad (15)$$

6.16 Прочность бетона, выдерживаемого при различных этапах твердения (например, подъём температуры, изотермическая выдержка, остывание), определяется по формуле [3, 4]:

$$R_i = 100 - A \cdot e^{\frac{-B \cdot \sum\left[(0,6+0,02 \cdot t_i)^n \cdot \tau_i\right]}{24}}, \qquad (16)$$

где t_i – средняя температура i-го этапа, °С;

τ_i – продолжительность i-го этапа, час;

A – коэффициент начальной прочности бетона;

B – коэффициент темпа твердения;

n – показатель степени.

$$A=\frac{292}{\sqrt[3]{R_3}},\ B=\frac{7,3}{100-R_3},\ n=1,4+\frac{50}{R_3}, \qquad (17)$$

где R_3 – трёхсуточная прочность бетона нормального твердения.

6.17 Время подъёма температуры (для активных методов):

$$\tau_{под}=\frac{t_{из}-t_{б.н.}}{V_{нагр}}, \qquad (18)$$

где $t_{из}$ – температура изотермического выдерживания бетона (рекомендуется принимать $t_{из}$ = 40…60 ˚С, но не более 80 ˚С);

$V_{нагр}$ – скорость нагрева бетона.

6.18 Начальная температура бетона $t_{б.н.}$, уложенного в конструкцию:

– для метода предварительного разогрева

$$t_{б.н.}=t_{раз}-\left(t_{раз}-t_{н.в.}\right)\cdot 0,1, \qquad (19)$$

где $t_{раз}$ – температура разогрева бетонной смеси (для бетонов на портландцементе – не более 80 ˚С, на шлакопортландцементе – не более 90 ˚С);

– для остальных методов

$$t_{б.н.}=t_{б.см.}-\left(t_{б.см.}-t_{н.в.}\right)\cdot\left(0,01\cdot\tau_{тр}+0,032\cdot n\right), \qquad (20)$$

где $\tau_{тр}$ – время транспортирования бетонной смеси, мин;

n – количество операций перегрузок бетонной смеси.

6.19 Средняя температура бетона за период подъёма температуры (для активных методов):

$$t_{ср.нагр.}=\frac{t_{б.н.}+t_{из}}{2}. \qquad (21)$$

6.20 Время остывания бетона от текущей температуры $t_{б.т.}$ до конечной положительной температуры $t_{б.к.}$ в конструкции:

$$\tau_{ост}=\frac{k_{ир}}{m}\cdot\ln\frac{t_{б.т.}-t_{н.в.}}{t_{б.к.}-t_{н.в.}} \qquad (22)$$

где $k_{ир}$ – коэффициент, учитывающий распределение температуры на начальном этапе выдерживания (для активных методов $k_{ир}$ = 1, для пассивных методов $k_{ир}$ = 1,33);

m – темп охлаждения конструкции, $ч^{-1}$.

Темп охлаждения конструкции:

$$m=\frac{3{,}6\cdot\alpha_{прив}\cdot M_{п}}{k_{экз}\cdot C_{б}\cdot\gamma_{б}\cdot\left(1+k\frac{\alpha_{прив}}{\lambda_{б}\cdot M_{п}}\right)}, \qquad (23)$$

где $C_б$ – удельная теплоемкость бетона (для тяжелого бетона 1,05 кДж/(кг·°С));

$\gamma_б$ – удельный вес бетона (для тяжелого бетона 2400 кг/м^3);

$\lambda_б$ – коэффициент теплопроводности бетона (для тяжелого бетона 2,6 Вт/(м·°С));

k – коэффициент, учитывающий форму конструкции (для призматических 1,14; для пластинчатых – 1,03; для цилиндрических – 0,92);

$k_{экз}$ – коэффициент, учитывающий влияние экзотермии при твердении бетона (для пассивных методов $k_{экз}$ = 1, для активных методов $k_{экз}$ = 0,8);

$M_п$ – модуль поверхности конструкции, м$^{-1}$, определяемый по формуле:

$$M_{п}=\frac{\Sigma F_{охл}}{V}, \qquad (24)$$

где $F_{охл}$ – площадь охлаждаемых поверхностей конструкции, м^2,

V – объём конструкции, м^3.

Для пластинчатых конструкций модуль поверхности может быть определен по формуле:

$$M_п = \frac{2}{a}, \qquad (25)$$

где a – толщина конструкции, м.

6.21 Средняя температура бетона за период остывания определяется по формуле:

$$t_{ост} = \frac{t_{б.н.} - t_{б.к.}}{1{,}03 + 0{,}181 \cdot M_п + 0{,}006 \cdot \left(t_{б.н.} - t_{б.к.}\right)} + t_{б.к.}. \qquad (26)$$

6.22 Необходимое время изотермического выдерживания для активных методов определяется по формуле:

$$\tau_{из} = -\frac{24 \cdot \ln\left(\frac{100 - R_{тр}}{A}\right) + B \cdot \Sigma\left[\left(0{,}6 + 0{,}02 \cdot t_i\right)^n \cdot \tau_i\right]}{B \cdot \left(0{,}6 + 0{,}02 \cdot t_{из}\right)^n}, \qquad (27)$$

где $R_{тр}$ – требуемая прочность бетона, % от проектной прочности.

7 Прогрев бетона нагревательными проводами

7.1 Сущность способа заключается в кондуктивной передаче тепла контактной зоне бетона от нагретого провода, находящегося в теле прогреваемой конструкции и дальнейшему распределению тепла по ее сечению вследствие теплопроводности.

7.2 Способ прогрева бетона нагревательными проводами может быть совмещен с другими способами зимнего бетонирования.

7.3 В качестве нагревательных проводов рекомендуется использовать провода со стальной изолированной токонесущей жилой диаметром 1…3 мм марки ПНСВ. Возможно использование аналогичных по конструкции трансляционных проводов марок ПВЖ, ПГЖ и т.п., а также нагревательных проводов марок ПНПЖ, ПНВЖ, ПОСХВ, ПОСХП и т.п. Ниже приведенные данные касаются провода марки ПНСВ.

Изоляцией стальной жилы служит полиэтилен (температура размягчения 70 ˚С) либо поливинилхлорид (температура размягчения 170 ˚С). Допускается использовать силиконовую и фторопластовую изоляции, у которых допустимая температура нагрева составляет 150…220 ˚С. Выбор изоляции нагревательного провода осуществляется из следующих предпосылок:

– применение изоляции с более высокой температурой размягчения позволяет пропускать через провод большие значения токовой нагрузки, что обеспечивает ускорение прогрева бетона;

– поливинилхлоридная изоляция (в отличие от полиэтиленовой) при температуре -10 ˚С теряет свою гибкость и при монтаже подвержена растрескиванию;

– для армированных конструкций желательно использовать изоляцию с большей температурой размягчения, чтобы исключить короткое замыкания стальной жилы на арматуру вследствие пробоя изоляции.

Приблизительные температуры нагрева провода в зависимости от погонной нагрузки приведены в таблице Б.1 (приложение Б).

7.4 Максимальная погонная нагрузка на провод не должна превышать 45…50 Вт/м, так как температура бетона превышающая 100 ˚С ведет к обезвоживанию контактных зон бетона, их неполной гидратации и, в конечном итоге, снижению прочности. Для неармированных конструкций оптимальная погонная нагрузка на провод составляет 30…35 Вт/м, для армированных – 35…40 Вт/м.

7.5 Термообработка осуществляется на пониженных напряжениях (24…120 В). При обеспечении безопасных условий производства работ допускается выполнять термообработку на промышленных напряжениях (220/380 В).

7.6 Сопротивление одного погонного метра провода при рабочей температуре t:

$$r = \frac{\rho_t}{S}, \tag{28}$$

где S – площадь поперечного сечения стальной жилы, мм^2;

ρ_t – удельное электросопротивление стальной жилы при рабочей температуре t, Ом·мм^2/м.

$$\rho_t = \rho_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t) \cdot k, \tag{29}$$

где ρ_0 – удельное электрическое сопротивление стальной жилы при 20 ˚С (в случае отсутствия данных завода изготовителя провода, можно принять равным 0,150 Ом·мм^2/м);

α – температурный коэффициент сопротивления стальной жилы, равный 0,0046 ˚С$^{-1}$;

k – коэффициент принимаемый для постоянного тока 1, для переменного при рабочей температуре от 40 ˚С до 60 ˚С – 1,02, от 61 ˚С до 80 ˚С – 1,62, от 81 ˚С до 100 ˚С – 1,2.

7.7 Ток, протекающий в одном проводе:

$$I_1 = \sqrt{\frac{\Delta P}{r}}, \tag{30}$$

но не более 15А. Здесь ΔP – погонная нагрузка на провод, Вт/м.

7.8 Значение электрического напряжения на проводе U определяется:

– для постоянного, переменного однофазного и трехфазного (при соединении проводов треугольником) тока:

$$U = U_{лин}, \tag{31}$$

где U – напряжение тока на проводе, В;

$U_{лин}$ – линейное напряжение (напряжение в сети), В;

– для трёхфазного тока при соединении проводов звездой:

$$U = \frac{U_{лин}}{\sqrt{3}}. \tag{32}$$

7.9 Расчётная длина нагревательного провода:

$$L=\frac{U}{I_1 \cdot r}. \qquad (33)$$

7.10 Схемы соединения проводов к источнику тока по типу «звезда» и «треугольник» приведены на рисунках 7.1 – 7.2.

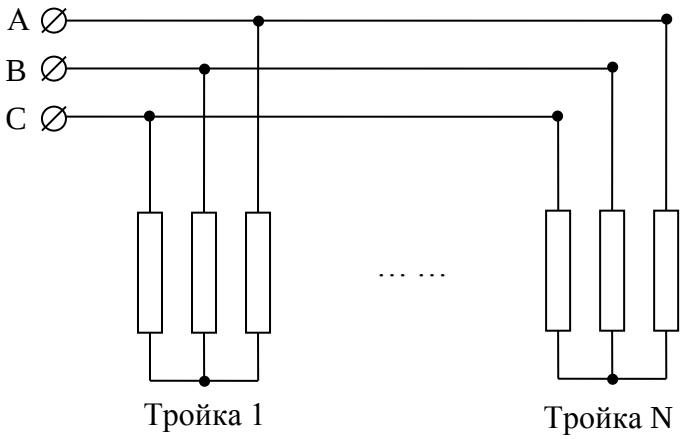

Рисунок 7.1 – Схема соединения проводов звездой

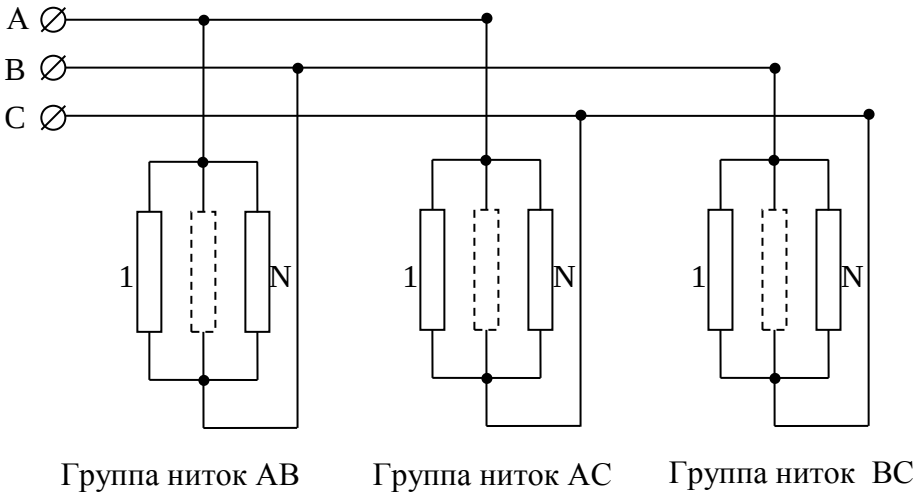

Рисунок 7.2 – Схема соединения проводов треугольником

7.11 Общее количество подключенных к трансформатору исходя из его возможности:

– троек:

$$N_{общ}=\frac{I_{лин}}{I_1}, \qquad (34)$$

– ниток:

$$N_{общ} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{лин}}{I_1}. \quad (35)$$

Здесь $I_{лин}$ – предельно допустимый ток для данного трансформатора при принятом напряжении (по паспортным данным).

Общее количество ниток должно быть кратно трем, чтобы обеспечивалась равномерная загрузка фаз.

7.12 Для некоторых конструкций целесообразно расчётную длину провода не определять, а назначать директивно. Например, для прогрева бетона в перекрытиях или подпорных стенах длину провода эффективнее назначать кратной ширине или высоте конструкции, чтобы обеспечить удобство коммутации проводов к шинопроводу. При этом обязательно должно быть выполнено условие

$$L \geq L_{min} = \frac{P_1}{\Delta P}, \quad (36)$$

где P_1 – мощность тока, приходящаяся на один провод, Вт.

При подключении звездой:

$$P_1 = \frac{U_{лин} \cdot I_1}{\sqrt{3}}. \quad (37)$$

При подключении треугольником:

$$P_1 = U_{лин} \cdot I_1. \quad (38)$$

Кроме этого необходимо пересчитать максимальное напряжение на проводе по формуле:

$$U = \sqrt{\frac{\Delta P \cdot \rho_t \cdot L^2}{S}}. \quad (39)$$

В некоторых случаях, если расчётная длина провода меньше необходимой, можно вместо соединения звездой использовать соединение треугольником, так как в этом случае длина провода увеличивается в 1,73 раза.

7.13 В связи с тем, что удельное сопротивление проводов разных партий и разных заводов изготовителей отличается, рекомендуется отмерять

длину проводов в соответствии с их фактическим активным сопротивлением. При этом минимальное сопротивление отрезка провода должно быть:

$$R_{min} = \frac{U}{I_1}. \qquad (40)$$

7.14 Нагревательные провода расчетной длины закладываются в конструкцию до начала бетонирования. Отклонение длины провода от расчетной не допускается. Так, излишняя длина нагревательного провода приводит к его перерасходу и необходимости более плотной навивки в теле конструкции, что ведет к увеличению трудоемкости работ. Одновременно уменьшается погонная нагрузка на провод, что приводит к снижению скорости прогрева бетона и увеличению продолжительности работ. С другой стороны, уменьшение длины греющего провода ведет к его чрезмерному нагреву, что влечет перегрев бетона в контактной зоне и возможному расплавлению изоляции с последующим коротким замыканием жилы на арматуру.

7.15 Ориентировочный шаг расстановки нагревательных проводов в конструкции, м:

$$b = \frac{1}{\frac{P_{уд}}{\Delta P} + 1}, \qquad (41)$$

где $P_{уд}$ – удельная требуемая мощность, приходящаяся на единицу площади прогреваемой конструкции, Вт/м^2.

$$P_{уд} = k \cdot \alpha_{прив} \cdot M_п \cdot (t_{из} - t_{н.в.}) \cdot \frac{V}{F}, \qquad (42)$$

где k – коэффициент, учитывающий потери тепла (может быть принят 1,16).

Окончательное значение шага расстановки нагревательных проводов назначается с учетом фактического расположения арматуры в конструкции в соответствии с ее рабочими чертежами.

В зонах конструкции, подвергающихся интенсивному охлаждению (например, углы или торцы конструкции) целесообразно уменьшать шаг расстановки проводов.

7.16 Общая длина проводов, требующаяся для прогрева 1 м^3 бетона до заданной температуры находится по формуле, м:

$$L_{общ} = \frac{k \cdot \alpha_{прив} \cdot M_п \cdot (t_{из} - t_{н.в.})}{\Delta P}. \quad (43)$$

7.17 Нагревательный провод крепится к арматурному каркасу (сетке) в наиболее безопасных, с точки зрения их повреждения, местах.

