

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ
ДОНБАССКАЯ
ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА
И АРХИТЕКТУРЫ

На правах рукописи

ЗАЙЧЕНКО Николай Михайлович

БЕТОНЫ, ЭЛЕКТРОАКТИВИРОВАННЫЕ
НА СТАДИИ ВИБРОУПЛОТНЕНИЯ

05.23.05 — Строительные материалы и изделия

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Дисертацією является рукопис

Работа выполнена в Донбасской государственной академии строительства и архитектуры на кафедре строительных материалов и ПСК.

Научный руководитель — академик АН ВШ Украины, доктор технических наук, профессор **Матвиенко В. А.**

Официальные оппоненты: академик АС Украины, доктор технических наук, профессор **Выровой В. Н.**; кандидат технических наук, старший научный сотрудник **Попов В. В.**

Ведущая организация — Донбасский НИПТИСП, г. Луганск.

Защита состоится «20» октября 1995 г. в 13 час. на заседании специализированного ученого совета К 27.01.02 в Донбасской государственной академии строительства и архитектуры (339023, Донецкая обл., г. Макеевка, ул. Державина, 2).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Донбасской государственной академии строительства и архитектуры.

Автореферат разослан «19» сентября 1995 г.

Ученый секретарь
специализированного совета,
канд. техн. наук, доцент

ШАПОВАЛОВ С. Н.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Рациональное использование материальных и энергетических ресурсов при изготовлении бетонных и железобетонных изделий неотрывно связано с внедрением передовых технологических решений, а также вовлечением в сферу производства отходов промышленности. При этом должны быть обеспечены высокое качество и долговечность изделий и конструкций. В технологии бетона особую актуальность приобретает работа в области совершенствования процесса формирования изделий, в частности, вибрационного уплотнения бетонных смесей, т.к. именно на этой стадии сосредоточены основные резервы экономии энергии и материальных ресурсов. В этой связи вибрационная технология ЖБИ развивается главным образом в направлении разработки эффективных режимов уплотнения (низкочастотные, высокочастотные, виброударные, импульсные и др.). Однако, реализация этого направления требует дополнительных капитальных вложений на модернизацию существующего парка вибрационного оборудования при реконструкции предприятий сборного железобетона.

В то же время известны различные электрофизические способы воздействия на формируемые бетонные смеси (ультравысокочастотные, магнитные, электрические и др.), улучшающие их удобоукладываемость и физико-механические показатели. Широкое внедрение в производство этих способов сдерживают достаточно высокая их энергоемкость, а также весьма противоречивые данные о величине получаемого эффекта. В этой связи разработка малознергоемкого способа электрической обработки бетонных смесей в процессе вибрационного уплотнения, позволяющего повысить эффективность производства бетонных и железобетонных изделий, является актуальной. Решение этой задачи требует изучения влияния параметров электрической обработки на реологические свойства виброуплотняемых бетонных смесей, а также на последующие процессы формирования структуры и свойства бетонов.

Целью работы является разработка способа электроактивации бетонных смесей на стадии виброуплотнения на основе теоретических и экспериментальных исследований зависимости их реологических свойств, структуры и физико-механических показателей бетонов от параметров электрического воздействия.

На защиту выносятся:

- теоретические исследования влияния внешнего электрического поля на изменение параметров межчастичного взаимодействия в дисперсных системах;
- данные о величине показателей водоотделения при седиментации в электрическом поле цементных суспензий, содержащих добавки наполнителей (различной дисперсности и величины интегрального заряда поверхности) и растворимых веществ (с различной валентностью катиона);
- зависимость реологических свойств (эффективная вязкость, пластическая прочность) модельных дисперсных систем и бетонных смесей от параметров электрической активации;
- результаты экспериментальных исследований процессов структурообразования активированных цементных паст, состава продуктов гидратации вяжущих веществ, поровой структуры и физико-механических свойств бетонов;
- выводы о целесообразности внедрения в производство способа электрической активации бетонных смесей на основе опытно-промышленных испытаний активированных бетонов.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- разработан способ электрической активации бетонных смесей в процессе виброуплотнения, который при любых затратах электроэнергии улучшает их формуемость и повышает физико-механические свойства бетонов;
- получена зависимость структурирующей способности твердой фазы цементно-водных систем от соотношения параметров электрического поля и вида применяемых добавок (наполнителей, электролитов);
- установлено, что в условиях электрической поляризации при вибрировании снижается эффективная вязкость бетонных смесей, а после его прекращения увеличивается предельное напряжение сдвига;
- определены оптимальные параметры электроактивации, обеспечивающие максимальный прирост прочности бетонов.

Практическое значение работы:

- обоснована возможность улучшения физико-механических показателей бетона при оптимальных параметрах электроактивации: повышение прочности на 25...40 %, морозостойкости (на 20...25 циклов); снижении деформаций усадки при высушивании;

- в результате электрической активации на стадии уплотнения ускоряется тиксотропное разжижение бетонных смесей, что позволяет уменьшить длительность включения вибрационного оборудования и улучшить санитарно-гигиенические условия труда в формовочных цехах;
- электроактивация бетонных смесей на стадии виброуплотнения дает возможность снизить расход цемента на 10...15 %, сократить длительность изотермического прогрева при ТВО на 25...30 %, повысить оборачиваемость стальных форм и тепловых установок.

