

УДК 693.9

## ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ ТВЕРДЕНИЯ МОНОЛИТНОГО БЕТОНА В УСЛОВИЯХ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР

Тужилкина П.В., магистрант, гр. СПмоз-181, 1 курс  
Гилязидинова Н.В., к.т.н., профессор  
Кузбасский государственный технический университет  
имени Т.Ф. Горбачева  
г. Кемерово

Климат нашего региона часто подразумевают особый подход при производстве строительных работ. Низкие температуры в зимние месяцы, и существенные их перепады в межсезонье требуют дополнительных мероприятий при изготовлении монолитных конструкций.

Целью данной работы является исследование возможных режимов твердения монолитного бетона при отрицательных температурах на разных природных заполнителях, для актуального и непрерывного ведения строительных работ. В связи с этим в данной работе мы ставим перед собой следующие задачи: рассмотреть методы твердения и определить какой из них самый эффективный.

Существующие методы зимнего бетонирования можно подразделять на три основные группы. К первой группе относятся методы, предусматривающие использование теплоты укладываемой смеси, ко второй группе относятся различные методы теплового воздействия на уложенный бетон, третья группа основывается на введении в бетонную смесь химических добавок, снижающих температуру ее замерзания и ускоряющих набор прочности. Кроме того достаточно распространены различные комбинации перечисленных методов.

Для начала рассмотрим, как изменяется скорость схватывания бетона в зависимости от понижения температуры бетонной смеси (см. табл.).

Таблица

Скорость схватывания бетона в зависимости от понижения температуры

t смеси 20° C	Через 1 час начало схватывания
15° C	2 часа
10° C	3 часа
5° C	4 часа
0° C	5 часов
-5° C	6 часов
-10° C	замерз

Продолжение табл.

Скорость твердения замедляется	
t бетона 20° С	нормальное твердение
0° С	в 5 раз от нормального твердения
- 5° С	в 10 раз от нормального твердения
- 10° С	замерз

Из таблицы видно, что скорость схватывания замедляется в среднем на 1 час на каждые 5° понижения температуры бетонной смеси.

Бетон замерзает при температуре  $t=10^{\circ}\text{C}$  и длительности выдержки 24 часа и после этого не подлежит восстановлению. При отрицательной температуре вода в бетоне замерзает, и твердение его практически прекращается. В связи с этим замораживание вызывает повреждение структуры бетона и нарушает сцепление заполнителя с цементным камнем, что особенно опасно в раннем возрасте, когда прочность бетона еще не достаточно высока. Соответственно, чем раньше происходит замораживание бетона, тем сильнее снижается его конечная прочность. Поэтому при зимнем бетонировании стремятся отсрочить замерзание бетона до достижения критической прочности. Для этого существуют способы выдерживания бетона, некоторые из которых мы рассмотрим.

Для того чтобы сократить срок выдерживания бетонной смеси и обеспечить твердение при любой отрицательной температуре наружного воздуха бетон подвергают электротермообработке. При электротермообработке бетона используют тепло, получаемое от превращения электрической энергии в тепловую.

Выдерживание бетона методом электротермообработки в монолитной конструкции осуществляется нагревательным проводом, заложенным непосредственно в бетонируемую конструкцию. В зависимости от технологии производства работ нагревательные провода раскладываются во время или после выполнения арматурных работ.

Кроме технических условий площадки на выбор способа выдерживания влияет и тип заливаемой конструкции. При любом способе производства бетонных работ бетон следует предохранять от замерзания до приобретения им критической прочности, которая обеспечивает необходимое сопротивление давлению льда и сохранению в последующем при положительных температурах способности к твердению без значительного ухудшения основных свойств бетона. Если к бетону предъявить повышенные требования по динамичным свойствам, водонепроницаемости и морозостойкости, то его следует предохранять от замерзания до достижения марочной прочности. Зависимость режимов тепловой обработки от температуры и типа конструкции представлена в виде графика на рисунке.

