

УКРАИНСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

ЗАЙЧЕНКО Людмила Геннадиевна

УДК 536.24:666.987:538.6

**МЕЛКОЗЕРНИСТЫЕ ЦЕМЕНТНЫЕ БЕТОНЫ,
АКТИВИРОВАННЫЕ ВО ВРАЩАЮЩЕМСЯ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ**

05.23.05 – строительные материалы и изделия

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание научной степени
кандидата технических наук

Харьков – 2007

Диссертацией является рукопись.

Работа выполнена на кафедре технологий строительных материалов, изделий и автомобильных дорог Донбасской национальной академии строительства и архитектуры Министерства образования и науки Украины.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
БРАТЧУН Валерий Иванович
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры (г. Макеевка), заведующий кафедрой технологий строительных материалов, изделий и автомобильных дорог.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
ШИШКИН Александр Алексеевич
Криворожский государственный технический университет, заведующий кафедрой технологии строительных материалов, изделий и конструкций;

кандидат технических наук
ПОПОВ Сергей Владимирович
Донецкий ПромстройНИИпроект корпорации "Укрстрой", ведущий научный сотрудник отдела строительных материалов, изделий и конструкций.

Ведущая организация: Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры (кафедра технологии строительных материалов, изделий и конструкций) Министерства образования и науки Украины (г. Днепропетровск).

Защита состоится "22" марта 2007 г. в 14⁰⁰ часов на заседании специализированного ученого совета Д 64.820.02 Украинской государственной академии железнодорожного транспорта по адресу: 61050, Украина, г. Харьков, пл. Фейербаха, 7.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Украинской государственной академии железнодорожного транспорта по адресу: 61050, Украина, г. Харьков, пл. Фейербаха, 7.

Автореферат разослан " " февраля 2007 г.

Ученый секретарь
специализированного ученого совета, к.т.н.

Г.Л. Ватуля

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Многообразие элементарных актов, которые происходят при твердении портландцемента, предоставляет широкие возможности для разработки способов ускорения набора прочности бетона, повышения физико-механических и эксплуатационных свойств бетонных и железобетонных изделий. Наиболее распространенными в этом отношении являются способы теплового воздействия и использование химических добавок-ускорителей. В значительно меньшей мере используются электрофизические воздействия, в частности, электромагнитная активация. Существуют серийные установки, которые работают по принципу вихревого слоя – реакторы, смесители, диспергаторы, экстракторы, активаторы и др. Независимо от назначения таких установок основными их узлами являются индуктор вращающегося электромагнитного поля, рабочая камера и ферромагнитные частицы. Недостатком аппаратов вихревого слоя является очень быстрый износ стенок рабочей камеры и необходимость частого возобновления заданного объема ферромагнитных частиц. С этой точки зрения более перспективной является обработка смесевых композиций, которые содержат в своем составе необходимое количество веществ с ферромагнитными свойствами. Применительно к компонентам бетонных смесей таким веществом является алюмоферритная фаза портландцементного клинкера, однако ее содержание в пересчете на 1 м^3 бетонной смеси не превышает 1,5 об. %. Усиление эффектов от электромагнитной обработки может быть достигнуто при введении в состав бетонной смеси дополнительных центров с высокой магнитной восприимчивостью. Это – железобариевые цементы, железосодержащие отходы горно-обогатительных комбинатов. В то же время дисперсные минеральные отходы топливно-энергетической и металлургической промышленности, применяемые в составе бетона в качестве активных минеральных добавок, содержат достаточно высокое количество оксидов железа. Их магнитные свойства и влияние на эффективность электромагнитной обработки бетонных смесей изучены не достаточно. Электромагнитная активация бетонных смесей, содержащих в своем составе дисперсные минеральные добавки с высоким содержанием кремнезема, глинозема и оксидов железа, позволит существенно повысить физико-механические и эксплуатационные свойства бетонов, снизить себестоимость бетонных и железобетонных изделий.

Связь работы с научными программами, планами, темами. Исследования выполнялись согласно с направлениями реализации "Программы научно-технического развития Донецкой области на период до 2020 г." в рамках научно-технического проекта "Ресурсосберегающие технологии переработки минеральных отходов промышленности Донбасса в эффективные строительные материалы и изделия", а также в соответствии с госбюджетными научно-исследовательскими темами по заказу Министерства образования и науки Украины: "Эффективные технологии переработки промышленных отходов

органического и минерального происхождения в высококачественные дорожные бетоны” (2003–2005 гг., № 0103U000588); “Разработка научных, технических и технологических основ для создания бетонных и железобетонных конструкций, строительных изделий с высокими физико-механическими и эксплуатационными свойствами” (2006–2008 гг., № 0106U002949).

Цель исследования – разработка составов мелкозернистых цементных бетонов с повышенными физико-механическими и эксплуатационными свойствами, которые содержат ферромагнитные минеральные добавки, на основе установления механизма активации процессов формирования структуры и свойств бетона во вращающемся электромагнитном поле.

Задачи исследований:

– обосновать выбор минеральных добавок для мелкозернистых цементных бетонов на основе экспериментальных исследований их магнитных свойств и пуццолановой активности;

– оптимизировать параметры электромагнитной активации бетонных смесей;

– исследовать влияние вращающегося электромагнитного поля на формирование состава продуктов гидратации портландцемента с ферромагнитными минеральными добавками;

– определить параметры поровой структуры, физико-механические и эксплуатационные свойства мелкозернистых бетонов, активированных во вращающемся электромагнитном поле;

– разработать опытно-промышленную установку; выполнить производственные испытания способа электромагнитной активации бетонных смесей и свежееотформованных изделий и определить его технико-экономическую эффективность.

Объект исследования – мелкозернистые цементобетонные смеси и бетоны, содержащие ферромагнитные минеральные добавки, активированные во вращающемся электромагнитном поле.

Предмет исследования – закономерности формирования структуры и свойств мелкозернистых цементных бетонов, содержащих ферромагнитные минеральные добавки, под воздействием вращающегося электромагнитного поля.

Методы исследований. Экспериментальные исследования выполнены с помощью стандартных и специальных методов. Намагниченность насыщения минеральных добавок определяли с помощью магнитных весов. Состав продуктов гидратации цементного камня исследован с использованием дериватографического и рентгенофазового методов физико-химического анализа, инфракрасной спектроскопии. Оптимизация параметров электромагнитной обработки бетонных смесей и их составов выполнена с применением математических моделей (программа "Astat 2.0" в среде "MathCAD for Windows"). Для обработки и анализа результатов экспериментов использованы методы математической статистики.