Реализация результатов исследований осуществлена включением в технологический регламент на производство бетонных блоков - элементов коксовых батарей из огнеупорного бетона на малом предприятии "Мастера технологий сталефибробетона" (г. Донецк). При этом достигнуто уменьшение расхода вяжущего - высокоглиноземистого цемента (на 10...15 %), что дает возможность снизить себестоимость 1 м³ бетонной смеси изделий на 8%. Опытно-промышленные испытания технологии виброэлектроактивации были проведены на Кураховском ЗЖБК ПО "Донбасс-энергостройпром". В результате электрообработки бетонных смесей в процессе виброуплотнения достигнуто снижение времени тепловой обработки изделий на 1.5-2.0 часа.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов подтверждается экспериментальными данными, полученными на основе современных физико-химических методов исследования, статистическим анализом полученных зависимостей с достоверной вероятностью 0.95.

Апробация работы. Материалы диссертационной работы были представлены в виде докладов и сообщений на международных (г. Санкт-Петербург, 1992 г., г. Белгород, 1993 г., г. Днепропетровск, 1993, 1994 г.г) конференциях, республиканском (г. Одесса, 1992 г.) и международных (г. Одесса, 1994, 1995г.) семинарах.

Публикации. По материалам диссертационной работы опубликовано 11 печатных работ.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, шести глав, выводов по главам, общих выводов, списка литературы из 150 наименований и 2-х приложений. Содержит 150 страниц машинописного текста, включая 24 таблицы и 31 рисунок.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Состояние вопроса.

Цементный бетон представляет собой капиллярно-пористый композиционный материал, характеризующийся сложной многоуровневой структурой. Формирование структуры бетона, в первую очередь, осуществляется на стадии формирования, в частности, при вибрационном уплотнении умеренно подвижных и жестких бетонных смесей. Работы научных коллективов, школ под руководством И. Н. Аквердова, Ю. М. Баженова, Г. И. Горчакова, И. М. Грушко, А. Е. Десова, Г. Я. Кунноса, Н. В. Михайлова, О. П. Мчедлова-Петросяна, П. А. Ребиндера, В. Г. Скрамгаева, В. Н. Шмигальского и др. явились основополагающими для создания новой науки - технологической механики бетона. На ее основе к настоящему времени хорошо развит математический аппарат для описания нелинейных реологических свойств цементных паст, растворных и бетонных смесей. Показано, что нелинейность свойств указанных систем в условиях сдвигового деформирования - есть следствие образования в них пространственных коагуляционных структур. В этой связи весьма перспективными являются работы, устанавливающие корреляционную связь природы межзерновых контактов между твердыми фазами компонентов бетонных смесей с микрореологическими характеристиками цементных паст.

Характерно, что в формировании межзерновых контактов, которые оказывают существенное влияние на структурно-механические свойства бетонных смесей, значительную роль играют адсорбционные процессы (М. М. Сычев). Последние, в свою очередь, являются причиной возникновения двойных электрических слоев (ДЭС) на границе раздела фаз ("Т-Ж"). Структура ДЭС зависит как от полярности и величины поверхностного заряда дисперсных частиц, так и от ионного состава дисперсионной среды.

Роль строения ДЭС в формировании микроструктуры бетона, реологических свойств вяжущих систем показана в работах В. И. Бабутина, Е. И. Веда, И. Г. Гранковского, Г. Д. Диброва, Н. Н. Круглицкого, О. П. Мчедлова-Петросяна, А. Н. Плугина, М. М. Сычева и др. На основе теоретических представлений об электрической природе поверхностных сил, межфазного и межчастичного взаимодействия ими рассмотрены различные способы управления и регулирования элементарных актов процесса

твердения с помощью внешних силовых воздействий, в т.ч. электрических. Отмечается ведущее влияние явлений поляризации и электризации дисперсных систем в условиях высоковольтной электрической обработки на последующее течение процессов твердения, на структуру и свойства бетонов (В. А. Матвиенко).

В то же время, при сравнительно большом объеме теоретических и экспериментальных исследований, посвященных электрофизической активации бетонов, проблема поведения бетонных смесей в условиях электрической обработки при вибрационном уплотнении остается практически не изученной. Не выяснено влияние параметров электроактивации на реологические свойства теста вяжущего и бетонных смесей: эффективную вязкость, предельное напряжение сдвига. В соответствии с этим основные задачи теоретических и экспериментальных исследований в настоящей работе сводятся к следующему.

1. Провести анализ парного силового взаимодействия дисперсных частиц портландцемента в зависимости от величины потенциала поверхности и строения ДЭС.
2. Исследовать влияние электрической поляризации в процессе виброуплотнения на реологические свойства и степень уплотнения дисперсных систем и бетонных смесей.
3. Установить оптимальные параметры электрической активации, обеспечивающие максимальный прирост прочности бетонов.
4. Изучить процессы структурообразования и твердения активированных цементных паст и бетонных смесей.
5. Провести исследования физико-механических свойств виброэлектроактивированных бетонов.
6. Разработать, испытать в производственных условиях и подготовить к промышленному внедрению технологию виброэлектроактивации и определить ее технико-экономическую эффективность.