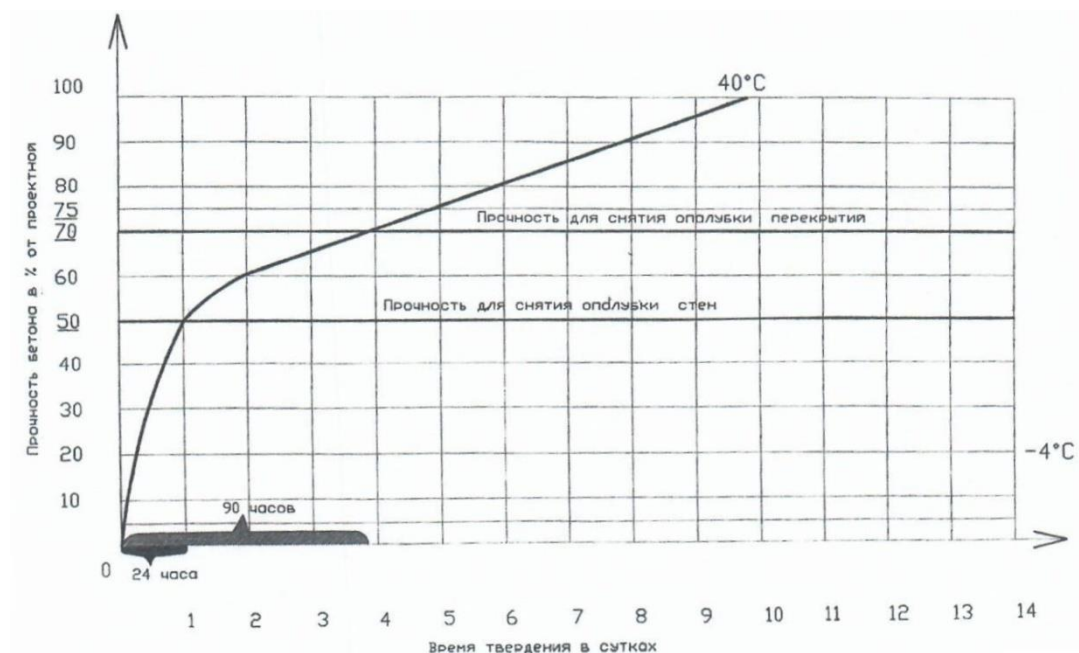


Рис. График зависимости режимов тепловой обработки от температуры и типа конструкции

Зимой бетонную смесь недостаточно просто прогреть в конструкции, ее нужно сначала доставить на строительную площадку, уложить в бетонную конструкцию, включить прогрев и обеспечить сохранность бетона от замораживания до момента набора положительной температуры.

Теоретические основы методов зимнего бетонирования достаточно широко изложены в трудах Советских и Российских ученых [3, 4], а практические расчеты изложены в [1, 2, 6]. Однако в настоящее время появились новые химические добавки MC Rapid 026 [8], изготавливаемые предприятием MC – Bauchemie. Добавки MC Rapid 026 вводятся в бетонные смеси при изготовлении изделий с целью:

- ускорения наращивания структурной прочности бетона;
- улучшения технологических свойств смеси и снижения ее водопотребления;
- сокращения расхода цемента;
- сокращения продолжительности тепловой обработки бетона, ускорения сроков распалубки изделий неавтоклавного твердения.

Для исследования мы выбрали противоморозную добавку MC Rapid 026. Растворяя в воде достаточное количество противоморозной добавки, можно полностью исключить образование льда при данной температуре. Однако добавки реагируют с минералами портландцемента и их концентрация в растворе понижается. Когда она достигнет значения, отвечающего началу замерзания раствора в структуре материала начнется переход свободной воды в лед. К моменту свободная вода будет израсходована на гидратацию цемента, поглощение гелем и образование льда. С этого момента начнется постепенное таяние льда в результате тех же процессов, которые были описаны выше.