Научная новизна полученных результатов заключается в следующем:

- теоретически и экспериментально обоснован способ активации мелкозернистых цементобетонных смесей во вращающемся электромагнитном поле, который заключается в том, что обработке подвергаются бетонные смеси или свежееотформованные изделия, содержащие в своем составе дисперсные минеральные добавки с магнитными свойствами;

- установлена зависимость между удельной намагниченностью насыщения дисперсных минеральных веществ из отходов металлургической и топливно-энергетической промышленности, которые применяются в качестве пуццолановых добавок для бетонов, и их химическим составом, в частности содержанием оксидов железа; показано, что такие добавки реагируют на действие внешнего магнитного поля как типичные ферромагнетики;

- показано, что наличие в составе бетонных смесей дисперсных минеральных добавок (зола-унос, молотый шлак ТЭС, колошниковая пыль металлургических комбинатов), которые содержат оксиды железа, повышает эффективность активации во вращающемся электромагнитном поле; это обуславливает проявление пластифицирующего эффекта в бетонных смесях и повышение прочности бетона при сжатии;

- определены оптимальные соотношения между минеральными добавками, которые содержат разное количество оксидов железа и кремнезема, что в сочетании с оптимальными параметрами электромагнитной активации обеспечивает получение мелкозернистых цементных бетонов с повышенными физико-механическими и эксплуатационными свойствами.

Практическое значение полученных результатов заключается в разработке и внедрении технологического регламента производства фигурных элементов мощения (ФЭМ) из мелкозернистого цементного бетона, содержащего ферромагнитные минеральные добавки, который предусматривает в операционной структуре технологического процесса активацию свежееотформованных бетонных изделий во вращающемся электромагнитном поле (ЗАО "Бетон-Нова", пгт. Мироновский). При невысоких энергозатратах это позволяет интенсифицировать процессы структурообразования, повысить физико-механические и эксплуатационные свойства бетона (предел прочности при сжатии бетона повышается на 25...32 %, морозостойкость – на одну марку) или сократить расход портландцемента на 8...10 %, что отражается на снижении себестоимости изделий (ФЭМ) на 18...20 грн./м³.

Способ активации свежееотформованных изделий во вращающемся электромагнитном поле защищен патентом Украины. Обработку бетонных смесей, содержащих ферромагнитные минеральные добавки, рекомендуется выполнять в серийных аппаратах вихревого слоя – ВА-100, АВС-100, АВС-150, АВСП-100.

Личный вклад соискателя заключается в проведении экспериментальных исследований, обработке и интерпретации полученных данных, внедрении результатов исследований в производство с определением технико-экономической эффективности предложенных решений. Отдельные

составляющие теоретических и экспериментальных исследований, а также внедрение результатов диссертационной работы выполнены с соавторами научных работ, изложенных в списке публикаций.

Апробация диссертационной работы. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на: III, IV, V международных научных конференциях студентов, аспирантов и молодых ученых "Применение новых материалов, конструкций, технологий при решении экологических проблем природопользования и охраны окружающей среды" (Макеевка, 2004 г., 2005 г., 2006 г.); научно-технических семинарах "Структурообразование, прочность и разрушение композиционных строительных материалов и конструкций" (Одесса, 2004 г., 2005 г., 2006 г.); III международной научно-практической конференции "Инновационные технологии диагностики, ремонта и восстановления объектов строительства и транспорта" (Алушта, 2005 г.); II научно-технической конференции "Енергозаощадження у будівництві" (Черновцы, 2006 г.); V научно-технической конференции "Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди" (Ровно, 2006 г.); международной научно-технической конференции "Современные строительные конструкции и материалы для промышленного, гражданского и дорожного строительства" (Макеевка, 2006 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 9 статей, в том числе 7 – в научных специализированных изданиях, которые входят в перечень ВАК Украины (2 статьи без соавторов), получен патент Украины на изобретение.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти разделов, выводов, списка литературы из 174 наименований на 17 страницах, двух приложения на 33 страницах, содержит 165 страниц, в том числе 105 страниц основного текста, 33 рисунка, 32 таблицы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи диссертационного исследования, изложены научная новизна и практическое значение работы, приведены сведения по структуре и объему диссертации, публикациям и апробации работы.

В первом разделе выполнен анализ современного состояния вопроса по направлению темы диссертации, изложены теоретические предпосылки исследований, на основе которых сформулированы научные гипотезы работы.

Анализ публикаций ведущих отечественных и зарубежных ученых в области строительного материаловедения свидетельствует о том, что общим направлением усовершенствования бетонов нового поколения должно стать повышение показателей качества, а также энерго- и ресурсосбережение при их производстве. В рамках разработки современных технологий производства бетонных и железобетонных изделий значительное внимание уделяется исследованиям влияния различных кратковременных активационных воздействий

на твердеющие системы, в частности с использованием энергии электрических и электромагнитных полей. При этом выбор того или иного вида активации или их сочетание обуславливаются конкретными технологическими задачами, а время, длительность и интенсивность воздействия должны отвечать "принципу соответствия".

Исследованию влияния электрических и электромагнитных полей на процессы гидратации и твердения минеральных вяжущих веществ и бетонов посвящены работы ученых и научных коллективов, выполненные под руководством Я.Л. Арадовского, А.С. Арбеньева, В.И. Бабушкина, Ю.М. Бутта, И.Г. Гранковского, И.М. Грушко, П.Г. Комохова, Н.Н. Круглицкого, А.И. Кудякова, В.А. Матвиенко, С.А. Миронова, О.П. Мчедлова-Петросяна, А.Н. Плугина, А.Ю. Сичкаревой, М.М. Сычева, В.А. Улазовского, Su N., Wu C-F., Wu Y-H., Yu Q., Yueming F. и др.

Показано, что в технологии бетона энергия электрических и электромагнитных полей реализуется, в основном, по двум направлениям. Первое – связано с длительным воздействием электромагнитных полей на твердеющие системы, когда электрическая энергия превращается в тепловую и используется для ускорения набора прочности бетона. Во втором случае электрические и электромагнитные поля создают условия, обеспечивающие значительную интенсификацию процессов гидратации и твердения вяжущих веществ при кратковременном внешнем воздействии.

Одним из способов проявления таких влияний является магнитная обработка воды затворения бетонных смесей. Бетонные смеси, приготовленные на "омагниченной" воде, характеризуются более высокой удобоукладываемостью, а также интенсивным структурообразованием, что связывают с изменениями структуры воды под действием магнитного поля (Ю.М. Бутт, М.М. Сычев, Su N.). В то же время данный эффект не является стабильным, а колебания свойств исходных компонентов бетонной смеси могут в более значительной степени влиять на конечные результаты, чем "омагниченная" вода (В.П. Сизов).