Провод не должен касаться материалов с низкой теплопроводностью (например, деревянной или фанерной опалубки, теплоизоляции и т.п.).

Крепление нагревательного провода выполняется отрезками-отходами провода с шагом 0,5…0,75 м. Возможно применение отрезков полипропиленового шпагата или мягкой вязальной проволоки диаметром не менее 1,2 мм с контролем отсутствия повреждения изоляции. Крепление производится без сильного натяжения (с усилием до 3…5 кг).

Радиус изгиба провода принимается не менее 3 наружных диаметров, но не менее 25 мм.

7.18 Во избежание обгорания изоляции нагревательного провода, выпуск его концов из бетона осуществляется через изолированные монтажные одножильные отводы.

В качестве монтажного отвода рекомендуется использовать алюминиевый провод (при токе до 100 А), например, марки АПВ или медный провод (при токе более 100 А), например, марки КГ.

Сечение монтажного отвода определяется на основании расчётной токовой нагрузки, А, по таблице Б.2 (приложение Б).

$$I_o = \frac{\Delta P \cdot L \cdot n}{U}, \quad (44)$$

где n – количество проводов, подключенных к одному отводу.

Принятое сечение монтажного отвода не должно быть менее 2,5 мм^2.

При соединении проводов звездой, если каждый провод тройки подключается к магистрали отдельно, оснащать их монтажными отводами не нужно.

7.19 Сечение магистральной линии (шинопровода), к которому подключаются монтажные отводы определяется по табл. 4 в зависимости от действующей в ней токовой нагрузки $I_м$:

– при соединении звездой:

$$I_м = n \cdot I_1, \quad (45)$$

– при соединении треугольником:

$$I_м = \sqrt{3} \cdot n \cdot I_1. \quad (46)$$

Здесь n – количество троек или треугольников, соответственно.

7.20 Подключение нагревательных проводов к источнику тока производится по мере завершения работ по укладке бетона на отдельных участках захватки, не допуская замораживания бетона и не допуская подключения нагревателей на тех участках, где укладка бетона еще не завершена.

Открытая (не забетонированная) арматура железобетонных конструкций, связанная с участком, находящимся под электрическим током, подлежит заземлению (занулению).

7.21 При разработке технологии прогрева бетона необходимо определить технологические параметры режимов его выдерживания: время (скорость) подъема температуры, время изотермического прогрева и остывания.

В связи с тем, что для прогрева бетона нагревательным проводом используется так называемый «саморегулируемый режим», когда электрическое напряжение постоянно на стадиях подъема температуры и изотермического выдерживания, то время (скорость подъема температуры вычисляется из равенства:

$$P_1 + P_2 + P_3 - P_4 = P_5, \quad (47)$$

где P_1, P_2, P_3 – удельные мощности необходимые для разогрева бетона, опалубки и арматуры соответственно;

P_4 – удельная мощность, эквивалентная экзотермическому теплу, выделившемуся в бетоне (можно принять 0,8 кВт/м^3);

P_5 – удельная мощность, требуемая в период изотермического выдерживания, кВт/м^3.

$$P_5 = \frac{k \cdot \alpha_{прив} \cdot M_п \cdot (t_{из} - t_{н.в.})}{1000}. \quad (48)$$

Тогда скорость подъёма температуры:

$$V_{под} = \frac{3600 \cdot (P_5 - 0{,}8)}{C_б \cdot \gamma_б + \frac{1}{2} \cdot \sum (C_{опi} \cdot \gamma_{опi} \cdot \delta_{опi}) \cdot M_{оп} + C_а \cdot \gamma_а}. \quad (49)$$

время подъёма температуры:

$$\tau_{под} = \frac{t_{из} - t_{б.н.}}{V_{под}}. \quad (50)$$

Здесь $C_а$, $C_{опi}$ – соответственно удельная теплоёмкость арматуры и i-го слоя опалубки, кДж/(кг·°С) (можно принять $c_а$ = 0,47 кДж/(кг·°С));

$\gamma_{опi}$ – удельный вес i-го слоя опалубки, кг/м^3;

$\gamma_а$ – вес арматуры, расположенной в 1 м^3 бетона, кг;

$\delta_{опi}$ – толщина *i*-го слоя опалубки, м;

$M_{оп}$ – модуль опалубленной поверхности, м$^{-1}$.

$$M_{оп} = \frac{F_{оп}}{V}, \quad (51)$$

где $F_{оп}$ – площадь опалубленной поверхности, м^2.

Время изотермического прогрева и остывания определяются исходя из требований достижения бетоном к концу выдерживания требуемой прочности.

7.22 Пример расчёта параметров греющего провода представлен в приложении В.

7.23 В целях соблюдения требований охраны труда и техники безопасности при использовании нагревательных проводов запрещается:

– подключать в сеть находящиеся на воздухе нагревательные провода, частично или полностью не забетонированные в конструкции;

– осуществлять крепление нагревательного провода к арматуре без использования вспомогательных средств (отрезков проволоки и т.п.), например, узлом;

– подключать нагревательные провода в сеть с напряжением, превышающим рабочее или подключать провода, длиной менее расчетной;

8 Электропрогрев бетона

8.1 Электропрогрев – это способ ускорения твердения бетонной смеси за счёт тепла, выделяемого в нем при пропускании переменного электрического тока промышленной частоты непосредственно в конструкции.

8.2 Мощность, выделяющаяся в бетонной смеси, определяется соотношением:

$$P=I \cdot U=\frac{U^2}{R}=I^2 \cdot R \qquad (52)$$

и количество выделяемого тепла при постоянном напряжении будет определяться сопротивлением бетонной смеси или удельным электрическим сопротивлением ρ.

8.3 Электропрогрев бетона может быть сквозным, когда электрический ток проходит через все сечение конструкции и тепло выделяется в объеме всей конструкции, или периферийным, при котором электроды разноименных фаз размещаются на поверхности конструкций. При этом вся подводимая электроэнергия превращается в тепловую в периферийных слоях конструкций толщиной приблизительно равной половине расстояния между электродами, в то время как центральные зоны

конструкций нагреваются за счет экзотермии цемента и теплопередачи от поверхности слоёв.

8.4 При периферийном электропрогреве арматурные сетки, расположенные параллельно электродам, экранируют электрическое поле в бетоне. В результате тепло образуется только в периферийном защитном слое бетона, при этом температура внутренних зон конструкции растет значительно медленнее только за счет теплопроводности и экзотермии. Поэтому во избежание недопустимых температурных перепадов температура изотермического прогрева в конструкциях толщиной более 40 см ограничена величиной 40 ˚С.

8.5 Периферийный электропрогрев следует применять для прогрева конструкции толщиной более 40 см, используя полосовые или пластинчатые электроды. Это фундаменты под оборудование, под колонны, фундаментные плиты, колонны, стены и т.д.

8.6 Сквозной прогрев с помощью полосовых или пластинчатых электродов следует применять для конструкций толщиной до 40 см, а в случае использования бетона с добавками – до 60 см.

8.7 Длину стержневых электродов, устанавливаемых в бетон, необходимо принимать с таким расчетом, чтобы они выступали над утеплителем верхней поверхности конструкции или при их установке горизонтально выступали за пределы опалубки на 8 – 10 см для подключения токопроводящих проводов.

8.8 В процессе бетонирования необходимо обращать внимание на соблюдение проектной толщины защитного слоя, сохранения положения электродов. Требуемое расстояние достигается применением специальных пластмассовых изоляторов, закрепляемых на арматуре до начала бетонирования. При прогреве открытые поверхности бетона должны быть укрыты гидроизоляционным материалом, а при необходимости и утеплены.

8.9 Удельная электрическая мощность, требуемая на отдельных этапах электропрогрева для поддержания заданного режима, определяется по следующим формулам [5]:

на период подъёма температуры

$$P_п = P_1 + P_2 + P_3 = \frac{C_б \cdot \gamma_б \cdot V_{под}}{3600} + \frac{\sum\left(C_{опi} \cdot \gamma_{опi} \cdot \delta_{опi}\right) \cdot M_{оп} \cdot V_{под}}{3600 \cdot 2} + \frac{\alpha_{прив} \cdot M_п \cdot (t_{б.н.} + t_{из} - 2 \cdot t_{н.в.})}{1000 \cdot 2}, \quad (53)$$

на период изотермического прогрева

$$P_{из} = \frac{k \cdot \alpha_{прив} \cdot M_п \cdot (t_{из} - t_{н.в.})}{1000} - 0{,}8, \quad (54)$$

где P_1 – мощность, необходимая для разогрева бетона, кВт/м^3;

P_2 – мощность, необходимая для разогрева опалубочной системы, кВт/м^3;

P_3 – мощность, необходимая для восполнения теплопотерь в окружающую среду в процессе разогрева бетона, кВт/м^3;

0,8 – мощность, эквивалентная теплу, выделяющемуся за время прогрева вследствие экзотермии цемента, кВт/м^3.

8.10 Пример расчёта параметров электропрогрева бетона представлен в приложении Г.

8.11 В целях соблюдения требований охраны труда и техники безопасности в сырую погоду и при сильных снегопадах не следует производить электродный прогрев бетона на открытом воздухе.

9 Обогрев бетона поверхностными нагревателями

9.1 Сущность метода заключается в том, что выделяемая электронагревателями тепловая энергия передается в поверхностные слои бетона или опалубки путём теплопроводности.

9.2 В качестве поверхностных нагревателей применяются трубчатые электронагреватели (ТЭНы), греющие провода и кабели, гибкие тканевые, в том числе углеродные ткани и ленты. При соответствующем обосновании возможно применение нестандартных нагревателей, изготовленных из проволоки (стальной, нихромовой и др.) с высоким омическим сопротивлением, а также сетчатые, пластинчатые и др.

9.3 Греющие провода и кабели следует устанавливать вплотную к палубе. Высокотемпературные нагреватели типа ТЭНов могут быть установлены как вплотную к палубе, так и на расстоянии от нее, если это позволяет конструкция ТЭНов.

9.4 Расчёт основных параметров поверхностных нагревателей сводится к определению:

– коэффициента теплопередачи ограждения конструкций;

– удельной мощности в зависимости от расчётной температуры наружного воздуха;

– оптимального шага нагревателей на поверхности конструкций в зависимости от требуемой удельной мощности и принятых допустимых перепадов температур.

9.5 Удельная мощность поверхностных нагревателей определяют следующим образом. По формулам раздела 8 рассчитывается мощность на период подъема температуры и изотермического прогрева (кВт/м^3). Поскольку ограждение конструкции проектируется с учётом кондуктивного теплообмена на поверхности, полученные значения $P_п$ и $P_{из}$ увеличивают в 1,3 раза. Таким образом, определение требуемой удельной мощности нагревателей на 1 м^2 ограждения в период подъёма температуры $P_п^{уд}$ изотермического выдерживания $P_{из}^{уд}$ осуществляется по формулам:

$$P_п^{уд} = \frac{1{,}3 \cdot P_п \cdot V}{F_{оп}}, \qquad (55)$$

$$P_{из}^{уд} = \frac{1{,}3 \cdot P_{из} \cdot V}{F_{оп}}. \quad (56)$$

10 Конвективный обогрев

10.1 Конвективный обогрев – это ускорение твердения бетона за счёт теплового потока, подаваемого в замкнутый объём (тепляки, тоннель и т.п.).

10.2 Открытые вертикальные поверхности закрываются теплоизоляционными шторами и в образованный замкнутый объём устанавливаются теплогенераторы. Передача тепловой энергии от теплогенератора к поверхности конструкций осуществляется конвекцией. Нагрев внутренних слоёв конструкций происходит за счёт теплопроводности бетона.

10.3 Методы конвективного обогрева классифицируются по способу подведения теплового потока к прогреваемой конструкции: традиционный камерный обогрев, камерный обогрев с воздуховодами, камерный прогрев с приопалубочными шторами.

10.4 При традиционном камерном обогреве тепловой поток от теплогенератора направляется в замкнутый объём и далее, вследствие конвективного теплообмена, происходит нагревание внутренних поверхностей конструкций.

10.5 При обогреве с воздуховодами тепловой поток от теплогенератора поступает в распределитель и далее в воздуховоды, подающие тепловой поток по периметру возводимых конструкций. Воздуховоды изготавливаются из прорезиненной ткани. Для создания струй горячего воздуха по длине они должны иметь отверстия.

10.6 При обогреве с приопалубочными шторами тепловой поток от теплогенератора поступает в область, ограниченную теплоизолирующей шторой и поверхностью бетона (опалубки).

10.7 Источниками тепловой энергии могут быть электрокалориферы, дизельные теплогенераторы прямого (непрямого) нагрева, газовые нагреватели и т.п. Основные технические характеристика источников тепловой энергии для конвективного обогрева приведены в приложении Д.

10.8 Выбор параметров технологии конвективного обогрева осуществляется на основе теплового баланса энергии, вырабатываемой теплогенератором, и теплопотерь.

10.9 Мощность теплогенератора определяется из условия:

$$Q_{тепл} \geq Q_{огр} + Q_{и} + Q_{н.о} + Q_{н.б}, \quad (57)$$

где $Q_{огр}$ – потери тепла через наружные ограждения;

$Q_{и}$ – расход тепла на прогрев инфильтрирующегося через ограждение воздуха;

$Q_{н.о}$ – расход тепла на нагревание поверхности конструкций (щитов опалубки);

$Q_{н.б}$ – расход тепла на прогрев бетона.

10.10 Потери тепла через наружные ограждения:

$$Q_{огр} = \Sigma\, [(t_{ті} - t_{ні}) \cdot n_i \cdot F_i \cdot \beta_i] / R_i, \quad (58)$$

где $t_{ті}$ – расчётная температура воздуха внутри тепляка, тоннеля;

$t_{ні}$ –температура наружного воздуха при расчёте теплопотерь через наружные ограждения тоннеля или температура воздуха более холодного помещения при расчёте теплопотерь через внутренние ограждения;

n_i – коэффициент, учитывающий фактическое понижение расчётной разности температур ($t_{ті}$ – $t_{ні}$) для ограждений, которые отделяют обогреваемое помещения от не обогреваемых;

β_i – коэффициент, учитывающий дополнительные потери тепла через ограждение;

F_i – площадь ограждения;

R_i – сопротивление теплопередаче ограждения.

10.11 Потери тепла в тепляке (тоннеле) на нагревание наружного воздуха, поступающего в результате инфильтрации через ограждения:

$$Q_и = \beta_0 \cdot G \cdot c_в \cdot (t_{ті} - t_{ні}), \quad (59)$$

где G – производительность вентилятора теплогенератора;

$c_в$ – массовая теплоёмкость воздуха;

β_0 – коэффициент, учитывающий дополнительные потери тепла в контуре при инфильтрации через ограждение.

10.12 Расход тепла на нагревание поверхности конструкций (щитов опалубки):

$$Q_{н.о.} = V_о \cdot C_о \cdot \rho_о \cdot u \cdot (t_{о.н.} - t_{о.к.}), \quad (60)$$

где $C_о$ – удельная теплоёмкость материала внутренних щитов опалубки;

$V_о$, $\rho_о$ – соответственно объём и плотность материала опалубки;

u – средняя по объему относительная температура,

$t_{о.н.}$, $t_{о.к.}$ – соответственно начальная и конечная температура опалубки.

В случае, когда бетон укладывается в уже нагретую опалубку величину $Q_{н.о.}$ можно не учитывать.

