

УДК 666.97.001.015

В. В. Ажаронок<sup>2)</sup>, Н. Х. Белоус<sup>1)</sup>, С. П. Родцевич<sup>1)</sup>,  
В. Д. Кошевар<sup>1)</sup>, С. В. Гончарик<sup>2)</sup>, Н. И. Чубрик<sup>2)</sup>, А. И. Орлович<sup>3)</sup>

## ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНАЯ ОБРАБОТКА ВОДЫ КАК СПОСОБ УЛУЧШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОНОВ

*Изучено влияние продолжительности обработки высокочастотным магнитным полем водопроводной и дистиллированной воды затворения на технологические показатели получаемых пластифицированных мелкозернистых бетонов. Определены оптимальные режимы обработки воды и исследовано влияние длительности ее хранения на свойства бетонов.*

**Ключевые слова:** вода затворения, электромагнитное поле, высокочастотная магнитно-импульсная обработка, портландцемент, бетоны, плотность, прочность при сжатии, подвижность, показатель активности ионов водорода.

Твердение бетонных смесей и строительных растворов является многостадийным процессом, включающим растворение цементного клинкера с образованием пересыщенных растворов, массоперенос и ионообмен в них, диспергирование цемента до коллоидных частиц, образование коагуляционных тиксотропных гидратных структур, возникновение кристаллизационных контактов и рост кристаллических сростков. Известно, что одной из наиболее ответственных операций, определяющих процесс твердения и качество производимой бетонной продукции, является приготовление бетонной смеси. Поиск путей оптимизации и управления данным процессом является одной из важнейших задач строительной индустрии, решению которой посвящен ряд исследований различных авторов, среди которых следует обратить внимание на работы [1, 2]. Одним из вариантов управления процессом твердения и свойствами портландцементных систем является магнитная обработка (МО) воды затворения [3–5]. Ее результатом может являться изменение ориентации гидратных ионных оболочек растворенных солей, изменение в процессе введения активированной воды адсорбции вносимых поверхностно-активных добавок, формирование высокоплотных мелкокристаллических структур [5–7]. Подбор оптимальных условий МО воды обеспечивает получение строительных материалов с улучшенными потребительскими свойствами [8].

В последние годы МО широко применяется и в других областях науки и техники, в частности, для модификации структуры и свойств электролитных растворов [9], закристаллизованных расплавов и биологических объектов [10, 11], полимерных тканей и волокон [12–14], сплавов черных и цветных металлов [15–17]. Однако во всех указанных выше работах используются сильные (с напряженностью  $H \sim 10^3$  А/м) и сверхсильные ( $H \sim 10^6$  А/м) магнитные поля, получение которых является достаточно сложной технической задачей [18]. Действие же легко возбуждаемых, относительно слабых магнитных полей с напряженностью порядка нескольких сотен А/м изучено недостаточно. Имеются лишь отдельные работы [19–21], демонстрирующие перспективность активации такого рода, в том числе применительно к воде затворения цементов [5].

Цель настоящей работы — изучение влияния длительности слабоинтенсивной высокочастотной магнитно-импульсной обработки (ВЧМИО) воды затворения на технологические и механические свойства пластифицированных мелкозернистых бетонов, а также на время сохранения ее активированного состояния.

Обработка водопроводной и дистиллированной воды проводилась на экспериментальной установке, созданной на основе генератора переменного тока ВЧИ-62-5-ИГ-101 [11, 20], позволяющей возбуждать электромагнитное поле на промышленной частоте  $f = 5.28$  МГц. Поле локализуется в водоохлаждаемом спиралеобразном трехвитковом индукторе (рис. 1, а) с внутренним диаметром  $D = 80$  мм и длиной  $L = 90$  мм, подключенном в качестве индуктивной нагрузки к выходу генератора. Перед включением установки стеклянная емкость 2, заполненная обрабатываемой водой, устанавливалась в осевую зону индуктора 3 на диэлектрическую подставку 4.

Среднеквадратичные величины напряженности магнитной  $H$  и электрической  $E$  составляющих электромагнитного поля, возбуждаемые на оси индуктора, были определены измерителем напряженности высокочастотного поля ПЗ-15 с индикатором Я6П-110 и составляли 590 А/м ( $B \approx 1$  мТл, с погрешностью  $\sim 6\%$ ) и 12 700 В/м (с погрешностью  $\sim 4\%$ ) соответственно. Амплитудные значения  $H^* = \sqrt{2} \bar{H}$  и  $E^* = \sqrt{2} \bar{E}$  достигали 835 А/м ( $B \approx 1.5$  мТл) и 17 960 В/м, т. е. величина  $H^*$  лишь в 30 раз превышала фоновую индукцию магнитного поля Земли  $B_3 \approx 0.05$  мТл.