2. Теоретическое обоснование способа электроактивации бетонных смесей на стадии вибрационного уплотнения.

Теоретической основой для разработки способа электрической активации бетонных и растворных смесей в процессе вибрационного уплотнения являются представления о роли структурных изменений воды под действием силовых полей гидрофильных поверхностей в межчастичных взаимодействиях дисперсных систем. Согласно Б. В. Дерягину, свойства граничных слоев жидкост-

ти отличны от соответствующих им свойств в объеме. Так, наряду с повышенной вязкостью граничные слои обладают сдвиговой упругостью и соответствующим пределом текучести. Это обусловлено влиянием силовых полей активных центров поверхности дисперсных частиц, которое распространяется вглубь жидкой фазы по "эстафетному" механизму (М. М. Сычев). При этом для вяжущих систем вследствие физико-химических превращений состав и строение сольватированных поверхностью слоев жидкости непрерывно изменяются (И. Г. Гранковский, О. П. Мчедлов-Петросян). В связи с этим структура и свойства граничных прослоек жидкой фазы будут оказывать значительное влияние на контактные взаимодействия в дисперсных структурах, что в свою очередь отразится на реологических и конечных структурно-механических свойствах вяжущих систем (Г. Д. Дибров, А. Н. Плутин). Кроме того, в процессах, определяющих структурообразование в вяжущих системах на ранних стадиях, огромную роль играет поляризация ДЭС (И. Г. Гранковский, И. Ф. Ефремов, М. М. Сычев).

Взадействие внешних силовых полей (акустических, ультразвуковых, магнитных, электрических и др.), а также механическая вибрация приводят к деформации ДЭС, возникновению электрического поля, радиус действия которого на несколько порядков выше, чем радиус действия недеформированного слоя (В. В. Дерягин, С. С. Духин). Таким образом, поляризация ДЭС дисперсных частиц под действием внешнего электрического поля должна отразиться на изменении параметров межчастичного взаимодействия, что в свою очередь приведет к изменению реологических свойств вяжущих систем. Вместе с тем, адсорбция электрических зарядов поверхностью дисперсных частиц под действием внешнего электрического поля (электризация) приведет к возбуждению активных центров (В. А. Матвиенко). Это вызовет индуцирование нового энергетического состояния, определяющего условия формирования структуры на начальной стадии твердения вяжущих и бетонов на их основе.

С помощью ЭВМ произведен расчет параметров парного силового взаимодействия дисперсных частиц в цементном тесте при изменении заряда их поверхности под действием внешнего электрического поля. При этом исходили из положения (теория ДЛЮ), что устойчивость к коагуляции должна быть обеспечена нахождением дисперсной системы в дальнем потенциальном мини-

му, обусловленном балансом сил молекулярного притяжения (P_m) и электростатического отталкивания (P_e), определяемых из уравнений:

$$P_m = -2A/3r \left[1/S^2 - (S^2 - 8)/S(S^2 - 4)^{3/2} \right]; \quad (1)$$

$$P_e = r\varphi_0^2 / 2(\epsilon / (1 + \exp(\mathcal{H}h))), \quad (2)$$

где A - константа Гамакера, Нм;

$S = h/r$ (h - расстояние от поверхности твердого тела;

r - радиус частицы, м);

φ_0 - потенциал поверхности, В;

$\mathcal{H} = 1/\delta$ - дебаевский радиус экранирования (δ - толщина ДЭС).

Значения потенциала активированной поверхности дисперсных частиц и толщины ДЭС по данным В. А. Матвиенко зависят от соотношения полярностей заряда поверхности (φ_0) и внешнего электрического поля (φ_v). При совпадении этих полярностей ($\varphi_0 * \varphi_v > 0$) заряд поверхности будет увеличиваться, ДЭС - расширится, при равной полярности ($\varphi_0 * \varphi_v < 0$) - φ_0 снижается, а толщина диффузионной области ДЭС уменьшается.

Расчеты парного силового взаимодействия показали, что в первом случае высота энергетического барьера отталкивания увеличивается, а отталкивание происходит на большем расстоянии от поверхности частицы (рис. 1, крив. 3). При этом значительно уменьшается глубина вторичного потенциального минимума и его положение. Диффузная часть ДЭС расширяется и характеризуется разупорядоченной структурой.

