

Принцип работы заключается в следующем: сигнал с компьютера, имеющий постоянную мощность, с постоянно увеличивающейся частотой от 100 до 1000 Гц, поступает на возбуждающую катушку динамика. Корпус динамика жестко закреплен к основанию установки. Сердечник жестко связан с кюветкой, выполненной в виде цилиндра диаметром 10 мм и длиной 120 мм из дюралюминия. Полость кюветки наполнена исследуемым материалом. Свободное продольное движение осуществляется посредством двух латунных пластинок, один конец которой крепится к подвижной кюветке, а второй (вверху) – к жесткой раме. Для обеспечения меньшей жесткости пластины, на ней сделаны 2 надпила. Ко второму концу кюветки жестко крепится пьезоэлемент, соединенный с АЦП (аналого-цифровой преобразователь), через который происходит запись сигнала на компьютер.

Обрабатывается сигнал в программе LGraph 2. Переход от резонансной частоты к физико-механическим характеристикам материала для такого варианта установки разработан, однако он требует экспериментальной проверки и корректировки.

### **ВЫВОДЫ**

Для изучения процесса структурообразования извести карбонизационного твердения было разработано два типа установки импульсного и резонансного метода. Изучены принципы действия, конструктивные особенности, а также анализированы возможные негативные факторы, которые будут влиять на результат эксперимента.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. ГОСТ 16297-80. МАТЕРИАЛЫ ЗВУКОИЗОЛЯЦИОННЫЕ И ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИЕ
2. Ефименко А.З. Исследование прочности и упругих свойств виброгазобетона с помощью ультразвуковых методов // Строительные материалы. – 1966. – №6. – С. 30 – 32.
3. Руководство по эксплуатации измерителя частот собственных колебаний ИЧСК-2. – Челябинск: НПП «ИНТЕРПРИБОР», 2010. – 45 с.
4. Патент РФ №2104517, G01N29/00. Резонансная установка для определения кинетики структурообразования вяжущих материалов типа цемента. Автор Бойко Г.П.
5. Технологический регламент ресурсосберегающей технологии бетонных работ и инструкция по оперативному определению ее временных параметров. А. К. Запольский, А.М. Звенигородский и др. – Киев: КИСИ. – 1989. – 12 с.

### **УДК 000.000**

### **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАБОРА ПРОЧНОСТИ БЕТОНА В ЕСТЕСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ**

Любомирский Н.В., к.т.н., доцент, Джелал А., студент гр. ТСК-402

*Национальная академия природоохранного и курортного строительства*

Разработано приложение, которое прогнозирует кинетику набора прочности тяжелого бетона, в зависимости от условий твердения и типа применяемого цемента.

В Украине из существующих технологий возведения зданий и сооружений наиболее перспективным считается монолитное строительство. Данная технология значительно расширяет возможности архитекторов при проектировании, кроме этого конструкции зданий получаются бесшовными и, что вполне очевидно, монолитные здания лучше сберегают тепло. Вместе с тем в монолитном строительстве имеются и свои сложности, главная из которых – проблема ускорения твердения бетона, особенно в холодное время года.

Зимнее бетонирование в условиях отрицательных температур, а в строительстве такой считается температура ниже +5°C, имеет свои особенности. И связано это в первую очередь, с тем, что понижение температуры в бетоне ниже 0°C приводит к приостановлению процесса твердения, вплоть до оттаивания. И если бетон не наберет определенной прочности, то при наступлении положительных температур, из-за низкой

прочности возможны разрушение конструкций и аварии. Сегодня эта проблема решается различными средствами, способными создать твердеющему бетону оптимальные температурно-влажностные условия.

Технология зимнего бетонирования в основном базируется на применении различных методов прогрева бетона с его последующим выдерживанием до достижения нормативных значений критической и распалубочной прочности. В зависимости от вида конструкции и температуры наружного воздуха используются различные методы прогрева бетона:

- термос;
- применение противоморозных добавок и ускорителей твердения;
- предварительный разогрев бетонной смеси перед укладкой в опалубку;
- обогрев бетона монолитных конструкций нагревательными проводами (метод электропрогрева);
- применение "теплого" бетона;
- термоопалубка и др.