<sup>1)</sup>Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси. 220072, г. Минск, ул. Сурганова, 9; э-почта: tavgen@igic.bas-net.by;

<sup>2)</sup>Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси. 220072, г. Минск, просп. Независимости, 68; э-почта: azharonok@imaph.bas-net.by;

<sup>3)</sup>Белорусский национальный технический университет. 220013, г. Минск, просп. Независимости, 65. Поступила 15.12.2008.

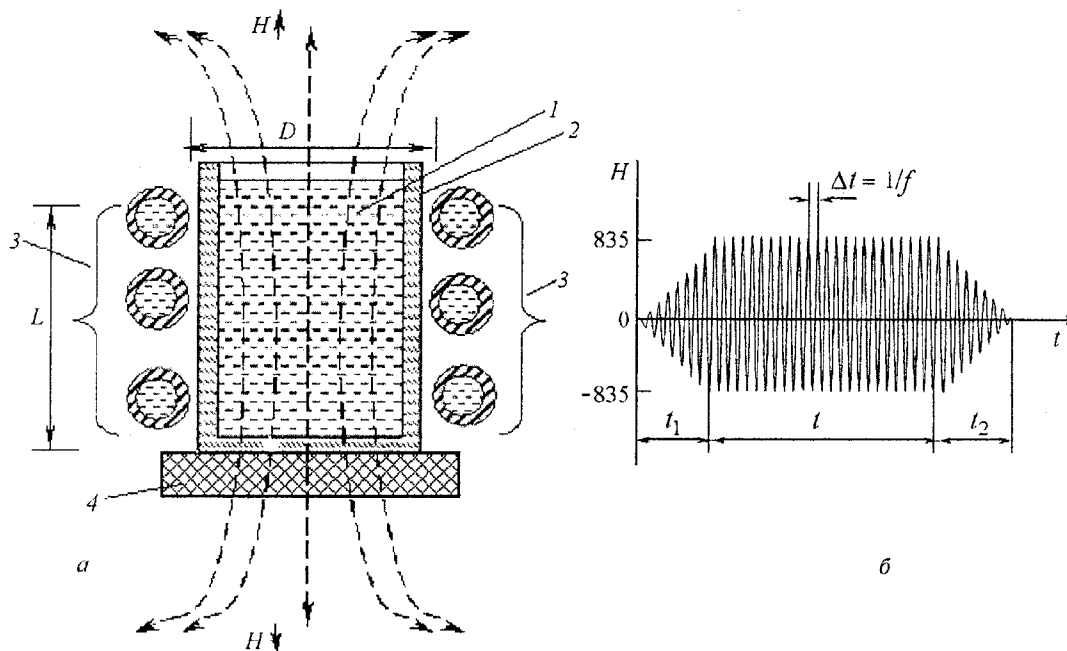


Рис. 1. Принципиальная схема (а) и циклограмма (б) обработки воды в высокочастотном магнитном поле: 1 — вода; 2 — стеклянная емкость; 3 — охлаждаемый индуктор; 4 — диэлектрическая подставка

Погрешность воспроизведения режима работы генератора не превышала 0.5%, с учетом этого суммарная погрешность определения величины электромагнитного поля, действующего на образец, составляла не более 10%. Значения напряженностей полей в краевой зоне на расстоянии  $\sim D/2$  от оси индуктора было оценено расчетным путем с использованием данных [18] для магнитной составляющей и отличалось от осевых значений не более чем на 15%.

Воздействие проводилось на воздухе при атмосферном давлении по циклограмме (рис. 1, б). Длительности вывода  $t_1$  генератора на стационарный режим генерации поля и возврата  $t_2$  в исходное состояние в сумме не превышали 3 с. Продолжительность  $t$  стационарной стадии воздействия на воду синусоидального магнитного поля с частотой 5.28 МГц и амплитудой 835 А/м изменялась от 1 до 16 мин. При этом нагрев воды практически отсутствовал, но показатель активности ионов водорода (рН) водопроводной воды (ГОСТ 2874-73) при варьировании времени обработки от 1 до 16 мин изменялся в диапазоне рН = 7.4–8.4, достигая максимального значения  $pH_m = 8.4 \pm 0.2$  при времени обработки  $t \approx 3-5$  мин (рис. 2, линия 1).