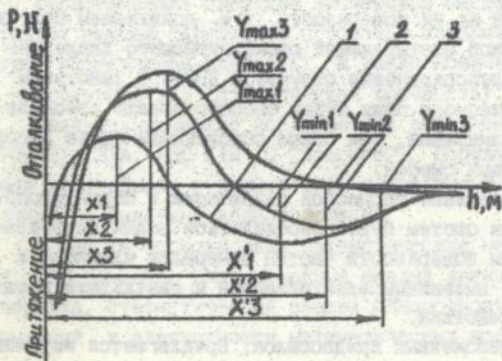


Рис. 1. Изменение вида силовой кривой взаимодействия двух дисперсных частиц цемента при увеличении заряда поверхности частиц и толщины ДЭС:

1 - $\varphi_0 = 0.01$ В, $\delta = 10^{-7}$ м, 2 - $\varphi_0 = 0.025$ В, $\delta = 10^{-6}$ м, 3 - $\varphi_0 = 0.05$ В, $\delta = 10^{-5}$ м

Во втором случае высота энергетического барьера отталкивания значительно уменьшается, а глубина вторичного потенциального минимума резко возрастает (рис.1, крив.1).

Таким образом, в результате электрической обработки дисперсных систем заметно изменяются параметры межчастичного взаимодействия, что отразится на реологических свойствах, в т.ч. при вибрационном уплотнении.

На основании проведенных теоретических исследований механизмам электроактивации бетонных смесей на стадии виброуплотнения можно представить следующим образом.

1. В процессе вибрирования дисперсной системы произойдет поляризация и разупорядочение структуры ДЭС на поверхности раздела фаз "Т-Ж". Воздействие при этом внешним электрическим полем с полярностью, соответствующей полярности заряда дисперсных частиц, приведет к дополнительному разупорядочению структуры сольватных оболочек. В результате снизится вязкость граничных слоев создаются благоприятные условия для улучшения удобоукладываемости формуемых смесей.

2. Внешним высоковольтным электровоздействием к поверхности подводятся электрические заряды, которые захватываются "ловушками", находящимися на поверхности и в области пространственного заряда (ОПЗ) - происходит электризация. В результате поверхность приобретет новое энергетическое состояние.

3. После прекращения вибрирования происходит тиксотропное восстановление разрушенного цементного геля. При этом процессе агрегирования частиц сдерживается наличием структурированных сольватных пленок на их поверхности, т.е. появлением положительной структурной составляющей расклинивающего давления. Поляризация и разупорядочение структуры ДЭС под действием внешнего электрического поля будет способствовать преодолению барьера отталкивания, тем самым обеспечивая более высокую плотность формуемых смесей.

4. Дальнейшее течение процессов гидратации и структурообразования вяжущих систем будет определяться новым энергетическим состоянием поверхности частиц минералов клинкера и новосформирований, вызванным электризацией в результате внешнего электровоздействия.

Исходя из изложенных предпосылок, предлагается научная гипотеза исследования: поляризация и электризация бетонных

смесей во внешнем высоковольтном электрическом поле в процессе вибрационного уплотнения изменяют ее реологические свойства и создадут активированное неравновесное состояние системы, это будет способствовать формированию более упорядоченной структуры бетона с повышенными физико-механическими свойствами.

3. Объекты и методы экспериментальных исследований

Вяжущие: портландцемент М400, пластифицированный портландцемент М500, глиноземистый цемент "Secar 51".

Заполнители: кварцевый песок, гранитный щебень фракции 5-20 мм.

Дисперсные наполнители: микрокремнезем, молотые кварцевый песок, известняк и доменный основной граншлак.

Химические добавки: поверхностно-активные вещества (СДВ, НЛК), электролиты (NaCl , CaCl_2 , AlCl_3).

Устройство для виброэлектроактивации бетонных смесей представляет собой стандартную виброплощадку ($A=0.35\text{ м}$, $\omega=50\text{ Гц}$) с жестко закрепленной металлической формой для бетонной смеси. Обрабатываемая бетонная смесь контактирует с одним из электродов внешнего источника напряжения "Разряд". Второй электрод отделен высокоомной изоляцией (гетинакс, ПВХ). Параметры электрообработки контролировали киловольтметром (напряжение) и микроамперметром (сила тока); погрешность измерений - 1.5%.

Эффективность электроактивации оценивали по абсолютной и относительной величине прироста прочности бетона по сравнению с контрольными сериями образцов аналогичных составов.

Реологические свойства дисперсных систем, растворных и бетонных смесей определяли с помощью шарикового вибровискозиметра (эффективная вязкость), а также конического пластометра конструкции МГУ (пластическая прочность).

Физико-химические исследования выполнены с помощью РФА (ДРОН-3), ДТА, ИКС (IR-5 "Specord"). Поровая структура бетонов исследована с применением гидродинамического поромера, а также по кинетике водопоглощения.

В работе использованы математические методы планирования эксперимента: дисперсионный анализ латинских планов, ПФЭ I порядка, статистический анализ однородности результатов испытаний и адекватности математических моделей.

