

УДК 666.972.035.51-413

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ С ДОБАВКОЙ АКТИВИРОВАННОЙ ЦЕМЕНТНОЙ СУСПЕНЗИИ

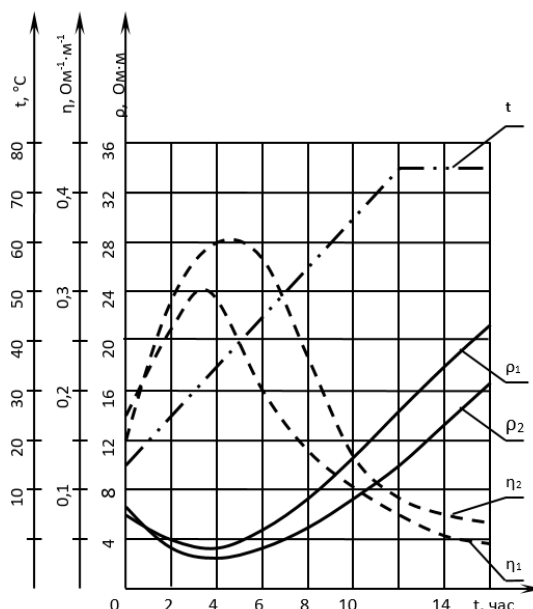
канд. техн. наук, доц. А.П. ШВЕДОВ
(Полоцкий государственный университет)

На сегодня в строительных организациях при производстве бетонных работ для ускорения набора прочности бетоном широко используется энергия электрического тока. Приложенное электрическое поле приводит в движения образующиеся в процессе гидратации ионы. Из-за этого в набирающем прочность бетоне изменяются его электрофизические характеристики. Бетонная смесь, в отличие от типичных электролитов, имеет в своем составе заряженные цементные частицы, которые изменяют силы воздействия на ионы от прилагаемого электрического поля. Следовательно, при разработке методов электроактивации необходимо отрабатывать режимы с учетом внутренних электрических полей и их изменения во времени. Поэтому цель исследования электрофизических характеристик бетонных смесей с добавкой активированной цементной суспензии – определение параметров электрического воздействия, необходимых для получения заданной распалубочной прочности бетона.

Ключевые слова: бетонная смесь, активированная цементная суспензия, электропрогрев, интенсификация твердения.

Несмотря на большое разнообразие методов термообработки, их высокую эффективность и экономичность, предпочтение на практике по-прежнему отдается традиционным способам ухода за бетоном при положительных и отрицательных температурах – электропрогреву.

Так как электропрогрев основан на превращении электрической энергии в тепловую непосредственно в теле твердеющего бетона, исключаются потери тепла при его транспортировании. Поэтому электропрогрев – наиболее экономичный среди методов интенсификации твердения бетона, связанных с использованием тепловой энергии. Характерным для данного метода является непосредственное включение бетона в электрическую цепь в качестве активного сопротивления. Определение электросопротивления проводилось как в образцах, содержащих активированную цементную суспензию, так и для образцов ее не содержащих. Это связано с необходимостью учета возможно имеющих особенностей в кинетике изменения электросопротивления в процессе электропрогрева. Но как показали исследования, характер изменения электросопротивления в набирающем прочность бетоне, содержащем и не содержащем активированную цементную суспензию, был идентичен.



ρ_1 и η_1 – соответственно удельное электрическое сопротивление и проводимость бетона без суспензии;
 ρ_2 и η_2 – то же, бетона с активированной суспензией; t – температура среды выдержки образцов бетона.

Рисунок 1. – Изменение электрофизических характеристик бетона в процессе электропрогрева

В процессе изменения электрического сопротивления при электропрогреве бетона имеются три стадии: понижение, стабилизация и возрастание. При этом как абсолютные значения, так и кинетика изменения удельного электрического сопротивления зависят от большого числа факторов [1].

Начальное электросопротивление бетонных смесей, содержащих активированную цементную суспензию, несколько выше, чем у смесей без суспензии. Это хорошо согласуется с механизмом действия добавок готовых центров кристаллизации [2]. Центры кристаллизации вводятся одновременно с активированной цементной суспензией. В первоначальный момент они частично связывают образующиеся в бетонной смеси ионы. В результате этого электропроводимость системы падает, т.е. растет электросопротивление.

