

# ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ ДОБАВОК В ТЕХНОЛОГИИ ЗИМНЕГО БЕТОНИРОВАНИЯ

**В настоящее время в стране интенсивно развиваются технологии возведения зданий и сооружений из монолитного бетона с применением комплексных модификаторов различного функционального назначения.**

**В**месте с тем одной из острых проблем является повышение эффективности бетонирования при низких положительных и отрицательных температурах, поскольку продолжительность зимнего периода для климатических условий средней полосы России составляет 5–6 месяцев.

Известно, что процессы гидратации и твердения бетона при снижении температуры замедляются и практически прекращаются при снижении ее ниже нуля. Поэтому столь важным являются вопросы проектирования, приготовления, транспортирования, укладки и ухода за бетоном, твердение которого происходит в зимних условиях.

В технологии зимнего бетонирования достаточно широко и эффективно применяются различные способы предотвращения замораживания бетона, не набравшего критической прочности, достаточной для восприятия внутренних напряжений, связанных с процессами льдообразования в массиве бетонируемой конструкции.

Одним из способов повышения эффективности зимнего бетонирования является применение химических добавок, активирующих процессы твердения и понижающих температуру замерзания жидкой фазы. Добавки, применяемые в технологии «холодного» бетона в современном строительстве, в большинстве случаев являются комплексными и многофункциональными. Перспективность подобных модификаторов очевидна, поскольку они позволяют воздействовать на несколько свойств бетонных смесей и бетонов и получать высокие синергетические эффекты.

Применение комплексных добавок, обеспечивающих твердение бетонов в условиях низких положительных и отрицательных температур, является наиболее технологичным и малозатратным способом зимнего бетонирования. Кроме того, добавки могут применяться как индивидуально, так и совместно с другими способами предотвращения замораживания бетона, например методом термоса, электропрогревом и т. д. Чрезвычайно важным условием в технологии зимнего бетонирования является строгое соблюдение всех технологических этапов производства бетонных работ и ухода за уложенным бетоном. В условиях недостаточно высокой культуры производства на строительных объектах зачастую самые высокоэффективные добавки могут оказаться нерациональными и показать нулевой результат. Например, известны случаи, когда бетоны с комплексными добавками на основе умеренных и суперпластификаторов, снижающих скорость гидратационных процессов на ранних стадиях твердения, подвергались раннему замораживанию в период до набора бетоном критической прочности и, как следствие, имели значительно низкие физико-механические свойства. Прочность подобного «замороженного» бетона снижается вследствие морозного разрушения ранней структуры, возникновения прослоек льда между цементной матрицей, крупным заполнителем и арматурой и многих других факторов. В тоже время известно, что прочность цементного камня и цементно-песчаных растворов в отдельных случаях может повышаться вследствие раннего замораживания при последующем твердении в нормальных условиях. Однако для традиционных щебеночных бетонов ранние замораживания недопустимы.

Таким образом, в технологии зимнего бетонирования с применением комплексных добавок необходимыми условиями повышения качества бетонных работ являются применение не только регламентированных и высокоэффективных добавок и их рациональные дозировки, но и организация должного уровня ухода за бетоном после его укладки в конструкцию. Кроме того, в условиях зимнего бетонирования повышенные требования должны предъявляться к исходным материалам и составу бетона. К сожалению, следует отметить, что в современной технологии зимнего бетонирования несколько размывается понятие, а следовательно и назначение противоморозной добавки. Традиционно считается, что противоморозные добавки — это вещества, обеспечивающие гидратацию и твердение цементных материалов на морозе при различных отрицательных температурах в зависимости от дозировки. Сегодня же в термин «противоморозная добавка» вложен несколько иной смысл: т. е. это добавка, обеспечивающая возможность сохранения технологических параметров бетонной смеси до момента эффективного ухода за бетоном (прогрев и т. д.) и активирующая кинетику твердения на ранних этапах. Так, например, к добавкам, обеспечивающим эффективное безобогревное твердение бетона при отрицательных температурах, могут быть отнесены некоторые хлористые соли, нитрит натрия, нитрит-нитрат кальция, формиат натрия и кальция и некоторые другие. Отметим, что большинство современных противоморозных добавок, как правило являющихся комплексными, к сожалению, не может быть отнесено к противоморозным, обеспечивающим безобогревное твердение на морозе, и это зачастую вводит в заблуждение потребителей добавок. Кроме того, в технических условиях и паспортах подобных добавок нередко указывается максимальная температура, при которой возможно производство бетонных работ, например минус 25 °С при



дозировках 3–5% от массы цемента. При таких дозировках, в соответствии с законом Рауля, невозможно достижение эффекта предотвращения замерзания жидкой фазы бетона, поскольку температура замерзания понижается пропорционально молярной концентрации добавки, которая при подобных дозировках, особенно при использовании в составе комплексных добавок органических пластификаторов, является незначительной.