4 Влияние параметров электроактиваций на свойства дисперсных систем и бетонных смесей

Электрическая обработка минеральных дисперсий влияет на структурирующую способность твердой фазы. Это отражается на изменении строения ДЭС на поверхности частиц, в результате чего происходит "высвобождение" структурированной дисперсионной среды. Так, величина удельного водоотделения при седиментации цементных суспензий с В/Ц-1 для образцов, обработанных в электрическом поле больше на 3...5 % по сравнению с контрольными образцами. Введение в состав цементных суспензий добавок дисперсных наполнителей (микрокремнезем, молотые известняк и доменный граншлак), а также растворимых веществ (NaCl , CaCl_2 , AlCl_3) изменяет показатели удельного водоотделения при седиментации. При этом структурирующая способность твердой фазы поляризуемых в электрическом поле цементно-водных систем зависит от соотношения полярностей заряда поверхности добавок-наполнителей и внешнего электрического поля, концентрации и валентности катиона добавки-электролита. Проведенные эксперименты по определению седиментации минеральных дисперсий, дают основание полагать, что электрическая обработка дисперсных систем, а также бетонных смесей, должна отражаться на их реологических свойствах. Это особенно важно для улучшения формуемости и уплотняемости бетонных смесей при вибрировании.

Установлено, что эффективная вязкость дисперсных систем зависит от соотношения полярностей внешнего электрического поля и заряда поверхности дисперсных частиц. Так, в системе кварц-вода (кварц имеет отрицательный заряд поверхности, наблюдается снижение вязкости при вибрации при отрицательной полярности внешнего электрического поля. При положительном знаке электрического поля вибровязкость такой системы практически не отличается от значений вибровязкости системы без электрической обработки (рис. 2а). Эффект снижения вибровязкости лежит в интервале напряжения 5...15 кВ, дальнейшее его повышение приводит к росту вибровязкости. В системе известняк-вода (карбонат кальция имеет положительный заряд поверхности) в электрическом поле отрицательной полярности система более структурирована по сравнению с контрольной, а при положительной - вибровязкость заметно снижается (рис. 2б).

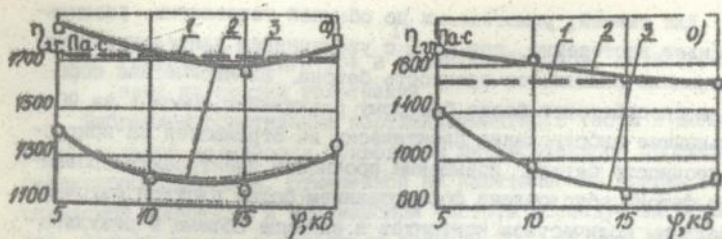


Рис. 2. Зависимость вибровязкости дисперсной системы молотый кварцевый песок - вода (а) и молотый известняк - вода (б), $V/T = 0.22$, от величины электрического потенциала.

1 - обычное виброуплотнение, 2 и 3 - виброуплотнение с электрообработкой в поле отрицательной и положительной полярности, соответственно

Введение в состав дисперсий добавок - электролитов усиливает эффект снижения вязкости при вибрации. Однако в этом случае необходима смена полярности внешнего электрического поля. Так, в системе кварц - вода с добавкой 0.05 %-ного раствора $AlCl_3$ зависимость изменения показателей вибровязкости носит такой же характер как для системы известняк - вода. Это связано со специфической адсорбцией катионов Al^{+++} , которые в соответствии с правилом Шульца - Гарди обладают способностью изменять заряд поверхности дисперсных частиц на противоположный.

Снижение вязкости дисперсных систем при электрической обработке в процессе вибрации имеет важное прикладное значение в технологии бетона. Иллюстрацией могут служить результаты зависимости прочности мелкозернистого бетона от длительности виброуплотнения (рис. 3).

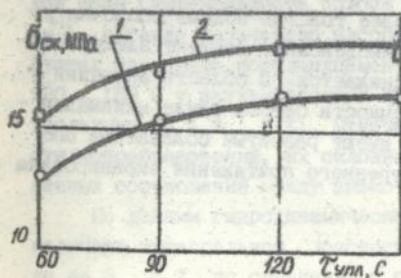


Рис. 3. Влияние длительности виброуплотнения на прочность мелкозернистого бетона 1 - обычное виброуплотнение, 2 - виброуплотнение с электрообработкой

Для смесей, уплотняемых по обычной технологии, разжижение идет постепенно, при этом с увеличением длительности вибрирования повышается прочность бетона. Электрическая обработка способствует более быстрому разжижению смеси - за 90 с, дальнейшее вибрирование практически не отражается на приросте прочности бетона. Повышение прочности электроактивированного бетона обусловлено формированием более плотной матрицы с большим количеством контактов в единице объема в результате снижения вязкости вибрируемой смеси. При этом следует отметить, что максимальный прирост прочности активированных бетонов достигается при оптимальных параметрах: напряжение активации, плотность тока, длительность электрообработки, которые были определены в ходе экспериментальных исследований:

- напряжение - 3...7 кВ;
- плотность тока - 0.5...1 мА/см²;
- длительность электрообработки - равна времени вибрационного уплотнения смесей;
- знак контактного электрода - должен соответствовать интегральному знаку заряда поверхности обрабатываемых материалов.