Различные методы термообработки бетона с указанием рациональной области применения каждого, технические характеристики, особенности расчета и другие необходимые данные приведены в работе [5]. Хорошее знание возможностей каждого метода позволяет грамотно и экономично выбирать наилучший для конкретных температурных условий среды, видов возводимых конструкций, возможностей производственной организации и других факторов.

Однако практика монолитного строительства, регулярные обследования объектов монолитного домостроения, а также результаты научно-технического сопровождения ряда объектов выявили ряд проблем [6]. К этим проблемам следует отнести следующие:

- отсутствие надлежащего контроля бетонных смесей при их доставке на объект, из-за чего невозможно установить данные о температуре смеси, её подвижности;
- недоуплотнение бетона, ведущее к нарушению сплошности конструкций, оголению арматуры, снижению её несущей способности;
- отсутствие контроля температуры твердения бетона, что часто ведет к недобору прочности в контролируемом возрасте;
- нарушение технологии прогрева бетона в монолитных конструкциях, что обуславливает недобор прочности, как в промежуточном, так и в проектном возрасте.

Применение добавок на практике тоже связано со многими недостатками. Большинство из них возникли вследствие неправильного применения, плохого рассеивания добавок в смеси и отсутствия контроля на участке изготовления.

Все эти проблемы, связанные с отсутствием культуры ведения бетонных работ, неправильным приемом, хранением цемента и заполнителей, нарушением технологий приготовления бетонной смеси (особенно в периоды отрицательных температур), использование устаревшего оборудования, неправильным использованием добавок в бетоны и несоблюдением временных и технологических факторов при перевозках, ведут к появлению вопроса о демонтаже или усилению конструкций. Однако существует и другой выход из этой ситуации...

Твердеющий бетон – это «живой организм», поскольку его свойства непрерывно изменяются во времени. С одной стороны, идет последовательный процесс гидратации цемента и связанные с ним явления снижения пористости, уплотнения структуры, увеличения прочностных и деформативных характеристик, непроницаемости, морозостойкости и коррозионной стойкости. А с другой – процесс непрерывной дегградации бетона, связанный с его возрастом и воздействием на него окружающей среды. Соотношение этих двух процессов определяет общие, суммарные, параметры бетона на определенной стадии твердения и эксплуатации.

Прогнозирование твердения бетона – это одна из самых сложных задач в науке о бетоне. Однако она требует решения, поскольку за этим скрывается возможности экономии

ресурсов, потребных для создания и поддержания длительной эксплуатации строительных конструкций.

Существует методики определения прочностных характеристик бетона, которые позволяют учитывать влияния фактора длительности и температуры твердения [4]. Модель В.С. Лукьянова и расчет по методу Б.Г. Скрамтаева стали основой для разработки технических рекомендаций [3], с помощью которых можно определить прогнозируемое время остывания бетона и соответствующую прочность бетона по графикам, а также установить конструкцию опалубки и теплоизоляции. Получена математическая модель для прогнозирования кинетики твердения тяжелого бетона [1]. Динамическим элементом в ней является степень гидратации цемента, учитывающая минералогический состав и свойства вяжущего, технологические характеристики бетонной смеси, температурно-влажностные условия твердения бетона.

Целью настоящей статьи является создание алгоритма расчета прогнозируемой прочности бетона, который позволил бы предсказать прочностные характеристики твердеющей конструкции прямо на объекте. Это бы позволило сэкономить время и принять рациональное решение о дальнейших действиях. В основу разрабатываемого приложения была принята методика Баженова [2], описание которой приводятся ниже.

При возведении монолитных конструкций и изготовлении изделий на полигонах бетон обычно твердеет при положительной температуре 5...35°C. При достаточной влажности воздуха рост прочности бетона продолжается длительное время. Для ориентировочного определения прочности бетона в разном возрасте используют формулу:

$$R_n = R_{28} \frac{\lg n}{\lg 28}, \quad (1)$$

где  $R_n$ ,  $R_{28}$  – прочность бетона на сжатие в возрасте  $n$  и 28 сут;

$\lg n$ ,  $\lg 28$  – десятичный логарифм возраста бетона.

