

УДК 69.003(07)

Головнев С. Г.

Пикус Г. А.

Мозгалев К. М.

Савинов С. А.



**Головнев
Станислав Георгиевич**

д-р техн. наук, проф., член-корр. РААСН, зав. каф. «Технология строительного производства» ЮУрГУ
E-mail: tsp@susu.as.ru



**Пикус Григорий
Александрович**

канд. техн. наук, доцент ЮУрГУ
e-mail: pikous@mail.ru



**Мозгалев Кирилл
Михайлович**

студент ЮУрГУ
E-mail: mozgalev@74.ru



**Савинов
Станислав Андреевич**

студент ЮУрГУ
E-mail: sokol_7@mail.ru

Компьютерный контроль и регулирование процессов выдерживания бетона в зимних условиях

Статья посвящена температурно-прочностному контролю выдерживания бетона монолитных конструкций в зимнее время с использованием компьютерных программ. По результатам компьютерного контроля с применением программы «Снежный барс» были сделаны соответствующие выводы о справедливости и целесообразности такого метода. Данный метод позволяет значительно экономить электроэнергию и материальные ресурсы.

Ключевые слова: бетон, монолитные конструкции, температурно-прочностной контроль, комплексные добавки к бетонной смеси, компьютерный контроль, зимние условия.

GOLOVNEV S. G., PIKUS G. A., MOZGALEV K. M., SAVINOV S. A.
COMPUTER CONTROL AND REGULATION OF PROCESSES CONCRETE CURING IN WINTER CONDITIONS

The article is devoted to temperature-strength control of concrete curing of monolithic construction in winter time using computer programs. By the results of computer control using program «Snezhniy bars» conclusion about justice and expediency of this method has been made. The method allows to save the electric power and material resources considerably.

Keywords: concrete, monolithic construction, temperature-strength control, complex concrete admix, computer control, winter conditions.

В отечественной практике широко применяются технологии, обеспечивающие защиту бетона от негативного воздействия окружающей среды за счет ускоренного формирования структуры бетона. Поскольку эти технологии были разработаны сравнительно давно, они не учитывают особенностей современных составов бетонов с эффективными добавками, повышенных теплоизоляционных свойств материалов, разновидностей опалубок и т. п. Аналогичная картина и в сложившейся системе контроля прочностных показателей бетона, которая часто не обеспечивает получение достоверной информации о физико-механических свойствах материала.

Возможность использования неразрушающих методов определения прочности весьма ограничена, особенно в зимнее время. Поэтому не случайно практически единственным и основным источником исходной информации

является замер температуры на всех этапах технологического цикла (рисунок 1).

Фиксация температуры в процессе набора прочности позволяет оперативно контролировать технологические процессы, обеспечивает возможность их регулирования, а на этапе подготовки документации – прогнозирования [1].

К тому же, как показали многочисленные исследования, температурный фактор является основополагающим в формировании требуемых свойств бетона конструкции [2].

Выполненные нами многократные наблюдения свидетельствуют о том, что на большинстве строек осуществляется ручная обработка заполненных температурных листов. Она сводится к вычислению средней температуры за время теплового воздействия и определению по графикам зависимости прочности от температуры конечной прочности бетона. Значительно реже прочность бетона вычисляется по приведенному