Противоморозные добавки можно условно разделить на две группы.

1. Вещества, понижающие температуру замерзания жидкой фазы цементных систем и являющиеся ускорителями или замедлителями схватывания и твердения цементных материалов. К ним относятся сильные электролиты (нитрит натрия и хлорид натрия), слабые электролиты, а также неэлектролиты, вещества органического происхождения. Например, многоатомные спирты и карбамид.

2. Добавки, способствующие сильному ускорению процессов схватывания и твердения цементных систем и обладающие хорошими антифризными свойствами. К ним относятся добавки на основе хлорида кальция и натрия, поташ, смеси нитрата и нитрита кальция с хлоридом кальция и мочевиной и некоторые другие.

В отдельных случаях могут использоваться вещества со слабыми антифризными свойствами, но относящиеся к сильным ускорителям схватывания и твердения, одновременно вызывающие сильное тепловыделение на ранней стадии твердения цементных растворов. К таким добавкам относятся, например, сульфаты трехвалентного железа и алюминия.

В последнее время на рынке химических добавок появились комплексные противоморозные смеси, в состав которых наряду с противоморозными компонентами входят умеренные пластификаторы и суперпластификаторы (лигнопан В-4, криопласт СП 15-1, СП 15-2, П-20, П25-1 и др.). Следует отметить, что большинство новых добавок рекомендуется к применению в качестве противоморозных в период приготовления, транспортирования и укладки бетона и до начала активной тепловой обработки конструкций.

Негативным фактором применения комплексных добавок на основе электролитов и пластификаторов является то, что при повышенных дозировках добавок пластифицирующие компоненты практически не понижают температуру замерзания раствора вследствие высокой молекулярной массы и низкой молярности раствора при малых дозировках и значительно замедляют процессы гидратации и твердения цементных систем на морозе. При этом электролиты, присутствующие в комплексной смеси в малом количестве, не могут обеспечить достаточно высокий темп твердения в условиях низких отрицательных температур.

Вследствие подобной несбалансированности дозировок компонентов добавок в составе комплексной смеси может происходить замораживание раствора (бетона) в состоянии низкой прочности, что негативно отражается на кинетике последующего твердения и долговечности бетона.

Таким образом, наиболее рациональным является раздельное применение водоредуцирующих и противоморозных добавок в растворах и бетонах в зависимости от температурных условий твердения, достижения требуемой пластичности смесей и обеспечения заданного темпа набора прочности.

Применение химических добавок в технологии производства растворов и бетонов, твердеющих на морозе, представляет собой один из наиболее широко распространенных методов обеспечения безобогревного твердения цементных материалов при отрицательных температурах, поскольку модификаторы различных классов позволяют не только изменять температуру замерзания жидкой фазы, но и направленно воздействовать на формирование структуры и прочности растворов и бетонов.

Известно большое количество неорганических и органических соединений, понижающих температуру замерзания воды, однако

не все из них возможно применять в качестве противоморозных добавок. Так, например, хлорное железо и нитрат кальция практически не ускоряют твердение бетона даже при небольших отрицательных температурах, хотя и создают незамерзающую жидкую среду. Объясняется это тем, что интенсивность твердения цементных материалов с противоморозными добавками зависит от двух факторов: количества и силы связи молекул воды с ионами или молекулами вводимых соединений и их участия в процессах гидратации и структурообразования.

Введение электролитов в раствор приводит к изменению условий образования льда: ионы искажают льдоподобную структуру и затрудняют процесс ее фазового превращения. С ростом концентрации электролита в воде требуется увеличивать переохлаждение раствора, чтобы обеспечить возможность протекания энергетически затруднительного процесса выкристаллизовывания льда. Некоторые растворимые в воде низкомолекулярные органические соединения и слабые электролиты также снижают возможность льдообразования из переохлажденных растворов.

Основной целью при введении в строительные растворы и бетоны электролитов в больших дозировках является сохранение оптимального количества воды в жидкой фазе цементных смесей, необходимого для гидратации цемента. Считается, что процессы льдообразования в цементных составах с добавками проходят одновременно со структурообразованием. Поскольку практически все противоморозные добавки применяются в концентрации меньшей равновесной, при охлаждении бетона ниже температуры замерзания водного раствора введенной добавки в нем начинается льдообразование, протекающее совместно с формированием собственной структуры материала. Благодаря этому обстоятельству, а также вследствие образования ослабленной структуры льда в присутствии добавок, в бетоне не происходит заметных деструктивных явлений, отражающихся на его прочности. Часть солей, вводимых в растворные и бетонные смеси, переходит в процессе гидратации цементных минералов в твердую фазу в виде двойных и



основных солей, уплотняющих и армирующих структуру и повышающих прочность растворов и бетонов.