Эта формула дает удовлетворительные результаты при  $n > 3$  для бетонов, приготовленных на рядовом портландцементе и твердевших при температуре 15...20°C. В действительности темп роста прочности бетона, особенно в раннем возрасте, будет зависеть от многих факторов:

- ❖ Минералогического состава и тонкости помола цемента
- ❖ Состав бетона и В/Ц отношения
- ❖ Применения различных видов и дозировок химических добавок

Наиболее существенное влияние на темп твердения бетона оказывает минералогический состав цемента. По интенсивности нарастания прочности бетона при нормальной температуре современные цементы делят на четыре типа (табл.1). При этом цементы I и II, обеспечивающие более быстрое нарастание прочности бетона в раннем возрасте, резко замедляют прирост прочности в длительные сроки твердения, а бетоны на цементах III и IV типа, медленно твердеющие вначале, показывают заметный рост прочности в течение длительного времени. При благоприятных условиях прочность бетона на этих цементах к полугодовому возрасту возрастает в 1,5...1,8 раза по сравнению с прочностью в возрасте 28сут, причем отмечается рост прочности в дальнейшем в течение нескольких лет, хотя и более медленными темпами.

Данные табл.1 показывают, что обычно используемая для описания кинетики твердения бетона формула (1) дает более надежные результаты при применении цемента III типа. В других случаях необходимо вводить поправочные коэффициенты, учитывающие особенности твердения бетонов на разных цементах.

Приведенные в табл. 1 коэффициенты  $k_{28...90}$  и  $k_{28...180}$  соответствуют нормальным условиям хранения ( $t=15...20^\circ\text{C}$ ,  $W_\phi=90...100\%$ ) небольших образцов. При понижении температуры и влажности воздуха твердение бетонов резко замедляется.

Классификация цемента по скорости твердения [2]

Тип цемента	Минералогическая характеристика	$k_{28...90} = \frac{R_{90}}{R_{28}}$	$k_{28...180} = \frac{R_{180}}{R_{28}}$
I	Алюминатный цемент (C3A>12%)	1...1,05	1...1,1
II	Алитовый цемент (C3A<8%, C3S>50%)	1,05...1,2	1,2...1,3
III	Цемент со сложной минералогической характеристикой (пуццолановый, портландцемент с содержанием C4AF>14%, шлакопортландцемент при содержании шлака 30...40%)	1,2...1,5	1,3...1,8
IV	Белитовый портландцемент и шлакопортландцемент при содержании шлака более 50%	1,6...1,7	1,85
Для сравнения	$R_n = R_{28} \frac{\lg n}{\lg 28}$	1,35	1,55

При изготовлении конструкции не всегда удается обеспечить требуемую влажность в течение всего срока твердения бетона, так как отделочные, монтажные и другие работы часто требуют не только уменьшения влажности бетона, но даже высушивания его поверхности. В этих условиях нельзя пользоваться формулой (1) или значениями коэффициентов, приведенных в табл. 1. Ориентировочно можно считать, что при твердении на открытом воздухе

- для цемента I и II типа  $k_{28...90} = 1,05$  и  $k_{28...180} = 1,1$
- для цемента III типа  $k_{28...90} = 1,05$  и  $k_{28...180} = 1,25$
- для цемента IV типа  $k_{28...90} = 1,1$  и  $k_{28...180} = 1,3$

Заметное влияние на темп твердения бетона оказывает даже сравнительно небольшие колебания температуры воздуха. Поэтому при бетонировании массивных сооружений, особенно в весенне-осенний период, необходимо по возможности учитывать колебания температуры и ее влияние на твердение бетона.

Если бетон твердеет при разной температуре, то ориентировочно его прочность к определенному возрасту можно определить как сумму прочностей, достигнутых за периоды твердения при различной температуре:

$$R_{\bar{6}} = \Delta R_1 + \Delta R_2 + \dots + \Delta R_n, \quad (2)$$

где  $\Delta R_1 + \Delta R_2 + \dots + \Delta R_n$  – изменение прочности за периоды с температурами  $t_1, t_2 \dots t_n$ . Для аналитических расчетов  $\Delta R_1, \dots, \Delta R_n$  используют формулу:

$$R_{\bar{6}n} = k_n \times R_{28} \quad (3)$$

Коэффициент  $k_n$  определяется для кривых, показывающих твердение бетона при разных температурах:

- для  $t=5^\circ\text{C}$   $k_{n5} = 0,06 + 0,44 \lg n$
- для  $t=10^\circ\text{C}$   $k_{n10} = 0,1 + 0,54 \lg n$
- для  $t=20^\circ\text{C}$   $k_{n20} = 0,16 + 0,6 \lg n$
- для  $t=30^\circ\text{C}$   $k_{n30} = 0,2 + 0,64 \lg n$

В действительности изменения температуры не происходит мгновенно.

