

УДК 691.31075

## ВЗАИМОСВЯЗЬ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА И ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОСТОЯНИЯ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ

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

*Исследуется взаимосвязь прочности бетона и показателей состояния цементного камня. Выполнен анализ современных методов контроля прочности бетона при возведении монолитных конструкций. Проанализированы различные критерии, используемые для оценки прочности бетона в различные сроки твердения. Рассмотрено использование при контроле прочности бетона её взаимосвязи с электросопротивлением. Отмечены проблемы, возникающие при определении электросопротивления бетона в процессе его твердения. Обозначены направления более детальных исследований для создания метода неразрушающего контроля прочности бетона с использованием электрического поля определённых параметров.*

Существующая система нормативов предусматривает контроль качества прочности бетона. Контроль качества на строительной площадке направлен в первую очередь на обеспечение правил производства работ. Контроль за соблюдением правил производства работ затрагивает все технологические операции, включая транспортирование смеси, укладку и уплотнение её в опалубке, уход за твердеющим бетоном и распалубливание. Эти правила регламентированы многочисленными позициями СНиП 3.03.01-87 «Несущие и ограждающие конструкции». В то же время сегодня нет методик, позволяющих получить достоверные результаты.

**Основная часть.** Проверка прочности бетона на стройке может проводиться по образцам, хранящимся в условиях, аналогичных условиям твердения конструкций, по образцам, отобраным из тела конструкций, либо неразрушающими методами непосредственно в конструкциях. При определении прочности образцов бетона, хранящихся в условиях, аналогичных условиям строительной площадки, особенно при производстве работ при пониженных и отрицательных температурах, необходима дополнительная информация о температурно-влажностном режиме и условиях выдерживания конструкций непосредственно на самой строительной площадке. Однако создать искусственно точно такие же условия практически невозможно, поэтому условия выдержки контрольных образцов и бетона, твердеющего в конструкциях, будут различными. Особенно большие различия будут при использовании для интенсификации твердения бетона всех разновидностей электротермообработки.

Что касается оценки прочности бетона по образцам, отобраным из тела, набирающего прочность бетона в конструкции, здесь также имеются свои нюансы. Так, прочность образцов бетона, отобранных перпендикулярно слоям укладки бетонной смеси, будет выше прочности бетона в образцах, отобранных из мест с параллельной укладкой бетонной смеси. Кроме того, при использовании для интенсификации твердения бетона таких методов, как «термос» и электротермообработка, возникают трудности с определением мест отбора проб в связи с неоднородностью температурных полей в набирающей прочность конструкции.

Прочность бетона при физических методах его испытаний в конструкциях устанавливается по существующей корреляционной связи путём построения градуировочных зависимостей. Градуировочные зависимости «косвенная характеристика – прочность» для любых неразрушающих методов определяют предварительными опытами. Но при построении градуировочной кривой, условия твердения образцов бетона и бетона контролируемой конструкции должны быть одинаковы. Как указывалось выше, это требование во многих случаях практически невыполнимо. Поэтому при всей простоте неразрушающих методов их использование для контроля прочности бетона монолитных конструкций весьма проблематично.

Информация о фактической прочности бетона в конструкции в монолитном строительстве требуется для указания в проекте производства работ сроков снятия несущей опалубки, а также при контроле прочности бетона с целью оценки соответствия её прочности, требуемой при приёмке работ.

Ряд авторов [1 – 3] предлагает для определения прочности бетона в различном возрасте использовать степенные, логарифмические и другие зависимости, но с учётом известной 28-суточной прочности. Исследователи С.А. Миронов и Л.А. Манина исходя из результатов экспериментальных данных для бетонов на обычных портландцементях с В/Ц от 0,4 до 0,8 предлагают использовать следующие коэффициенты: 3 суток – 0,35; 7 суток – 0,65; 28 суток – 1,0; 90 суток – 1,25. Но данные коэффициенты можно использовать только при твердении бетона в нормально-влажностных условиях, что не позволяет использовать их для условий строительной площадки.