10.13. Расход тепла на нагревание бетона, уложенного в опалубку:

$$Q_{н.б.} = V \cdot C_б \cdot \gamma_б \cdot (t_{б.н.} - t_{б.к.}). \quad (61)$$

10.14 Пример расчёта параметров конвективного прогрева представлен в приложении Е.

10.15 При конвективном обогреве следует соблюдать нижеприведенные требования охраны труда и техники безопасности.

10.15.1 Горючее для заправки жидкостного теплогенератора должно храниться в отдельном помещении, оборудованном первичными средствами пожаротушения. Заправка горючим производится только при выключенных и обязательно остывших двигателях. Выполняют заправку только лица, ответственные за работу теплогенераторов. Места заправки ночью должны освещаться только электролампами или прожекторами, установленными не ближе 5 м от места заправки.

10.15.2 При установке теплогенераторов, работающих на жидком топливе внутри помещений следует внимательно следить за воздухообменом.

Не допускается установка внутри помещений жидкостных теплогенераторов прямого нагрева.

11 Метод термоса

11.1 Метод термоса характеризуется тем, что бетон набирает прочность за счёт сохранения тепла, внесенного в бетонную смесь при приготовлении и выделяемого цементом при его твердении.

11.2 При выдерживании конструкций методом термоса бетонная смесь должна обладать как можно большим запасом тепловой энергии, а её сохранение необходимо на всех технологических этапах: транспортировании, укладке, уплотнении и последующем выдерживании бетона. Бетоны должны приготовляться на высокоэкзотермичных цементах, которые к тому же обладают повышенными скоростями набора прочности в ранние сроки.

11.3 Применение метода термоса ограничено областью массивных конструкций ($М_п$ до < 6 $м^{-1}$), температурой наружного воздуха до – 15 ˚С. При резком понижении температуры наружного воздуха необходимо применять меры, предотвращающие преждевременное замораживание конструкций (дополнительное утепление, отогрев каким-либо источником тепла).

11.4 Термос рекомендуется использовать при комбинированных методах, например, с любыми прогревными способами или с применением химических добавок-ускорителей и противоморозных. В этом случае возможно выдерживание бетона в конструкциях с $М_п$ до 10 – 12 $м^{-1}$.

11.5 Применение термосного выдерживания бетона определяется массивностью бетонируемой конструкции, активностью и тепловыделением цемента, температурой уложенного бетона и температурой наружного воздуха, скоростью ветра и возможностью получения заданной прочности в установленные сроки. Сочетание этих факторов устанавливает область применения термоса, за пределами которой невозможно обеспечить

заданную проектом прочность бетона к моменту его распалубки или замерзания, либо другие методы выдерживания бетона окажутся более эффективными.

11.6 Для ускорения твердения бетона при термосном его выдерживании расход воды в бетонной смеси должен быть минимальным. Требуемая удобоукладываемость смеси обеспечивается применением суперпластификаторов и пластифицирующих добавок.

11.7 При расчёте термосного выдерживания бетона определяется продолжительность остывания конструкции и величина прочности бетона при заданных параметрах ограждения, или определяется величина коэффициента теплопередачи опалубки и утеплителя, необходимая для получения заданной прочности в установленные сроки.

12 Предварительный разогрев бетонной смеси

12.1 Сущность метода заключается в форсированном разогреве бетонной смеси до заданной температуры переменным электрическим током, паром или химическими добавками, последующей укладке, уплотнении и дальнейшем выдерживании бетона. В необходимых случаях осуществляется утепление конструкций.

12.2 Электроразогрев бетонной смеси в большинстве случаев осуществляется с помощью пластинчатых электродов в приёмных бункерах (бадьях).

12.3 Оптимальным следует считать время разогрева бетонной смеси в течение 10 – 20 мин. При разогреве менее 10 мин температура крупного заполнителя отстает от температуры остальной части смеси и резко возрастает требуемая электрическая мощность. Разогрев больше 20 мин,

кроме увеличения теплопотерь и испарения влаги, способствует быстрому схватыванию смеси.

12.4 Бункер для электроразогрева состоит из корпуса, выполненного из листовой стали толщиной не менее 4 мм, пластинчатых электродов, токоподключающих устройств и затвора выгрузочного отверстия.

12.5 Электразогрев бетонной смеси в бункерах осуществляется в следующей последовательности: очищенные бункера устанавливаются на посту электроразогрева; автобетоносмеситель заезжает в одну из свободных ячеек поста электроразогрева, выгружает смесь в бункера и выезжает.

12.6 Необходимая электрическая мощность для разогрева бетонной смеси в бункере определяется по формуле:

$$P = \frac{C_б \cdot \gamma_б \cdot (t_р - t_{б.см.}) \cdot K \cdot 60 \cdot V_б}{3{,}6 \cdot 10^{-3} \cdot K_э \cdot \tau_Р}, \qquad (62)$$

где $t_Р$ – заданная температура разогрева бетонной смеси, ˚С;

K – коэффициент, учитывающий потери тепла в процессе разогрева (принимается равным 1,15);

$V_б$ – объём бетона в бункере, м^3.

$K_э$ – коэффициент использования электроэнергии (при электроразогреве бетонной смеси принимается равным 0,95);

$\tau_Р$ – время разогрева, мин.

12.7 При предварительном электроразогреве следует соблюдать нижеприведенные требования охраны труда и техники безопасности.

12.7.1 Ёмкость для разогрева бетонной смеси кроме зануления должна быть дополнительная заземлена медным проводом сечением не менее 10 мм2, идущим к защитному заземлению.

12.7.2 Включение напряжения допускается только после окончания загрузки емкости бетонной смесью и уходом всех рабочих за защитное ограждение. Предварительный электроразогрев осуществляется только в присутствии дежурного электрика.

13 Противоморозные добавки

13.1 Введение противоморозных добавок обеспечивает сохранение жидкой фазы в бетоне и ускоряет его твердение при отрицательных температурах. Бетоны с противоморозными добавками применяются при возведении монолитных бетонных и железобетонных конструкций, замоноличивании стыков сборных конструкций.

13.2 В качестве противоморозных рекомендуется применять следующие добавки:

– НН – нитрит натрия;

– НК+М – нитрит кальция с мочевиной;

– ННХК – нитрит-нитрат-хлорид кальция;

– ХК+ХН – хлорид кальция в сочетании с хлоридом натрия;

– ХК+НН – хлорид кальция в сочетании с нитритом натрия;

– ННК+М – нитрит- нитрат кальция с мочевиной;

– П – поташ.

13.3 Область применения противоморозных добавок, ориентировочные величины прочности бетона с противоморозными добавками, а также необходимое количество противоморозных добавок следует определять в соответствии с рекомендациями, представленными в приложении Ж.

13.4 При применении противоморозных добавок следует соблюдать нижеприведенные требования охраны труда и техники безопасности.

13.4.1 В складских помещениях для хранения противоморозных добавок не допускается курение и применение открытого огня. Должны быть исключены короткие замыкания и искрение электрооборудования. На складе необходимо предусмотреть наличие противопожарного водопровода и средств пожаротушения.

13.4.2 При укладке бетонной смеси с противоморозными добавками необходимо особое внимание обращать на исправность электроинструмента и проводов ввиду повышенной электропроводности бетонов с добавками.

13.4.3 При работе с нитритом натрия необходимо осуществлять следующие мероприятия:

– склады для хранения кристаллического нитрита натрия следует размещать в отдельных зданиях;

– на емкостях для хранения и перевозки нитрита натрия, должна быть предупредительная надпись «Яд»;

– не допускать смешивания нитрита натрия с кислотами и солями имеющими кислую реакцию.

14 Раннее нагружение

14.1 Сущность раннего нагружения заключается в ускорении сроков распалубки и загружения конструкций с использованием эффекта упрочнения структуры бетона раннего возраста под нагрузкой.

14.2 Следует соблюдать следующий порядок проектирования технологии зимнего бетонирования с ранним нагружением монолитных конструкций:

– осуществляется разбивка здания на этапы возведения и определяются возможные максимальные и минимальные темпы нагружения конструкций;

– определяются технологические нагрузки на каждом этапе возведения;

– рассчитываются значения требуемой прочности бетона в конструкциях к моменту распалубки и нагружения;

– выбирается способ зимнего бетонирования и режимы тепловой обработки бетона, обеспечивающие получение требуемой прочности к заданному сроку при минимуме затрат.

14.3 В качестве этапа возведения монолитных конструкций многоэтажных зданий можно рассматривать один этаж, а величину нагрузок принимать в пределах одного этажа. При этом учитываются: период опалубочных и арматурных работ; период после распалубки; период возведения конструкций следующего этажа; период отделочных работ.

14.4 При определении нагрузок следует учитывать данные проекта: массу опалубки и опалубочных приспособлений, массу применяемого оборудования, схему приложения нагрузок в период возведения, в том числе местного действия. Нагрузки необходимо рассчитывать с соответствующими коэффициентами перегрузки и динамичности.

14.5 Расчётные характеристики бетона и арматуры, используемые для расчёта требуемой прочности монолитных конструкций в стадии возведения, следует принимать по СП 63.13330 с учётом коэффициентов условий работы.

Требуемая прочность бетона монолитных стен на уровне i-го этажа определяется по формуле:

$$R_i = \alpha \cdot \beta_i \frac{n_i}{N} R_{28} - \Delta R_i, \qquad (63)$$

где α – доля максимальной нагрузки в стадии возведения на нижний этаж по сравнению с эксплуатационной (при отсутствии данных рекомендуется принимать в запас прочности α=0,9);

β_i – коэффициент допустимой интенсивности нагружения, определяемый по таблице 14.1;

n_i – номер этажа при счете сверху ($n_i = N_w, N_w-1, ..., 1$ при $i=1, 2, ..., N$);

N_w – количество этажей, возводимых в зимних условиях;

N – общее количество этажей;

R_{28} – проектная прочность бетона;

ΔR_i – величина прироста прочности бетона i-го этажа с противоморозной добавкой за время от распалубки конструкции до окончания зимнего периода строительства.

Таблица 14.1 – Коэффициенты интенсивности нагружения

Коэффициент β_i при значении n_i/N (для промежуточных значений n_i/N коэффициент β_i определяется по интерполяции)									
0,1 и менее	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
2,00	1,82	1,67	1,54	1,43	1,33	1,25	1,15	1,06	1,00

14.6 Количество этажей, возводимых в зимних условиях:

$$N_w = k \cdot m \cdot \tau_w, \tag{64}$$

где k − коэффициент увеличения темпов строительства при ускоренном возведении конструкций, принимаемый равным k = 1,1;

m − темп строительства с учетом зимних условий, этажей/месяц;

τ_w − продолжительность зимнего периода строительства, определяемая по срокам начала работ, месяцев.

14.7 При темпе возведения:

$$m > \frac{0{,}7 \cdot N}{\beta \cdot \tau_w} \tag{65}$$

необходимо применять противоморозные добавки с целью уменьшения энергозатрат и продолжительности тепловой обработки бетона стен нижних этажей ($R_i > 0{,}7 \cdot R_{28}$).

14.8 При раннем нагружении монолитных железобетонных плит перекрытий, защемленных по трем или четырем сторонам, требуемая прочность бетона R при использовании противоморозных добавок или переопирании перекрытий на инвентарные стойки должна приниматься равной:

при распалубке в ненагруженном состоянии в пределах

$$(0{,}16+0{,}19 \cdot \ln L) \cdot R_{28} \le R \le (0{,}20+0{,}22 \cdot \ln L) \cdot R_{28}, \tag{66}$$

при технологическом нагружении уровнем нагрузки до 0,9 от эксплуатационной

$$(0{,}25+0{,}22 \cdot \ln L) \cdot R_{28} \le R \le (0{,}35+0{,}22 \cdot \ln L) \cdot R_{28}, \tag{67}$$

где L − пролёт перекрытия, м.

14.9 Вычисленные значения прочности должны удовлетворять условию:

$$R_i \geq \max\{R_{кр}; R_{loc}\} \quad (68)$$

где $R_{кр}$ — минимальная к моменту замерзания (критическая) прочность бетона, определяемая по таблице 17.1;

R_{loc} — прочность бетона из расчёта на местное действие технологических нагрузок, определяемая согласно конкретной технологии работ.

14.10 При раннем нагружении монолитных конструкций стен и перекрытий, возводимых в едином цикле, методы зимнего бетонирования должны назначаться с учетом трёх возможных случаев соотношения требуемой прочности стен $R_{ст}$ и перекрытий $R_{пер}$ на различных этапах возведения:

1) $R_{ст} < R_{пер}$; (69)

2) $R_{ст} = R_{пер}$; (70)

3) $R_{ст} > R_{пер}$. (71)

14.11 При возведении стен и перекрытий раздельно, например, в крупнощитовой опалубке, соотношения п. 14.10 не влияют на выбор метода зимнего бетонирования. При возведении стен и перекрытий в едином цикле (в объёмно-переставной опалубке) методы зимнего бетонирования рекомендуется принимать с учётом указанных соотношений прочности стен и перекрытий.

14.12 Наибольший ресурсосберегающий эффект от ускорения сроков распалубки и загружения монолитных конструкций достигается при использовании методов, обеспечивающих раздельное тепловое воздействие на стены и перекрытия и, следовательно, различные соотношения их распалубочной прочности.

14.13 При раннем нагружении монолитных конструкций требуемые соотношения прочности стен и перекрытий, возводимых в едином цикле, должны обеспечиваться назначением различной продолжительности

тепловой обработки и назначением различной температуры тепловой обработки.

14.14 Пример расчёта параметров раннего нагружения представлен в приложении И.

15 Контроль прочности бетона

15.1 Контроль прочности бетона осуществляется по температуре и времени его выдерживания.

Измерение температуры бетона осуществляется при помощи термопар (хромель-копелевых, хромель-алюмелевых и тому подобное), термометров, пирометров или термодатчиков с передачей информации о текущей температуре бетона в измерительный прибор. Передача данных может осуществляться проводным или беспроводным способом. Каналы передачи данных и сам прибор должны иметь достаточную помехозащищенность от электромагнитных излучений прогревочного оборудования. Не рекомендуется применять термометры (спиртовые, ртутные и т.п.) при контроле температуры в массивных ($М_п$ < 5 $м^{-1}$) и среднемассивных ($М_п$ = 5…10 $м^{-1}$) конструкциях, а также в конструкциях любой массивности при использовании электротермообработки [6, 7, 8].

15.2 Допускается осуществлять неразрушающий контроль текущей прочности маломассивных конструкций по ГОСТ 22690, ГОСТ 17624 при фактической положительной температуре бетона в местах проведения измерений. Показания прочности, полученные при нулевой и отрицательной фактической температуре бетона в местах проведения измерений, использовать при освидетельствовании и приемке конструкции по прочности бетона не допускается.

15.3 Применение цифровых термометров с возможностью считывания информации при касании к нему измерительного прибора и пирометров возможно только для маломассивных конструкций ($М_п$ > 10 м-1).

15.4 Определение текущей прочности бетона по контрольным образцам, твердеющим в тех же условиях, что и конструкция, не допускается.

15.5 Интенсивность измерения температуры для любых методов термообработки и этапов выдерживания должна быть не реже 1 раза в 3 часа. Окончательно принятое значение интенсивности измерений указывается в технологической карте (проекте производства работ). Фиксация времени измерения осуществляется с точностью до 10 минут.

