

УДК 691.3:693.546

## ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ТВЕРДЕНИЯ БЕТОНОВ И РАСТВОРОВ С ПРОТИВОМОРОЗНЫМИ ДОБАВКАМИ ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР

**Кононова О.В., Минаков Ю.А., Грязина М.В., Иванов Н.А., Черепов В.Д.**  
*ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Йошкар-Ола,  
e-mail: ov-kononova@mail.ru, gryzina-maria@yandex.ru*

Исследовано влияние комплексных противоморозных добавок на кинетику твердения образцов бетонов и растворов в течение 28 календарных дней в условиях естественного колебания отрицательных температур ( $-20 \pm 10^\circ\text{C}$ ). Исследования выполнены на пластичных бетонных смесях с подвижностью 1...4 см и растворных смесях с подвижностью 6...8 см. Установлено, что в этих условиях набора прочности образцов с противоморозными добавками не происходит. Дальнейшее твердение образцов продолжалось 28 календарных дней при температуре  $+18 \pm 2^\circ\text{C}$ . Конечная прочность образцов бетона при сжатии с добавками «Криопласт ЛН» и «УПД-2М» составила 48...45% от прочности контрольных образцов. Контрольные образцы не содержали добавок и твердели 28 календарных дней при температуре  $+18 \pm 2^\circ\text{C}$ . Установлено, что добавка «Зимняя П-3» сохраняет подвижность растворных смесей и препятствует замораживанию. При исследовании кинетики твердения растворов установлено, что конечная прочность растворов при сжатии с добавкой «Зимняя П-3» ниже прочности контрольных образцов на 10–50%.

**Ключевые слова:** отрицательная температура, противоморозная добавка, твердение бетона, прочность при сжатии

## AFTER LOW TEMPERATURES EFFECT CONCRETE AND MORTAR WITH ANTIFREEZE ADDITIVES HARDENING KINETICS INVESTIGATION

**Kononova O.V., Minakov Y.A., Gryazina M.V., Ivanov N.A., Cherepov V.D.**  
*Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, e-mail: ov-kononova@mail.ru,  
gryzina-maria@yandex.ru*

The influence of complex antifreeze additives on concrete and mortar samples hardening kinetics during 28 days under natural fluctuations subzero temperatures ( $-20 \pm 10^\circ\text{C}$ ) incubation studied. The studies were performed on plastic concrete mixtures with mobility 1...4 cm and mortar mixtures with mobility 5...7 cm. Found that samples with antifreeze additives don't get the strength growth under these conditions. Further samples hardening lasted for 28 days at  $+18 \pm 2^\circ\text{C}$  temperature. The final concrete samples compressive strength with «Krioplast LN» and «DFC-2M» additives is 48...45% of the control samples strength. Control samples contained no additives and was hardening for 28 days at  $+18 \pm 2^\circ\text{C}$  temperature. Found that «Zimnya-P-3» addition preserves mortars mobility and prevent freezing. In hardening kinetics study found that the final compressive strength with «Zimnya-P-3» additive is below the strength of the control samples by 7...50%.

**Keywords:** subzero temperature, antifreeze additive, concrete hardening, compressive strength

Твердение бетонов и растворов при пониженной температуре происходит медленно, так как замедляется процесс гидратации цемента. При отрицательной температуре процесс твердения прекращается. Поэтому для обеспечения требуемого набора прочности бетонов и строительных растворов в зимнее время используют такие методы производства работ, при которых гидратация цемента возможна [3, 4]. Одним из таких методов является введение в бетоны и строительные растворы противоморозных добавок [1, 2, 5].

Способ зимнего бетонирования с применением противоморозных добавок технологически прост и экономичен, но в условиях значительных колебаний отрицательных температур представляется сложным установить рациональную дозировку противоморозной добавки [2, 4, 5]. При выборе вида и содержания противоморозной добавки ориентируются на раци-

ональную дозировку при которой эффективно ее использование.