При бетонировании в нашем регионе при отрицательных температурах рекомендуется использовать составы бетона с минимально возможным В/Ц (исследование на эту тему проводилось нами ранее). Анализируя результаты испытаний исследования, установили, что наличие добавки до 1 % от массы цемента не замедляет процесс твердения и набора прочности в ранние сроки. Исследование показало, что снижение В/Ц отношения за счет введения суперпластификатора обеспечивает экономию цемента, в сравнение с расчетным составом, и хорошую удобоукладываемость смеси.

Для производства бетона рекомендуется использовать предварительно отогретые заполнители. Максимальная температура воды затворения не должна превышать 70° С, а максимальная температура бетонной смеси на выходе из смесителя должна быть не более 35° С.

При наступлении положительных температур в бетоне более интенсивнее происходит набор прочности и достигает 100 % при условии, если замораживание бетона при достижении не менее 20 % прочности от проектной; при применении MC Rapid 026 совместно с воздухововлекающими добавками с увеличенным расходом в 1,5 раза.

В лабораторных условиях мы определяли дозировку противоморозной добавки MC Rapid 026 для изготовления монолитных конструкций дополнительного утепления на срок от 5 до 16 часов. Подбор проводился для бетона М-350, испытания образцов проведены через 7 суток. Оптимальной дозировкой противоморозной добавки MC Rapid 026 при выдерживании бетона до 16 часов получается без укрытия от 1 до 2,5 %.

В случае совместного использования двух выше рассмотренных методов, можно предположить, что себестоимость работ по электропрогреву бетона стен с применением противоморозной добавки MC Rapid 026 снижается примерно на 30 %, т. к. за счет уменьшения сроков выдерживания уменьшаются затраты на электроэнергию и зарплату электрика, стоимость аренды опалубки, а продолжительность производства работ по электропрогреву снижается в 3,8 раза.

Выбор наиболее эффективного метода выдерживания зависит от многих факторов, таких как: температура окружающей среды, вид конструкций. В ходе проведенных исследований, для конкретной температуры (-30° С) и для конкретных условиях в рамках одной производственной организации в г. Кемерово, самым эффективным методом выдерживания бетона является комплексное использование метода термоэлектрообработки и введения противоморозной добавки в определенном количестве, так как это позволяет снизить сроки получения необходимой прочности бетона.

В статье проанализированы основные методы зимнего бетонирования, основные области их применения и возможные комбинации. Показано, что в настоящее время появились новые химические добавки, позволяющие в сочетании с электропрогревом сократить энергоемкость и сроки возведения монолитных железобетонных конструкций.

### Список литературы:

1. Руководство по производству бетонных работ в зимних условиях, в районах Дальнего Востока, Сибири и Крайнего Севера / ЦНИИОМТП Госстроя СССР. – Москва: Стройиздат, 1987. – 213с.
2. Руководство по зимнему бетонированию с электропрогревом бетонов, содержащих противоморозные добавки. – Москва: ЦНИИОМТП, Стройиздат, 1977. – 29 с.
3. Миронов С.А. Теория и методы зимнего бетонирования.- 2-е изд., доп. и перераб. – Москва: Гос. издат литературы по строительству и архитектуре, 1956. –405 с.
4. Руководство по прогреву бетона в монолитных конструкциях / Под. ред. Крылов Б.А., Амбарцумян С.А., Звездова А.И. – Москва: РААСН НИИЖБ, 2005. – 275 с.
5. Красовский П.С. Зимние способы бетонирования. – Хабаровск: Издательство ДВГУПС, 2008. – 157 с.
6. Гныря А.И., Коробков С.В. Технология бетонных работ в зимних условиях: учеб. пособие. – Томск: Изд-во Том. гос. ар-хит.-строит. ун-та, 2011. – 412 с.
7. Противоморозная добавка MC-Rapid-026: продуктовые решения компании McBauchemie [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mcbauchemie.ru/products/MC-RAPID-026.1553.html>.