

## ОСОБЕННОСТИ РАННЕГО ЗАМОРАЖИВАНИЯ САМОУПЛОТНЯЮЩИХСЯ БЕТОНОВ

*К.М. Мозгалёв, С.Г. Головнев*

## FEATURES OF EARLY FREEZING OF SELF-COMPACTING CONCRETE

*K.M. Mozgalev, S.G. Golovnev*

**Исследуется влияние замораживания самоуплотняющегося бетона в раннем возрасте на дальнейший набор прочности при твердении в нормальных температурно-влажностных условиях. По полученным результатам сделан вывод о величине критической прочности.**

*Ключевые слова: самоуплотняющийся бетон, монолитные конструкции, раннее замораживание, критическая прочность.*

**The article is devoted to the research of the influence of early freezing of self-compacting concrete on further development of strength under normal temperature and humidity conditions. According to the obtained results the conclusion on the value of the critical strength is made.**

*Keywords: self-compacting concrete, monolithic construction, early freezing, critical strength.*

Исследованию влияния раннего замораживания бетона на его свойства посвящены многие работы отечественных ученых: И.А. Киреенко, Б.А. Крылова, С.А. Миронова и многих других. В частности, в этих работах особое внимание уделено изучению влияния замораживания бетона в раннем возрасте на дальнейший набор прочности при твердении в нормальных температурно-влажностных условиях, а также кинетики замерзания и оттаивания, поскольку температурный фактор является основополагающим в формировании требуемых свойств на этапе выдерживания монолитных конструкций в зимний период. На основе теоретических и экспериментальных исследований всеми названными и многими другими учеными сделан вывод о критической прочности бетона. При этом под критической прочностью подразумевается такая прочность бетона, после достижения которой замораживание уже не вносит необратимых нарушений в структуру бетона, а замороженный бетон после оттаивания набирает проектную прочность (прочность бетона в возрасте 28 суток, не подвергавшегося замораживанию) [3, 4].

Поскольку результаты указанных исследований, которые нашли отражение в таблице 6 СНиП 3.03.01–87 «Несущие и ограждающие конструкции» [2], были получены сравнительно давно, они не могли учитывать особенностей модифицированных составов бетонов с эффективными комплексными добавками. К тому же для качественной актуализации строительных норм и правил, предусмотренной ч. 5 ст. 42 Федерального закона

РФ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» [1], необходимы современные данные, основанные на фундаментальных теоретических и экспериментальных исследованиях.

Особый интерес для изучения данной проблемы представляют самоуплотняющиеся бетоны, которые около десяти лет успешно применяются на строительных объектах развитых зарубежных стран и если не сегодня, то завтра появятся и на стройках нашей страны. Самоуплотняющиеся бетоны имеют ряд преимуществ по сравнению с обычными бетонами, но, тем не менее на данный момент в России нет нормативов, позволяющих разрабатывать современные организационно-технологические решения, основанные на применении таких бетонов при устройстве монолитных конструкций, в том числе в зимних условиях [5].

Для определения величины критической прочности для самоуплотняющихся бетонов на кафедре «Технология строительного производства» Южно-Уральского государственного университета проводятся экспериментальные исследования, при которых изучается влияние замораживания такого бетона в раннем возрасте на дальнейший набор прочности при нормальном твердении, а также кинетика замерзания и оттаивания. В данной статье приведены результаты эксперимента с самоуплотняющимся бетоном класса В30. Бетон этого класса наиболее часто применяется при возведении монолитных зданий. Исследования проводились на образцах размером 100×100×100 мм, изготовленных из бетонной смеси с добавками двух

## Технология и организация строительного производства

видов: пластификатора на основе поликарбоксилатного эфира Glenium 115 и стабилизатора вязкости RheoMATRIX 100 (дозировка соответственно 0,8 и 0,1 % от массы цемента). Обе добавки разработаны концерном BASF, являющимся крупнейшим в мире производителем химических продуктов и систем для строительства.