Кроме того, установлено, что комплексное воздействие на воду затворения более существенно отражается на ускорении процессов структурообразования в бетоне, чем магнитная обработка водопроводной воды (И.М. Грушко). Среди различных способов, стабилизирующих эффект магнитной модификации структуры воды, выделяют физико-химическую водоподготовку, что предусматривает предварительную деаэрацию воды (И.М. Грушко, Л.А. Белова); дегазацию в ультразвуковом поле (В.А. Бирюков); введение в воду различных добавок (В.И. Бабушкин, В.А. Бирюков, И.Г. Гранковский). Особенно эффективно применение солей железа (И.М. Грушко, Н.Н. Круглицкий), а также предварительно омагниченных минеральных ферромагнитных добавок (Л.М. Лазаренко, С.И. Сахно).

В то же время более эффективной может быть обработка не отдельных компонентов, а бетонных смесей в целом. При этом в их состав необходимо вводить вещества, восприимчивые к магнитному воздействию (А.Ю. Сичкарева).

Это, например, различные минеральные добавки с высоким содержанием оксидов железа и кремния, широко применяемые в составах бетона в качестве пуццоланов. Их магнитные характеристики, а также влияние на процессы формирования структуры и свойств бетонов, активированных во вращающемся электромагнитном поле, практически не изучены.

На основании проведенных теоретических исследований механизм активации бетонных смесей, содержащих в своем составе минеральные добавки с магнитными свойствами (зола-унос ТЭС, колошниковая пыль), во вращающемся электромагнитном поле, обобщен в виде **научных гипотез**:

- вода, как полярная жидкость, за счет водородных связей образует ассоциаты из нескольких молекул (рис. 1. – 1 а). Под воздействием внешнего магнитного поля происходит деформация связей в структуре воды, разрушение ассоциатов до молекул (1 б) – свободные молекулы воды приобретают повышенную подвижность и легче проникают к поверхности вяжущего, вызывая его гидратацию;

- вращающееся ЭМП будет оказывать влияние на структуру двойных электрических слоев вокруг дисперсных частиц, переводя их из равновесного (2 а) в неравновесное состояние (2 б), что приведет к появлению дипольного момента, а также изменению концентрации ионов в пределах диффузной обкладки ДЭС и за ее пределами – в твердеющей системе интенсифицируются массообменные процессы (растворение и гидролиз клинкерных минералов); при появлении индуцированного дипольного момента между частицами возникает диполь-дипольное притяжение;

- частицы минеральных добавок, содержащих ферромагнитные оксиды, под воздействием вращающегося ЭМП совершают поступательные и вращательные движения (3 б). В бетонной смеси эти движения могут рассматриваться как микроколебания частиц в вязком цементном тесте – результирующая совокупного воздействия множества частиц в системе приведет к более равномерному распределению дисперсионной среды между частицами твердой фазы. Это обусловит повышение пластичности смеси, ускорение гидратации вяжущего в результате постоянного отвода продуктов гидратации с поверхности зерен.

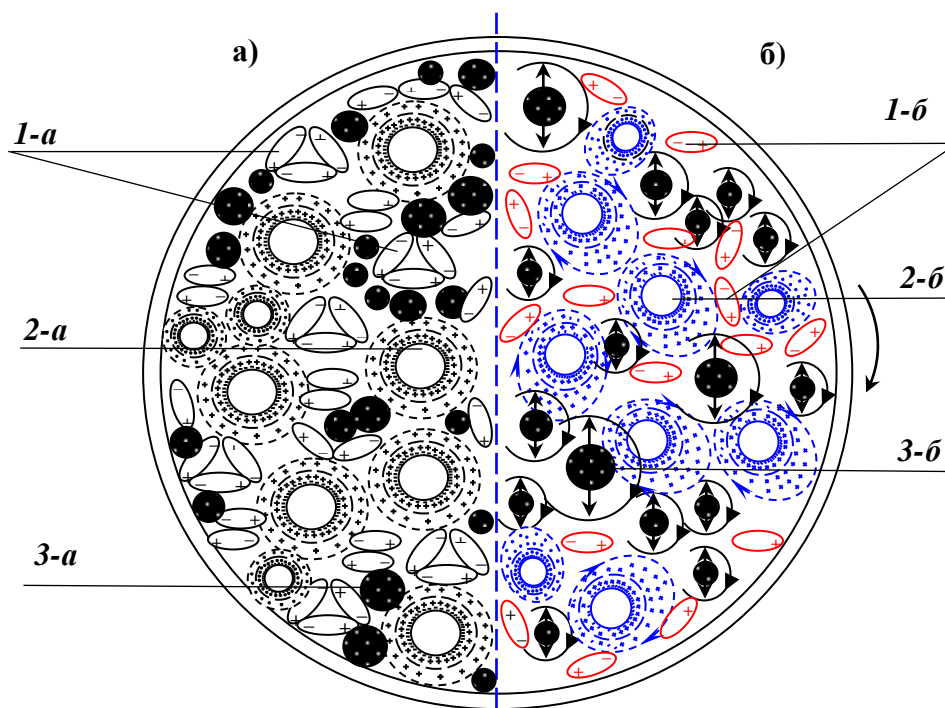


Рис. 1. Влияние вращающегося ЭМП на цементную пасту:

а – в отсутствие ЭМП; б – при наличии ЭМП.

1-а – ассоциаты из молекул воды; 1-б – неассоциированные молекулы воды;

2-а – сольватированная частица с равновесным ДЭС; 2-б – то же, с неравновесным; 3 – минеральная ферромагнитная добавка.

Во втором разделе приведены свойства исходных материалов, изложены методы исследований, приведены конструктивные характеристики установки для обработки смесей во вращающемся электромагнитном поле, а также выполнено обоснование выбора объектов исследования – минеральных добавок для бетонов, на основе их пуццолановой активности и магнитных свойств.

При проведении экспериментов в качестве исходных материалов приняты:

- вяжущие вещества – молотый в шаровой мельнице до удельной поверхности 320-350 м²/кг портландцементный клинкер Амвросиевского цементного комбината; портландцемент Балаклеевского цементного комбината СЕМ I-42,5 N;

- заполнители: кварцевый песок Просяновского месторождения ($M_{кр} = 2,1$); золо-шлаковая смесь Углегорской ТЭС ($M_{кр} = 3,1$); щебень гранитный Кальчикского карьера (фракция 5-10 мм);

- минеральные добавки: зола-унос (ЗУ) и молотый шлак Углегорской ТЭС; зола-унос Зуевской и Кураховской ГРЭС; колошниковая пыль (КП) Макеевского металлургического комбината (химический состав приведен в табл. 1);

- химические добавки: суперпластификатор С-3 (ТУ 2481-001-51831493-00); железо сернокислое 9-водное $Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$ (ГОСТ 9458-74); железо хлористое 7-водное $FeCl_2 \cdot 7H_2O$ (ТУ 6-05-1828-77).