Активированная цементная суспензия содержит кристаллические затравки с надмолекулярным уровнем дисперсности, поэтому значительно увеличивается количество зародышей и, соответственно, центров кристаллизации, что приводит к значительному увеличению ионов с образованием однородной мелкокристаллической структуры цементного камня [3]. Это объясняет незначительное понижение как минимального электросопротивления бетонной смеси в процессе электропрогрева, так и незначительное, в пределах 20%, снижение конечного электросопротивления бетона после электропрогрева.

Повышение прочности бетона объясняется, с одной стороны, механизмом действия добавок готовых центров кристаллизации [4], с другой стороны, они способствуют формированию мелкокристаллической бездефектной структуры цементного камня.

Анализируя полученные данные, можно также отметить и то, что в бетонных смесях с активированной цементной суспензией длительность периода стабилизации электросопротивления в 1,5–2 раза больше, чем у бетонных смесей без суспензии. Это имеет важное значение для электропрогрева бетона, так как минимальное удельное электрическое сопротивление бетона обычно совпадает с периодом разогрева, когда возможно наиболее активное осуществление электропрогрева. Уменьшение на 15–20% минимального электросопротивления также позволит снизить напряжение, необходимое для электропрогрева бетона.

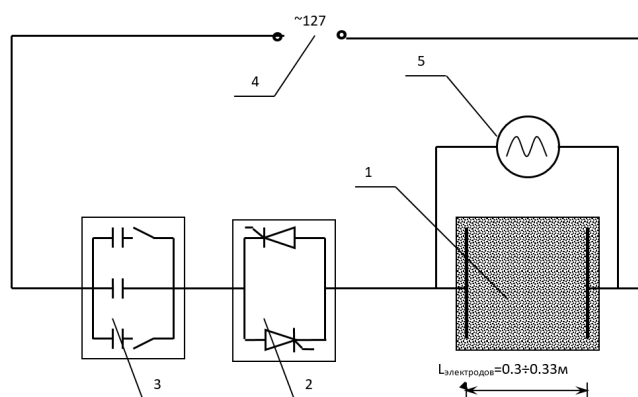
Для стадии возрастания удельного электрического сопротивления бетонных смесей, содержащих активированную цементную суспензию, характерна как меньшая скорость увеличения электросопротивления, так и меньшая его величина. То есть на всем протяжении электропрогрева можно использовать более низкое напряжение или увеличить расстояние между электродами, что позволит снизить расход стали на электроды и одновременно повысить уровень безопасности производства работ при электропрогреве бетона на строительной площадке.

Данные, полученные в проведенных исследованиях, и их анализ свидетельствуют о больших возможностях для расширения области применения и повышения эффективности метода электропрогрева, поэтому был произведен расчет основных параметров обработки для проведения активации цементных суспензий переменным электрическим током, изменяющимся в дискретном разрядно-импульсном режиме применительно к производственным условиям, с использованием методики [5]:

- градиент напряжения 274 В/м;
- значение основной характеристики активации цементной суспензии, т.е. произведение величины накопительной емкости на электросопротивление цементной суспензии в процессе обработки $RC = 1,3 \cdot 10^{-3} \div 1,5 \cdot 10^{-3}$ с;
- время активации 4 мин.

Для увеличения электробезопасности процесса проведения активации напряжение в цепи активации было принято равным 127 В.

Принципиальная схема установки [6] для производственной проверки результатов теоретических и экспериментальных исследований изображена на рисунке 2.



1 – емкость для активации; 2 – тиристорный регулятор; 3 – магазин емкостной;
4 – источник тока; 5 – осциллограф.

Рисунок 2. – Принципиальная схема установки для производственной проверки результатов теоретических и экспериментальных исследований

Основная цель исследования электрофизических характеристик бетонных смесей с добавкой активированной цементной суспензии – определение параметров электрического воздействия для получения заданной распалубочной прочности бетона после окончания электропрогрева и снижение энергозатрат при производстве бетонных работ.

Для приготовления бетонных смесей с активированной цементной суспензией, как и для замесов сравнения, использовался суперпластификатор С-3 в количестве 0,6% и сульфат натрия в количестве 0,25% от веса цемента. При этом смеси были равноподвижными.