На эффективность виброэлектроактивации влияет также фактор состава бетонной смеси. Увеличение расхода цемента, а также дисперсности исходных компонентов приводит к более высокому приросту прочности. Относительное изменение прочности активированного бетона от водоцементного отношения носит более сложный характер. Так для мелкозернистого бетона (состав, кг/м³: портландцемент М400 - 500; заполнитель фр. 0.16...1.0 мм - 1550; ВЦ - 0.35...0.575) максимальный прирост прочности отмечен при ВЦ, равных 0.42...0.47, что соответствует величине истинного водоцементного отношения (ВЦ) ист. = (0.9...1.2) * Кн. г. цементного теста. При повышении ВЦ частицы дисперсной фазы имеют более толстые водные оболочки и обладают меньшей энергией взаимодействия - эффект электрической поляризации значительно снижается. В области значений ВЦ - 0.35...0.37 прирост прочности бетона также минимален - в этом случае не все частицы имеют развитые сольватные оболочки, большая часть сил внутреннего притяжения экранирована газовой средой включениями.

Б. Твердение, структура и свойства бетонов, активированных на стадии уплотнения

Виброэлектрoактивация портландцементного теста в поле отрицательной полярности приводит к интенсификации процессов структурообразования, отмеченной по кинетическим кривым пластической прочности и резонансной частоты исследуемых образцов. В тоже время, в интервале времени 30...45 мин. для активированных смесей отмечен фазовый переход второго рода (по И. Г. Гранковскому), что может быть объяснено перестройкой в твердеющей пасте с отделением части иммобилизованной жидкости и самоуплотнением частиц дисперсной фазы. Интенсификация структурообразования активированных вяжущих систем подтверждается также кинетикой нарастания прочности бетона при твердении в нормальных условиях. В 28-суточном возрасте относительное превышение прочности электроактивированного бетона по сравнению с образцами бетона контрольной серии составило 29 %.

Прирост прочности электроактивированных бетонов обусловлен повышением степени гидратации вяжущих, изменением морфологии новообразований, характеристик порового пространства.

По данным РФА, ДТА, ИКС выявлены основные эффекты при твердении вяжущих материалов, вызванные влиянием электрической активации при виброуплотнении цементных паст. Отмечено повышение степени гидратации алита (портландцемент), минералов CA и CA_2 (глиноземистый цемент). Данный эффект достигается в случае, если полярность контактного электрода отрицательная для портландцемента и положительная для пластифицированного портландцемента и глиноземистого цемента. Наряду с этим уменьшается степень гидроксидирования поверхности твердой фазы (интенсивность полосы поглощения при $3400...3500 \text{ см}^{-1}$), а также количество адсорбционно-связанной воды в продуктах твердения портландцемента (потеря массы в интервале $120...150^\circ \text{C}$ у активированных проб меньше по сравнению с контрольными на 1.5...2 %). Отмечено также изменение дисперсности новообразований, их склонности к карбонизации, количественных соотношений между низко- и высокоосновными ГСК.

По данным гидродинамической порометрии установлено, что величина интегральной пористости активированных бетонов меньше на 3...5 % по сравнению с образцами контрольной серии.

Изменяется также характер дифференциального распределения пор в бетоне в сторону уменьшения доли макропор и повышения коэффициента микропористости. В результате активированные бетоны отличаются повышенными физико-механическими показателями, проявляющимися в повышении морозостойкости (на 20...25 циклов), динамического модуля упругости (на 8...10 %), снижении деформаций усадки при высушивании.

В то же время, эффективность электроактивации, оцениваемая по критерию прироста прочности, для различных видов бетонов неодинакова (табл. 1).

Таблица 1

Эффективность электроактивации для различных видов бетонов по критерию прочности

N : Вид : бетона : : :	: Марка : бетона : : :	: Удобоклады- : ваемость бе- : тонной смеси : :	: Прирост прочности : электроактивирова- : ного бетона : : :	: МПа :	: % :
1. Тяжелый цементный бетон	200	О. К. -1-4 см	3-5	15-25	
2. Мелкозернистый бетон	200	Ж-5-10 с	6-8	30-40	
3. Высокопрочный цементный бетон	800	О. К. -5-10 см	8-11	10-12	
4. Огнеупорный бетон на глиноземистом цементе	500	Ж-5-10 с	5-8	10-15	
5. Керамзитобетон	150	О. К. -1-4 см	1-1.5	5-10	

Мелкозернистый бетон имеет максимальное значение относительного прироста прочности, т. к. повышенная удельная поверхность твердой фазы предопределяет его наибольшую "отзывчивость" на электроактивацию.

6. Опытные-промышленные испытания активированных бетонов
Эффективность электрической активации бетонных смесей на различных технологических переделах может быть оценена величиной прироста прочности бетона на единицу энергозатрат. В

этом случае максимальное значение прироста прочности дает активация бетонной смеси в процессе виброуплотнения (10... 20 %/ВА·час), в то же время удельные затраты электроэнергии минимальны и составляют 1.5...2 ВА·час/м³.

Реализация положительного активирующего воздействия электрической обработки виброуплотняемых бетонных смесей в промышленности оборного железобетона может иметь место в решении различных технологических задач, среди которых особую актуальность приобретают мероприятия по энергосбережению, а также рациональному использованию материальных ресурсов.