Менее восприимчивой к ВЧМИО была дистиллированная вода (ГОСТ 6709-72). Ее показатель активности в отличие от рН водопроводной воды имел сдвиг в кислую сторону и при изменении времени воздействия от 1 до 6 мин практически не изменялся (рН =  $6.25 \pm 0.15$ ). Лишь после 6 мин активации дистиллированной воды ее рН с высокой

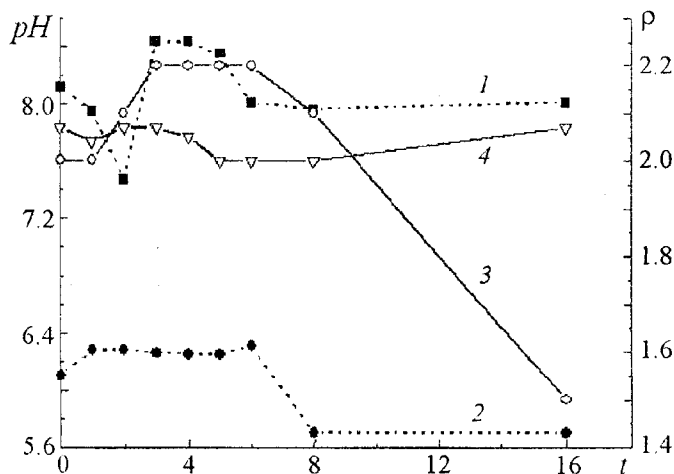


Рис. 2. Влияние продолжительности ВЧМИО водопроводной (1, 3) и дистиллированной (2, 4) воды на показатель активности ионов водорода рН (1, 2) и плотность  $\rho$  (3, 4) затворяемых бетонов.  $t$ , мин;  $\rho$ , г/см<sup>3</sup>

степенью статистической достоверности ( $p < 0.01$ ) снизился до  $5.7 \pm 0.14$  (рис. 2, линия 2). Подобную невосприимчивость дистиллированной воды к действию магнитного поля наблюдали авторы [22] и связывали ее с термическим изменением физических свойств воды в процессе дистилляции.

Через 30 мин после ВЧМИО необработанная и активированная водопроводная и дистиллированная вода была использована для затворения цементно-песчаных смесей (ЦПС) на основе цемента марки М500Д0 (ОАО "Красносельскстройматериалы", Республика Беларусь) и песка 1-го класса (карьер "Крапужино", Логойский район, Минская обл.). Песок перед применением высушивали до постоянной массы и отсеивали, используя его фракции размером 0.16–3 мм. Массовое соотношение цемент/песок составляло 1/1.5.

С целью снижения водоцементного отношения в ЦПС, увеличения удобоукладываемости (подвижности) приготавливаемых бетонных смесей, повышения плотности и прочности при сжатии получаемых бетонов на ранних и на поздних стадиях твердения в затворяемые смеси в качестве пластифицирующей добавки вводили поликарбоксилатный суперпластификатор (СП) Socalan HP-80 (Германия) [23]. Высокая эффективность данной добавки при небольшом ее содержании (0.2–0.3% от массы цемента) позволяет снизить водоцементное отношение на 25–30% и существенно увеличить пластичность смесей. Однако для большинства традиционно приготавливаемых портландцементных составов, в том числе и на основе цемента М500Д0, высокая степень пластификации сохраняется непродолжительное время: через 2 ч после затворения потеря удобоукладываемости ЦПС составляет около 50–70%.

Свойства получаемых ЦПС и бетонов (подвижность, сохраняемость, плотность, прочность при сжатии) определяли с использованием смесей, затворенных свежеективированной водопроводной и дистиллированной водой, а также водой спустя одну и две недели ее хранения при комнатных условиях.

Подвижность  $l$  затворенных смесей и ее сохраняемость во времени оценивали по СТБ 1545-2005 (Смеси бетонные. Методы испытаний), определяя диаметр расплыва образца цементно-песчаной смеси из мини-конуса, образующегося на горизонтальной поверхности сразу после ее приготовления и последовательно в течение 2 ч через  $\Delta t = 30$  мин. Диаметр расплыва образцов измеряли с погрешностью не более 0.1 см, повторяя эксперимент, как минимум, два раза. Погрешность определения величины подвижности не превышала  $\pm 2.5$  %.

Для определения плотности  $\rho$  получаемых бетонов и их прочности при сжатии  $\sigma_{сж}$  из цементно-песчаной смеси формовали бетонные образцы кубической формы и отверждали их при нормальных температурно-влажностных условиях ( $T = 293 \pm 2$  К, относительная влажность 80–90 %). Образцы затем подвергали испытаниям в соответствии с ГОСТ 12730.1-78 (для  $\rho$ ) и ГОСТ 10 180-90 (для  $\sigma_{сж}$ ). При этом значения  $\sigma_{сж}$  определяли как на ранних стадиях твердения бетонов (1–3 сут), так и во временном интервале до 28 сут. Коэффициент вариации прочности бетонов составлял  $\pm 3.5$ %.