Интенсивность нагрева и остывания зависит от перепада температур, свойств бетона, массивности конструкции, тепловыделения цемента и других факторов, и обычно ее расчет весьма трудоемок.

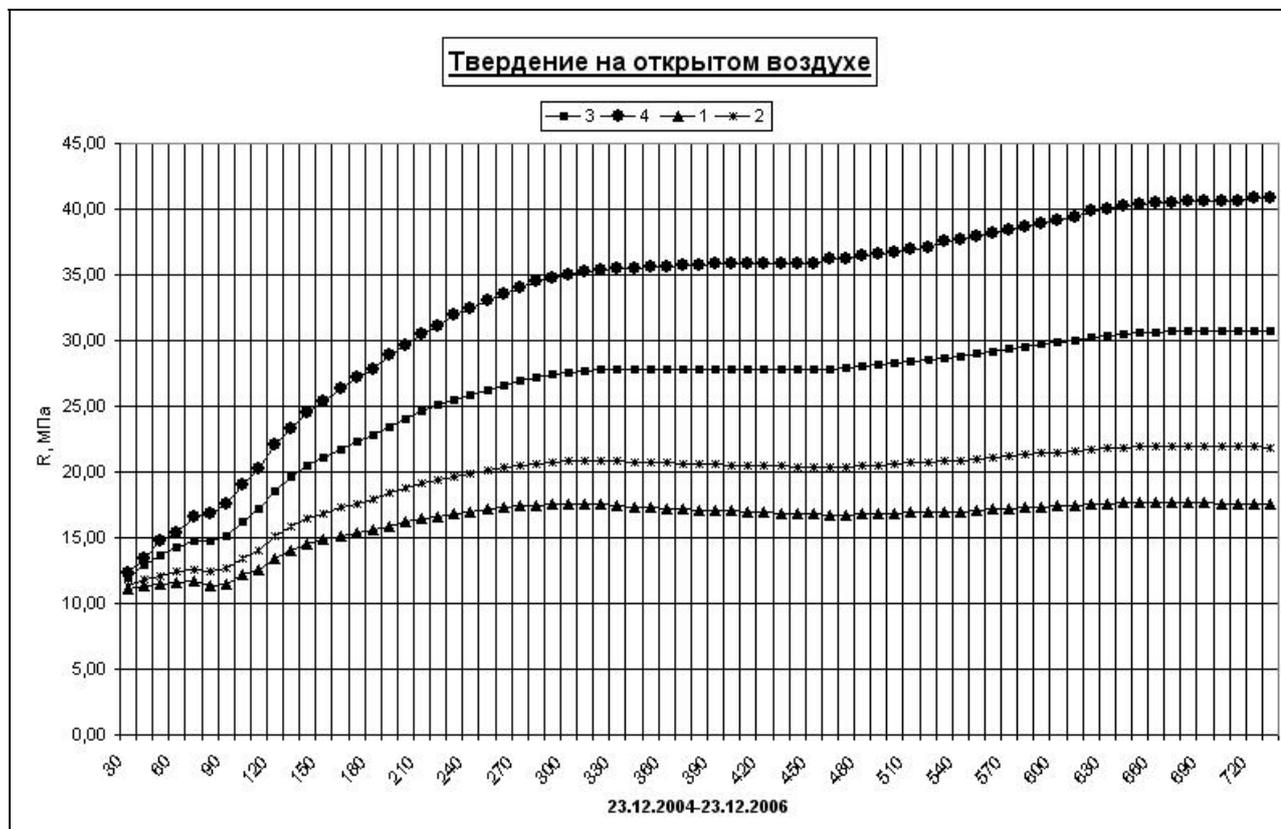
Учитывая зависимости твердения бетона от температуры и типа применяемого цемента, было разработано специальное приложение, с помощью которого прослеживается кинетика набора прочности бетона в реальных условиях. Расчет ведется на 2 года вперед. После этого периода рост прочности незначителен.