Таблица 1

Химический состав минеральных добавок бетона

Содержание оксидов, %	Наименование добавки				
	зола-унос Кураховской ГРЭС	зола-унос Зуевской ГРЭС	шлак Углегорской ТЭС	зола-унос Углегорской ТЭС	колошниковая пыль ММК
SiO ₂	55,21	59,48	55,66	53,60	8,66
Al ₂ O ₃	26,90	22,41	22,40	21,79	1,54
Fe₂O₃	5,73	8,25	15,00	15,39	41,64
TiO ₂	0,76	1,00	0,75	0,75	FeO – 6,73
CaO	2,68	3,08	2,10	2,52	10,70

MgO	1,54	1,30	1,60	1,00	1,27
P ₂ O ₅	0,07	0,09	0,07	0,09	MnO – 0,37
K ₂ O	3,04	2,96	2,26	2,08	C – 10,90
Na ₂ O	1,45	0,80	0,78	0,74	-
SO ₃	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,32
ППП	2,59	0,45	0,02	1,27	20,72

Экспериментальные исследования выполнены с помощью стандартных и специальных методов. Морозостойкость бетона определена ускоренным методом по ДСТУ Б В.2.7-49-96. Состав продуктов гидратации цементного камня исследован с использованием дериватографического (дериватограф Q-1500: диапазон температур 20...950°C, скорость нагрева 10°C/мин.) и рентгенофазового (дифрактометр "Дрон-3": напряжение 40 кВ, ток анода 30 мкА, скорость съемки 1°/мин., катод Cu_α (Ni)); методов, а также инфракрасной спектроскопии (спектрометр "IR-75 Specord": прессованные порошки под давлением 10⁹ Па с добавкой KBr). Полученные экспериментальные данные обработаны методами математической статистики.

Для обработки цементных паст и бетонных смесей во вращающемся электромагнитном поле разработана экспериментальная установка, схема которой приведена на рис. 2. Ее основными узлами являются: индуктор (1), схема управления (2) и измерительная цепь (3). Питание индуктора осуществляется от сети переменного тока частотой 50 Гц, напряжение 380 В.

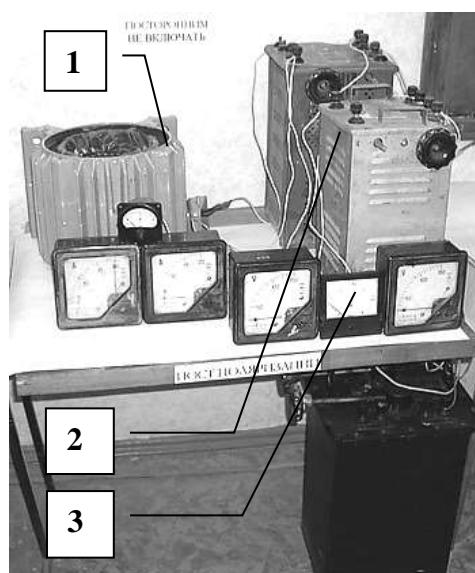


Рис. 2. Экспериментальная установка для электромагнитной обработки бетонных смесей.

Схема управления состоит из однофазных автотрансформаторов, включенных в каждую фазу, что дает возможность регулировать напряжение и величину тока в обмотках индуктора в пределах: напряжение – $0...100\text{ В}$, сила тока – $0...30\text{ А}$. Измерительная цепь состоит из блока амперметров и вольтметров, а также индуктивного зонда и цифрового милливольтметра. Величина электромагнитной индукции в рабочей зоне индуктора – $0,01...0,03\text{ Тл}$.

Намагниченность насыщения минеральных добавок определяли с помощью магнитных весов. Установлено, что исследуемые минеральные дисперсные материалы из отходов металлургической и топливно-энергетической промышленности в той или иной мере обладают магнитными свойствами. Характер зависимостей намагниченности насыщения минеральных добавок от напряженности внешнего магнитного поля (рис. 3) свидетельствует о том, что все материалы ведут себя как типичные ферромагнетики. При слабых значениях внешнего магнитного поля до 240 кА/м наблюдается быстрый рост намагниченности, которая при больших значениях напряженности поля достигала насыщения. Из исследуемых минеральных добавок в наибольшей мере этой зависимости отвечают колошниковая пыль ММК и зола-унос Углегорской ТЭС (содержание Fe_2O_3 – $41,6\%$ и $15,4\%$, соответственно, а количество частиц, которые сепарируются с помощью постоянного магнита, составляет 50% и $21,6\%$ от общей навески материала).

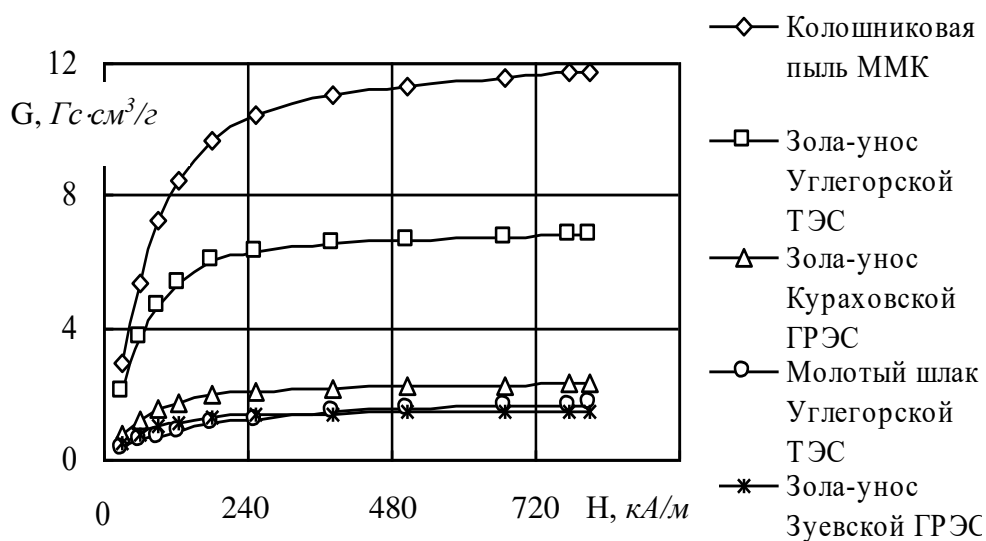


Рис. 3. Зависимость удельной намагниченности насыщения минеральных добавок G от напряженности внешнего магнитного поля H .