Опытно-промышленные испытания способа виброэлектроактивации проведены в условиях действующих производств Кураховского ЗЖБК ПО "Донбассэнергостройпром" и малого предприятия "Мастера технологий сталефибробетона" (г. Донецк).

Интенсивная гидратация активированных вяжущих систем, кинетика роста прочности бетона при твердении в нормальных условиях явились предпосылками для разработки укороченных режимов тепловой обработки изделий. Испытания проведены при изготовлении железобетонных свай (М250) из бетонной смеси с удобоукладываемостью ОК-1-4 см. В процессе ТВО параллельно для образцов контрольных и электроактивированных варьировали длительностью изотермического прогрева, максимальное значение которой при $t=80\pm 2.5^\circ\text{C}$ составило 7.5 часов. Установлено (рис. 4), что прочность бетона подчиняется логарифмической временной зависимости, описываемой уравнениями:

$$\sigma_{\text{конт.}} = 40 + 0.5 \cdot \ln \tau \quad (3)$$

$$\sigma_{\text{ваа}} = 52 + 0.608 \cdot \ln \tau \quad (4)$$

где τ - длительность изотермического прогрева, час.

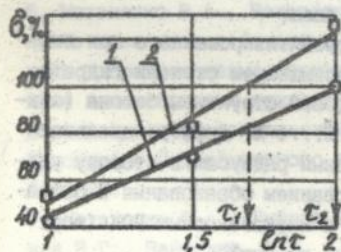


Рис. 4. Рост прочности при изотермическом прогреве исходного (1) и электроактивированного (2) бетонов

Из графика видно, что виброэлектроактивация бетонной смеси дает возможность сократить длительность изотермической выдержки примерно на 2 часа. Это позволяет оптимизировать режимы ТВО с целью экономии теплоносителя, повысить оборачиваемость стальных форм и камер ускоренного прогрева. Последнее отразится на повышении мощностей технологических линий.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. На основе теоретических и экспериментальных исследований влияния внешнего электрического поля на межчастичные взаимодействия в дисперсных системах, реологические свойства смесей, физико-механические показатели бетонов разработан малоэнергоёмкий способ электрической активации бетонных смесей в процессе вибрационного уплотнения.

2. Выявлен эффект снижения эффективной вязкости вибрируемой бетонной смеси на 20...25 % и повышение значений ее пластической прочности после прекращения вибрации в результате электрической поляризации.

3. Максимальный эффект повышения прочности бетона (40%) достигается при следующих условиях виброэлектроактивации:
- (В/Ц) ист. - должно соответствовать величине $(0.9...1.2) \cdot \kappa_{\text{н.г.}}$ цементного теста;

- полярность контактного электрода - должна соответствовать интегральному заряду поверхности дисперсных частиц бетонных смесей;

- напряжение поляризации - 3...7 кВ;

- плотность тока - 0.5...1 мА/м².

4. Электрическая активация вибрируемой бетонной смеси интенсифицирует рост прочности бетона при естественном твердении и в условиях ТВО в 1.1...1.4 раза.

5. Повышение прочности электроактивированного при виброуплотнении бетона обусловлено повышением степени гидратации цемента, модифицированием поровой структуры бетона (снижение интегральной пористости на 2...4 %, дифференциальное перераспределение пор по их условным радиусам в сторону увеличения доли микропор), стимулированием образования в составе продуктов твердения афвиллита и низкоосновных ГСК (портландцемент) и C_2AH_6 (глиноземистый цемент).

6. Поляризационная электроактивация вибрируемых бетон-

ных смесей позволяет экономить 10...15 % цемента, сократить длительность изостермического прогрева при ТВО на 25...30 %, повысить оборачиваемость стальных форм и тепловых установок.

7. На основе опытно-промышленных испытаний способ виброэлектроактивации бетонных смесей включен в технологический регламент на производство элементов коксовых батарей из огнеупорного бетона (малое предприятие "Мастера сталелитейного бетона", г. Донецк). В результате достигнуто снижение себестоимости 1 м³ бетонной смеси изделий на 8%.

Основное положение диссертации изложено в следующих работах:

1. Зайченко Н.М. Электровиброактивированный бетон / Новые исследования в строительстве: Сб. научн. тр. - Макеевка: МКИСИ, 1993. - с.17-21.
2. Матвиенко В.А., Зайченко Н.М. Оптимизация параметров электроактивации бетонных смесей на стадии уплотнения по критерию прочности. - Деп. в ГНТБ Украины 05.04.95 г., N"743 - Ук 95. - 8 с.
3. Зайченко Н.М. Энергосбережение в технологии изделий из виброэлектроактивированных бетонных смесей. - Деп. в ГНТБ Украины 05.04.95 г., N"744 - Ук 95. - 7 с.
4. Зайченко Н.М., Матвиенко В.А., Губарь В.Н. Регулирование межфазных и межчастичных взаимодействий в дисперсных системах при виброуплотнении/Ресурсосбережение и экология промышленного региона: Сб. трудов в 3-х т. - Макеевка, 1995. - т.1, с.71.
5. Матвиенко В.А., Губарь В.Н., Зайченко Н.М., Вешневская В.Г. Малоэнергоемкая электроактивация в технологии бетона / Ресурсосбережение и экология промышленного региона: Сб. трудов в 3-х т. - Макеевка, 1995. - т.1, с.95-100.
6. Матвиенко В.А., Вешневская В.Г., Зайченко Н.М. Эффективность электродействия в период формирования структуры бетона / Прогрессивные строительные материалы и изделия на основе использования природного и техногенного сырья. Тезисы докладов научно-технической конференции. - Санкт-Петербург: Типография Петербургского ин-та инж. ж-д транс., 1992. - С.35-37.
7. Матвиенко В.А., Губарь В.Н., Васюкевич С.Г., Вешневская В.Г., Зайченко Н.М., Лагунов Ю.А. Электроактивация в технологии бетона / Тезисы докладов научно-технического се-