**Цель работы** состояла в исследовании влияния комплексных противоморозных добавок на кинетику твердения образцов растворов и бетонов после их выдерживания в течение 28 календарных дней в условиях действия отрицательных температур. Задача исследования состояла в изучении влияния комплексных противоморозных добавок «Зимняя П-3», «Криопласт ЛН» и «УПД-2М» на кинетику нарастания прочности растворов и бетонов после замораживания при средней температуре  $-20^\circ\text{C}$ .

### Материалы и методы исследования

При исследовании бетонов и растворов в качестве вяжущего применялся портландцемент производства ЗАО «Ульяновскцемент» типа ЦЕМ II/A класса 32,5Б.

Исследование кинетики твердения растворов проводилось с добавкой «Зимняя-П-3» (ТУ 5745-21-57330160-13). Противоморозная добавка

«Зимняя-П-3» содержит комплекс органических и неорганических солей натрия и калия. Рекомендуемая дозировка при  $-20^{\circ}\text{C}$  до 12% от массы цемента.

Исследования проводились на растворных смесях с объемным соотношением Песок: Цемент = 1:4 и подвижностью 5...7 см по глубине погружения конуса. Из растворных смесей на пористом основании формовались стандартные образцы-кубы размером  $70,7 \times 70,7 \times 70,7$  мм. Растворные смеси и образцы с противоморозной добавкой, а также контрольные без добавки непосредственно после приготовления помещались в морозильную камеру с температурой  $-20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ . В течение 4 часов контролировалось изменение их подвижности. Образцы – кубы хранились при температуре  $-20 \pm 2^{\circ}\text{C}$  в течение 28 суток. При этом производился мониторинг прочности при сжатии образцов, предварительно размороженных в течение 4 часов на воздухе при температуре  $+18 \pm 2^{\circ}\text{C}$ .

В качестве противоморозных добавок для бетонов применялись комплексные добавки «Криопласт ЛН» производства ООО «Полипласт-УралСиб» (г. Первоуральск) и противоморозная добавка УПД-2М производства ООО «Инновация» (г. Казань). Противоморозная добавка «Криопласт ЛН» представляет собой смесь солей полиметиленафталинсульфонат натрия различной молекулярной массы и противоморозного компонента. Обеспечивает возможность бетонирования в условиях расчетных температур твердения бетона не ниже  $-30^{\circ}\text{C}$ , обладает пластифицирующим эффектом. Универсальная противоморозная добавка УПД-2М также относится к категории комплексных. Она ускоряет процесс твердения бетонов и строи-

тельных растворов, оказывает пластифицирующее действие, повышает прочность, морозостойкость и трещиностойкость бетона. Рекомендуется к использованию при температуре не ниже  $-18^{\circ}\text{C}$ .

Для исследования применялась бетонная смесь с подвижностью 1...4 см, которая имела следующий состав: цемент – 450 кг, кварцевый песок с модулем крупности 1,9–655 кг, щебень доломитовый фракции 5...20 мм – 1180 кг. Прочность бетонов контролировалась разрушающим методом. Добавка «Криопласт ЛН» вводилась в количестве до 2,0% от массы цемента. Добавка УПД-2М вводилась в количестве до 3,7% от массы цемента. Из бетонных смесей формовались образцы размером  $100 \times 100 \times 100$  мм. Прочность бетонов контролировалась разрушающим методом.

### Результаты исследования и их обсуждение

При изучении влияния времени замораживания на сохраняемость свойств растворных смесей, подвергнутых замораживанию при температуре  $-20 \pm 2^{\circ}\text{C}$  непосредственно после приготовления, периодически контролировалась их подвижность по глубине погружения конуса. Наблюдения показали, что подвижность растворных смесей постепенно снижается с 6 см до 3,5...4,0 см. Результаты испытания подвижности растворных смесей с добавкой «Зимняя-П-3» приведены в табл. 1.