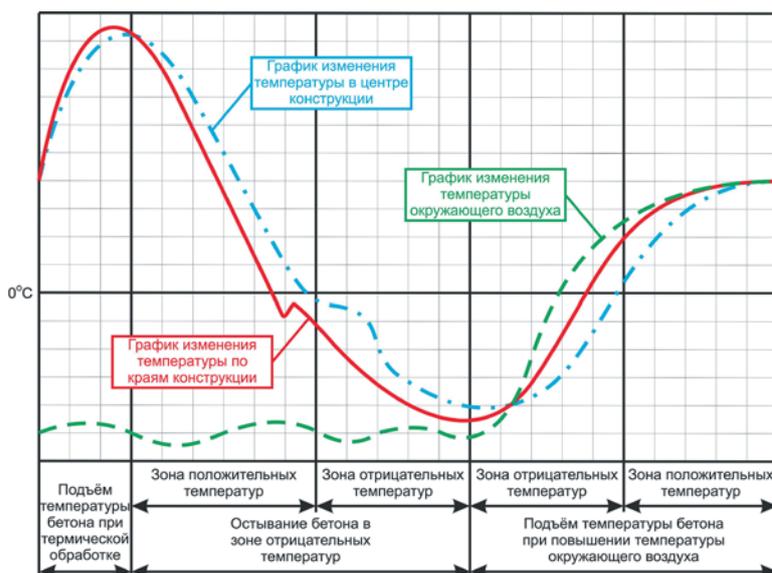


Рисунок 1. Этапы технологического цикла выдерживания бетона

возрасту [3]. Сравнительный анализ накопленных за последние тридцать лет данных показал, что такой подход приводит к существенным погрешностям, особенно при определении прочности в диапазоне 20–50 % от проектной [4]. Кроме того, ручная обработка весьма трудоемка даже для одной контрольной точки и практически недоступна при значительном количестве точек.

На кафедре «Технология строительного производства» ЮУрГУ длительное время проводятся исследования параметров зимнего бетонирования. В последнее время в практику строительства кафедры активно внедряет компьютерные технологии для контроля и прогнозирования этих параметров. Накопленный опыт применения компьютерных программ для температурно-прочностного контроля



Рисунок 2. Расположение бетонных образцов в климатической камере

выдерживания бетона в зимний период позволяет учитывать большее число факторов (модуль поверхности конструкции, температура наружного воздуха и т. д.), чем любой другой метод.

Программное обеспечение для обработки результатов температурного контроля представляет собой реальное и современное средство температурно-прочностного мониторинга ответственных несущих железобетонных конструкций в построечных условиях. Специальные режимы работы с программным обеспечением позволяют быстро формировать критерии тепловой обработки и выдерживания в соответствии с существующими нормами применительно к конкретным конструкциям и бетонам, распечатывать температурные листы и контролировать набор прочности. Важным следствием использования программного обеспечения является разрешение многих проблем с контролирующими организациями, возникающих сегодня из-за несвоевременного оформления и низкого качества документации контроля, отсутствия представительного и достоверного анализа результатов температурных измерений.

На сегодняшний день существует ряд программ такого рода. Кафедра «Технология строительного производства» ЮУрГУ разработала программу под названием «Снежный барс», которая внедрена с 1998 г. на значительном числе объектов монолитного домостроения. НПО «МИСИ-КБ» предлагает программу TRM. НТЦ «ЭТЭКА» разработал програм-

му, связанные с температурно-прочностным контролем выдерживания бетона.

Программа «Снежный барс» имеет ряд преимуществ перед аналогичными программами. Она позволяет прогнозировать конечную прочность бетона за время остывания и в случае отрицательного прогноза (бетон не набирает требуемую прочность или скорость остывания превышает допустимое значение) выбрать режим тепловой обработки или необходимый утеплитель. Еще одним преимуществом программы является возможность автоматизированного процесса ввода данных, полученных с многоканальных регистраторов, что позволяет повысить качество, точность и производительность труда.

Таким образом, программа «Снежный барс» позволяет решать следующие задачи:

- контроль средней температуры и максимальных скоростей нагрева и остывания бетона в контролируемых точках конструкции;
- расчет прочности и зрелости бетона, контроль достижения критической прочности при замораживании;
- статистическая обработка результатов;
- прогнозирование времени остывания и достигаемой конечной прочности бетона;
- построение графиков изменения температуры и роста прочности бетона для каждой контролируемой точки.

Приборные комплекты, состоящие из термодатчиков и регистрирующей аппаратуры, обеспечивают автоматизированное получение температур в контрольных точках конструкции для дальнейшей их обработки. В отличие от распространенных одноточечных термометров, такие комплекты разрабатываются специально для проведения множественных измерений температуры в бетоне. После анализа функций и технических характеристик существующих приборных комплектов можно сделать вывод, что самым оптимальным вариантом является комплект на базе многоканального регистратора Терм-4.1, так как он имеет различные комплектации в зависимости от необходимого количества каналов измерений температуры. Этот комплект производит челябинская фирма НПП «Интерприбор».