По данным Ю.М. Бутта [3], прочность цементного камня однозначно определяется его физической структурой, поэтому его прочностные характеристики функционально связаны или с концентрацией гидратированной твердой фазы (рис. 1), или с пористостью материала (рис. 2).

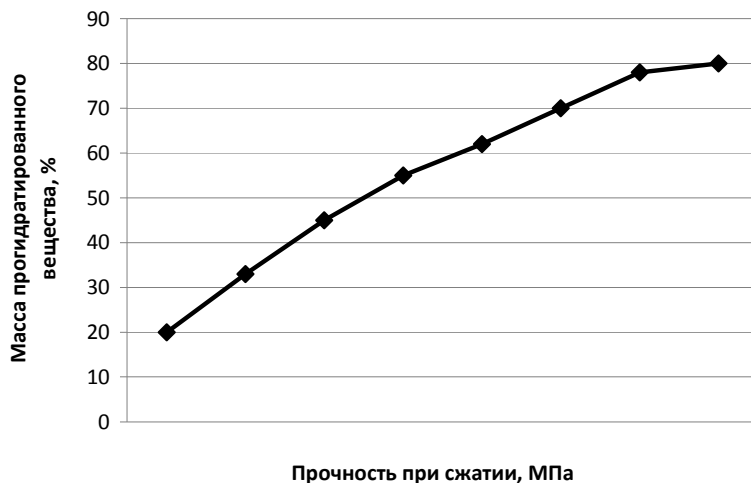
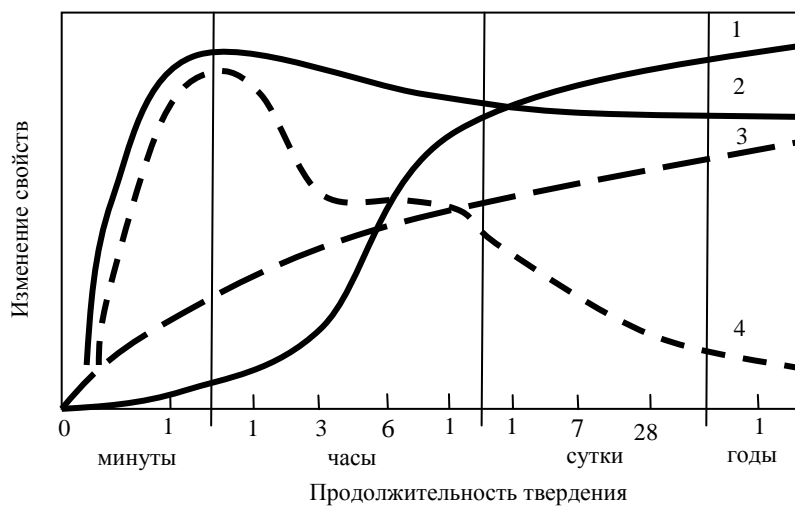
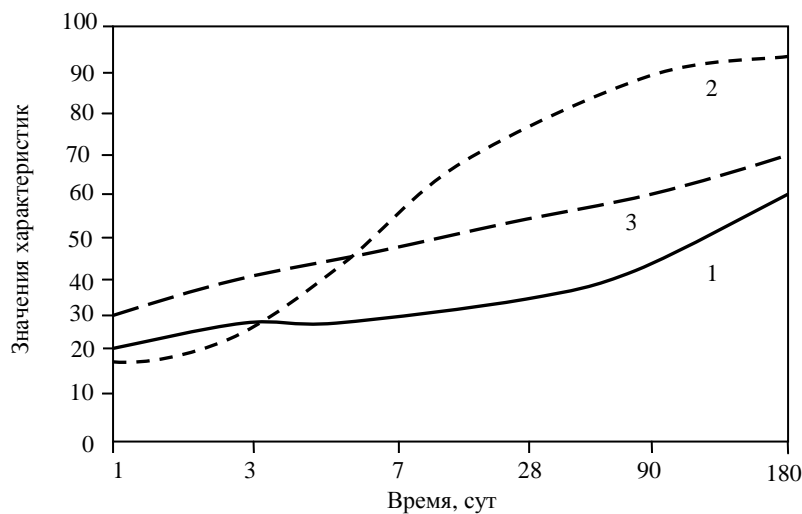


