

**Гущин Сергей Вячеславович**, младший научный сотрудник,  
УО «Белорусский национальный технический  
университет», г. Минск (Беларусь)

**Дрозд Александр Алексеевич**, канд. техн. наук, доцент,  
УО «Белорусский национальный технический  
университет», г. Минск (Беларусь)

## **ВЛИЯНИЕ ФОРМИАТА НАТРИЯ НА ТВЕРДЕНИЕ БЕТОНА ПРИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ**

### **THE EFFECT OF SODIUM FORMATE ON CONCRETE HARDENING AT LOW TEMPERATURES**

#### **АННОТАЦИЯ**

*Рассмотрена проблематика ведения бетонных работ в зимний период. Выбран один из способов ее решения – применение противоморозной добавки. Приведены результаты экспериментальных исследований влияния формиата натрия на твердение бетона при отрицательных температурах. С помощью математико-статистического метода проведения эксперимента первого порядка (число факторов-3) получено уравнение описания процесса, прогнозирующего прочность бетона. В качестве факторов были приняты расход цемента, температура твердения и расход добавки формиата натрия. Данное уравнение позволяет технологу учитывать эти факторы при проектировании состава бетона с использованием данной добавки.*

#### **ABSTRACT**

*We consider the problems of doing concrete work in the winter. Selected one of the ways to solve it – the use of antifreeze additive. The results of experimental studies of the effect of sodium formate for concrete hardening at low temperatures. With the help of mathematical and statistical methods of the experiment of the first order (the number of factor 3) to obtain an equation describing the process, the predictive strength of the concrete. The factors were taken charge of cement, curing temperature and fuel additive sodium formate. This equation takes into account the technologist these factors in the design of concrete with the use of the additive.*

#### **ВВЕДЕНИЕ**

Обеспечение качества бетона и бетонной смеси является очень важной задачей строительного производства. Для ее решения и получения бетона с заданными характеристиками необходимо проектиро-

вать состав бетона, то есть подбирать составные компоненты бетонной смеси и их количество. Однако, предварительный подбор сопряжен с определенными трудностями. Разнообразие видов цемента, крупного и мелкого заполнителя, видов добавок существенно усложняют расчет. Получение бетона требуемой прочности зависит от различных характеристик его составляющих (класс бетона; подвижность или удобоукладываемость бетонной смеси; нормальная плотность цементного теста, различные характеристики цемента, крупного и мелкого заполнителя; количество и вид добавки, концентрация и плотность раствора и др.). Многообразие факторов, влияющих на состав бетона, приводит к необходимости определения влияния каждого из них на свойства бетона и бетонной смеси, то есть проведения различных экспериментов.

Производство бетонных работ в зимний период требует соблюдения ряда обязательных условий, связанных с необходимостью поддержания в бетонной смеси и твердеющем бетоне положительной температуры. Это наиболее сложный период для ведения бетонных работ, характеризующийся ростом энергетических затрат на их осуществление. В таких условиях строительства, когда необходимо применить все возможные ресурсы для получения объекта, одним из действенных методов зимнего бетонирования является применение противоморозных добавок.

Противоморозные добавки занимают важное место среди других добавок в бетон. Они нашли широкое применение при возведении монолитных и сборно-монолитных бетонных и железобетонных конструкций и сооружений, монолитных частей сборно-монолитных конструкций, включая бетонирование в скользящей опалубке, для замоноличивания стыков сборных конструкций и при изготовлении сборных бетонных и железобетонных конструкций в условиях строительных площадок и полигонов при установившейся температуре наружного воздуха или грунта ниже  $+5^{\circ}\text{C}$  и минимальной суточной температуре ниже  $0$  вплоть до  $-30^{\circ}\text{C}$  (температура бетона, при которой он с некоторыми противоморозными добавками, хотя и медленно, но систематически набирает прочность за счет гидратации цемента, составляет  $-25^{\circ}\text{C}$ ).

Введение противоморозных добавок — технологически наиболее простой, удобный и экономически выгодный способ зимнего бетонирования.