Бетонные образцы замораживались при температуре  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  в течение 1 суток сразу после приготовления, а также при прочности 12 и 24 % от  $R_{28}$ . Значения прочности образцов при замораживании определены по результатам пробных экспериментов. Выбор температуры замораживания обусловлен условиями производства бетонных работ: средняя температура наружного воздуха в зимний период на территории Урала составляет около  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Оттаивание и последующее твердение бетона производилось в камере нормального хранения в течение такого периода, чтобы общее время нахождения образцов в нормальных условиях равнялось 28 суткам. Контрольные образцы 28 суток твердели в нормальных условиях (рис. 1).

Измерение температуры бетона осуществля-

лось с помощью приборного комплекта, состоящего из хромель-копелевых термодпар и многоканального регистратора Терем 4.1, который обеспечивает автоматизированное получение температур для дальнейшей их компьютерной обработки [6].

На рис. 2 представлена кинетика замерзания и оттаивания бетона.

Измерение температуры бетона в период замораживания и оттаивания показало, что замораживание жидкой фазы и оттаивание твердой фазы сопровождается временной стабилизацией температуры, а в некоторых случаях – периодом незначительного ее изменения. Это явление при кристаллизации обусловлено выделением тепла, а при плавлении – поглощением. Длительность периодов и температура стабилизации при прочих равных условиях зависит от количественного соотношения свободной и связанной частей в момент замораживания жидкой фазы, а в момент оттаивания – твердой. Однако стабилизация температуры бетона при оттаивании во всех случаях оказалась более продолжительной, чем при замораживании. Измерения также показывают, что при кристалли-



Рис. 1. Бетонные образцы перед замораживанием в климатической камере и камере нормального хранения

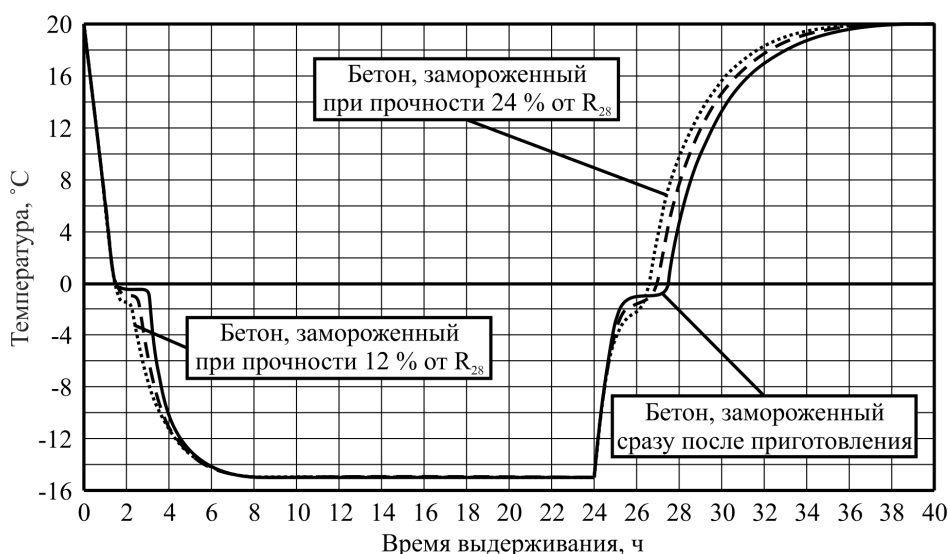


Рис. 2. Изменение температуры бетона в период замораживания и оттаивания

Влияние раннего замораживания при  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  на прочность  
самоуплотняющегося бетона класса В30

Условия выдерживания образцов	Нормальное хранение	Заморожены при прочности, % от $R_{28}$		
		0	12	24
Прочность бетона через 28 суток твердения в нормальных условиях, МПа / % от $R_{28}$	42,2 / 100	27,9 / 66	40,1 / 95	43,1 / 102

зации жидкой фазы температура бетона стабилизируется при более высоких ее значениях, чем в период оттаивания твердой фазы. В свежеприготовленном бетоне количество продуктов гидратации цемента мало, поэтому почти вся вода находится в свободном состоянии и замерзает при высоких отрицательных температурах за сравнительно длительный период. С увеличением прочности бетона к моменту замораживания вследствие гидратации цемента количество свободной воды уменьшается, а связанной – увеличивается, поэтому вода замерзает при более низких отрицательных температурах значительно быстрее.