15.6 До начала бетонирования термопары и провода термодатчиков прокладывают вдоль арматуры в наиболее безопасных местах, например, между опалубкой и арматурой. Концы термопар и термодатчики следует защитить от электромагнитных помех, возникающих при электротермообработке бетона, при помощи ПВХ трубок. Крепление проводов к арматуре осуществляют отрезками полипропиленового шпагата или мягкой вязальной проволоки диаметром не менее 1,2 мм с контролем отсутствия повреждения изоляции проводов. Крепление производится без сильного натяжения. Установку цифровых термометров на опалубке осуществляют комплектными фиксаторами.

15.7 Полученные значения температур бетона и времени их замеров используют для расчета текущей прочности бетона. Расчёты могут быть выполнены следующими методами:

– по температурным графикам;

– по зрелости бетона;

– по аналитическим зависимостям.

15.8 Расчёт прочности по температурным графикам может быть рекомендован для контроля текущей прочности бетона на строительных площадках.

Не допускается выполнять расчет по графикам для бетона несоответствующего состава, даже если график взят из любого нормативного

документа и относится к классу бетона, аналогичного применяемому на строительной площадке.

Построение графика набора прочности должно быть выполнено лабораторией поставщика бетона или строительной лабораторией подрядчика в специальных климатических камерах. При построении графика необходимо экспериментально получить изотермы для 10, 20, 40, 60 и 80 ˚С выдерживания бетона.

Пример расчёта прочности по графикам представлен в приложении К.

15.9 Расчёт прочности по зрелости бетона является наименее точным из всех методов. Однако из-за своей простоты может быть применен на строительной площадке, но только в качестве оценочного метода расчета. Полученные этим методом результаты прочности бетона использовать при освидетельствовании и приемке конструкции по прочности бетона не допускается.

График набора прочности должен быть построен только для бетона, твердеющего в нормальных условиях по рекомендуемым моментам времени 1, 3, 7, 14 и 28 суток. Построение графика осуществляется лабораторией поставщика бетона или строительной лабораторией лица, осуществляющего строительство.

Расчёт прочности бетона осуществляется следующим образом:

– определяется зрелость бетона, ˚С·час:

$$ЗР_б = \sum_{i=1}^{m} (t_i \cdot \tau_i), \qquad (72)$$

– определяется время выдерживания бетона, эквивалентное его выдерживанию при 20 ˚С:

$$\tau_{экв} = \frac{ЗР_б}{20}, \qquad (73)$$

– по графику твердения бетона откладывается данный промежуток времени, конец которого укажет нам на полученную бетоном прочность.

Пример расчёта прочности по зрелости представлен в приложении К.

15.10 Расчёт прочности по аналитическим зависимостям самый точный и обладает широкими возможностями, в том числе по прогнозированию поведения бетона. Рекомендуется применять специализированное программное обеспечение (см. раздел 19 настоящего стандарта).

Прочность бетона выдерживаемого при различных этапах твердения (например, подъём температуры, изотермическая выдержка, остывание) определяется по формулам раздела 6.

16 Нормируемые показатели прочности бетона

16.1 Оценку прочности бетона согласно ГОСТ 18105 следует проводить статистическим методом с учетом однородности бетона по прочности.

16.2 При твердении бетона в зимний период его прочность оценивают в процентах от требуемой прочности бетона в проектном возрасте (% от R_{28}).

16.3 Полученные на строительной площадке значения текущей прочности бетона должны быть сопоставлены с нормируемыми значениями прочности, указанными в технологических картах (проектах производства работ).

16.4 В качестве нормируемых значений могут выступать:

– промежуточная прочность;

– критическая прочность;

– распалубочная прочность;

– прочность при поэтапном загружении;

– фактический класс по прочности на сжатие.

16.5 Значения промежуточной прочности отсутствуют в нормативных документах и принимаются при разработке технологических карт в качестве ориентира для производителя работ. Например, может указываться промежуточная прочность, которую должен достичь бетон к концу

определенного этапа выдерживания (подъёма температуры, изотермической выдержки и тому подобное).

16.6 Значения критической прочности бетонов принимаются согласно таблице 16.1.

Таблица 16.1 – Значения критической прочности бетонов

№ п/п	Параметр	Величина параметра
1	Бетон без противоморозных добавок для конструкций, эксплуатируемых внутри зданий, фундаментов под оборудование, не подвергающихся динамическим воздействиям, подземных конструкций	Не менее 5 МПа
2	Бетон без противоморозных добавок для конструкций, подвергающихся атмосферным воздействиям в процессе эксплуатации, при классе бетона В7,5….В10 В12,5…В25 В30 и выше	Не менее, % проектной прочности 50 40 30
3	Самоуплотняющийся бетон при классе В30 и выше	Не менее 25 % проектной прочности
4	Бетон конструкций, подвергающихся по окончании выдерживания переменному замораживанию и оттаиванию в водонасыщенном состоянии или расположенных в зоне сезонного оттаивания вечномерзлых грунтов при условии введения в бетон воздухововлекающих и газообразующих ПАВ	Не менее 70 % проектной прочности
5	Бетон с противоморозными добавками	Не менее 20 % проектной прочности к моменту охлаждения бетона до температуры, на которую рассчитано количество добавок

16.7 Распалубочная прочность бетона определяется:

– для вертикальных поверхностей ненагруженных конструкций – организационно-технологической документацией;

– для остальных случаев – организационно-технологической документацией и согласовывается с проектной организацией.

Распалубочная прочность должна быть не менее критической прочности бетона.

16.8 Загружение конструкции расчетной нагрузкой допускается при достижении бетоном не менее 100 % проектной прочности.

16.9 Фактический класс по прочности на сжатие определяется на основе статистической обработки значений текущей прочности бетона в проектном возрасте, определенных в разных точках одной конструкции. Фактический класс по прочности на сжатие принимается с обеспеченностью 95 %, а его значения должны соответствовать величинам ГОСТ 26663:

$$B_ф = R_{ср} \cdot (1 - 1{,}64 \cdot V), \tag{74}$$

$$R_{ср} = \frac{\sum_{i=1}^{m} R_i}{m}. \tag{75}$$

Коэффициент вариации прочности бетона определяется по формуле:

$$V = \frac{S_m}{R_{ср}}. \tag{76}$$

Среднеквадратическое отклонение прочности вычисляют по формуле:

$$S_m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{m} \left(R_i - R_{ср}\right)^2}{m-1}}. \tag{77}$$

Переход единиц измерения текущей прочности бетона от процентов к МПа осуществляется по следующей зависимости:

$$R_i\ (МПа) = \frac{R_{28}\ (МПа) \cdot R_i\ (\%\ от\ R_{28})}{100\ \%}. \tag{78}$$

Значение требуемой прочности бетона R_{28} указывается в документе о качестве бетонной смеси по ГОСТ 7473.

17 Контроль температурных напряжений в бетоне

17.1 В процессе выдерживания бетона необходимо следить за возникающими температурными напряжениями, которые при превышении допустимого уровня могут вызвать появление трещин. На температурные напряжения оказывают влияние следующие основные параметры:

– скорость нагрева и остывания бетона;

– перепад температуры по сечению бетона;

– разность температур наружного воздуха и бетона при распалубке.

17.2 Допустимый уровень напряжений определяется условием:

$$\frac{\sigma_{ti}}{R_{bti}} \leq 1, \qquad (79)$$

где σ_{ti} – температурные напряжения в бетоне в текущий момент времени,

R_{bti} – расчётное сопротивление бетона на осевое растяжение по II группе предельных состояний.

17.3 Скорость нагрева бетона принимается для конструкций с модулем поверхности:

– до 5 $м^{-1}$ – не более 5 ˚С/час;

– 5…10 $м^{-1}$ – не более 10 ˚С/час;

– свыше 10 $м^{-1}$ – не более 15 ˚С/час.

Прогрев бетона на высоких скоростях подъема температуры приводит к появлению температурных деформаций бетона, которые вызваны внутренним давлением, возникающим при быстром расширении образующихся паров воды. Кроме того, в массивных конструкциях, могут возникнуть значительные температурные перепады, приводящие к движению влаги. Эта мигрирующая влага создает в порах бетона избыточное давление, которое оказывает негативное влияние на неокрепшую структуру бетона.

17.4 Скорость остывания бетона принимается по рисунку 17.1.

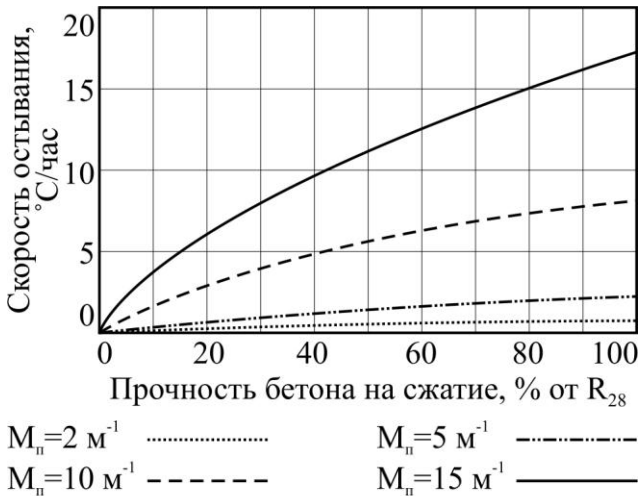

Рисунок 17.1 – Максимально допустимые скорости остывания бетона

Ограничения по скорости остывания вызваны тем, что при охлаждении происходит сжатие бетона, чему противодействует образовавшаяся структура бетона. В результате этого в нем возникают температурные напряжения.

17.5 Максимальный перепад температуры по сечению бетона конструкции зависит от параметров армирования конструкции и текущей прочности бетона и не должен превышать значений, взятых по рисунку 17.2.

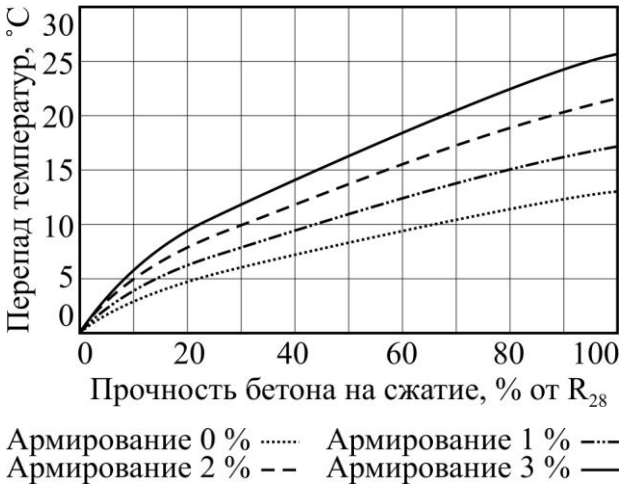

Рисунок 17.2 – Максимально допустимые скорости остывания бетона

Превышение указанных значений может вызвать значительные температурные напряжения в бетоне и снизить несущую способность и долговечность конструкции.

17.6 Перепад температур между наружными слоями бетона и воздуха при распалубке определяется по рисунку 17.3. Превышение указанных величин разности температур бетона при распалубке конструкции может привести к неравномерному распределению температур в конструкции, вследствие чего, поверхностные слои бетона будут остывать более интенсивно, нежели центральные участки.

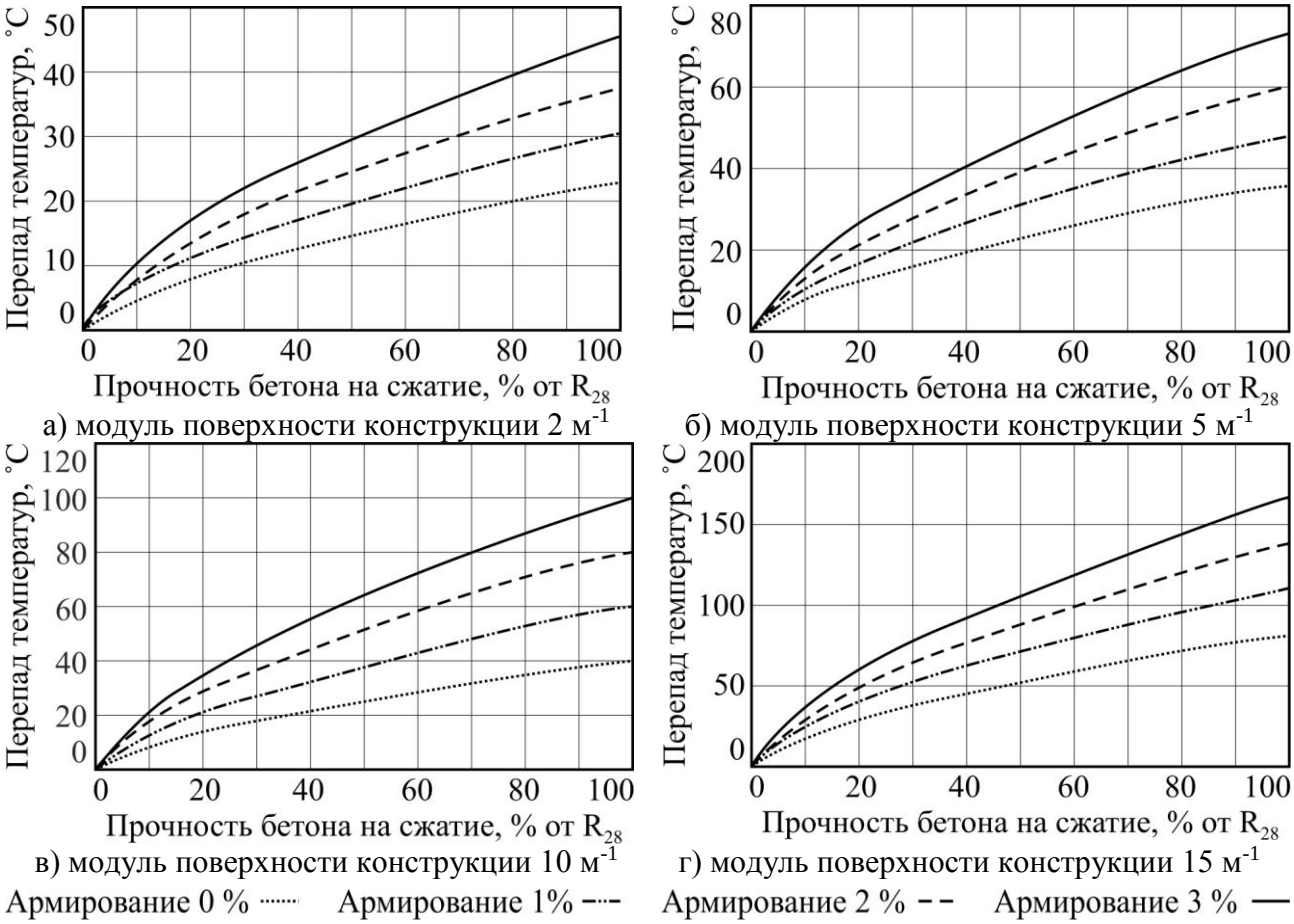

Рисунок 17.3 – Максимально допустимые перепады температур между поверхностью бетона и окружающим воздухом при распалубке

18 Расположение контрольных точек для измерения температуры

18.1 Количество точек измерения температуры определяется на стадии разработки организационно-технологической документации и зависит от типа, массивности и места расположения конструкции.

18.2 Измерения температур должны проводиться в точках, с прогнозируемой наибольшей разницей температур (например, углы и ядро конструкции), не пренебрегая промежуточными участками конструкции.

18.3 Независимо от типа конструкции, при укладке бетона на промороженное основание или соприкосновении свежеуложенного бетона с ранее замороженным, контроль температуры должен дополнительно осуществляться в сечении, расположенном в непосредственной близости от промороженной среды. Количество точек измерения температуры в этом сечении:

– при площади сечения до 1 м^2 – не менее одной на каждую конструкцию;

– при площади сечения до 20 м^2 – не менее двух на каждую конструкцию;

– при площади сечения более 20 м^2 – не менее трех на каждую конструкцию (для фундаментных плит – на каждую захватку).