Качественный состав исходных кристаллических фаз и продуктов гидратации, образующихся на различных стадиях твердения бетонов, контролировали с помощью дифрактометра ДРОН-2 с медным излучателем  $\text{CuK}\alpha_1$ .

В результате выполненных исследований было установлено, что зависимость плотности бетонов  $\rho$  от продолжительности  $t$  ВЧМИО водопроводной воды затворения (рис. 2, линия 3) носит так же, как и показатель активности ионов водорода рН, экстремальный характер с максимумом значений плотности при  $t \approx 3$ –5 мин. Наиболее рыхлой структурой с низкой величиной плотности ( $\rho = 1.5 \pm 0.04$  г/см<sup>3</sup>) характеризуются образцы, полученные на активированной в течение 16 мин воде.

При использовании дистиллированной воды плотность бетонов практически не зависела от продолжительности воздействия на нее магнитного поля (рис. 2, сплошная линия 4). Варьирование времени ВЧМИО дистиллированной воды в интервале 1–16 мин не приводит к существенным изменениям в величинах подвижности  $l$  затворяемых бетонных смесей (рис. 3, а), хотя слабо выраженный максимум в распределении  $l(t)$  имеет место и соответствует времени активации  $t \sim 3$  мин.

Для бетонных смесей, содержащих водопроводную воду, активированную в течение  $t \approx 3$ –5 мин, величина подвижности  $l$  по сравнению с контрольными образцами ( $t \approx 0$ ) увеличивается более чем на 30% (рис. 3, б). При этом уменьшение времени активации  $t$  до 1 мин так же, как и его увеличение до 8–16 мин, приводит к заметному снижению пластифицирующего эффекта, что является характерной отличительной особенностью в распределениях  $l(t, \tau)$  бетонных смесей. Ранее подобный дополнительный пластифицирующий эффект за счет активации воды в постоянном магнитном поле наблюдали авторы работ [24, 25], связывая его с более равномерной адсорбцией жидкости затворения на клинкерных частицах и формирующихся новообразованиях. Слабая же восприимчивость дистиллированной воды к воздействию ВЧМИО может быть обусловлена приобретением ею после дистилляции устойчивости к подобным факторам [23], одной из причин которой является удаление из воды железосодержащих примесей.

Кинетика набора прочности бетонов, полученных при применении активированной водопроводной воды, представлена на рис. 4, а. На стадии формирования в бетонах конденсационно-кристаллизационных структур (1–2 сут твердения), сопровождающейся развитием внутренних напряжений [25], образцы бетонов обладают более низкими величинами прочности при сжатии, чем контрольные. Однако после 3 сут твердения, когда происходит интенсивный рост прочности, связанный с образованием пространственно-кристаллизационного каркаса, включающего продукты

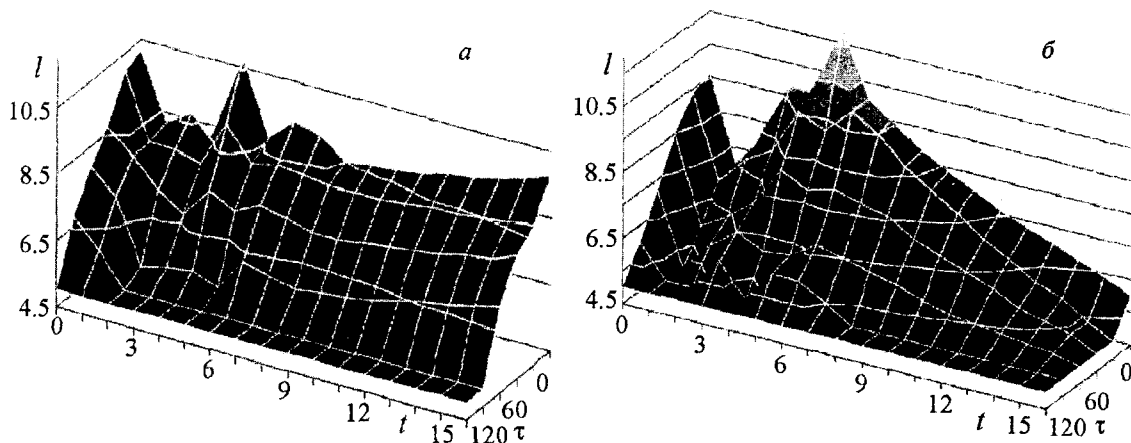


Рис. 3. Изменение во времени подвижности пластифицированных 0.3% СП Socolan HP-80 цементно-песчаных смесей, полученных на неактивированной ( $t = 0$ ) и подвергнутой ВЧМИО в течение  $t = 1-16$  мин дистиллированной (а) и водопроводной (б) воде.  $t$ , мин;  $l$ , см

