

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ АКТИВИРОВАННОЙ ВОДЫ ДЛЯ ЗИМНЕГО БЕТОНА

Р. Т. Бржанов

*Каспийский государственный университет технологий и инжиниринга
им. Ш. Есенова, г. Актау (Казахстан)*

А. Р. Бржанова

*Северо-Казахстанский государственный университет
им. М. Козыбаева, г. Петропавловск (Казахстан)*

Основную опасность для бетона, при производстве зимнего бетонирования, представляет отрицательная температура воздуха, действующая на твердеющий бетон. Наибольший ущерб от раннего замораживания наблюдается в бетонах с большим В/Ц (0,6-0,75) и большим расходом цемента [1].

Для обеспечения потребительских качеств бетона при зимнем его изготовлении используют ряд методов зимнего бетонирования.

Выделяют основные две группы методов зимнего бетонирования: беспрогревные и прогревные. Во многих случаях при выборе метода производства работ в зимнее время необходимо учитывать обеспечение в заданные сроки морозостойкости, водонепроницаемости, прочности и возможности загрузки его нагрузкой. С этой целью при производстве бетонных работ в зимних условиях используются методы с внесенной извне тепловой энергией – электропрогрев, индукционный, инфракрасный, паро- и воздухопрогрев, методы использующие тепловую энергию, внесенную в бетонную смесь до ее приготовления и выделяемую за счет экзотермии цемента и методы понижающие температуру замерзания воды за счет применения противоморозных добавок. Все эти методы исследованы достаточно полно, что нет необходимости их дальше описывать. Лишь отметим, что каждый метод зимнего бетонирования имеет свои особенности, как технологического плана, так и рецептурного.

Основными параметрами выбора технологии производства зимнего бетонирования являются: массивность бетонизируемых конструкций; критическая прочность бетона; наличие развитой инфраструктуры по обеспечению строительства энергоресурсами и оборудованием. Модуль поверхности характеризует массивность конструкций и равен отношению поверхности охлаждения конструкции F , m^2 , к ее объему V , m^3 :

$$M_{\text{п}} = F / V, m^{-1} \quad (1)$$

Для упрощения сложных вычислительных операций разработан табличный метод расчета на ЭВМ. За основу табличного метода приняты следующие основные параметры: массивность и геометрия конструкций; марка бетона и цемента; расход цемента на $1 m^3$; требуемая прочность бетона к моменту окончания его выдерживания.

Исследованиями отмечено, что расчетные значения средней температуры получаются одинаковыми для любого сечения конструкции. Эти методики не учитывают возможность раннего замораживания в приграничных слоях и изменения в структуре бетона вызванные градиентом температуры и влажности по толще бетонируемой конструкции. Общей особенностью всех методов расчета охлаждения бетона является то, что экзотермия цемента учитывается по значению тепловыделения для отдельных видов и марок цемента без учета скорости гидратации цемента в зависимости от температуры бетона.

Наиболее простым и не требующим дополнительных затрат является метод, обеспечивающий твердение бетона на морозе, за счет противоморозных добавок. Известно большое количество химических соединений, понижающих температуру замерзания воды. С учетом областей применения противоморозных добавок, по мнению В. Б. Ратинова и Т. И. Розенберга, их можно разделить на две большие группы.

Добавки, понижающие температуру замерзания жидкой фазы бетона. К ним относятся некоторые сильные электролиты (нитрит натрия – NH , NaNO_2), (хлорид натрия – XH , NaCl), органические соединения (многоатомные спирты, карболид).

Добавки, совмещающие в себе способность к сильному ускорению сроков схватывания цементного теста с антифризными свойствами. К этой группе добавок относятся поташ, смесь хлорида кальция с хлоридом натрия – NHXK , $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2 + \text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{CaCl}_2$, нитрат натрия – NH , NaNO_2 , нитрит-нитрат кальция – NHK , $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2 + \text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ и некоторые другие.

Кроме этих основных двух групп противоморозных добавок при зимнем бетонировании используются вещества со слабыми антифризными свойствами, но относящиеся к сильным ускорителям твердения цемента и вызывающие сильное тепловыделение на ранней стадии твердения бетонной смеси. К таким добавкам относятся сульфаты трехвалентного железа и алюминия.

Зимнее бетонирование с противоморозными добавками не исключает применение других добавок. Важно при этом учитывать, чтобы не происходила их быстрая коагуляция, с соблюдением техники безопасности при смешивании добавок.

Химизм взаимодействия противоморозных добавок с силикатными фазами алита C_3S и белита $\text{B-C}_2\text{S}$, а также гидросиликата кальция похож к взаимодействиям сильных электролитов. Если добавки не содержат одноименных с клинкерами ионов, то они ускорят процессы гидратации. Однако вследствие изменения добавками диэлектрических характеристик воды и адсорбции на твердой фазе, оказывается их замедляющее действие на гидратационное твердение C_2S и $\text{B-C}_2\text{S}$

Технологическими особенностями зимнего бетонирования с применением противоморозных добавок является их ограничение в дозировке,

которая должна быть 10–15 % от массы затворения. По отношению к арматуре некоторые противоморозные добавки относятся к ингибирующим (нитрит натрия – НН, нитрит-нитрат кальция – ННК), стимулирующие этот процесс (хлорид кальция – ХК, хлорид натрия – ХН), нейтральные. К коррозии арматуры (поташ – п, нитрат кальция – НК, мочевины (карбонид) – М). Поэтому количество и вид применяемой добавки определяется из требований предъявляемых бетону по технологии изготовления и условий окружающей среды. А при повышении концентрации добавок означенных выше, появляются высоты на поверхности конструкции, которые очень трудно устранить.