Данные точки входят в общий объём точек измерения температур конкретных конструкций по п.п. 18.4 – 18.8.

18.4 В колоннах и пилонах температуру контролируют в трех сечениях расположенных внизу (не менее одной точки), в середине (не менее одной точки) и вверху конструкции (не менее двух точек).

18.5 В балках и ригелях температуру контролируют в опорном сечении (не менее двух точек) и далее не менее чем в одном сечении (не менее одной точки) на каждые 4 м длины конструкции.

18.6 В стенах температуру контролируют в трех сечениях расположенных внизу (не менее одной точки на 6 м длины стены), в середине (не менее одной точки на 6 м длины стены) и вверху конструкции (не менее двух точек на 6 м длины стены).

18.7 В плитах перекрытия, покрытия и фундаментных плитах количество температурных точек определяют по формуле:

$$N_t = \frac{S}{20} \cdot n_t \cdot k_1 \cdot k_2, \qquad (80)$$

но не менее четырёх точек.

Здесь S – площадь плиты, м^2;

n_t – количество температурных точек на 20 м^2 поверхности плиты, принимаемое по таблице 18.1;

k_1 – коэффициент, учитывающий толщину плиты, принимаемый по таблице 18.2;

k_2 – коэффициент, учитывающий температуру наружного воздуха, принимаемый по таблице 18.3.

Таблица 18.1 – Количество температурных точек на 20 м^2 поверхности плиты

$\tau_к$, смен	До 0,25	0,25 … 0,5	0,5 … 0,75	0,75 … 1,0	Более 1,0
n_t, шт	0,4	0,5	0,6	0,7	1,0

В таблице 18.1 $\tau_к$ – время возведения конструкции, смен.

$$\tau_к = \frac{V}{V_{б.см.}}, \qquad (81)$$

где $V_{б.см.}$ – темп укладки бетона, м^3/смену (зависит от возможности прогревочного оборудования, производительности бетонорастворного узла, выработки рабочих и т.п.).

Таблица 18.2 – Значения коэффициента k_1

Толщина	До 300	301 …	501 …	701 …	901 …	1201 …	Более

плиты, мм		500	700	900	1200	1500	1500
	1,00	1,17	1,23	1,30	1,40	1,50	2,00

Таблица 18.3 – Значения коэффициента k_2

$t_{н.в.}$, °C	Выше -10	-10 … -20	Ниже -20
k_2	1,00	0,95	0,90

18.8 В остальных конструкциях количество температурных точек зависит от их массивности и определяется по таблице 18.4.

Таблица 18.4 – Количество температурных точек

Модуль поверхности конструкции, $м^{-1}$	До 3	До 6	До 9	Более 9
Количество температурных точек на 100 $м^3$ бетона	20	40	50	55

18.9 В симметричных конструкциях, находящихся в однородной по температуре среде, возможно контролировать температуру на $^1/_4$ сечения конструкции с наветренной стороны (рисунок 18.1).

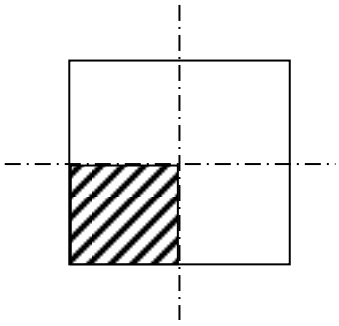

Рисунок 18.1 – Участок измерения температур
в симметричных конструкциях

19 Компьютерный температурно-прочностной контроль бетона

19.1 Для осуществления компьютерного температурно-прочностного контроля необходимо использовать специализированное программное обеспечение (ПО), например, описанное в приложении Л.

19.2 Используемое ПО должно обеспечивать текущий контроль и прогнозировать поведение бетона до окончания его выдерживания, а расчёты прочности должны выполняться как минимум по двум методам, указанным в п. 15.7 настоящих рекомендаций.

19.3 Работа с ПО должна выполняться в соответствии с руководством пользователя ПО и требованиями настоящих рекомендаций.

19.4 Перед началом контроля выдерживания бетона оператор должен заполнить все предусмотренные ПО справочники материалов (бетонов, утеплителей и так далее) в соответствии с фактическими свойствами используемых материалов.

19.5 Ввод текущих данных по температуре и времени выдерживания конструкции должен осуществляться оператором ПО посредством клавиатуры или путем сопряжения с компьютером электронных приборов контроля температур, передающих данные в online режиме. Допускается использовать приборы контроля температур с накоплением данных (offline режим) при условии точного соблюдения режимов выдерживания бетона на предыдущих конструкциях данного объекта.

19.6 В случае, если значения температур какой либо точки конструкции некорректны и явно указывают на неисправность регистратора температуры, допускается исключение указанных точек из файла данных.

19.7 Оператор ПО должен систематически контролировать:

– отклонение фактических температурных режимов от принятых на стадии ППР;

– прогноз поведения бетона при сложившейся температурной обстановке;

– температурные напряжения в бетоне на данный момент времени с учетом армирования;

– максимальные скорости нагрева и остывания бетона;

– достижение нормируемых значений прочности и результаты их статистической обработки;

– разницу температур между окружающим воздухом и бетоном при распалубке.

19.8 При расчёте прочности бетона по температурно-прочностным графикам или по зрелости бетона в ПО следует предусматривать аппроксимацию графиков набора прочности степенной или экспоненциальной функциями. Точность аппроксимации должна контролироваться по средней относительной ошибке аппроксимации, которая не должна превышать 15 %.

19.9 При осуществлении контроля за отклонением фактических температурных режимов от принятых на стадии разработки организационно-технологической документации, данные по проектным режимам следует вносить в ПО в виде точек перелома графика «температура-время».

19.10 При прогнозировании поведения бетона в ПО необходимо учитывать фактическое положение температурных точек в теле конструкции. Допускается для упрощения ввода координат точек использовать условное деление конструкции на зоны, например, центр («Ц»), угол («У») и поверхность («П») конструкции. При этом оператор ПО самостоятельно назначает зону, к которой относится положение той или иной контрольной точки, руководствуясь схемой, представленной на рисунке 19.1.

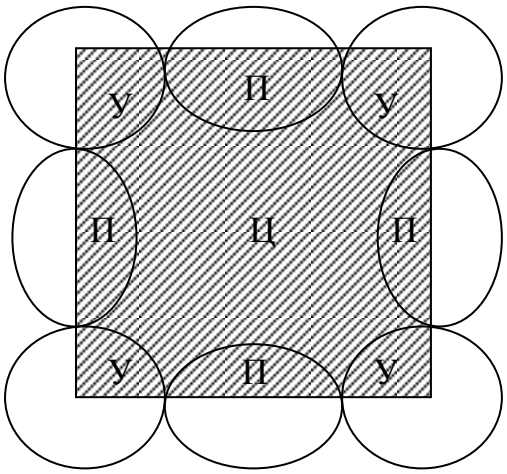

Рисунок 19.1 – Схема деления конструкции на зоны

19.11 Прогноз поведения бетона конструкций соприкасающегося с грунтом (фундаменты, фундаментные плиты и т.д.) должен выполняться с учетом фактического коэффициента теплопередачи грунта на тот или иной момент времени.

19.12 В случае неблагоприятно складывающемся прогнозе поведения бетона выдерживаемого с применением методов зимнего бетонирования, ПО должно осуществить подбор нового температурного режима выдерживания бетона, обеспечивающего запас прочности по сравнению с требуемой прочностью не более 5 %. Подбор нового режима должен выполняться для наихудшей, с точки зрения набранной прочности, температурной точки.

19.13 При расчёте нового температурного режима выдерживания бетона следует применять максимально допустимые данными рекомендациями скорости подъёма температуры. Разрешается снижать скорости подъема температуры в случае, если ПО прогнозирует превышение допустимых значений погонной мощности на нагревательном проводе или плотности тока на электроде.

19.14 Оптимизация новых температурных режимов выдерживания бетона должна быть основана на приоритете повышенных температур твердения бетона по сравнению с временем твердения. Максимально допустимая температура твердения бетона в конкретной конструкции должна быть заложена в ПО оператором на основании организационно-технологической документации. Итерационное приращение температуры при подборе температурного режима должно быть не более 1 ˚С.

19.15 В случае неблагоприятно складывающемся прогнозе поведения бетона выдерживаемого с применением пассивных методов зимнего бетонирования, ПО должно подобрать дополнительное утепление бетона. При итерационном подборе, приращение коэффициента теплопередачи ограждения должно быть не менее 0,01 Вт/(м^2·˚С).

19.16 В ПО должна быть предусмотрена возможность формирования и распечатки листов температурно-прочностного контроля по одному из реализованных методов.

Следует предусматривать электронное хранение файлов данных конкретной конструкции, а также графических файлов и температурного листа создаваемых ПО.

20 Документирование температурно-прочностного контроля бетона

20.1 При проведении температурно-прочностного контроля выдерживания бетона документированию подлежат все виды нормируемой прочности, а также результаты температурного контроля, включая контроль температурных напряжений.

20.2 Полученные в ходе температурно-прочностного контроля данные, а также значения нормируемых показателей заносят в листы температурно-прочностного контроля выдерживания бетона, оформленные по форме приложения М.

При проведении компьютерного температурно-прочностного контроля форму листов температурно-прочностного контроля допускается принимать в соответствии с применяемым специализированным программным обеспечением.

20.3 Записи, вносимые в листы температурно-прочностного контроля, подтверждают подписью с указанием расшифровки и должности ответственного должностного лица. По окончании ведения представитель организации, выполняющей бетонные работы, по вопросам строительного контроля ставит заверительную надпись о соответствии выполняемых бетонных работ в зимний период требованиям технических регламентов (норм и правил), проектной, рабочей и организационно-технологической документации.

20.4 Заполненные листы температурно-прочностного контроля включают в состав исполнительной документации, необходимой для дальнейших контрольных мероприятий: приёмки монолитных конструкций по прочности бетона и освидетельствования ответственных конструкций [9].

20.5 Техническая документация по выдерживанию бетона в зимнее время хранится до окончания наблюдения за бетоном на объекте. Затем она передается в соответствующий отдел организации, ведущей бетонные работы на объекте.

Приложение А

(справочное)

Теплотехнические характеристики утеплителей

Таблица А.1 – Коэффициенты теплопроводности некоторых утеплителей

№ п/п	Наименование утеплителя	Коэффициенты теплопроводности, Вт/(м·°С)
1	Вата минеральная (ρ=150 кг/м^3)	0,055
2	Маты минераловатные прошивные (ρ=100 кг/м^3)	0,048
3	Маты минераловатные прошивные (ρ=200 кг/м^3)	0,06
4	Маты минераловатные рулонные на синтетическом связующем (ρ=50 кг/м^3)	0,046
5	Опилки (ρ=250 кг/куб.м)	0,24
6	Пенопласт плиточный (ρ=100 кг/м^3)	0,043
7	Экструдированный пенополистирол (ρ=25 ... 45 кг/м^3)	0,030
8	Пенополиуретан (ρ=60 кг/м^3)	0,041
9	Пеностекло или газостекло (ρ=300 кг/м^3)	0,11
10	Пенополистирол (ρ=150 кг/м^3)	0,052

Приложение Б

(справочное)

Основные характеристики для расчёта греющего провода

Таблица Б.1 – Приблизительные температуры нагрева провода

Погонная нагрузка на провод, Вт/м	Температура нагрева провода, ˚С
10	50
15	65
20	75
25	85
30	92
35	98
40	103
50	112

Таблица Б.2 – Максимальная токовая нагрузка на монтажные отводы из резиновой или половинилхлоридной изоляции

Сечение токопроводящей жилы, мм^2	Нагрузка на жилу, А	
	медная жила	алюминиевая жила
4	41	32
6	50	39
10	80	55
16	100	80
25	140	105
35	170	130
50	215	165
70	270	210
95	330	255
120	385	295
185	510	390
240	605	465
300	695	535

Приложение В

(справочное)

Пример расчёта параметров греющего провода

В.1 Необходимо прогреть железобетонную конструкцию стены размером 3600×3000×200 мм. Опалубка с коэффициентом теплопередачи 2,0 Вт/м^2·˚С. Температура наружного воздуха -10 ˚С. На объекте имеется прогревочный трансформатор КТПТО-80 и нагревательный провод ПНСВ-1,2 (площадь сечения 1,13 мм^2) с ПВХ изоляцией.

В.2 Так как конструкция армирована, то примем погонную нагрузку на провод $\Delta P=30$ Вт/м (по таблице Б.1 температура нагрева провода составляет 92 ˚С). Соединение проводов предусмотрим звездой. Выставим на трансформаторе линейное напряжение переменного тока $U_{лин}=75$ В.

В.3 Удельное электросопротивление стальной жилы при рабочей температуре:

$$\rho_t=\rho_0\cdot(1+\alpha\cdot t)\cdot k=0{,}150\cdot(1+0{,}0046\cdot 98)\cdot 1{,}2=0{,}26 \text{ Ом·мм}^2\text{/м}.$$

Здесь переводной коэффициент $k=1{,}2$ согласно требованиям пункта 7.6.

В.4 Сопротивление погонного метра провода при рабочей температуре:

$$r=\frac{\rho_t}{S}=\frac{0{,}26}{1{,}13}=0{,}230 \text{ Ом/м}.$$

В.5 Ток, протекающий в одном проводе:

$$I_1=\sqrt{\frac{\Delta P}{r}}=\sqrt{\frac{30}{0{,}230}}=11{,}4 \text{ А}.$$

В.6 Электрическое сопротивление на проводе:

$$U=\frac{U_{лин}}{\sqrt{3}}=\frac{75}{\sqrt{3}}=43{,}3 \text{ В}.$$

В.7 Расчётная длина нагревательного провода:

$$L=\frac{U}{I_1\cdot r}=\frac{43{,}3}{11{,}4\cdot 0{,}230}=16{,}5 \text{ м}.$$

В.8 Предельно допустимый линейный ток для трансформатора КТПТО-80 при выходном напряжении 75 В:

$$I_{лин}=471 \text{ А}.$$

Общее количество троек, которые можно подключить к трансформатору:

$$N_{общ}=\frac{I_{лин}}{I_1}=\frac{471}{11{,}4}=41 \text{ шт}.$$

В.9 Удельная требуемая мощность, приходящаяся на единицу площади прогреваемой конструкции:

$$P_{уд}=k\cdot\alpha_{прив}\cdot M_{п}\cdot(t_{из}-t_{н.в.})\cdot\frac{V}{F}=1{,}16\cdot 2{,}0\cdot 11{,}2\cdot(60+10)\cdot\frac{2{,}16}{24{,}24}=162\ \text{Вт/м}^2.$$

Здесь $V=3{,}6\cdot 3\cdot 0{,}2=2{,}16$ м^3;

$F=2\cdot 3{,}6\cdot 3+2\cdot 0{,}2\cdot(3{,}6+3)=24{,}24$ м^2;

$$M_{п}=\frac{24{,}24}{2{,}16}=11{,}2\ \text{м}^{-1}.$$

Примем $t_{из}=60$ °С.

В.10 Шаг расстановки нагревательных проводов:

$$b=\frac{1}{\frac{P_{уд}}{\Delta P}+1}=\frac{1}{\frac{162}{30}+1}=0{,}16\ \text{м}.$$

В.11 Расчётная токовая нагрузка на монтажный отвод:

$$I_{о}=\frac{\Delta P\cdot L\cdot n}{U}=\frac{30\cdot 17{,}15\cdot 1}{43{,}3}=11{,}4\ \text{А}.$$

В.12 Так как каждый провод, при соединении их звездой, мы будем подключать к магистрали отдельно, то монтажный отвод не требуется.