Установлено, что наибольшей пуццолановой активностью по поглощению извести из всех исследуемых минеральных добавок характеризуется молотый шлак Углегорской ТЭС ($\alpha_{\text{CaO}}=28\text{ мг/г}$). При практически одинаковом химическом составе золы-уноса и шлака Углегорской ТЭС в последнем содержится значительно меньше оксида кремния в закристаллизованном состоянии, что

подтверждается результатами рентгенофазового анализа этих веществ. В то же время магнитная восприимчивость шлака – низкая.

Таким образом, для дальнейших исследований в качестве минеральных добавок для мелкозернистых бетонов приняты зола-унос Углегорской ТЭС, имеющая достаточно высокую пуццолановую активность наряду с ферромагнитными свойствами, и колошниковая пыль ММК в качестве добавки к золе-уноса для повышения магнитной восприимчивости комплексной минеральной добавки ЗУ+КП.

В третьем разделе приведены результаты исследований структурообразования минеральных дисперсий, цементных паст и бетонных смесей, активированных во вращающемся электромагнитном поле; определено влияние минеральных добавок, характеризующихся магнитными свойствами, на эффективность электромагнитной обработки смесей, выполнена оптимизация параметров электромагнитной активации и составов мелкозернистых бетонных смесей.

Установлено, что непосредственно после обработки цементной пасты во вращающемся электромагнитном поле ее пластическая прочность оказалась ниже по сравнению с контрольным образцом (рис. 4, а). Это связано с проявлением пластифицирующего эффекта в цементной пасте, вызванного, вероятно, изменением структуры и свойств жидкой фазы, адсорбированной поверхностью частиц цемента. Через пять минут после обработки и в дальнейшем фиксируются более высокие показатели пластической прочности активированной пасты в сравнении с контрольным образцом. Эта тенденция сохраняется и при дальнейшем твердении камня вяжущего (рис. 4, б).

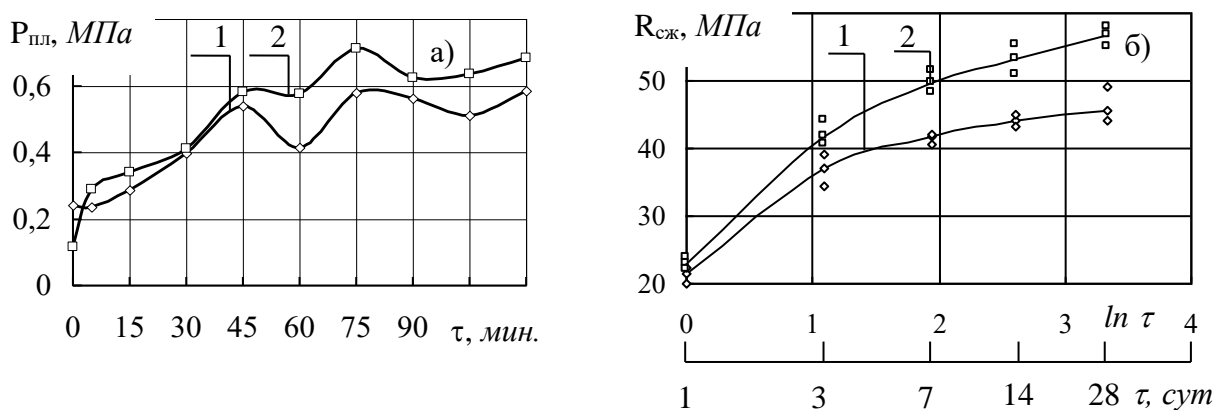


Рис. 4. Зависимость пластической прочности цементной пасты $P_{пл}$. (а) и предела прочности при сжатии цементного камня $R_{сж}$. (б) от длительности твердения τ :

1 – контрольный образец;

2 – образец цементной пасты, активированной в ЭМП.

При воздействии электромагнитного поля на минеральную дисперсию в виде зольной пасты (зола-унос + дистиллированная вода) объем жидкой фазы, выделившейся после седиментации дисперсной фазы, увеличивается, а кинетика оседания частиц ускоряется. При этом более высокие значения удельного водоотделения отмечены для систем с большей концентрацией твердой фазы ($V/T=0,5$) в сравнении с разбавленными ($V/T=1$). Это связано с тем, что при избытке жидкой фазы в системе на поверхности дисперсных частиц образуются более толстые сольватные оболочки в виде слабо связанной жидкости, которые менее структурированы, - поэтому эффективность электрофизических воздействий значительно меньше в сравнении с более концентрированными дисперсными системами.

При введении в состав цементной пасты золы-уноса ТЭС электромагнитная активация более существенно влияет на кинетику структурообразования. По сравнению с составами цементных паст без минеральной добавки величина пластической прочности цементно-зольной пасты непосредственно после обработки в электромагнитном поле значительно ниже, чем у контрольного образца такого же состава. Под влиянием вращающегося ЭМП частицы золы-уноса, которые характеризуются ферромагнитными свойствами, совершают микроколебания в вязком цементном растворе и тиксотропно его разжижают.

В результате создаются условия для формирования структуры с большим количеством контактов в единице объема – величина пластической прочности активированных паст через 160 минут твердения на 40...45 % выше по сравнению с контрольными образцами. Необходимо отметить и возможное проявление последствий активационной обработки, обусловленное запоздалым восстановлением равновесия системы, нарушенного воздействием внешнего магнитного поля.

В мелкозернистых бетонных смесях замена части кварцевого песка на колошниковую пыль или полностью на золо-шлаковую смесь при неизменном расходе воды затворения приводит к снижению удобоукладываемости бетонных смесей (по диаметру расплыва конуса на встряхивающем столике). Однако после обработки бетонных смесей во вращающемся ЭМП наблюдается повышение их удобоукладываемости по сравнению с контрольными, особенно при увеличении в их составах содержания ферромагнитных минеральных добавок.

Более интенсивная гидратация портландцемента положительно отображается на кинетике роста прочности активированного бетона, содержащего ферромагнитные минеральные добавки (состав мелкозернистого бетона, кг/м^3 : портландцемент М400 – 600; золо-шлаковая смесь – 1400; вода – 280). При этом наблюдается тенденция снижения разницы между прочностью бетона при сжатии для активированных и контрольных образцов с увеличением длительности твердения (рис. 5).