Результат такого прогнозирования изображается в виде графика. На рис.1 изображено твердение бетона в течение двух лет при переменной температуре для различных типов цемента. Исходными данными для такого прогнозирования являются:

1. Фактическая прочность бетона
2. Дата приготовления бетонной смеси
3. Средняя температура в начальный период

Также возможно изменение в программе средних температур в течение года для различных регионов.

Основным недостатком данного прогноза является то, что расчет ведется при 100% влажности. Поэтому должны вводиться специальные коэффициенты, которые бы придали результатам большую достоверность при решении практических задач.



**Рис.1. Кинетика набора прочности бетона на различных типах цемента:**

**1 – алюминатный, 2 – алитовый, 3 – пуццолановый, 4 – белитовый.**

Для того чтобы подробно рассмотреть алгоритм, положенный в основу этой программы, решим следующую задачу:

Железобетонное перекрытие было изготовлено в конце осени. В результате наступления холодов бетон не набрал своей проектной прочности.

На 45 день измерений фактическая прочность бетона составила 14,8 МПа. Средняя температура в начальный период 5°C. Определить прочность бетона на 120 сут, если дальнейшее твердение происходило при 30°C.

## РЕШЕНИЕ

1. Определим возможную прочность бетона в возрасте 28 суток, если бы он твердел в нормальных условиях:

$$\text{Из формулы (3) следует, что } R_{28} = \frac{R_{\text{он}}}{k_n},$$

где  $R_{\text{он}}$  – фактическая прочность бетона

$k_n$  – температурный коэффициент

Так как в начальный период средняя температура равнялась  $5^\circ\text{C}$ , то

$$k_n = 0,06 + 0,44 \lg n,$$

где  $n$  – количество дней твердения

$$\text{За } n = 45: k_{45} = 0,06 + 0,44 \lg 45 = 0,787 \Rightarrow R_{28} = 18,8 \text{ МПа}$$

2. Бетон при  $5^\circ\text{C}$  на 45 день показал прочность 14,8 МПа. Найдем количество дней, за которое бетон наберет такую же прочность, но при  $t=30^\circ\text{C}$ .

$$\text{При } t=30^\circ\text{C}: k_n = 0,2 + 0,64 \lg n$$

$$k_{45} = 0,2 + 0,64 \lg n_1 \Rightarrow \lg n_1 = (0,787 - 0,2) / 0,64 = 0,917, \text{ откуда } n_1 = 8$$

3. Определим прочность бетона на 120 сутки:

$$k_{120} = 0,2 + 0,64 \lg (n_1 + n_2), \text{ где } n_2 = 120 - 45 = 75 \text{ суток}$$

$$k_{120} = 1,43 \Rightarrow R_{120} = 26,9 \text{ МПа.}$$

Прочность железобетонного перекрытия на 120 сутки будет равной 26,9 МПа.

## ВЫВОДЫ

1. Для повышения адекватности вышеописанного алгоритма требуется проведение ряда экспериментов, с помощью которых возможно было бы выявить зависимости прочности бетона от трех факторов: времени, температуры и влажности.

2. Несмотря на то, что прогноз – это предсказание будущего с помощью научных методов по заданным факторам, которые тоже предсказываются, и описание твердения бетона является практически неразрешимой задачей по вышеуказанным причинам, данный расчет позволяет получить достаточно достоверные результаты. С помощью них становится возможным решения многих задач, которые возникают при возведении монолитных конструкций и изготовлении железобетонных изделий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бабицкий В.В., Прогнозирование характеристик твердеющего тяжелого бетона. – Ресурсоэкономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Збірник наукових праць. Вип. 18. НУВГП. – Рівне: 2009. – С.3-11.

2. Баженов Ю.М. Технология бетона: Учебник. – М.: Изд-во АСВ, 2003 – 500 с.

3. Белавин Ф.С. Технические рекомендации по технологии бетонирования безобогревным способом монолитных конструкций с применением термоса и ускоренного термоса. – Москва, 1998.

4. Дворкин О.Л. Проектирование составов бетона (основы теории и методологии): Монография: – Ровно: УДУВГП. – 2003.

5. Крылов Б.А. Руководство по прогреву бетона в монолитных конструкциях. – М.: Стройиздат, 2005 – 275 стр.

6. ТД ГЕРМОСТРОЙ «Зимнее бетонирование при монолитном строительстве» – Технологии бетонов №5. – 2006