В.13 Общая длина проводов, требующаяся для прогрева бетона конструкции до заданной температуры:

$$L_{общ}=\frac{k\cdot\alpha_{прив}\cdot M_{п}\cdot(t_{из}-t_{н.в.})\cdot V}{\Delta P}=\frac{1{,}16\cdot 2{,}0\cdot 11{,}2\cdot(60+10)\cdot 2{,}16}{30}=131\ \text{м}.$$

В.14 При длине каждого провода в тройке 16,5 м требуется $\frac{131}{16{,}5\cdot 3}=2{,}65$ тройки. Окончательно принимаем 3 тройки.

В.15 Так как по расчёту к трансформатору можно подключить 41 тройку, то одного трансформатора достаточно для прогрева данной конструкции.

В.16 Ток в магистральной линии:

$$I_{м}=n\cdot I_{1}=3\cdot 11{,}4=34{,}2\ \text{А}.$$

В.17 По таблице Б.2 принимаем сечение магистральной линии из алюминиевой жилы сечением не менее 6 мм^2.

Приложение Г

(справочное)

Пример расчёта параметров электропрогрева бетона

Г.1 Необходимо прогреть участок подпорной стенки размером 5х7х0,3 м. $М_п$=7,8 $м^{-1}$. Бетон тяжелый класса В25 на портландцементе М400. $R_{треб}$ = 70 % от R_{28}, $t_{н.в.}$ = -10 ˚С. Ограждение конструкции комбинированное $\alpha_{прив}$=3,6 Вт/($м^2$·˚С). $t_{б.н.}$ = +5 ˚С. Электропрогрев осуществляется пластинчатыми электродами, размещаемыми на больших сторонах стенки.

Г.2 Определяем электрическую мощность (на 1 $м^3$) необходимую для подъёма температуры стенки до 80 ˚С

$$P_п=\frac{C_б\cdot\gamma_б\cdot V_{под}}{3600}+\frac{\alpha_{прив}\cdot M_п\cdot(t_{б.н.}+t_{из}-2\cdot t_{н.в.})}{1000\cdot 2}=$$

$$=\frac{1{,}05\cdot 2400\cdot 10}{3600}+\frac{3{,}6\cdot 7{,}8\cdot(5+80-(-2\cdot 10))}{1000\cdot 2}=8{,}5\ кВт/м^3.$$

Г.3 Определяем мощность, необходимую для поддержания заданной температуры (80 ˚С) в процессе изотермического прогрева

$$P_{из}=\frac{k\cdot\alpha_{прив}\cdot M_п\cdot(t_{из}-t_{н.в.})}{1000}-0{,}8=\frac{1{,}16\cdot 3{,}6\cdot 7{,}8\cdot(80-(-10))}{1000}-0{,}8=2{,}1\ кВт/м^3.$$

Г.4 Поскольку применяется трёхфазный ток, стенку разбиваем на 3 части (для исключения перекоса фаз), каждая из которых будет прогреваться отдельной парой плоских электродов площадью 4,25 $м^2$ (площадь прогреваемой стенки 1,7 м х 2,5 м).

Г.5 Определяем мощность на весь объём стенки – 4,5 $м^3$

$$P_п=8{,}5\cdot 4{,}5=38{,}3\ кВт,$$

$$P_{из}=2{,}1\cdot 4{,}5=9{,}5\ кВт.$$

Г.6 Выбор трансформатора осуществляем исходя из максимальной потребной мощности – 38,3 кВт с учётом объёма одновременно прогреваемого бетона.

Г.7 Для расчёта параметров примем расчётное удельное электрическое сопротивление бетона $\rho_{расч}$ = 10 Ом·м (определяется лабораторным путём).

Г.8 Электрическое сопротивление бетона

$$R=\frac{\rho_{расч}\cdot b}{S}=\frac{10\cdot 0{,}3}{4{,}25}=0{,}7\ Ом,$$

где b – расстояние между электродами (толщина стенки), м;

S – площадь электродов, $м^2$.

Г.9 Вычисляем требуемые электрические параметры на период подъёма температуры.

Напряжение в сети составит

$$U=\sqrt{P_п \cdot R}=\sqrt{8500\ Вт/м^3 \cdot 1{,}5\ м^3 \cdot 0{,}7\ Ом}=94{,}5\ В.$$

Сила тока, подводимая к каждой паре электродов

$$I=\frac{U}{R}=\frac{94{,}5}{0{,}7}=135\ А.$$

Г.10 Определяем требуемые электрические параметры на период изотермического прогрева

$$P_{из}=2{,}1\ кВт/м^3 \cdot 1{,}5\ м^3=3{,}15\ кВт,$$

$$U_{из}=\sqrt{3150\ Вт \cdot 0{,}7\ Ом}=47\ В,$$

$$I_{из}=\frac{47}{0{,}7}=67\ А.$$

Г.11 Определяем возможность выделения требуемой мощности на период подъёма температуры

$$P_П=\frac{U^2 \cdot 10^{-3}}{b^2 \cdot \rho_{расч}}=\frac{94{,}5^2 \cdot 10^{-3}}{0{,}3^2 \cdot 10}=9{,}9 > 8{,}5\ кВт/м^3,$$

следовательно, выделяемая мощность обеспечивает выполнение требуемых условий.

Приложение Д

(справочное)

Технические характеристики теплогенераторов

Таблица Д.1 – Технические характеристики электрокалориферов

Показатели	Марка электрокалорифера					
	ЭКО-60	ЭК-52	ЭК-40	ЭТВ4-30	СФО-25	СФО-18
Мощность ТЭН, кВт	67,5	52,5	37,5	30,0	25,0	18,0
Производительность вентилятора, $м^3$/ч	4000	2600	2020	4100	1341	1000

Таблица Д.2 – Техническая характеристика дизельных теплогенераторов прямого нагрева

Модель	Тепловая мощность, кВт	Расход топлива, л/ч	Производительность вентилятора, $м^3$/ч	Ёмкость бака, л
Т/ТА-16	18,1	1,8	600	15
Т/ТА-22	25,5	2,5	600	38
Т/ТА-40	46,4	4,5	1200	80
Т/ТА-80	92,8	9,0	2350	160

Таблица Д.3 – Техническая характеристика дизельных теплогенераторов непрямого нагрева

Модель	Тепловая мощность, кВт	Расход топлива, л/ч	Производительность вентилятора, $м^3$/ч	Ёмкость бака, л
ІТА-25	29	2,3	1200	40
ІТА-40	46	4,5	2150	80
ІТА-65	75	7,5	2400	120

Приложение Е

(справочное)

Пример расчёта параметров конвективного прогрева

Е.1 Требуется рассчитать параметры конвективного прогрева монолитных стен и перекрытий крайнего тоннеля (в осях 1-2, ряды В-Г) строящегося 9-ти этажного жилого дома (рисунок Е.1). Высота этажа здания – 3,0 м. Монолитные стены и перекрытия возводятся из бетона класса В25 в объемно-переставной (тоннельной) опалубке, извлекаемой на фасад. Толщина возводимых конструкций стен и перекрытий – 160 мм. Район строительства – г. Челябинск. Температура наружного воздуха минус 16 ˚С, скорость ветра 5 м/с.

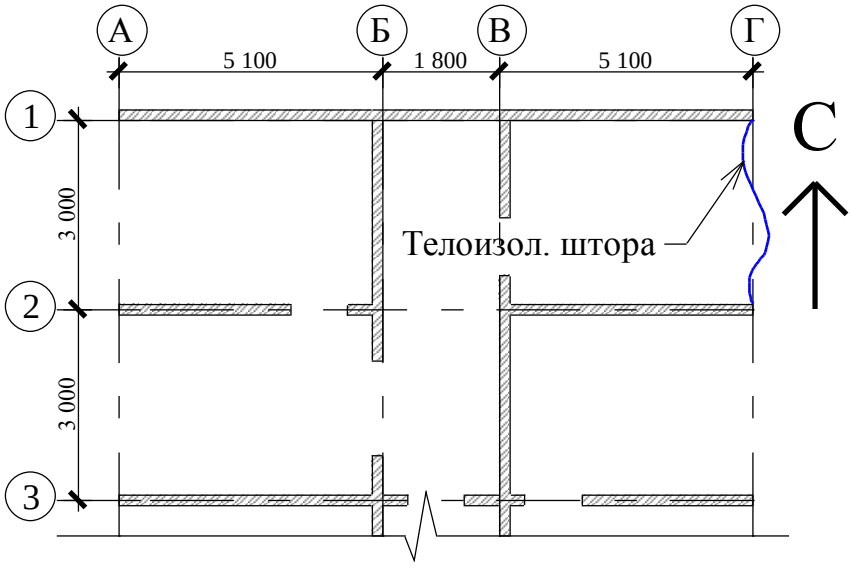

Рисунок Е.1 – Схема расположения монолитных конструкций

Е.3 Для осуществления термообработки бетона был выбран метод «конвективного прогрева с приопалубочными шторами».

Е.4 Для расчёта мощности теплогенератора определяем потери тепла через ограждения (таблица Е.1). Среднюю температуру воздуха в объеме тоннеля первоначально принимаем 30 ˚С.

Таблица Е.1 – Потери тепла через ограждения тоннеля

Вид ограждения	Площадь F, м^2	Сопротивление теплопередаче R, м^2·°С/Вт	Разность внутренней и наружной температуры ($t_{ті}$ – $t_{ні}$), °С	Коэффициент β	Коэффициент n	Потери тепла $Q_{огр}$, Вт
Стена В-Г, ось 1	15,3	1,04	46	1,2	1	812
Стена 1-2, ряд В	9,0	0,31	0	-	-	0
Стена В-Г, ось 2	15,3	0,31	0	-	-	0
Штора 1-2, ряд В	9,0	0,24	46	1,2	1	2070
Перекрытие 1-2, В-Г	15,3	1,04	46	1	1	677
Пол тоннеля 1-2, В-Г	15,3	0,20	46	1	1	3519
Итого:						7078

Сопротивление теплопередаче конструкций в таблице Е.1, рассчитывается по формуле:

$$R= 1/\alpha_н + \delta_i/\lambda_i +1/\alpha_в,$$

где $\alpha_н$, $\alpha_в$ – коэффициенты теплоотдачи соответственно наружной и внутренней поверхности ограждающей конструкции. При расчете $\alpha_н$: $\alpha_к$=14,6 Вт/(м^2·˚С), ($\gamma_в$=1,374 кг/м^3 при $t_{н.в.}$ = -16 ˚С; V=5 м/с, согласно заданным климатическим условиям; L =5,1 м, длина рассчитываемых конструкций стены и перекрытия); $\alpha_л$=2,9 Вт/(м^2·˚С), (ε=0,75 для наружных щитов опалубки, В=0,68 при $t_{н.в.}$ = -16 ˚С). Таким образом, $\alpha_н$=$\alpha_к$+$\alpha_л$ =17,5 Вт/(м^2·˚С). При расчете $\alpha_в$: $\alpha_к$= 10,7 Вт/(м^2·˚С), ($\gamma_в$=1,165 при $t_т$=30°С; скорость воздушного потока V, обтекающего опалубку принимается от 2 до 5 м/с, в рассматриваемом примере V = 4,0 м/с; L=5,1 м); $\alpha_л$=5,5 Вт/(м^2·˚С), (ε=0,92, для внутренних стальных щитов опалубки, В = 1,05 при $t_т$ = 30 ˚С). Таким образом, $\alpha_в$= $\alpha_к$+$\alpha_л$ =16,2 Вт/(м^2·˚С).

Е.5 Потери тепла в тоннеле на нагревание наружного воздуха, поступающего в результате инфильтрации через ограждения $Q_и$ определяются по формуле раздела 10. Производительность теплогенератора принимаем G = 1562 кг/ч (при $t_в$ = 30 ˚С, электрокалорифер СФО-25). После подстановки теплоёмкости поступающего наружного воздуха $c_в$=0,280 Вт·ч/(кг·˚С) при $t_н$ = -16 ˚С, разности внутренней и наружной температуры ($t_{ті}$ – $t_{ні}$) = 46 ˚С, коэффициента β_0 = 0,6 в формулу раздела 10 находится значение $Q_и$=12422 Вт.

Е.6 Расход тепла на нагревание бетона, уложенного в опалубку $Q_{н.б}$, определяют по формуле раздела 10. Удельная теплоемкость бетона $c_б$=840 Вт·с/(кг·˚С)=0,84

кДж/(кг·˚С); объем бетона $V_б$=8,8 м^3, плотность бетона $\gamma_б$=2500 кг/м^3; $t_{б.н.}$=15 ˚С, через период подъема температуры, принимаемый τ=24 часа, температура в бетоне должна увеличиться до $t_б^{\tau}$ = 30 ˚С. Таким образом количество тепла на нагревание бетона за 24 часов составит: $Q_{н.б.}^{\tau}$=277200 кДж. Требуемый расход тепла на нагревание бетона: $Q_{н.б.}$=277200·10^3 Дж/ (24·3600 с)=3208 Вт.

При возведении монолитных конструкций укладку бетона осуществляют в нагретую до бетонирования опалубку, в связи с чем расход тепла на нагревание щитов опалубки в расчете не учитывается: $Q_{н.о}$= 0.

Е.7 Требуемая мощность теплогенератора определяется по формуле раздела 10: $Q_{тепл}$≥ 7078 Вт + 12422 Вт + 0 +3208 Вт=22708 Вт. С учетом требуемой мощности по таблице Д.1 (приложение Д) для осуществления конвективного прогрева был выбран электрокалорифер СФО-25 мощностью 25000 Вт.

Приложение Ж

(справочное)

Противоморозные добавки

Таблица Ж.1 – Область применения бетонов с добавками

Тип конструкции и условия их эксплуатации	Добавки (знак «плюс» означает «допускается», знак «минус» - «не допускается»)					
	НН	НК НК+М ННК+М	ННХК ННХК+М	ХК ХК+ХН	ХК+ХН	П
1. Железобетонные конструкции с ненапрягаемой рабочей арматурой диаметром, мм:						
а) более 5	+	+	+	–	+	+
б) 5 и менее	+	+	–	–	–	+
2. Железобетонные конструкции, имеющие выпуски арматуры или закладные детали:						
а) без специальной защиты стали	+	+	–	–	–	+
б) с цинковыми покрытиями по стали	+	–	–	–	–	–
в) с алюминиевыми покрытиями по стали	–	–	–	–	–	–
г) с комбинированными покрытиями	+	+	–	–	–	+
3. Железобетонные конструкции, предназначенные для эксплуатации:						
а) в неагрессивных газовых средах	+	+	+	–	+	+
б) в агрессивных газовых средах	+	+	–	–	–	+
в) в зоне переменного уровня воды	+	+	–	–	–	–
г) в водных и газовых средах при относительной влажности более 60% при наличии в заполнителе включений реакционного – способного кремнезема	–	+	+	–	–	–
д) в зонах действия блуждающих токов постоянного напряжения	+	+	–	–	–	+

Таблица Ж.2 – Ориентировочные величины прочности бетона с противоморозными добавками на портландцементе

Добавки	Расчётная температура твердения, ˚С	Прочность, % от проектной, при твердении на морозе за период, сут.			
		7	14	28	90
НН	-5	30	50	70	90
	-10	20	35	55	70
	-15	10	25	35	50
ХК+ХН	-5	35	65	80	100
	-10	25	35	45	70
	-15	15	25	35	50
	-20	10	15	20	40
НК+М ННК+М	-5	30	50	70	90
	-10	20	35	50	70
	-15	15	25	35	60
	-20	10	20	30	50
ННХК ННХК+М ХК+НН	-5	40	60	80	100
	-10	25	40	50	80
	-15	20	35	45	70
	-20	15	30	40	60
	-25	10	10	25	40
П	-5	50	65	75	100
	-10	30	50	70	90
	-15	25	40	65	80
	-20	25	40	55	70
	-25	20	30	50	60

Таблица Ж.3 – Количество противоморозных добавок

Расчётная температура бетона, ˚С		Количество безводных добавок, % от массы цемента (* при соотношении компонентов 1:1 по массе в расчете на сухое вещество)					
от	до	НН	ХК+ХН	НКМ НК+М*	ННХК ХК+НН*	ННХК+М	П
0	-5	4:6	0+3:2+3	3:5	3:5	2+1:4+1	5:6
-6	-10	6:8	3+3:2+4	6:9	6:9	4+1:7+2	6:8
-11	-15	8:10	4+3:5+3	7:10	7:10	6+2:8+3	8:10
-16	-20	–	6+2:7+3	9:12	9:12	7+2:9+4	10:12
- 21	-25	–	–	–	10:14	8+3:10+4	12:15

Приложение И

(справочное)

Пример расчёта параметров раннего нагружения

И.1 Возводится сборно-монолитный жилой дом перекрестно-стеновой конструктивной системы. Внутренние стены и перекрытия возводятся в едином цикле в объемно-переставной опалубке с использованием конвективного обогрева.