твердения, для составов, содержащих воду, активированную в течение  $1 \text{ мин} < t < 7 \text{ мин}$ , наблюдается существенное превышение прочностных показателей над контрольными. При этом максимальные значения  $\sigma_{сж}$  характерны для бетонов с продолжительностью ВЧМИО воды  $t \approx 3-5$  мин. Прочность при сжатии таких образцов в возрасте 28 сут на 35-40% превышала прочность контрольных, что является результатом формирования более совершенных, высокоплотных макроструктур бетона. В свою очередь активация дистиллированной воды положительного влияния на величины прочности полученных бетонов не оказывает (рис. 4, б). Прочностные свойства таких бетонов остаются на уровне контрольных образцов, но их прочность снижается в том же временном интервале ( $t = 2-8$  мин), в котором наблюдается рост прочностных показателей бетонов, затворенных активированной водопроводной водой.

Рентгенофазовый анализ цементного теста, затворенного активированной водопроводной водой, проведенный на различных стадиях твердения, позволил установить некоторое снижение степени окристаллизованности кристаллических продуктов твердения цемента и формирование более мелкозернистой структуры цементного камня. Это позволяет при планировании процесса приготовления цементно-песчаных и бетонных смесей не только снижать в них водоцементное отношение, но и без ущерба для технологических свойств полученных материалов существенно сокращать содержание цемента.

Известно [8], что время сохранения приобретаемых после активации постоянным магнитным полем новых свойств воды составляет 15-20 ч. В связи с этим в настоящей работе представлялось интересным изучить поведение подвергнутой обработке водопроводной воды при ее хранении в нормальных условиях. Изменения подвижности и сохраняемости цементно-песчаных смесей и кинетика набора прочности мелкозернистых бетонов для этого случая представлены на рис. 5 и 6 соответственно. Анализ наблюдаемых изменений подвижности смесей и прочности бетонов позволяет сделать вывод о том, что "магнитная память" активированной воды при выбранных условиях ее обработки

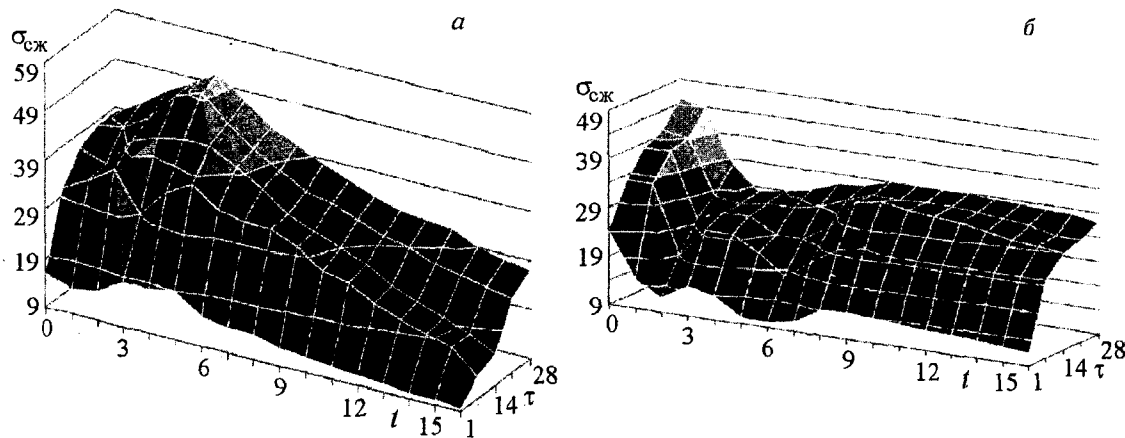


Рис. 4. Кинетика набора прочности пластифицированных 0.3% СП Socolan HP-80 мелкозернистых бетонов, полученных на неактивированной ( $t = 0$ ), а также подвергнутой ВЧМИО в течение  $t = 1-16$  мин водопроводной (а) и дистиллированной (б) воде.  $\sigma_{сж}$ , МПа;  $\tau$ , сут