Исследовательские работы, выполненные в лаборатории кафедры ТСП ЮУрГУ, подтверждают спра-

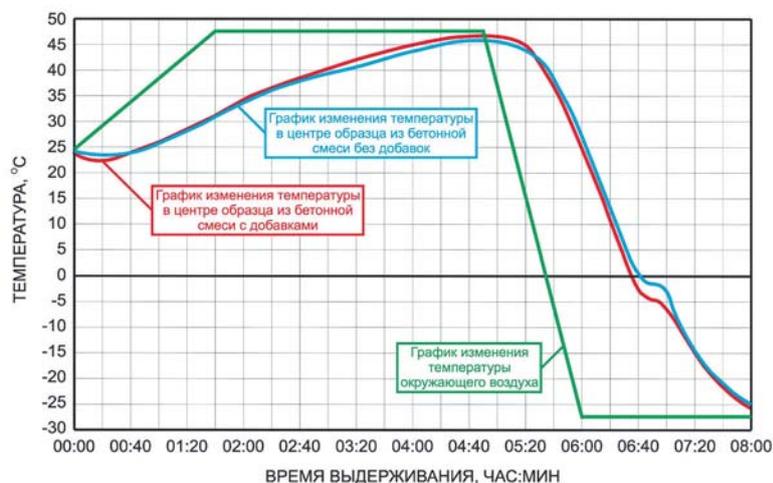


Рисунок 3. Графики изменения температуры бетона в центральной точке образцов

ведливость результатов проведения температурно-прочностного контроля с помощью программы «Снежный барс» для современных составов бетонов с эффективными комплексными добавками. Для одного из последних экспериментов были изготовлены два бетонных образца в виде призм. Первый образец изготовлен из бетонной смеси обычного состава, а другой из бетонной смеси с добавлением пластифицирующей добавки ПФМ-НЛК и противоморозной добавки ФНС (концентрация 0,4 % и 2 % от массы цемента соответственно).

Добавка ПФМ-НЛК представляет собой смесь из пластифицирующих и воздухововлекающих компонентов, подобранных в строго определенном соотношении, что обеспечивает оптимальное воздухововлечение в бетонную смесь. В структуре бетона создается резервный объем воздушных пор, не заполняемых при обычном водонасыщении, но доступных для проникания воды под давлением, возникающим при ее замерзании.

Добавка ФНС представляет из себя формиат натрия с незначительной примесью пентаэритрита и его производных. Формиат натрия технический применяется в качестве



Рисунок 4. Фрагмент опалубки стены и способ размещения датчиков температуры

противоморозной и пластифицирующей добавки.

В каждый из этих образцов были установлены по четыре термопары: в верхнем углу, в нижнем углу, на поверхности боковой грани и в центральной точке. Далее образцы были помещены в климатическую камеру «Terchu T6800» (рисунок 2), где подверглись нагреву и выдерживанию при положительной температуре, а далее охлаждению и выдерживанию при отрицательной температуре. Выбор такого температурного режима обусловлен производственными условиями: оптимальной температурой прогрева является температура от +40°С до +50°С, а минимальной температурой, при которой выполняются бетонные работы, является температура от -25°С до -30°С.

Графики изменения температуры бетона в центральной точке для образца без добавок и с добавками, а также график изменения температуры внутри климатической камеры представлены на рисунке 3. Анализ рисунка показывает, что при данной концентрации добавок последние не оказывают практически никакого влияния на темп изменения температуры бетона. Зная коэффициент теплопередачи опалубки (металлическая форма) и температуру в камере, программой «Снежный барс» было спрогнозировано время, которое потребуется каждой точке образца для набора заданной температуры. Предсказанное значение достаточно близко к значению времени, замеренному опытным путем (погрешность составляет 5 %).