И.2 Исходные данные. Количество этажей N = 16. Пролеты перекрытий L_1 = 2,85 м и L_2 = 4,10 м. Класс бетона В15. Темпы строительства m = 1 этаж/месяц. Продолжительность зимнего периода τ_w = 7 месяцев. Критическая прочность бетона при замерзании для конструкций, эксплуатируемых внутри зданий (внутренних монолитных стен и перекрытий), по таблице 17.1 $R_{кр}$ = 5 МПа (25 % от R_{28} для бетона класса В15).

По технологии работ объемно-переставная опалубка опирается на перекрытия через домкратные опоры (в проектном положении) и катки (при установке и распалубке). Максимальная прочность бетона перекрытия из расчета на местное действие нагрузки от катков и опор опалубки – 4,15 МПа (21 % от R_{28}).

И.3 Расчёт требуемой прочности бетона при раннем нагружении монолитных стен. Количество этажей, возводимых в зимних условиях, находим по формуле раздела 14:

$$N_w = 1{,}1 \cdot 1 \cdot 7 = 7{,}7 \approx 8 .$$

Коэффициент β = 1,43 по таблице 14.1 для соотношения N_w /N = 8/16=0,5. Темп возведения, при котором необходимо применять противоморозные добавки для стен нижних этажей, определяем по формуле раздела 14:

$$m = \frac{0{,}7 \cdot 16}{1{,}43 \cdot 7} = 1{,}12 > 1 .$$

Следовательно, принимаем бетон без противоморозных добавок, если они не требуются по каким-либо другим технологическим соображениям.

И.4 Расчёт требуемой прочности бетона стен по формуле раздела 14 сведён в таблице И.1.

Таблица И.1 – Расчёт требуемой прочности бетона

Этаж	n_i	n_i/N	β_i	$0{,}9 \cdot \beta_i \cdot n_i/N$	R_i, % от R_{28}
1	8	0,500	1,43	0,64	65
2	7	0,437	1,50	0,59	60
3	6	0,375	1,57	0,53	55
4	5	0,312	1,65	0,46	45

5	4	0,250	1,75	0,39	40
6	3	0,187	1,84	0,31	30
7	2	0,125	1,96	0,22	25
8	1	0,062	2,00	0,11	25

И.5 Проверка полученных значений прочности бетона стен 7-го и 8-го этажа по условию раздела 14 показывает, что расчетная прочность ($0,22 \cdot R_{28}$ и $0,11R_{28}$) должна быть увеличена до значения $R_{кр} = 0,25 \cdot R_{28}$. Окончательно принимаем прочность бетона стен, указанную в последнем столбце таблице.

И.6 Расчёт требуемой прочности бетона при раннем нагружении монолитных перекрытий. Требуемую прочность бетона перекрытий пролетом $L_1 = 2,85$ м определим по формуле раздела 14:

$$(0,25+0,22 \cdot \ln 2,85) \cdot R_{28} \le R \le (0,35+0,22 \cdot \ln 2,85) \cdot R_{28};$$

$$0,48 \cdot R_{28} \le R \le 0,58 \cdot R_{28}.$$

И.7 Аналогично для перекрытий пролетом $L_2 = 4,10$ м находим:

$$0,56 \cdot R_{28} \le R \le 0,66 \cdot R_{28}.$$

Условие раздела 14 для перекрытий будет иметь вид:

$$R_i \ge \max\{0,25 \cdot R_{28};\ 0,21 \cdot R_{28}\} = 0,25 \cdot R_{28}.$$

Полученные значения прочности удовлетворяют этому условию. Окончательно принимаем требуемую прочность бетона для перекрытий пролетом 2,85 м 50 % от R_{28}, пролётом 4,10 м – 60 % от R_{28}.

И.8 Выбор методов тепловой обработки бетона при раннем нагружении.

Для стен и перекрытий 1 – 4 этажей требуемая прочность бетона стен и перекрытий примерно одинакова. Для 5 – 8 этажей $R_{ст} < R_{пер}$. Различная продолжительность тепловой обработки стен и перекрытий 5 – 8 этажей может быть достигнута в результате технологического перерыва между бетонированием стен и перекрытий, а также использованием греющих проводов для дополнительного прогрева перекрытий. Различная температура тепловой обработки стен и перекрытий обеспечивается: применением приопалубочных штор при конвективном прогреве, а также дополнительным тепловым воздействием на бетон перекрытий греющими проводами.

Приложение К

(справочное)

Примеры расчёта прочности бетона, выдерживаемого по определённому температурному режиму

К.1 Определить прочность бетона, выдерживаемому по температурному режиму, представленному на рисунке К.1.

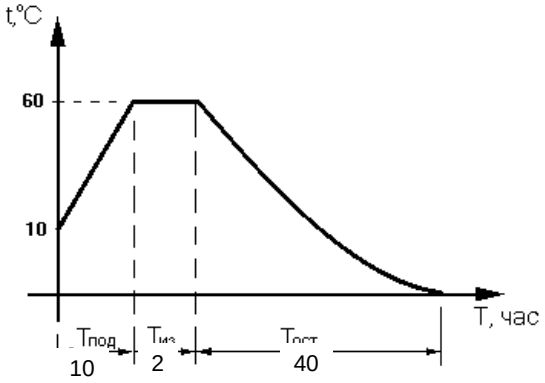

Рисунок К.1 – Температурный режим твердения бетона

Пусть для используемого в примере состава бетона имеется температурный график, изображенный на рисунке К.2. В соответствии с рисунком К.1, разобьем температурный режим твердения на три этапа.

Первый этап – этап подъема температуры имеет длительность 10 часов и среднюю температуру 35 ˚С. На рисунке К.2 изотермы 35 ˚С нет, но по интерполяции она проходит между изотермами 30 ˚С и 40 ˚С. Отложим по предполагаемой изотерме 35 ˚С участок продолжительностью 10 часов.

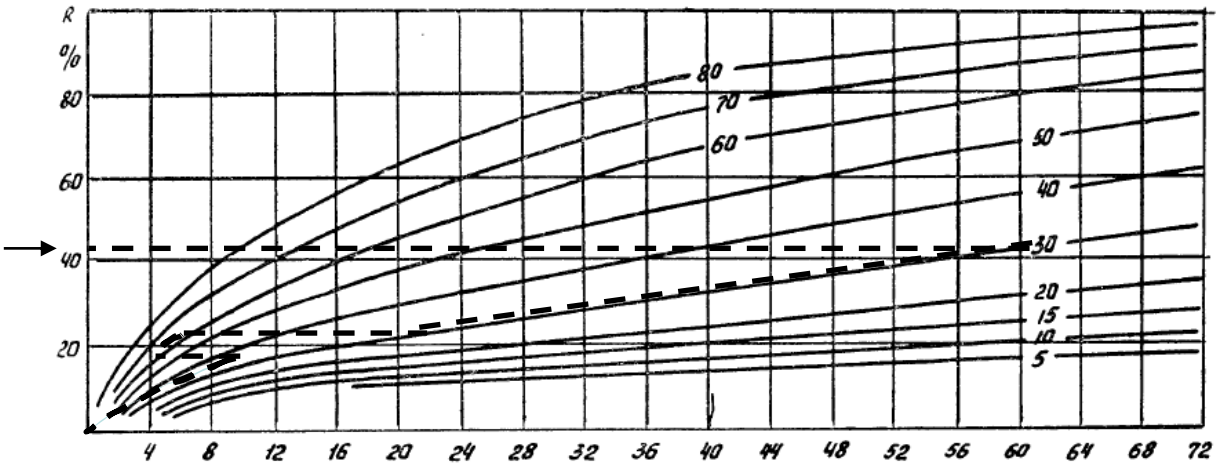

Рисунок К.2. Температурный график

Второй этап – этап изотермической выдержки имеет длительность 2 часа при средней температуре 60 ˚С. Для перехода с изотермы 35 ˚С на изотерму 60 ˚С необходимо провести горизонтальную линию и отложить на изотерму 60 ˚С участок продолжительностью 2 часа.

Третий этап – этап остывания, характеризуется длительностью 40 часов и средней температурой 30 ˚С. Для перехода с изотермы 60 ˚С на изотерму 30 ˚С проводим горизонтальную линию и откладываем на изотерме 30 ˚С участок продолжительностью 40 часов.

Конец последнего отложенного участка и укажет нам на полученную бетоном прочность – 42 %.

К.2 Решим ранее приведённую задачу через зрелость бетона.

Зрелость бетона за весь период выдерживания:

$$ЗР_б=35\cdot10+60\cdot2+30\cdot40=1670\ ^\circ С\cdot час.$$

Время выдерживания бетона, эквивалентное выдерживанию при 20 ˚С:

$$\tau_{экв}=\frac{1670}{20}=83{,}5\ \text{часа}.$$

Отложим данный промежуток на графике (рисунок К.3) по изотерме 20 ˚С, и получим прочность 42 % от проектной.

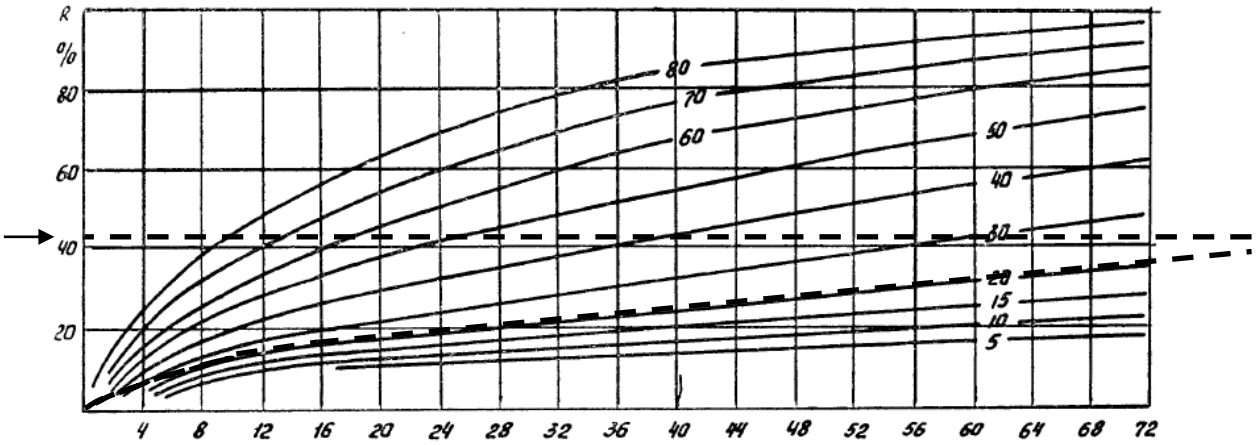

Рисунок К.3. Температурный график

Приложение Л

(справочное)

Возможности ПО «Снежный барс v. 2.11» *

Л.1 Программа предназначена для контроля и прогнозирования температурно-прочностных параметров бетона выдерживаемого в зимнее время с применением методов зимнего бетонирования.

Л.2 Количество исходных данных – минимизировано, без снижения точности расчетов и функциональности программы. Их ввод осуществляется в максимально упрощенном и интуитивно понятном виде. Ввод данных по температуре и времени выдерживания бетона может выполняться как самим оператором, так и при помощи многоканального регистратора ТЕРЕМ 4.0 ** (рисунок Л.1).

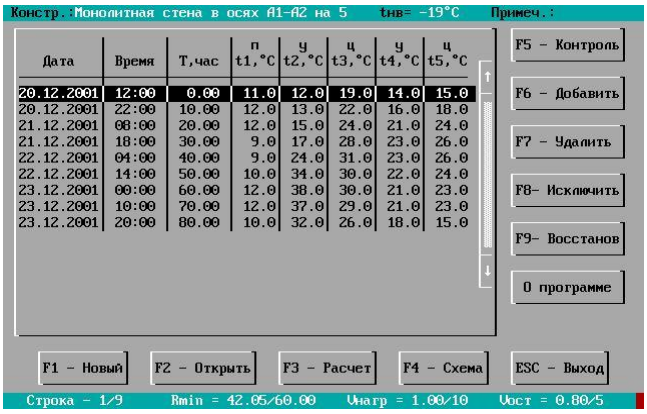

Рисунок Л.1 – Ввод исходных данных

Л.3 Реализован постоянный контроль за отклонением фактических температурных режимов от принятых на стадии разработки организационно-технологической документации. Контроль текущей прочности осуществляется как по аналитическим зависимостям, так и по имеющимся графикам твердения бетона данного состава. Вся выходная информация представляется в доступной для понимания форме: в виде таблиц, графиков и цветового акцентирования внимания (рисунок Л.2).

---

* ПО «Снежный барс v. 2.11» разработано на кафедре технологии строительного производства федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет).