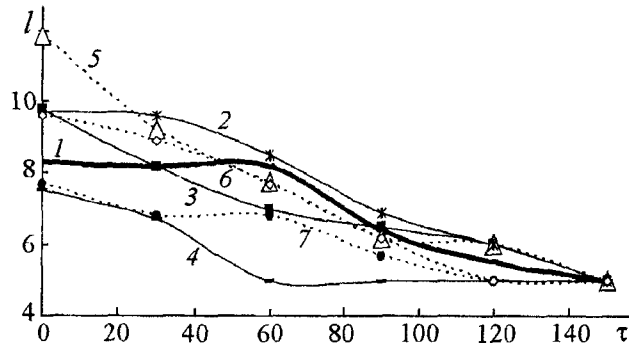


Рис. 5. Изменение во времени подвижности пластифицированных 0.3% СП Socolan HP-80 цементно-песчаных смесей, приготовленных с использованием неактивированной водопроводной воды (1) и водопроводной воды, подвергнутой ВЧМИО в течение 3 мин (2-4) и 5 мин (5-7): 2, 5 — затворение сразу после активации; 3, 6 — через 1 неделю; 4, 7 — через 2 недели после активации.  $\tau$ , мин;  $l$ , см

сохраняется в течение 7 сут. Но даже по прошествии этого времени исходная подвижность смесей на "выдержанной" воде мало отличается от составов на "свежеактивированной" воде (рис. 5, кривые 2, 3, 5, 6). Как видно из рис. 6, прочность при сжатии бетонов, затворенных "свежеактивированной" водой (рис. 6, кривые 2, 3), существенно (до 40%) превышает прочность контрольных образцов. При использовании воды спустя неделю после ее активации (рис. 6, кривые 4, 5) ранняя прочность бетонов ( $\tau \leq 7$  сут) примерно на 25-30% превышает прочность контрольных образцов, хотя на более поздних стадиях ( $7 \text{ сут} < \tau \leq 28 \text{ сут}$ ) их прочности уже практически не различаются (рис. 6, кривая 5). При увеличении времени хранения воды до двух недель величины исходной подвижности (рис. 5, кривые 4, 7), а также конечной ( $\tau \approx 28$  сут) прочности при сжатии (рис. 6, кривые 6, 7) снижаются по сравнению с контрольными составами на 15-17%.

Таким образом, в результате выполненных исследований установлена возможность улучшения технологических характеристик пластифицированных портландцементных систем путем применения для затворения обработанной в слабоинтенсивном высокочастотном магнитном поле водопроводной воды. Показано, что наиболее высокими реологическими и прочностными свойствами характеризуются составы, содержащие воду, обработанную в течение 3-5 мин. При этом активность воды сохраняется значительно более продолжительное время, чем при ее обработке в высокоинтенсивном постоянном магнитном поле. Данный способ активации воды обеспечивает заметный положительный эффект при затворении портландцементных систем даже после 7 сут ее хранения.

Следует, однако, отметить, что четкое и согласованное представление о механизме обработки воды слабыми магнитными полями, так же как и об особенностях воздействия омагниченной воды на процесс структурообразования бетонов, до настоящего времени отсутствует. Это связано как с многостадийностью и сложностью происходящих в воде и затворяемых ею смесях физико-химических реакций, так и с трудностью интерпретации полученных результатов [26].

В последнее время все большее подтверждение находит тот факт, что вода при комнатной температуре на 50% состоит из надмолекулярных образований (нанокластеров) типа  $(\text{H}_2\text{O})_n$ , где  $n$  — целое число порядка нескольких

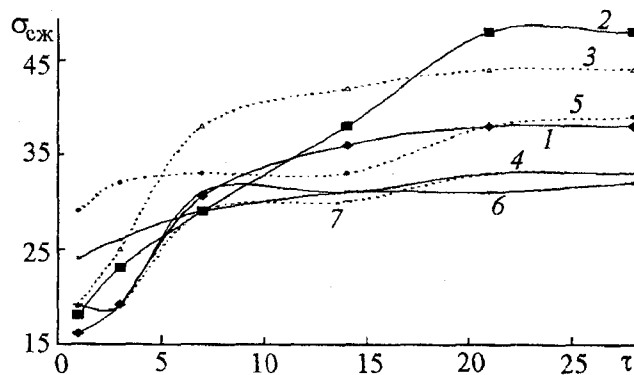


Рис. 6. Кинетика набора прочности пластифицированных 0.3% СП Socolan HP-80 мелкозернистых бетонов, полученных при использовании неактивированной воды (1) и воды, подвергнутой ВЧМИО в течение 3 мин (2, 4, 6) и 5 мин (3, 5, 7). Бетоны получены на свежееактивированной воде (2, 3) через 1 неделю (4, 5) и 2 недели (6, 7) после активации.  $\sigma_{сж}$ , МПа;  $\tau$ , сут