Одним из примеров научно-технического сопровождения возведения сложных конструкций, проведенного в феврале 2010 г., являются

монолитные железобетонные стены на объекте ЗАО «Челябинское шахтостроительное предприятие». На рисунке 4 показан фрагмент опалубки стены и способ размещения датчиков температуры (хромель-копелевые термопары), которые закрепляются на арматуре в характерных точках перед укладкой бетонной смеси. Регистрация температуры осуществлялась при помощи прибора Терем-4.1.

В ходе наблюдения за температурой бетона в контрольных точках составляется ведомость температурно-прочностного контроля, данные которой приведены в таблице.

С помощью программы «Снежный барс» были построены графики изменения температуры и набора прочности бетоном по каждой из контрольных точек. На основе графиков, приведенных на рисунках 5 и 6, можно определить набранную бетоном прочность в любой момент времени. Это позволяет контролировать параметры зимнего бетонирования и в нужный момент времени отключить термообработку бетона и после остывания начать распалубку конструкции.

Также при помощи программы «Снежный барс» была спрогнозирована конечная прочность бетона за время остывания в зависимости от температуры наружного воздуха. По полученным данным можно судить о возможности распалубки конструкции. Так, например, при температуре наружного воздуха -20°С бетон исследуемой конструкции достигает критической прочности, равной 40 % от R28, а при температуре -25°С данная прочность не набирается. В этом случае программа предлагает подобрать необходимый утеплитель или применить дополнительную термообработку бетона. Результаты прогнозирования приведены на рисунках 7 и 8.

Заключение

Таким образом, использование компьютерных программ для температурно-прочностного контроля выдерживания бетона в зимних условиях позволяет быстро формировать критерии тепловой обработки и выдерживания в соответствии с существующими нормами применительно к конкретным конструкциям и бетонам, распечатывать температурные листы и контролировать набор прочности. Кроме того, использование программы «Снежный барс» позволяет прогнозировать значение конечной прочности конструкции к моменту остывания бетона в зависимости

Таблица 1. Ведомость температурно-прочностного контроля

Относительное время, час	Температура наружного воздуха, °С	Температура бетона в контролируемых точках, °С					Набранная прочность наименее благоприятной точки, % от R28
		1 (Ц, У, П)*	2 (Ц, У, П)	3 (Ц, У, П)	4 (Ц, У, П)	5 (Ц, У, П)	
		18	18	18	18	18	0
4	-16	18	17	16	16	17	19,3
8	-14	18	19	18	16	16	20,4
12	-17	21	22	20	17	18	21,6
16	-20	26	28	23	18	19	22,7
20	-23	33	35	26	19	20	23,8
24	-24	37	38	29	20	21	24,8
28	-21	42	42	32	20	22	26,0
32	-16	45	44	35	21	23	27,1
36	-18	47	45	38	22	24	28,3
40	-21	49	47	39	23	26	29,5
44	-22	49	47	40	25	26	30,8
48	-21	50	49	42	25	27	32,2

*Центр, угол или поверхность исследуемой стены

от вида опалубки и температуры наружного воздуха. Это дает возможность управлять процессом термообработки бетона, значительно экономя энергетические и материальные ресурсы.

Список использованной литературы

- 1 СНИП 3.03.01-87. Несущие и ограждающие конструкции / Госстрой СССР. М., 1996.
- 2 Миронов С. А. Теория и методы зимнего бетонирования. М., 1975.
- 3 Руководство по прогреву бетона в монолитных конструкциях / под ред. Б. А. Крылова. М., 2005.
- 4 Головнев С. Г. Технология зимнего бетонирования: оптимизация параметров и выбор методов. Челябинск, 1999.



Рисунок 5. График изменения температуры бетона в контрольных точках



Рисунок 7. Результаты прогноза конечной прочности бетона при температуре наружного воздуха -20° С



Рисунок 6. График набора прочности бетона в контрольных точках



Рисунок 8. Результаты прогноза конечной прочности бетона при температуре наружного воздуха -25° С