Рис. 1. Влияние степени гидратации цемента на прочность цементного камня

Рис. 2. Изменение свойств цементного теста и камня в процессе отвердевания:  
1 – прочность; 2 – значение pH; 3 – степень гидратации; 4 – электропроводность

По данным А.В. Волженского [2], изменение различных характеристик цементного камня в зависимости от времени твердения выглядит следующим образом (рис. 3).

Рис. 3. Характеристики цементного камня в разные сроки его твердения:  
1 – степень гидратации; 2 – предел прочности при сжатии, МПа;  
3 – степень заполнения объемом новообразований свободным объемом затвердевшего цемента, %

Анализ данных, представленных на рисунках 1 – 3, показывает, что только характер изменения электросопротивления (см. рис. 2, кривая 4), с учётом электропроводности (обратная величина электросопротивлению), близок характеру набора прочности цементного камня (см. рис. 2, кривая 1).

Что касается степени гидратации, взгляды многих авторов на этот вопрос противоречивые. Значение данного показателя на рисунке 2 не совпадает по характеру того же показателя на рисунке 3. Поэтому для контроля прочности бетона в построечных условиях в первую очередь необходимо разработать методику, позволяющую достоверно определять истинное электросопротивление твердеющего бетона (т.е. без учёта дополнительного сопротивления, возникающего на границе электрод – цементная система).

Определение прочности бетона на основе изменения его электросопротивления со временем твердения предполагает прохождение электрического тока через тело бетона. Включение бетона в электрическую цепь производится с помощью специальных электродов. Так как бетон имеет ионную проводимость, на границе металлический электрод – бетон возникает переходное сопротивление. Переходное сопротивление искажает истинное значение электросопротивления бетона. Уменьшить влияние переходного сопротивления пытаются многие исследователи. Для этих целей разработаны специальные мастики [4]. Но они не исключили образование переходного сопротивления. Для исключения влияния или установления его величины необходимо знать факторы, на него влияющие.

Природа переходного сопротивления, по данным ряда авторов, обусловлена многими факторами: физико-химическими явлениями на контакте бетон – электрод; физико-механическими – уменьшение токопроводимого сечения.

Наиболее сложные электрохимические процессы протекают на контакте электрода с электролитом (бетоном). На границе электрод – бетон образуется двойной электрический слой, в какой-то степени представляющий микроконденсатор с малым расстоянием между «обкладками»  $(3...5) \cdot 10^{-10}$  м. Двойной электрический слой оказывает сильное влияние на движение ионов, препятствуя ему и повышая сопротивление системы. Причём по мере твердения бетона подвижность ионов из-за уменьшения жидкой фазы само по себе уменьшается, двойной электрический слой также накладывает своё влияние. То есть для определения истинного сопротивления бетона необходимо детально изучить изменение величины сопротивления двойного электрического слоя в процессе твердения бетона или исключить его.

В работе [5] предлагается использовать для измерения электросопротивления бетона эквивалентную схему двухэлектродной полуячейки с использованием электрического тока с частотой до 200 кГц. При расчёте электросопротивления необходимо знать как значение активного сопротивления, так и значение тангенса угла потерь. Величина значения диэлектрической проницаемости цементного теста зависит от частоты используемого напряжения. Кроме того, она изменяется и в процессе твердения бетона. Поэтому с использованием предлагаемой схемы [5], получить истинные данные сопротивления бетона довольно сложно. Кроме того, как показывают исследования (рис. 4), величина электросопротивления изменяется в зависимости от времени прохождения электрического тока и величины используемого напряжения. Данные получены при расстоянии между электродами 15 см.