**Таблица 1**  
Сохраняемость подвижности строительного раствора с химическими добавками

№ п/п	Расход материалов на 1 м <sup>3</sup> раствора				Подвижность растворных смесей, см, при времени хранения, часов				
	Цемент	Песок	Вода	«Зимняя П-3», %Ц	0	1	2	3	4
1	330	1908	340	–	6,0	5,0	4,0	3,5	3,5
2	330	1908	340	8	6,0	6,0	5,0	4,0	4,0
3	330	1908	340	12	6,0	6,0	5,0	4,5	4,0

На основании проведенного эксперимента установлено, что как в контрольных составах, так и в составах с противоморозной добавкой «Зимняя П-3» в течение 4 часов наблюдения не происходит замерзания раствора при температуре  $-20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ . При этом повышение содержания добавки «Зимняя П-3» до 8...12% от массы цемента обеспечило лучшую сохраняемость подвижности растворной смеси: за 4 часа подвижность снизилась с 6 до 4,5 см.

Исследована кинетика твердения строительных растворов с добавкой «Зимняя-П-3» в количестве 8...12% от массы цемента. Выполнен мониторинг прочности при сжатии растворов после твердения при температуре  $-20 \pm 2^{\circ}\text{C}$  в течение первых 28 календарных дней (1 этап), и последующего твердения в течение 28 дней при  $+18 \pm 2^{\circ}\text{C}$  (2 этап). Контроль прочности выполнялся

через 4 часа оттаивания образцов на воздухе при температуре  $+18 \pm 2^{\circ}\text{C}$ . Кинетика твердения основных образцов сравнивалась с твердением контрольных образцов при температуре  $+18^{\circ}\text{C}$ . Результаты мониторинга прочности основных образцов приведены в табл. 2.

Прочность контрольных образцов растворов, твердевших 28 суток в сухих условиях лаборатории при температуре  $+18 \pm 2^{\circ}\text{C}$ , приведена в табл. 3.

Сопоставление данных табл. 2 и 3 показало, что эффективность применения комплексной противоморозной добавки «Зимняя П-3» при температуре твердения растворов  $-20 \pm 2^{\circ}\text{C}$  существенно зависит от ее содержания. При недостатке добавки не происходит твердения бетона при данной отрицательной температуре, и, как следствие, при дальнейшем твердении

в благоприятных условиях отмечается недобор прочности составов. Так, при дозировке добавки 8% от массы цемента недобор

прочности образцов в сравнении с контрольными после 2 этапа твердения при температуре  $+18 \pm 2^\circ\text{C}$  составил около 50%.

**Таблица 2**

Кинетика роста прочности растворов с противоморозной добавкой «Зимняя П-3»

№ п/п	Содержание добавки «Зимняя П-3» % от массы цемента	1 этап: твердение до 28 суток при $-0 \pm 2^\circ\text{C}$ . Предел прочности при сжатии в возрасте, суток			2 этап: твердение при $+18 \pm 2^\circ\text{C}$ . Предел прочности при сжатии, МПа, в возрасте 28 суток
		7	14	28	
1	–	0,2	0,2	0,2	8,6
2	8	0,2	0,2	0,2	8,3
3	12	5,2	5,3	5,3	15,5

**Таблица 3**

Предел прочности при сжатии контрольных образцов растворов при температуре  $+18 \pm 2^\circ\text{C}$

№ п/п	Содержание добавки «Зимняя П-3» % от массы цемента	Предел прочности при сжатии, МПа, в возрасте, суток		
		7	14	28
1	–	8,7	15,8	16,4
2	8	12,8	15,8	16,8
3	12	12,9	16,0	16,7

Исследовано влияние комплексных противоморозных добавок на кинетику твердения образцов бетонов и растворов в течение 28 календарных дней в условиях естественного колебания отрицательных температур ( $-20 \pm 10^\circ\text{C}$ ).

При исследовании кинетики твердения бетонов с добавками «Криопласт ЛН» и УПД-2М основные образцы бетона твердели в течение 28 суток при отрица-

тельной температуре, затем продолжали твердеть и добирать прочность при температуре  $+18 \pm 2^\circ\text{C}$  в течение 28 суток. Наряду с основными образцами формировались контрольные образцы бетона, которые твердели в нормальных условиях лаборатории при температуре  $+20 \pm 2^\circ\text{C}$  и относительной влажности воздуха  $95 \pm 5\%$ . Результаты испытания составов бетона с добавками «Криопласт ЛН» и УПД-2М приведены в табл. 4.