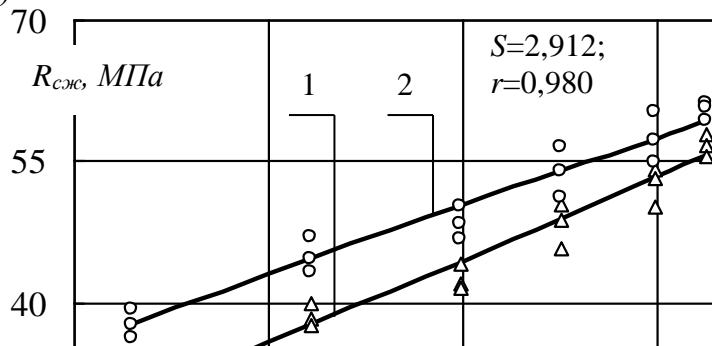


Рис. 5. Зависимость предела прочности бетона при сжатии $R_{сж.}$ от длительности твердения τ :
 1 – контрольные образцы;
 2 – образцы, приготовленные из бетонной смеси, активированной в ЭМП.

Так, если в возрасте 7 и 28 суток предел прочности при сжатии образцов из активированной бетонной смеси составляет соответственно 140 % и 123 % относительно контрольных образцов бетона, то в возрасте 540 суток это значение снижается до 105 %.

В то же время для аналогичного состава мелкозернистого бетона, в котором взамен золо-шлаковой смеси использован кварцевый песок, прирост предела прочности при сжатии образцов бетона из активированной бетонной смеси относительно контрольных в возрасте 28 суток составляет только 113 %.

Химический состав минеральных добавок свидетельствует о том, что колошниковая пыль в отличие от золы-уноса характеризуется повышенными потерями при прокаливании и значительно меньшим содержанием диоксида кремния. В этом случае задача получения мелкозернистых бетонов с высокими прочностными и эксплуатационными свойствами может быть решена при комбинировании в составе бетона минеральных добавок, которые имеют высокую пуццолановую активность и магнитную восприимчивость.

С этой целью проведена оптимизация параметров, которые влияют на эффективность активации бетонных смесей во вращающемся электромагнитном поле (содержание минеральных добавок, длительность обработки). В качестве параметра оптимизации принято относительное значение предела прочности при сжатии образцов бетона, активированного в ЭМП, %:

$$\Delta\sigma = \frac{\sigma_{акт}}{\sigma_{конт}} \cdot 100\% .$$

С учетом оценки значимости коэффициентов получено уравнение регрессии в виде неполного полинома I степени ($G_p = 0,4 < G_m = 0,91$; $s_0^2 = 5,0$; $s_{ad}^2 = 0,27$; $F_p = \frac{0,27}{5} = 0,05 < F_m = 6,94$):

$$Y(\Delta\sigma, \%) = 123 + 3,5X_1 + 6,75X_2 \quad (1)$$

Анализ уравнения регрессии (1) показывает, что на величину прироста прочности бетонов, активированных в электромагнитном поле, положительно влияет как фактор X_1 – содержание колошниковой пыли в смеси минеральных добавок (КП + ЗУ), так и фактор X_2 – длительность активации. Влияние фактора X_1 связано с увеличением в составе бетонной смеси количества дисперсных частиц, которые владеют магнитными свойствами. Влияние коэффициента X_2 – длительность активации, на выходной параметр является более существенным. Однако с повышением величины электромагнитной индукции от 0,02 до 0,03 Тл влияние длительности обработки на прирост прочности активированного бетона значительно снижается, что имеет важное значение как технологический фактор, обуславливающий пропускную способность поста для активации свежееотформованных изделий.

Четвертый раздел посвящен исследованию состава продуктов гидратации камня вяжущего, поровой структуры, физико-механических и эксплуатационных показателей качества бетонов, содержащих минеральные добавки с ферромагнитными свойствами.

Данные дифференциального термогравиметрического анализа, а также ИКС свидетельствуют о повышении степени гидратации активированного цемента, общие потери массы при прокаливании которого составили 18,7 % по сравнению с аналогичным значением 17,7 % для образцов контрольной серии. Потери массы в температурном интервале 25 – 120 – 310°C для активированного образца цементной пасты составляют 128,3 мг/г; для контрольного – 118,1 мг/г, а положение максимума эндопика смещено на 5°C. Это свидетельствует о более высоком содержании гидросиликатного геля, а также повышенной степени его закристаллизованности.

По данным ИКС установлена также более высокая степень превращения алита (по интенсивности полосы поглощения 925 см⁻¹). Сдвиг частоты от 1090 см⁻¹ для контрольных образцов к 1100 см⁻¹ для активированных свидетельствует о росте степени конденсации тетраэдров кремнезема. В то же время снижение интенсивности полосы 1430 см⁻¹ для активированного цемента указывает на меньшую степень карбонизации гидроксида кальция.

Ферромагнитные минеральные добавки усиливают эти эффекты. Так, дифференциальный термогравиметрический анализ проб цементного камня, твердевшего в условиях тепловлажностной обработки, свидетельствует о том, что активация цементных паст, содержащих в своем составе минеральные ферромагнитные добавки, способствует повышению степени гидратации вяжущего вещества. Общие потери массы цементного камня с добавкой

колошниковой пыли на 13 % (в относительных единицах) выше в сравнении с аналогичным составом контрольных образцов. Для образцов цементного камня с добавкой золы-уноса этот показатель достигает 18 %.

Расчет DTG-кривых показал, что потери массы в интервале температур 40 – 150 – 310°C более высокие у активированных (А) образцов в сравнении с контрольными (К), что можно отобразить в виде соотношения: 51,8(А) / 47,7(К) мг/г – для состава с колошниковой пылью и 54,8(А) / 39,6(К) мг/г – для состава с добавкой золы-уноса. Эндотермический эффект в этом температурном интервале в основном связан с десорбцией влаги из тоберморитового геля. В то же время в интервале температур 430 – 490 – 515°C удельные потери массы активированных образцов как с добавкой колошниковой пыли, так и золы-уноса меньше, чем у контрольных образцов. Данный температурный интервал отвечает процессу дегидратации гидроксида кальция, выделяющегося при гидратации силикатов кальция. Сдвиг эндопика в сторону более низких температур может свидетельствовать о наличии в составе новообразований цементного камня гидрата окиси кальция в высокодисперсном состоянии, частицы которого могут разлагаться при несколько более низкой температуре, чем крупнокристаллический $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Таким образом, активация цементных паст с ферромагнитными минеральными добавками во вращающемся ЭМП повышает степень гидратации вяжущего, способствует более интенсивному связыванию свободной известью кремнезема минеральных добавок с образованием низкоосновных гидросиликатов кальция. Эти выводы согласовываются с результатами рентгенофазового анализа проб цементного камня. Установлено, что для цементной пасты, содержащей колошниковую пыль, интенсивность линий алита $d=0,303$ и $0,277$ нм для активированного образца выше в сравнении с контрольным соответственно на 17 % и 8 %. В то же время интенсивность линий $d=0,274$ и $0,260$ нм снижается на 13 % и 26 %.