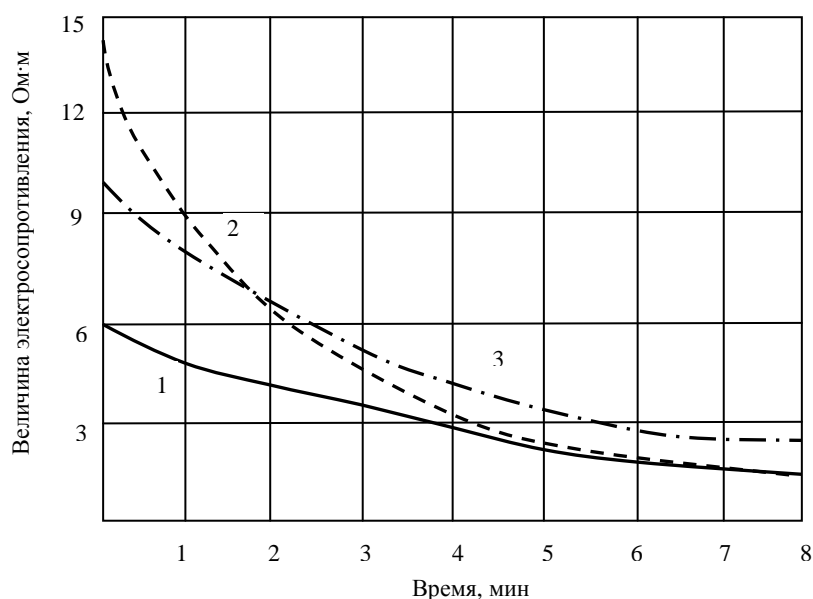


Рис. 4. Зависимость электросопротивления бетона от длительности определения:  
1 – напряжение на электроде 4 В; 2 – напряжение на электроде 12 В; 3 – напряжение на электроде 20 В

Как видно из рисунка 4, стабилизация в значении электросопротивления наступает через 5 минут. Но за это время происходит, хотя и незначительный ( $05 \dots 2$  °С), нагрев области испытания.

При проведении неоднократных испытаний повышение температуры может незначительно, но повлиять на прочность бетона в области прохождения электрического тока. Поэтому для широкого использования определения прочности бетона по его электропроводности необходимо тщательно изучить изменение электросопротивления бетона в зависимости от частоты используемого электрического тока и его напряжения.

**Заключение.** Показатели состояния цементной системы (степень гидратации, значение рН, электросопротивление и т.д.) во время твердения однозначно не определяют прочность бетона. Для контроля прочности бетона в монолитных конструкциях необходимо также детально изучить те характеристики, изменение которых соответствует изменению прочности твердеющего бетона.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шестоперов, С.В. Контроль качества бетона / С.В. Шестоперов. – М.: Высш. школа, 1981. – 247 с.
2. Волженский, А.В. Минеральные вяжущие вещества / А.В. Волженский, Ю.С. Буров, В.С. Колокольников. – М.: Стройиздат, 1979. – 473 с.
3. Бутт, Ю.М. Химическая технология вяжущих материалов / Ю.М. Бутт, М.Н. Сычёв, В.В. Тимошев. – М.: Высш. школа, 1980. – 471 с.
4. Ретти, А.К. Новые пути электрообработки / А.К. Ретти // Строительная промышленность. – 1936. – № 15. – С. 32 – 34.
5. Бирюков, А.И. Исследование влияния частоты электрического поля на твердение вяжущих / А.И. Бирюков, Арк.Н. Плагин, А.А. Старосельский // Коллоидный журнал. – 1970. – Т. XLII, вып. 2. – С. 326 – 329.

Поступила 01.06.2011

#### RELATIONSHIP OF STRENGTH OF CONCRETE AND INDICATORS OF CEMENT STONE

A. SHVEDOV

*The analysis of modern methods of control of concrete strength in the construction of monolithic structures. Analyzed the different criteria used to assess the strength of concrete at different periods of hardening. Examined in detail the use of monitoring concrete strength of its relationship with the electrical resistance. The problems that arise in determining the electrical resistance of concrete during its hardening. The directions for more detailed research to create unbreakable method of control of concrete strength by using the electric field of certain parameters.*