Этот способ в 1,2–1,4 раза экономичнее, чем способ паропрогрева и бетонирования с предшествующим ограждением сооружения и его утеплением изнутри и в 1,3–1,5 раза экономичнее электропрогрева и электрообогрева.

Безобогревное зимнее бетонирование благодаря применению противоморозных добавок позволяет экономить тепло- и электроэнергию при более гибкой технологии проведения работ.

## **ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Целью исследований является определение эффективности влияния формиата натрия на твердение бетона при отрицательных температурах.

### ***Исходные материалы***

В качестве исходных материалов в исследованиях использовались: портландцемент ПЦ 500-Д0 производства ОАО «Белорусский цементный завод», песок строительный с модулем крупности 2,4-2,7 и противоморозная добавка – формиат натрия.

### ***Методика исследований***

Для проведения исследований был использован математико-статистический метод проведения эксперимента первого порядка (число факторов-3).

*Таблица 1*

### **Интервалы варьирования факторов**

Код	Значение кода	Значения факторов		
		X1	X2	X3
Основной уровень	0	300	4	-10
Интервал варьирования	X1	100	2	5
Верхний уровень	+	400	6	-15
Нижний уровень	–	200	2	-5

В качестве переменных X1-расход цемента, кг; X2-расход добавки, %; X3-температура твердения, °С.

Для оптимальных составов исследований был изучен комплекс свойств формиата натрия (ФН), необходимых для его применения.

Составы исследуемых бетонных смесей приведены в таблице 2.

**Составы бетонных смесей**

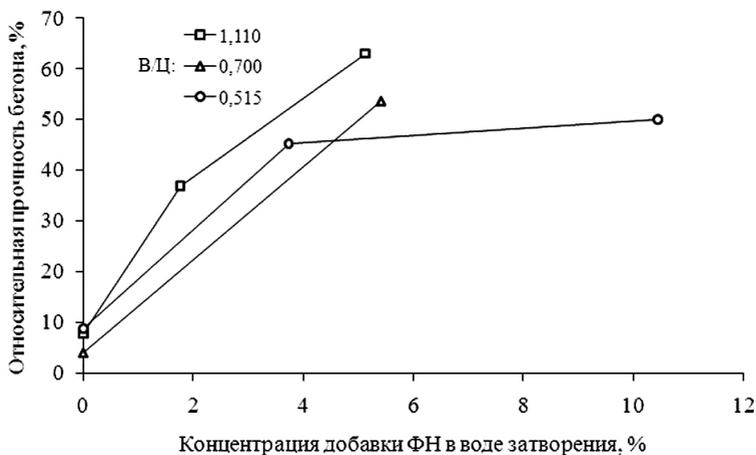
№	Расход материалов, кг/м <sup>3</sup>			
	ПЦ 500-Д0	Песок	ФН	Вода
1	200	1600	-	222
2	300	1500	-	210
3	400	1400	-	206
4	400	1400	24	206
5	200	1600	12	222
6	400	1400	8	206
7	200	1600	4	222
8	300	1500	12	210
9	400	1400	16	206
10	200	1600	8	222
11	300	1500	18	210
12	300	1500	6	210

При изготовлении бетонных образцов применяли методы виброформования на лабораторной площадке, при этом время вибрации составляло 1-2 минуты. Добавку вводили в бетонную смесь в виде водного раствора рабочей концентрации, которую получали смешиванием сухой добавки с водой затворения. Методом вибрации формовались кубы размерами 70,7х70,7х70,7 мм из бетонных смесей подвижностью 10-12 см.