В последние годы были предложены и получили большое распространение следующие методы электротермообработки бетона:

- электродный прогрев;
- нагрев в электромагнитном поле (индукционный);
- контактный (обогрев различными электронагревательными устройствами, в том числе и инфракрасным излучением).

Прогрев бетона электрическим током, основан на принципе преобразования электрической энергии в тепловую. Это основано на законе Джоуля – Ленца:

$$Q = 3600 J^2RT \quad (2),$$

где Q – количество тепла, выделяемого током, кДж; J – сила тока, А; R – сопротивление прогреваемого бетона, Ом; T – время прохождения тока, ч.

Как видно из этой формулы, затраты в основном, зависят от проводимости тока бетоном. Удельное сопротивление бетона резко меняется в зависимости от количества и качества жидкой фазы. Изменение удельного сопротивления прямо связано со стадиями гидратации. В индукционный период, когда еще мало новообразований удельное сопротивление бетона велико, а в начале схватывания цемента сопротивление бетона падает, проводимость электрического тока возрастает. При достижении бетоном 50–60 % от проектной прочности сопротивление его возрастает в несколько раз, и поддержание в нем температуры на заданном уровне может быть обеспечено только значительным повышением напряжения. Введение в состав бетона химических добавок – электролитов, приводит к значительному уменьшению электросопротивления бетона.

Метод электропрогрева показал себя на практике как самый экономичный. Стоимость электропрогрева бетона составляет 7–10 % его стоимости, а электропрогрев железобетона 10–15 % его стоимости, включая 20 % затрат на оборудование. По сравнению с пропариванием и тепляками электропрогрев дешевле на 30–40 %.

Проблемы зимнего бетонирования актуальны и для зарубежной практики строительства [2]. Основной задачей технологии производства работ за рубежом тоже является защита бетонируемой бетонной конструкции от воздействия отрицательных температур. Минимальное значение

прочности, при которых допускается замораживание бетона, изменяются в больших пределах: от 2,4–4,4 МПа (США, Швеция), до 14,5 МПа (Швейцария). По национальным нормам США и Канады требуется бетон выдерживать до замораживания в течение 72 ч. при температуре не ниже 10 °С, а по нормам портландцементной ассоциации – в течение 3 суток при температуре не ниже 21 °С или в течение 5 суток при температуре 10 °С. в Дании допускается замораживать бетона только после достижения им прочности не менее 25 % от R_{28} и не менее 3,5 МПа, в Финляндии и Норвегии бетон до замораживания должен быть выдержан в течение 3 суток при температуре не ниже 5 °С и прочностью не менее от 4 до 8,5 МПа. Рекомендации по зимнему бетонированию РИЛЕМ в качестве критической прочности принимают 5 МПа.

Практическую и методическую пользу в плане прогнозирования и регулирования температурного поля бетонной конструкции, дает установления взаимосвязь между приведенным возрастом цементобетона на момент его заморзания τ_{20} и временем до его заморзания $\tau_{д.}$. Это обстоятельство позволяет регулировать и прогнозировать момент времени заморзания до набора критической прочности с надежностью 98%. Установлена минимальная прочность бетона в случае преждевременного заморзания слоя цементобетона, которая составляет 0,45 $R_{чб.}$

Для изучения влияния раннего замораживания на структуру цементного камня и бетона, выявления распределения пор по сечению образца были проведены макроскопические и микроскопические исследования образцов. Эти исследования показали, что структура образцов замороженных в раннем возрасте существенно изменилось.

Так, структура образцов, замороженных при –20 °С сразу, через 3 и 6 часов после замеса бетона и испытанных через сутки после оттаивания, очень рыхлая. В них много макро- и микротрещин разного направления. Ширина трещин находится в пределах 0,001–0,003 мм. Преобладают цепочки из 3–5 пор размером 0,001–0,1 мм. Большая часть микротрещин проходит по границе сцепления клинкерных минералов.

В образцах, выдержанных до замораживания 9 и 12 часов при положительной температуре и испытанных через сутки после оттаивания, структура улучшилась: появилось больше изолированных пор, но общая пористость бетона больше, чем у образцов суточного нормального твердения.

Литература

1. Бржанов, Р. Т. Проблемы выбора методов зимнего бетонирования / Р. Т. Бржанов // Вестник ПГУ. – 2009. – № 2. – С. 14–33.
2. Зарубежный опыт зимнего бетонирования : реферативная информация. – 2006. – Сб. № 9.