Влияние замораживания бетона в раннем возрасте на дальнейший набор прочности при твердении в нормальных температурно-влажностных условиях представлено в таблице.

Анализируя данные, представленные в таблице, можно сделать вывод, что потери прочности бетоном получаются тем больше, чем раньше он был заморожен. Особенно большое отставание в нарастании прочности происходит при замораживании бетона сразу после приготовления. В основном это объясняется тем, что в свежеприготовленном бетоне преобладает капиллярная пористость, которая является наиболее опасной с точки зрения нарушения структуры при замерзании жидкой фазы. При твердении бетона продукты гидратации цемента, заполняя капиллярные поры, постепенно превращают их в контракционные и гелевые. Контракционные поры чаще всего заполнены воздухом и выполняют функцию буферных пространств, в которых гасится гидравлическое и кристаллизационное давление при агрессивном воздействии среды.

В данном эксперименте после достижения бетоном прочности 18 % от  $R_{28}$  замораживание не показало существенных нарушений в наборе им прочности при дальнейшем нормальном твердении. Кроме того, замораживание данного бетона при прочности 18–24 % от  $R_{28}$  привело к незначительному приращению его конечной прочности. Это объясняется тем, что замораживание ускоряет и усиливает процесс гидратации цемента после оттаивания, поскольку возникающие при замерзании в бетоне капиллярные поры являются канала-

ми, по которым вода при оттаивании может проникнуть внутрь зерна, вовлекая в гидратацию новые порции цемента.

Экспериментально полученное снижение величины критической прочности для самоуплотняющихся бетонов по сравнению с обычными бетонами объясняется наличием в их составе пластифицирующих добавок, которые за счет лучшего уплотнения структуры бетона увеличивают его плотность и уменьшают общую пористость, в том числе капиллярную.

Таким образом, исследование влияния раннего замораживания самоуплотняющихся бетонов на дальнейший набор прочности при твердении в нормальных температурно-влажностных условиях позволило установить величину критической прочности, которая оказалась значительно меньше соответствующих значений, полученных ранее для обычных бетонов аналогичного класса по прочности на сжатие.

#### Литература

1. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений: Федеральный закон от 30.12.2009 г. № 384-ФЗ. – М.: Изд-во АСТ. – 20 с.
2. СНиП 3.03.01–87. Несущие и ограждающие конструкции. – М.: Изд-во стандартов, 1996. – 192 с.
3. Головнев, С.Г. Технология зимнего бетонирования. Оптимизация параметров и выбор методов / С.Г. Головнев. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 1999. – 148 с.
4. Миронов, С.А. Теория и методы зимнего бетонирования / С.А. Миронов. – М.: Стройиздат, 1975. – 700 с.
5. Компьютерный контроль и регулирование процессов выдерживания бетона в зимних условиях / С.Г. Головнев, Г.А. Пикус, К.М. Мозгалёв, С.А. Савинов // Академический вестник УралНИИ-проект РААСН. – 2010. – Вып. 2. – С. 75–78.
6. Мозгалёв, К.М. Самоуплотняющиеся бетоны: возможности применения и свойства / К.М. Мозгалёв, С.Г. Головнев // Академический вестник УралНИИ-проект РААСН. – 2011. – Вып. 4. – С. 70–74.

Поступила в редакцию 10 апреля 2012 г.