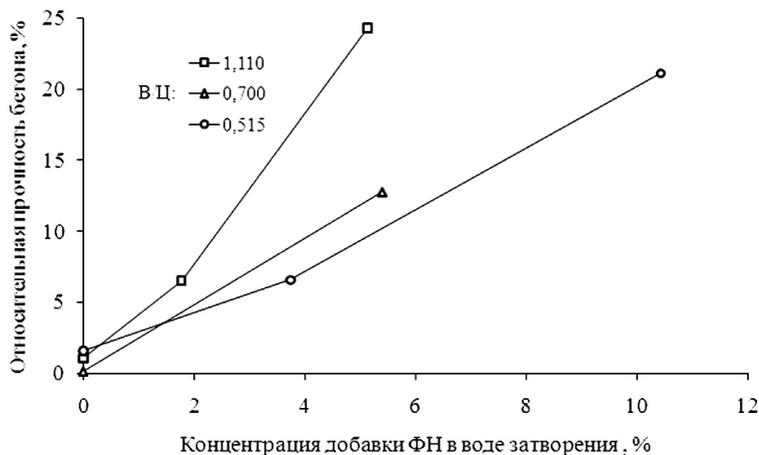
Образцы твердели в нормально-влажностных условиях, при температурах -5°C, -10°C и -15°C.

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Из множества полученных данных наибольший интерес представляло влияние концентрации добавки формиата натрия в воде затворения на относительную прочность бетона, твердеющего при отрицательных температурах. Эти зависимости представлены на рисунках 1 и 2.



**Рисунок 1.** Зависимость относительной прочности бетона (без добавки 28 суток в нормальных условиях 100%), твердевшего при температуре  $-5^{\circ}\text{C}$ , от водоцементного отношения и концентрации добавки формиата натрия (ФН) в воде затворения, %



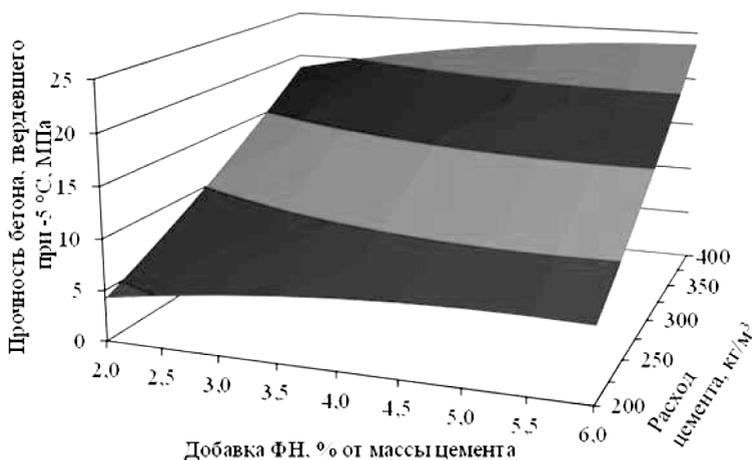
**Рисунок 2.** Зависимость относительной прочности бетона (без добавки 28 суток в нормальных условиях 100%), твердевшего при температуре  $-15^{\circ}\text{C}$ , от водоцементного отношения и концентрации добавки формиата натрия (ФН) в воде затворения, %

Анализ графиков показывает, что с увеличением концентрации добавки в воде затворения увеличивается и относительная прочность бетона (за 100 % принята прочность бетона без добавки, твердеющего 28 суток в нормальных условиях). Эти данные согласуются с известными фактами влияния противоморозных добавок на твердение бетона при отрицательных температурах.

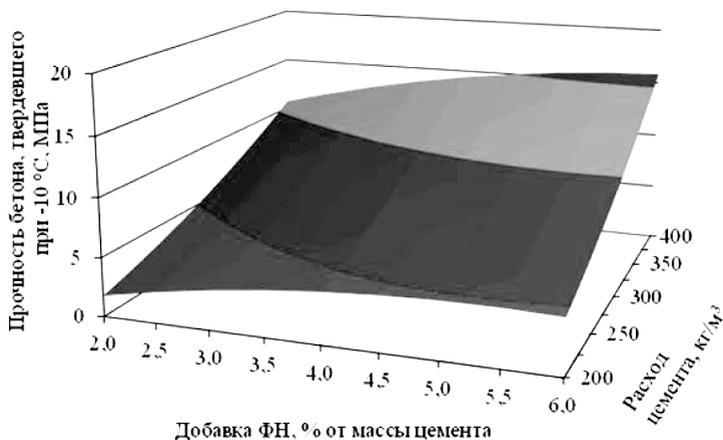
В результате анализа проведенных экспериментов было получено уравнение описания процесса, позволяющее прогнозировать прочность бетона ( $Y_i$ ), твердеющего при отрицательных температурах:

$$Y_i = 8,57 + 5,03 X_1 + 2,02 X_2 - 4,87 X_3 + 0,79 X_1^2 - 1,12 X_2^2 + \\ + 0,34 X_3^2 + 0,58 X_1 X_2 - 2,75 X_1 X_3 + 0,28 X_2 X_3$$