**Таблица 4**

Прочность и класс бетона при сжатии бетонов с добавкой «Криопласт ЛН» и УПД-2М

№ п/п	Противоморозная добавка	Подвижность бетонной смеси, см ОК	Предел прочности при сжатии, МПа		Набранная прочность основных образцов, % от прочности контрольных образцов
			Основные образцы	Контрольные образцы	
1	«Криопласт ЛН»	3	26,7	55,4	48
2	УПД-2М	3	29,5	66,1	45
3	–	3	24,1	59,7	40

На основании проведенного исследования установлено, что образцы бетона с противоморозными добавками при температуре  $-20 \pm 10^\circ\text{C}$  практически не твердеют. При дальнейшем твердении в течение 28 суток в благоприятных условиях лаборатории образцы с противоморозной добавкой «Криопласт ЛН» добрали 48% от прочности контрольных образцов. Образцы бетона, изготовленные с применением

противоморозной добавки УПД-2М, добрали прочность 45% от прочности контрольных образцов.

Таким образом, естественные колебания отрицательных температур ( $-20 \pm 10^\circ\text{C}$ ) для твердения образцов бетона с комплексными противоморозными добавками являются критическими и не позволяют бетону в дальнейшем добирать прочность даже в благоприятных условиях твердения.

**Выводы**

1. Замораживание растворяемых и бетонных смесей с противоморозными добавками непосредственно после изготовления до средней температуры  $-20^{\circ}\text{C}$  способно полностью прекратить нарастание их прочности.

2. После оттаивания в течение 28 суток при температуре  $+18 \pm 2^{\circ}\text{C}$  такие составы набирают только 45...48% от прочности контрольных образцов.

3. Эффективны дозировки противоморозных добавок, при которых возможен набор не менее 30% от прочности контрольных составов при замораживании.

**Список литературы**

1. Добавки в бетоны и строительные растворы: учебно-справочное пособие / Л.И. Касторных. – 2-е изд. – Ростов н/Д.: Феникс, 2007. – 221 с.
2. Изотов В.С. Химические добавки для модификации бетона. – М.: Изд. Палеотип, 2006. – 244 с.
3. Крылов Б.А. Руководство по прогреву бетона в монолитных конструкциях / Б.А. Крылов, С.А. Амбарцумян, А.И. Звездов. – М., 2005. – 275 с.
4. Миронов С.А. Теория и методы зимнего бетонирования. – 3-е изд. – М.: Стройиздат, 1975. – 750 с.
5. Минаков Ю.А., Кононова О.В., Анисимов С.Н., Грязина М.В. Управление кинетикой твердения бетона при отрицательных температурах // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 4 (часть 2). – С. 307–311.

**References**

1. *Dobavki v betony i stroitelnye rastvory* [Concrete and mortar chemical additives] / L.I. Kastornyyh. 2 izd. Rostov n/D, Feniks, 2007. pp. 221.
2. Izotov V.S. *Himicheskie dobavki dlya modifikacii betona*. [Modification concrete chemical additives] M. Izd. Paleotip, 2006. pp. 244.
3. Krylov B.A. Ambarcumjan S.A., Zvezdov A.I. *Rukovodstvo po progrevu betona v monolitnyh konstrukciyah*. [Realcrete curing directory]. Moskva, 2005. pp. 275.
4. Mironov S.A. *Teoriya i metody zimnego betonirovaniya*. [Cold weather concreting theory and methods] Izdanie 3. M.: Strojizdat, 1975. pp. 750.
5. Minakov Yu.A., Kononova O.V., Anisimov S.N., Gryazina M.V. *Upravleniye kinetikoy tverdeniya betona pri otritsatelnyh temperaturah* [Subzero temperatures concrete hardening kinetics management] // *Fundamentalnye issledovaniya*. 2013. no. 4 (chast 2). pp. 307-311.

**Рецензенты:**

Салихов М.Г., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой автомобильных дорог, ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола;

Краснов А.М., д.т.н., профессор кафедры строительных материалов и технологии строительства, ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола.

Работа поступила в редакцию 28.07.2014.