единиц [27, 28]. Методами молекулярной динамики были проведены расчеты конфигураций конгломератов, которые могут образовывать структуры данного типа [29–31]. Показано, что эти структуры имеют достаточно устойчивую плоскую (кольца, цепи) и трехмерную (тетраэдр, гексамер, октамер) геометрию. Кроме того, экспериментально зарегистрировано формирование в воде гигантских гетерофазных структур с размерами в несколько сотен микрон и временами релаксации более 10 с, названных гигантскими гетерофазными кластерами воды [32]. Отмечено, что решающим фактором при развитии кластера является внешнее воздействие, которое может инициировать как возникновение и дальнейший рост, так и распад образующихся структур и, следовательно, приводить к появлению или исчезновению определенного свойства или группы свойств воды. Так, например, по утверждению авторов [3], от степени структурированности воды зависит ее диамагнитная восприимчивость и в свою очередь смачиваемость ею минералов и других объектов. Магнитная обработка воды, приводящая к нарушению связей между ее молекулами в кластерной структуре, способствует также улучшению смачиваемости цементного клинкера и, как следствие, может изменять кинетику процесса гидратации. В случае воздействия на воду электромагнитным полем, энергия кванта которого существенно меньше энергии водородной связи, объяснение деструктивных изменений водяных кластеров предложено в [33]. Учитывая то, что используемая вода, как правило, содержит различные примеси, авторы работы считают возможным искажение ими кластерных структур с возникновением в них внутренних напряжений, а также приобретением кластерами свойств полимеров и способности аккумулировать энергию электромагнитного поля низкой интенсивности. После достижения накапливаемой энергией некоторого критического значения происходит разрушение кластерной структуры воды с образованием ионов  $H^+$ ,  $OH^-$  и гидратированных электронов  $e^-$ , что и находит отражение в изменении рН-индекса воды.

Более детальный анализ причин, обуславливающих высокую степень активации воды высокочастотным электромагнитным полем, так же, как и механизмы ее воздействия на процесс гидратации цементно-песчаных составов, может быть сделан после проведения дополнительных систематических теоретических и экспериментальных исследований.

### Обозначения

$B$  — индукция магнитного поля, мТл;  $f$  — частота, МГц;  $H$  — напряженность магнитного поля, А/м;  $E$  — напряженность электрического поля, В/м;  $l$  — подвижность бетонных смесей, см; рН — показатель активности ионов водорода;  $t$  — время ВЧМИО, мин;  $\rho$  — плотность бетонов, г/см<sup>3</sup>;  $\sigma_{сж}$  — прочность при сжатии бетонов, МПа;  $\tau$  — время твердения, мин, сут. Индексы: сж — сжатие; m — максимальный.

### Литература

1. Круглицкий Н. Н. Очерки по физико-химической механике. Киев: Наукова думка, 1988. С. 79.
2. Гранковский И. Г. Структурообразование в минеральных вяжущих системах. Киев: Наукова думка, 1984. С. 58.
3. Касаткина В. И., Федосов С. В., Акулова М. В. Влияние механомагнитной активации водных систем на свойства бетона//Строительные материалы. 2007. № 11. С. 58–59.
4. Помазкин В. А. Физическая активация воды затворения бетонных смесей//Строительные материалы. 2003. № 2 (приложение). С. 14–16.
5. Горленко Н. П. Низкоэнергетическая активация цементных и оксидных вяжущих систем электрическими и магнитными полями: Автореф. дис. .... д-ра техн. наук. Томск, 2007.
6. Помазкин В. А., Макеева А. А. Перспективные направления применения магнитной активации//Вестн. Оренбургского гос. ун-та. 2001. № 1. С. 109–114.
7. Гранковский И. Г., Круглицкий Н. Н., Пасечник Г. А. и др. Сочетание обработки воды затворения в магнитном поле и последующей оптимальной виброактивации для улучшения физико-механических свойств дисперсий минеральных вяжущих веществ//Вопросы теории и практики магнитной обработки воды и водных систем. Новочеркасск: Изд-во Новочеркасского политехнического ин-та, 1975. С. 213–217.
8. Гранковский И. Г., Круглицкий Н. Н., Пасечник Г. А. Кинетика структурообразования в водных цементных и цементно-песчаных дисперсиях под влиянием магнитного поля//Докл. АН УССР. Сер. Б. 1973. № 8. С. 751–754.
9. Кокшаров С. А., Константинов О. И., Никольский А. В. и др. Влияние магнитного поля на состояние растворов активных красителей//Журн. прикл. химии. 1990. Т. 63, № 3. С. 565–571.
10. Бинги В. Н., Савин А. В. Физические проблемы действия слабых магнитных полей на биологические системы//УФН. 2003. Т. 173, № 3. С. 265–300.
11. Ажаронк В. В., Городецкая Е. А., Спиридович Е. В. и др. Влияние плазменно-радиоволновой обработки на посевные качества семян//Докл. НАН Беларуси. 2007. Т. 51, № 6. С. 256–262.
12. Ажаронк В. В., Филатова И. И., Вошула И. В. и др. Изменение оптических свойств бумаги под влиянием магнитной составляющей высокочастотного электромагнитного поля//Журн. прикл. спектроскопии. 2007. Т. 74, № 4. С. 421–426.
13. Персидская А. Ю., Кузев И. Р., Антипин В. А. О влиянии импульсного магнитного поля на механические свойства полимерных волокон//Хим. физика. 2002. Т. 21, № 2. С. 90–98.