минара "Физико-химические и технологические особенности получения малоцементных строительных материалов и конструкций" - Одесса - Киев: РДНП, 1992.- С.27.

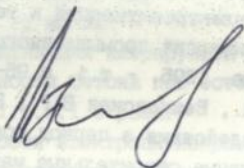
8. Матвиенко В.А., Зайченко Н.М., Вешневская В.Г. Эффективность воздействия на бетонные смеси в нестационарных режимах / Тезисы докладов Международной конференции "Ресурсосберегающие технологии строительных материалов, изделий и конструкций" - Белгород: ВТИСМ, 1993.- С.89.

9. Матвиенко В.А., Зайченко Н.М., Вешневская В.Г. Структура и свойства бетонов из активированных смесей / Тезисы докладов II Международной конференции "Материалы для строительства" - Днепрпетровск: ДИСИ, 1993.- С.112-113.

10. Матвиенко В.А., Зайченко Н.М., Вешневская В.Г., Лагунов Ю.А. Активация твердения бетона током высокого напряжения / Тезисы докладов международной научно-технической конференции "Экология промышленного региона" - Донецк, ЭКОТЕХ, 1993. - С.71-73.

11. Матвиенко В.А., Гбарь В.Н., Зайченко Н.М. Особенности структуры и свойств электроактивированных бетонов / Материалы международного семинара "Структурообразование, прочность и разрушение композиционных строительных материалов и конструкций" - Одесса, 1994. - С.42.

12. Матвиенко В.А., Зайченко Н.М. Оценка эффективности электрической поляризации цементно-водных систем с помощью латинского плана / Материалы докладов межгосударственного семинара "Моделирование в материаловедении" - Одесса, 1995.-С.26.



Зайченко М.М. Бетони, електроактивовані на стадії вібраційного ущільнення

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.05 "Будівельні матеріали і виробы", Донбаська державна академія будівництва і архітектури, Макіївка, 1995.

Захищається дисертаційна робота, що містить результати теоретичних та експериментальних досліджень в галузі розробки способу активації бетонних сумішей на стадії вібраційного ущільнення.

Електрична активація бетонних сумішей на стадії вібраційного ущільнення сприяє поліпшенню їх легкоукладності, що позначається на формуванні структури цементного бетону підвищеної щільності. Віброелектроактивований бетон характеризується поліпшеними фізико-механічними властивостями: міцність зразків на стиск зростає на 20...40 %, підвищується морозостійкість (на 20...25 циклів), зникає усадка.

Виробничий випуск активованих бетонів здійснено в малому підприємстві "Майстри технологій сталевібробетону" м.Донецька. Досягнуто зниження собівартості бетонних виробів на 8 %.

Ключові слова: електроактивація, вібраційне ущільнення, дисперсні системи, бетонні суміші, щільність, міцність на стиск.

Zaytchenko N.M. Concretes, electroactivated during the stage of vibration seal

Ph.D. Research Work

Speciality No. 05.23.05 "Building materials and products". Donbass State Academy of Building and Architecture, Makeevka, 1995.

The work cover the results of theoretical and experimental investigation in the field of development of electrical activation method of concrete mixes during the stage of vibration seal.

The processing of concrete mixes in electrical field during the stage of vibration seal improves their mouldability. It effects the formation of more dense cement concrete structure. Activated concretes are characterized by improved physical-mechanical properties: high concrete compressive strength, better frost resistance, decreased shrinkage.

The activated concrete was put into practice at the small business "Masterya tehnologiy stalefibrobetona", Donetsk. The manufacturing cost of concrete products has been decreased by 8%.

Key words: electroactivation, vibration seal, dispersed systems, concrete mixes, density, compressive strength.

Подп. в печать 07.09.95. Формат 60x84 1/16. Бумага тип. №2.
Офсетная печать. Усл. печ. л. I, 39. Усл. кр. - отт. I, 50. Уч. - изд. л. I, 27.
Тираж 100 экз. Зак. №1629.
Донбасская государственная академия строительства и архитектуры,
339023, Донецкая обл., г. Макеевка, ул. Державина, 2.
Типография "Новый мир", 340050, Донецк, ул. Артема, 96

AB 33.212