В процессе исследования на первом этапе приготовления бетонных смесей производилось активирование цементной суспензии. Дозировка составляющих для приготовления активированной цементной суспензии осуществлялась вручную. Последовательность приготовления суспензии была следующей: в активатор подавалась отмеренная порция воды, после этого производилось дозирование при помощи мерного цилиндра раствора суперпластификатора и сульфата натрия. Отдозированные компоненты смешивались в активаторе, одновременно определялось электросопротивление среды для расчета необходимой при проведении обработки величины накопительной емкости. Установив расчетное значение накопительной емкости, в активатор при перемешивании высыпался цемент, отдозированный по весу.

По окончании обработки, то есть через 4 минуты, активированная цементная суспензия выливалась в бетоносмеситель, где находились отдозированные компоненты бетонной смеси (мелкий и крупный заполнители, цемент). После получения однородной массы в смеситель добавлялась оставшаяся часть воды и добавок.

Полученная бетонная смесь в бадьях доставлялась к месту укладки и распределялась в опалубке конструкций. Одновременно бетонной смесью наполнялись полые цилиндры из диэлектрического материала длиной, равной толщине конструкции, которые укладывались в бетонную смесь между электродами. Цилиндры располагались вдоль линий электрического поля, что обеспечивало одинаковое воздействие электрического тока как на бетонную смесь конструкции, так и на бетонную смесь внутри цилиндра. По окончании электропрогрева из цилиндра извлекался образец бетона, который использовался после соответствующей подготовки для определения прочности. Разрушающий метод использовался только для подтверждения данных о прочности, полученных неразрушающими методами.

До начала термообработки (электропрогрева) в течение 1,5–3,5 ч бетон выдерживался в опалубке при температуре от +5 до +15 °С. Данная температура поддерживалась с помощью периодического включения питающей сети, необходимого также для отладки коммутационных сетей. Бетон прогревался по различным режимам.

Следует отметить, что сокращение сроков выдерживания бетона в опалубке позволило интенсифицировать процесс возведения конструкций и сократить продолжительность реконструкции объектов. На основании проведенных в производственных условиях работ и экспериментов, можно констатировать, что они подтвердили эффективность активирования цементных суспензий при производстве бетонных работ, особенно при пониженных и отрицательных температурах окружающей среды. Затраты электроэнергии при достижении заданных прочностных показателей снижались на 20–40%, одновременно сокращались сроки выдерживания конструкций в опалубке на 30–35%. Причем в подавляющем большинстве производственных экспериментов контрольные параметры, длительность изотермического прогрева и конечная прочность бетона, полученные по предварительным расчетам, отличались от фактических не более чем на 6–10%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Руководство по электротермообработке бетона. – М. : НИИЖБ : Стройиздат, 1974. – 255 с.
2. Ратинов, В.Б. Добавки в бетон / В.Б. Ратинов, Т.И. Розенберг. – М. : Стройиздат, 1989. – 187 с.
3. Полак, А.Ф. Твердение мономинеральных вяжущих веществ / А.Ф. Полак. – М. : Госстройиздат, 1966. – 157 с.
4. Бирюков, А.И. Интенсификация изготовления изделий из керамзитобетона методом горячего формования / А.И. Бирюков. – Харьков : Віща школа, 1977. – 54 с.
5. Шведов, А.П. Интенсивная энергосберегающая технология производства бетонных работ при реконструкции зданий и сооружений с применением модифицированных и электроактивированных цементных суспензий : дис ... канд. техн. наук : 05.23.08 / А.П. Шведов. – Минск, 2004. – 133 л.
6. Устройство для обработки цементной суспензии : пат. 1060 / А.П. Шведов. – Оpubл. 02.10.2003.

Поступила 03.06.2021

INVESTIGATION OF THE ELECTROPHYSICAL CHARACTERISTICS OF CONCRETE MIXTURES WITH THE ADDITION OF ACTIVATED CEMENT SLURRY

A. SHVEDOV

To date, in the construction organizations in the production of concrete works, the energy of electric current is widely used to accelerate the strength of concrete. The applied electric field drives the ions formed in the process of hydration. Because of this, its electrophysical characteristics change in the concrete that is gaining strength. The concrete mixture, unlike typical electrolytes, has charged cement particles in its composition, which change the forces of action on the ions from the applied electric field. Therefore, when developing methods of electroactivation, it is necessary to work out the modes taking into account the internal electric fields and their changes in time.

Keywords: concrete mix, activated cement slurry, electric heating, hardening intensification.