14. Гуль В. Е., Ханчич О. А., Савченко Н. А. Воздействие однородного магнитного поля на термотропный жидкокристаллический сополимер оксисбензойной кислоты и эгилентерефталата//Механика композиционных материалов и конструкций. 1995. Т. 1, № 2. С. 124–128.
15. Счастливец В. М., Ромашев Л. Н., Яковлева И. Л. и др. Электронномикроскопическое исследование структуры кристаллов мартенсита, зародившихся под действием импульсного магнитного поля//Физика металлов и металловедение. 1981. Т. 51, № 4. С. 773–782.
16. Здор Г. Н., Анисович А. Г., Яскович А. Г. Применение импульсного магнитного поля для повышения механических свойств сплавов цветных металлов//Проблемы машиностроения и надежности машин. 2004. № 5. С. 65–70.
17. Малыгин Б. В. Магнитное упрочнение инструмента и деталей машин. М.: Машиностроение, 1989.
18. Монтгомери Д. Б. Получение сильных магнитных полей с помощью соленоидов. М.: Мир, 1971.
19. Гвоздев А. Г., Бородин И. П., Гвоздева Л. И. и др. Исследование влияния обработки в импульсном магнитном поле на свойства стали 4Х5МФ1С//Материалы V междунар. науч. конф. "Прочность и разрушение материалов и конструкций". Оренбург, 2008. Т. 1. С. 370–373.
20. Ажаронок В. В., Здор Г. Н., Анисович А. Г. и др. Трансформация структуры и свойств бериллиевой бронзы под воздействием высокочастотного магнитного поля//Изв. РАН. Металлы. 2003. № 4. С. 100–105.
21. Масловский В. М. О механизме влияния слабого магнитного поля на структуру конденсированных сред//Материалы IV науч.-техн. семинара "Обработка импульсным магнитным полем." Ботевград, 1989. С. 5.
22. Бритова А. А., Адамко И. В., Бачурина В. Л. Активация воды лазерным излучением, магнитным полем и их сочетанием//Вестн. Новгородского гос. ун-та. 1998. № 7. С. 10–15.
23. Фаликман В. Р., Вайнер А. Я., Башлыков Н. Ф. Новое поколение суперпластификаторов//Бетон и железобетон. 2000. № 59. С. 5–7.
24. Круглицкий Н. Н., Горовенко Г. Г., Малюшевский П. П. Физико-химическая механика дисперсных систем в сильных импульсных полях. Киев: Наукова думка, 1983.
25. Гранковский И. Г., Круглицкий Н. Н. О кинетике твердения минеральных вяжущих веществ//Докл. АН СССР. 1970. Т. 194, № 1. С. 147–148.
26. Брагинский Л. Н., Бегачев В. И., Барабаш В. М. Перемешивание в жидких средах. Л.: Химия, 1984.
27. Габуда С. Н. Связанная вода: факты и гипотезы. Новосибирск: Наука, 1982.
28. Moro R., Rabinovich R., Xia Ch., and Kresin V. Electric dipole moments of water clusters from a beam deflection measurement//Phys. Rev. Lett. 2006. Vol. 97. Pp. 123401(1)–123401(4).
29. Волошин В. П., Желиговская Е. А., Маленков Г. Г. и др. Структура сетей водородных связей и динамики молекул воды в конденсированных водных системах//Журн. Российского хим. об-ва им. Д. И. Менделеева. 2001. Т. 45, № 3. С. 31–37.
30. Дроздов С. В., Востриков А. А. Особенности строения и энергии малых кластеров воды//Письма в ЖТФ. 2000. Т. 26, № 9. С. 81–86.
31. Шабатина А. В., Немухин А. В. Структура и колебательные спектры кластеров  $H_2S (H_2O)_n$ //Вестн. Московского гос. ун-та. Сер. 2. Химия. 1999. Т. 40, № 3. С. 147–149.
32. Сыроежкин А. В., Смирнов А. Н., Гончарук В. В. и др. Вода как гетерогенная структура. <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2006/088.pdf>
33. Лошицкий П. П. Механизмы воздействия электромагнитных волн низкой интенсивности на воду и водные растворы//Материалы 22-й междунар. науч.-практ. конф. "Проблемы электроники". Киев, 2002. С. 45–48.