Наблюдается более высокая интенсивность пиков портландита $d=0,492$ и $0,311$ нм (на 13 % и 33 %) у активированного образца. Однако интенсивность линий $d=0,193$ и $0,179$ нм снижается соответственно на 16 % и 8 %. Это свидетельствует о повышении степени гидратации вяжущего и более интенсивном связывании свободной известью кремнезема минеральной добавки при обработке цементной пасты в электромагнитном поле, что согласовывается с данными DTA/DTG. В пользу последнего свидетельствует повышенная интенсивность дифракционных отражений гидросиликатов кальция, отвечающих линиям $d=0,307$; $0,210$ и $0,182$ нм – CSH(I), а также $d=0,285$ нм – CSH(II). Отмечено также существенное снижение рефлексов минерала $\beta\text{-SiO}_2$: интенсивность линий $d=0,424$; $0,334$; $0,228$ и $0,197$ нм для активированного образца снизилась в сравнении с контрольным соответственно на 20, 51, 12 и 34 %. Существенных отличий для линий, соответствующих $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ($d=0,269$; $0,251$; $0,220$; $0,169$ нм), не наблюдается.

Примерно такой же характер имеют рентгенограммы образцов цементного камня, содержащего в своем составе добавку золы-уноса. В то же время более существенно снизилась интенсивность линий β - SiO_2 , в частности линий $d=0,424$ и $0,334$ нм. При этом появились линии двухкальциевого гидросиликата - гиллебрандита C_2SH – $d=0,268; 0,245; 0,205$ нм. Их относительная интенсивность для активированного образца в сравнении с контрольным выше, соответственно на 19, 18 и 12 %. Появление линий гиллебрандита является результатом химического взаимодействия между гидроксидом кальция и кремнеземом, которое происходит в условиях тепловлажностной обработки цементной пасты с активными минеральными добавками. Это связано с тем, что пуццолановая активность золы-уноса по поглощению извести значительно выше, чем колошниковой пыли.

Интегральные характеристики поровой структуры бетона, а также средний радиус ($\bar{\lambda}_2$) и однородность распределения пор (α) определяли в соответствии с методикой М.И. Бруссера. Установлено, что для мелкозернистых бетонов с добавкой золы-уноса активация в ЭМП в течение трех минут приводит к повышению средней плотности бетона примерно на 30 кг/м^3 , а предела прочности при сжатии на 25 %. Это связано с повышением степени гидратации вяжущего, а также изменением морфологии новообразований цементного камня. Заполнение части объема капиллярных пор продуктами гидратации цемента обуславливает снижение на 1,05% абсолютного значения (на 14 % в относительных единицах) кажущейся пористости и среднего размера пор ($\bar{\lambda}_2 \text{ акт.}=0,75; \bar{\lambda}_2 \text{ контр.}=0,82$), а также повышение однородности их размеров ($\alpha_{\text{акт.}}=0,54, \alpha_{\text{контр.}}=0,45$). Перечисленные эффекты положительно отражаются на повышении марки по морозостойкости активированных бетонов ($F_{\text{акт.}}=150, F_{\text{контр.}}=100$).

При использовании в составе бетона комплексной минеральной добавки (КП + ЗУ) наблюдается незначительное снижение абсолютных значений показателей качества бетона, в частности морозостойкости. Это связано с тем, что содержание активных кремнезема и глинозема в колошниковой пыли меньше, чем в золе-уноса, а содержание потерь при прокаливании – значительно больше. В то же время эффект от электромагнитной активации таких бетонов проявляется в большей мере, что связано с увеличением содержания ферромагнитных частиц в составе комплексной минеральной добавки.

Изменение характеристик порового пространства существенно влияет на величину усадки бетона (ϵ), которая обуславливается физико-химическими процессами, происходящими при твердении, и изменением его влажности (W). Для мелкозернистого бетона (состав, кг/м^3 : ПЦ=500; П=1250; ЗУ=250; В=250) отмечено, что величина капиллярной усадки в диапазоне влажности от 6 до 0,5 % для контрольного образца (1-К) составляет 72 % от общей величины усадки (рис. б).

В то же время для активированного образца (1-А) это значение составляет 65 %, что указывает на снижение капиллярной пористости и увеличение

содержания гидросиликатного геля. Эта закономерность в еще большей мере проявляется при активации бетонов, которые содержат большее количество оксидов железа в комплексной минеральной добавке (ЗУ=125 кг + КП=125 кг).

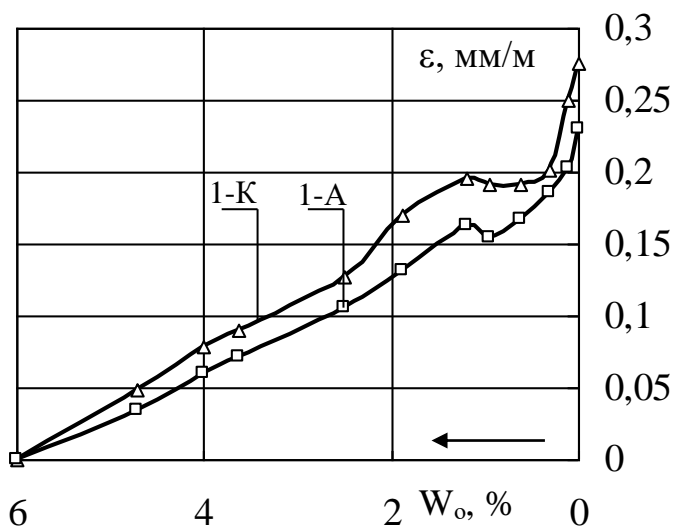


Рис. 6. Кинетические кривые усадки мелкозернистого цементного бетона: 1-К – контрольные образцы; 1-А – образцы бетона, активированного во вращающемся ЭМП.

В пятом разделе приведены технологические решения при применении способа активации бетонных смесей во вращающемся электромагнитном поле в промышленности сборных бетонных и железобетонных изделий и конструкций, результаты опытно-промышленной апробации диссертационных исследований, а также выполнены расчеты технико-экономических показателей предложенных решений.