** Многоканальный регистратор ТЕРЕМ 4.0 производится ООО «Интерприбор».

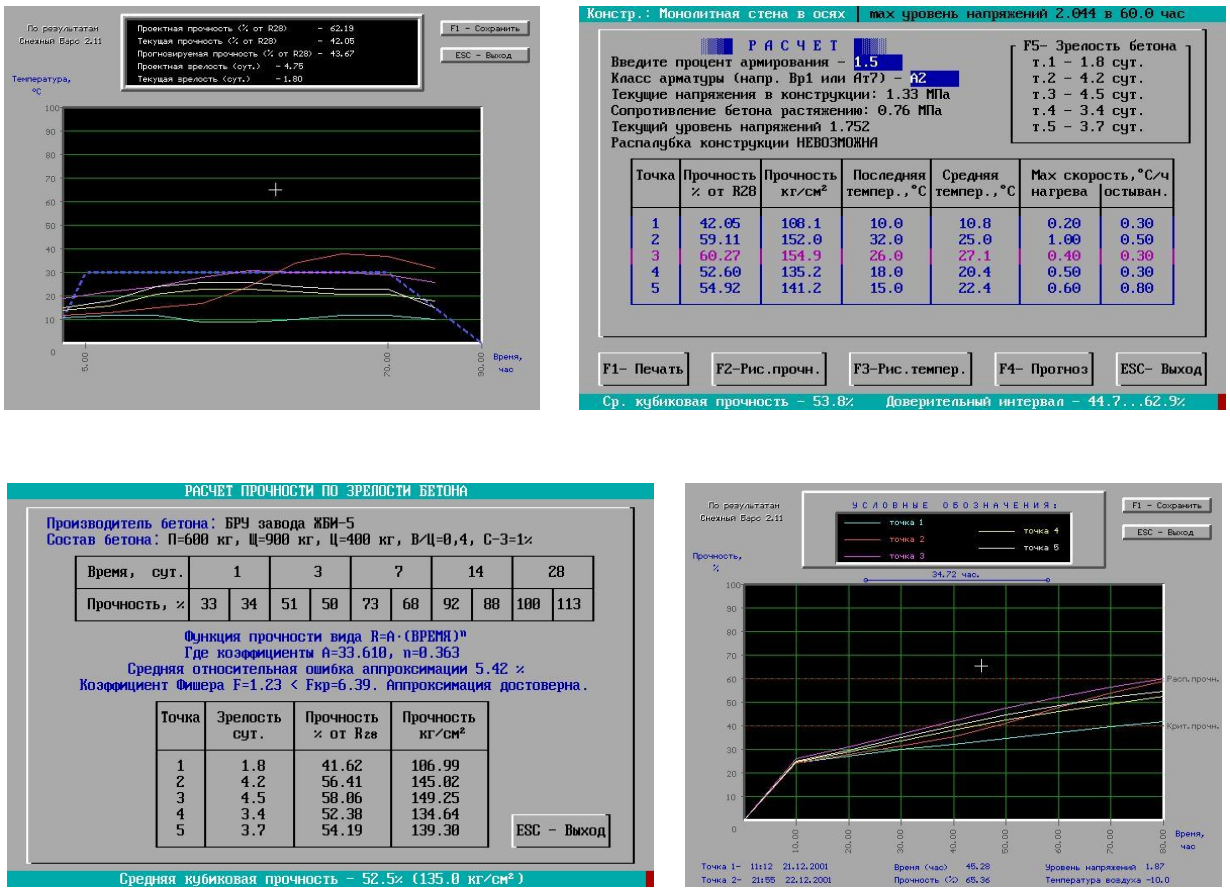

Рисунок Л.2 – Контроль параметров зимнего бетонирования

Л.4 Программа выдает заключение о возможности распалубки монолитной конструкции по следующим признакам:

– прочность бетона во всех контрольных точках не ниже требуемой (критической или распалубочной);

– температурные напряжения в бетоне на данный момент времени с учётом армирования не превышают текущее расчётное сопротивление бетона на осевое растяжение по II группе предельных состояний;

– разница температур между окружающим воздухом и бетоном не превышает нормируемых значений.

Л.5 В программе реализованы два независимых вида прогнозов поведения бетона (рисунок Л.3):

– прогноз, основанный на сопоставлении фактического режима выдерживания бетона с проектным;

– прогноз, основанный на предположении, что начиная с текущего момента времени тепловое воздействие на бетон прекращается и он начинает остывать до 0 ˚С.

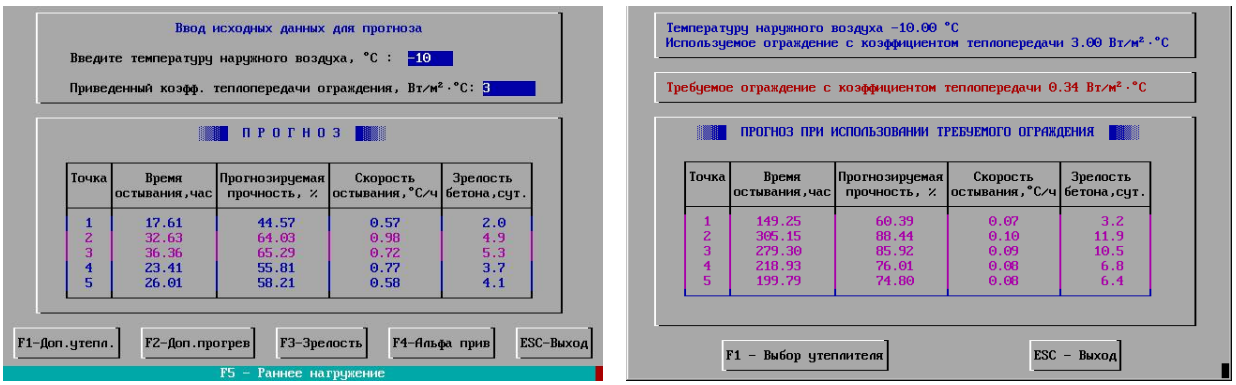

Рисунок Л.3 – Прогнозирование параметров зимнего бетонирования

Л.6 Для составления прогнозов предусмотрен расчёт приведённого коэффициента теплопередачи ограждения, которое может состоять из опалубки, утеплителя и грунта. Отдельно выполняется расчёт поверхностных наргревателей (рисунок Л.4).

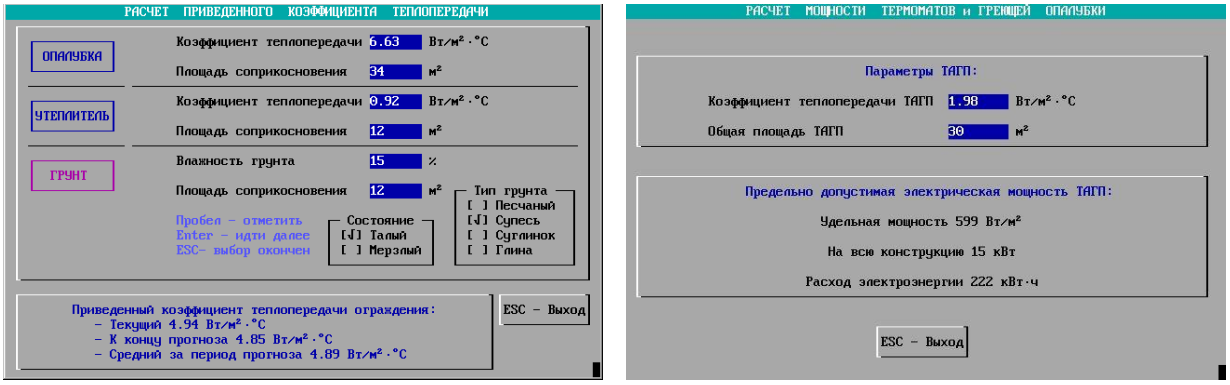

Рисунок Л.4 – Расчёт приведённого коэффициента теплопередачи ограждения и мощности поверхностных нагревателей

Л.7 В случае неблагоприятного прогноза предусмотрен поиск выхода из негативно складывающейся обстановки в виде следующих решений (рисунок Л.5):

– для всех методов зимнего бетонирования – подбор дополнительных утеплителей, обеспечивающих набор бетоном требуемой прочности;

– для прогревных методов зимнего бетонирования (прогрев греющими проводами, электродный прогрев) – подбор новых режимов термообработки, обеспечивающих набор бетоном требуемой прочности.

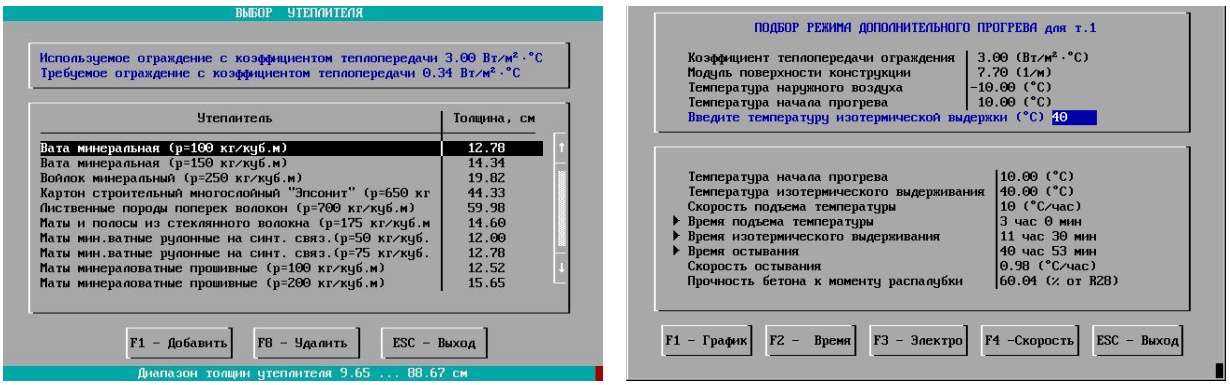

Рисунок Л.5 –Подбор утеплителя и режима дополнительного прогрева

Л.8 Подбор новых режимов термообработки при неблагоприятном прогнозе заключается в определении оптимально измененных температурных режимов выдерживания бетона и оценки необходимых электрических параметром для их реализации (рисунок Л. 6).

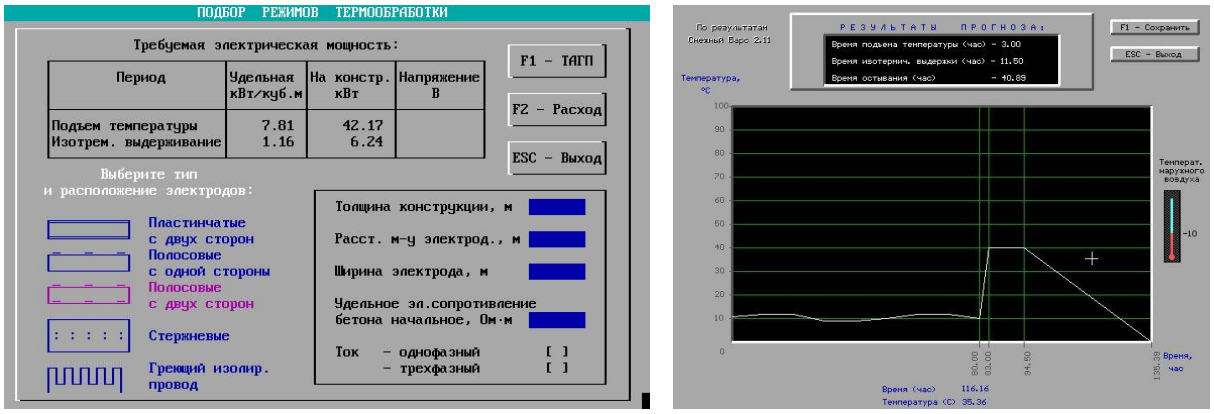

Рисунок Л.6 – Подбор режимов термообработки бетона

Л.9 Для экономического расчета дополнительного прогрева предусмотрен расчет технико-экономических параметров новых режимов прогрева (рисунок Л.7).

Л.10 Реализовано определение параметров бетона для расчёта раннего нагружения в текущий период и на период прогноза: допустимой интенсивности нагружения и допустимых напряжений в бетоне от приложенной нагрузки (рисунок Л.7).

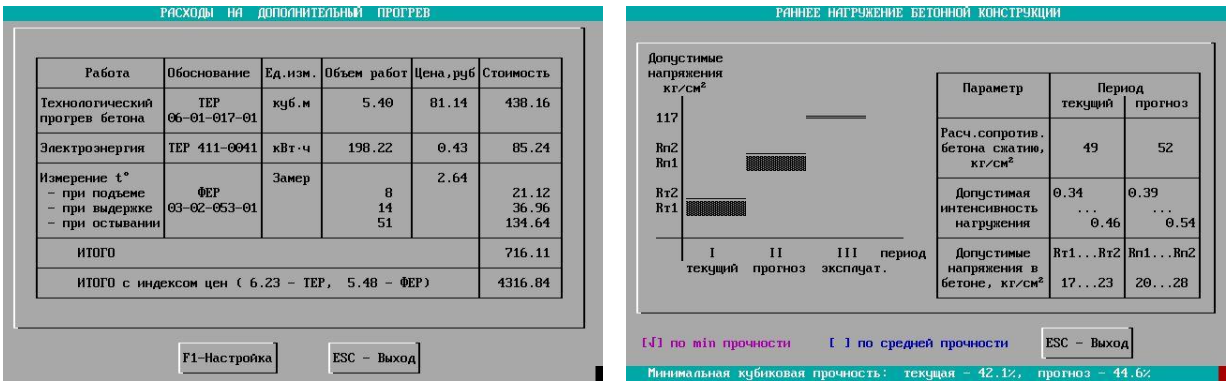

Рисунок Л.7 – Расчёт технико-экономических показателей
и параметров раннего нагружения

Л.11 По завершении процесса контроля за поведением бетона, программа формирует лист температурно-прочностного контроля.

Приложение М

(рекомендуемое)

Форма листа температурно-прочностного контроля

Наименование конструкции в соответствии с проектной документацией:

_____

Дата и время начала бетонирования: _____

Дата и время окончания бетонирования:_____

Объем уложенного бетона: _____

Наименование и реквизиты организационно-технологической документации, в соответствии с которой выполняется выдерживание бетона:

_____

Требуемая прочность бетона (при твердении бетона в течение 28 суток в нормальных условиях при температуре 20 (±3) ˚С и относительной влажности 95 (±5) %), указываемое в документе о качестве бетонной смеси по ГОСТ 7473

_____

Эскиз конструкции с указанием точек замера температур:

Таблица контроля и оценки температуры бетона

Дата и время замера температуры	Относительное время выдерживания бетона	Температура бетона в характерных точках конструкции, °С				Средняя температура, °С	Максимальный темпе-ратурный перепад, °С	Нормируемый темпе-ратурный перепад, °С	Скорость нагрева или остывания, °С/час	Нормируемая скорость нагрева или остывания, °С/час	Примечания	Подпись, расшифровка и должность ответственного лица
		1	2	3	4							

Таблица контроля и оценки прочности бетона

Дата и время замера температуры	Относительное время выдерживания бетона	Текущая прочность бетона в характерных точках конструкции, % от R_{28}				Коэффициент вариации	Средняя текущая прочность		Фактический класс бетона	Примечания	Подпись, расшифровка и должность ответственного лица
		1	2	3	4		%	МПа			

Заверительная надпись о соответствии выполняемых бетонных работ в зимний период требованиям технических регламентов (норм и правил), проектной, рабочей и организационно-технологической документации.

Библиография

[1] Временная инструкция по производству бетонных работ в зимних условиях на объектах Главюжуралстроя. Челябинск: Министерство строительства предприятий тяжелой индустрии СССР, Главюжуралстрой, 1985

[2] Руководство по производству бетонных работ в зимних условиях, районах Дальнего Востока, Сибири и Крайнего Севера / ЦНИИОМТП Госстроя СССР. Москва: Стройиздат, 1982

[3] Головнев С.Г. Оптимизация методов зимнего бетонирования. Л.: Стройиздат, Ленинградское отделение, 1983

[4] Современные строительные технологии: монография. Под редакцией С.Г. Головнева. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2010

[5] Руководство по прогреву бетона в монолитных конструкциях. М: РААСН, НИИЖБ, 2005

[6] Рекомендации по зимнему бетонированию / РИЛЕМ, Комитет по зимнему бетонированию. Москва: Стройиздат, 1965

[7] ASTM C 1064/C 1064M-12 «Standard Test Method for Temperature of Freshly Mixed Hydraulic-Cement Concrete» («Стандартные методы определения температуры бетонных смесей и бетонов»)

[8] ACI 306R-88 «Cold weather concreting» («Зимнее бетонирование»)

[9] РД 11-02-2006 «Требования к составу и порядку ведения исполнительной документации при строительстве, реконструкции, капитальном ремонте объектов капитального строительства и требования, предъявляемые к актам освидетельствования работ, конструкций, участков сетей инженерно-технического обеспечения»