Перспективным направлением в технологии приготовления современного бетона, в том числе и зимнего, является применение комплексных органо-минеральных добавок. Подобные добавки позволяют не только повышать прочность и плотность бетона, но и значительно улучшать реологические свойства бетонных смесей. В бетонах, наполненных тонкомолотой каменной мукой из плотных горных пород (например, гранита) в количестве до 40% от массы цемента, создаются более благоприятные реологические условия, чем в ненаполненных бетонах. Это обусловлено тем, что цементные минералы (особенно алюминатные фазы) на ранних этапах гидратации связывают значительное количество воды затворения, снижая тем самым эффективность водоредуцирующего действия суперпластификаторов (СП). Цементные системы, наполненные гранитной мукой, более подвержены разжижению в присутствии СП, поскольку мука является инертной по отношению к воде, и это обеспечивает в целом лучшие реологические характеристики бетонной смеси.

Наполнители (каменная мука, минеральные шламы и др.) выполняют в бетоне еще две важнейшие функции: уплотнение структуры и связывание свободной гидратной извести тонкодисперсной фракцией микронаполнителя в гидросиликатные структуры, повышающие прочность материала.

Для повышения эффективности применения каменной муки и минеральных шламов в составе бетонов их целесообразно использовать совместно с микрокремнеземом или метакаолином.

Таким образом, комплексные противоморозные добавки на основе органических добавок, суперпластификаторов и электролитов должны вводиться в бетонную смесь по отдельной технологии. При этом количество пластифицирующего компонента (в целях предотвращения замедления гидратации и твердения) при повышенных дозировках должно составлять не более 0,7–1% от массы вяжущего. В противном случае кинетика твердения «холодного»

бетона будет значительно снижаться не только вследствие негативного влияния пониженных температур, но и вследствие замедления гидратационных процессов цементных систем с повышенным содержанием органических добавок.

Минеральные добавки следует вводить в количестве до 40%, а количество ультрадисперсных микронаполнителей должно определяться из условий обеспечения лучших реологических свойств бетонных смесей и получения высоких прочностных показателей бетонов.

Третьим компонентом противоморозных добавок являются активаторы и ускорители твердения, обладающие антифризными свойствами. Их дозировка должна назначаться исходя из ожидаемых температурных условий твердения.

Совместное введение всех компонентов модификаторов в составе одной комплексной добавки нецелесообразно вследствие возможности получения антагонистических эффектов при несбалансированных дозировках индивидуальных компонентов.

Таким образом, каждый компонент комплексной добавки должен обеспечивать достижение строго регламентируемого технологического эффекта, зависящего не только от дозировки добавки, но также от способа ее введения и условий твердения. Только в случае детального анализа механизмов действия компонентов комплексных противоморозных добавок возможно снижение или исключение негативных явлений при твердении бетонов в условиях низких положительных и отрицательных температур и получение высококачественных бетонных смесей и бетонов. ●

**О. В. ТАРАКАНОВ**, д. т. н., проф.,  
зав. кафедрой «Земельный и городской кадастры»,  
декан факультета «Управление территориями»,

**Т. В. ПРОНИНА**, аспирант кафедры  
«Земельный и городской кадастры»,

**Р. С. ЛОГИНОВ**, студент.

Пензенский государственный  
университет архитектуры и строительства.

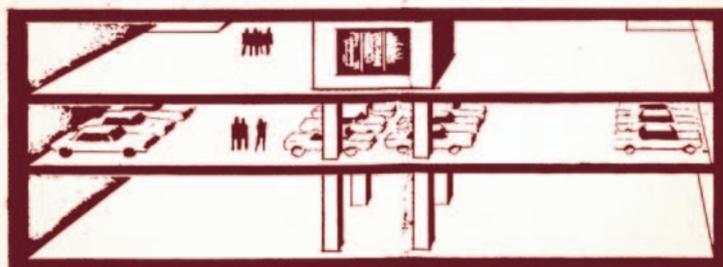
## межрегиональная конференция «ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ СТРОИТЕЛЬСТВА ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ В СЛОЖНЫХ УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ»

Организаторы: Санкт-Петербургское отделение Тоннельной ассоциации России, Администрация Санкт-Петербурга, СОО, ПГУПС, СПбГИ, СПбГАСУ, ОАО «Ленметрогипротранс» и ОАО «ЛЕННИПРОЕКТ»

### В программе:

- Инженерно-геологические изыскания и геотехническая ситуация;
- Правовые аспекты освоения подземного пространства;
- Оценки строительных рисков;
- Мероприятия по обеспечению безопасности строительства и эксплуатации подземных сооружений;
- Геотехническое сопровождение строительства и методы контроля.

**26-28 ноября**  
**2008 год**  
**ЛЕННИПРОЕКТ**  
**Санкт-Петербург**



С условиями участия  
можно ознакомиться:  
т/ф: (812) 233-2029,  
233-4189, 233-4482  
infoteka@lenproekt.com  
www.lenproekt.com