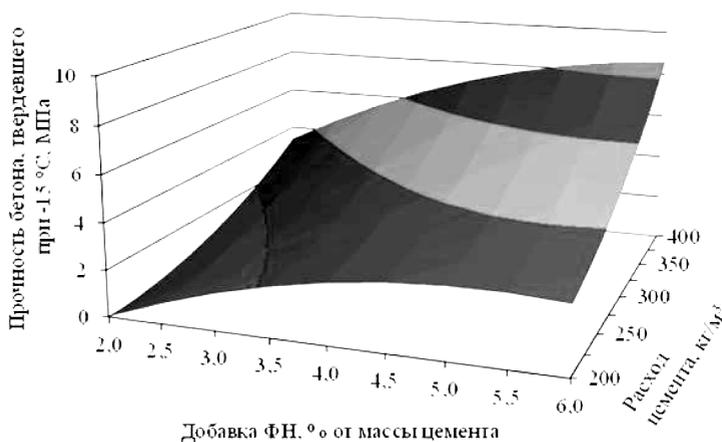
Графически зависимости прочности бетона от температуры твердения, содержания добавки формиата натрия и расхода цемента представлены на рисунках 3–5.



**Рисунок 3.** Зависимость прочности бетона, твердевшего при температуре  $-5^{\circ}\text{C}$ , от содержания добавки формиата натрия (ФН) и расхода цемента



**Рисунок 4.** Зависимость прочности бетона, твердевшего при температуре  $-10^{\circ}\text{C}$ , от содержания добавки формиата натрия (ФН) и расхода цемента



**Рисунок 5.** Зависимость прочности бетона, твердевшего при температуре  $-15^{\circ}\text{C}$ , от содержания добавки формиата натрия (ФН) и расхода цемента

Данные рисунков 3-5 наглядно свидетельствуют о том, что перво-степенным фактором влияния на прочность бетона является расход цемента. Эта тенденция прослеживается при всех, рассмотренных в данной работе, отрицательных температурах твердения бетона ( $-5^{\circ}\text{C}$ ,  $-10^{\circ}\text{C}$  и  $-15^{\circ}\text{C}$ ).

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Экспериментально был подтвержден положительный эффект влияния формиата натрия на твердение бетона при отрицательных температурах. Результатом проделанной работы является уравнение описания процесса, позволяющее прогнозировать прочность бетона, применяемого для производства работ в зимний период. Данное уравнение может оказать существенную помощь при создании программного продукта, позволяющего проектировать состав бетона, в состав которого входит формиат натрия. Это дает возможность технологу квалифицированно, с точки зрения практической и экономической эффективности, подойти к вопросу проектирования состава бетона. При известных температурных данных и требуемой прочности, а также сопоставив рыночную стоимость составляющих бетонной смеси (в первую очередь – цемента и химической добавки), с помощью данного уравнения можно подобрать состав бетона с меньшей себестоимостью.

## **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Батяновский, Э.И., Голубев, Н.М., Бабицкий, В.В., Марковский, М.Ф. Технология и методы зимнего монолитного бетонирования: учебное пособие-Мн.: БНТУ, 2005.-238 с.
2. Миронов, С. А. Теория и методы зимнего бетонирования. – М., Стройиздат, 1975. – 700 с.
3. СТБ 1112-98 Добавки для бетонов. Общие технические условия.– 23 с.
4. ТКП 45-5.03-21-2006 Бетонные работы при отрицательных температурах воздуха. Правила производства – 107 с.

*Статья поступила в редколлегию 26.09.2014*