Способ обработки во вращающемся ЭМП можно реализовывать на различных технологических переделах – при активации бетонных смесей после их перемешивания, а также после укладки и уплотнения в формах. В последнем случае наиболее целесообразно обрабатывать мелкоштучные бетонные изделия, которые изготавливаются в формах из неферромагнитного материала, например, при производстве фигурных элементов мощения в пластиковых формах (рис. 7). В этом случае энергия электромагнитного поля не будет затрачиваться на нагрев неферромагнитного материала форм.

Разработан и внедрен технологический регламент производства фигурных элементов мощения (ФЭМ) из мелкозернистого цементного бетона, содержащего ферромагнитные минеральные добавки, который предусматривает в операционной структуре технологического процесса активацию свежесформованных бетонных изделий во вращающемся электромагнитном поле (ЗАО "Бетон-Нова", пгт. Мироновский). В соответствии с технологическим регламентом выполнен выпуск опытно-промышленной партии бетонных фигурных элементов мощения в количестве 823 м² (28800 шт.). Расчетный

годовой экономический эффект от внедрения технологии производства ФЭМ по разработанному регламенту при годовой производительности 21 тыс. м² ФЭМ составляет 20,5 тыс. грн.

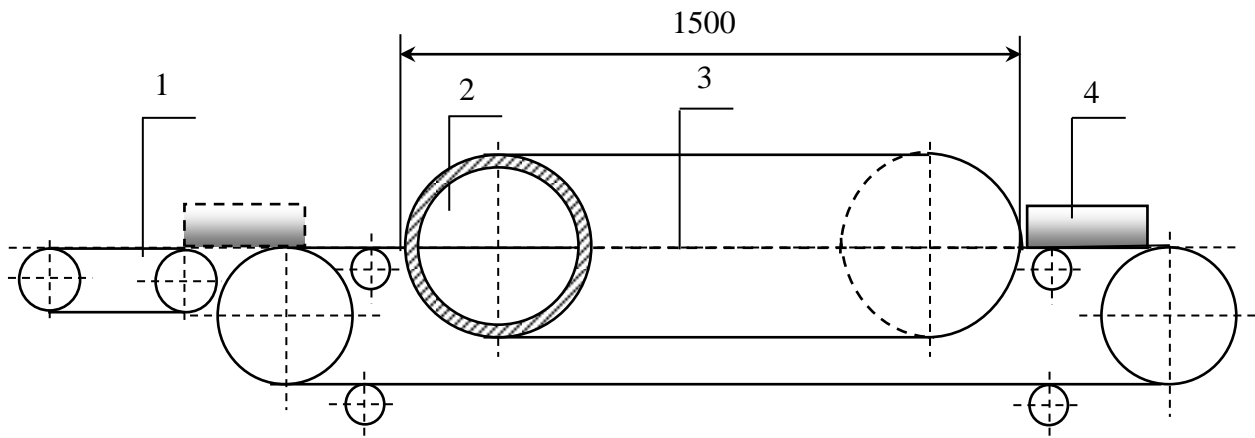


Рис. 7. Схема установки для обработки свежеотформованных мелкоштучных изделий во вращающемся электромагнитном поле:

1 – обгонный рольганг; 2 – индуктор вращающегося электромагнитного поля; 3 – ленточный конвейер; 4 – бетонное изделие в пластиковой форме.

Способ активации свежеотформованных изделий во вращающемся электромагнитном поле защищен патентом Украины. Обработку бетонных смесей, содержащих минеральные ферромагнитные добавки, рекомендуется осуществлять в серийных аппаратах вихревого слоя (АВС): ВА-100, АВС-100, АВС-150, АВСП-100 и др.

ВЫВОДЫ

1. Теоретически и экспериментально обоснован способ получения мелкозернистых цементных бетонов с повышенными физико-механическими и эксплуатационными свойствами на основе установления механизма активации бетонных смесей во вращающемся электромагнитном поле, который заключается в ускорении гидратации вяжущего и структурообразования бетона в результате равномерного распределения жидкой фазы и интенсификации массообменных процессов в твердеющей системе.

2. Установлено, что минеральные добавки бетонов из отходов металлургической и топливно-энергетической промышленности, содержащие в своем составе оксиды железа, во внешнем магнитном поле способны намагничиваться как типичные ферромагнетики. Из исследованных добавок наибольшую намагниченность насыщения имеют колошниковая пыль Макеевского металлургического комбината ($G = 12 \text{ Гс} \cdot \text{см}^3/2$) и зола-унос Угледорской ТЭС ($G = 7,4 \text{ Гс} \cdot \text{см}^3/2$).

3. Показано, что вращающееся электромагнитное поле влияет на процессы структурообразования минеральных дисперсий и цементных паст, что приводит к усилению межчастичных взаимодействий в дисперсной системе, ее уплотнению и повышению прочности. При оптимальных составах бетонных смесей и режимах обработки в ЭМП предел прочности при сжатии бетона в проектном возрасте повышается на 25...32 %. Эта тенденция сохраняется также как на ранних стадиях твердения бетона, так и после ТВО.

4. По результатам дифференциального термогравиметрического и рентгенофазового анализа, а также инфракрасной спектроскопии установлено положительное влияние активации цементных паст во вращающемся электромагнитном поле на процессы гидратации и формирования состава новообразований цементного камня: повышается степень гидратации цемента, интенсифицируется гидросиликатообразование. Эти процессы проявляются в более значительной степени, когда в составе цементных паст содержатся минеральные добавки, характеризующиеся магнитными свойствами.

5. Установлено, что при воздействии вращающегося электромагнитного поля на пластичные бетонные смеси (П2-П4) повышается на 10...15 % их подвижность, что связано с изменением структуры воды затворения и структуры сольватных оболочек на поверхности дисперсных частиц, а также интенсивным совокупным микроколебанием ферромагнитных частиц в цементной пасте, что приводит к ее тиксотропному разжижению.

6. Активация бетонных смесей с минеральными ферромагнитными добавками положительно влияет на формировании структуры и пористости бетона – повышается средняя плотность бетона на 30...50 кг/м³, снижается капиллярная пористость на 10...12 % (в относительных единицах) и средний размер пор ($\bar{\lambda}_2$ акт.=0,75; $\bar{\lambda}_2$ контр.=0,82), а их однородность по размерам повышается (α акт.=0,54, α контр.=0,45). Изменение показателей пористости активированных бетонов отражается на повышении морозостойкости бетона (F акт.=150, F контр.=100), снижении величины усадки бетона при высушивании.

7. Разработан и внедрен (ЗАО "Бетон-Нова", пгт. Мироновский) технологический регламент производства фигурных элементов мощения из мелкозернистого бетона, который предусматривает активацию свежееотформованных бетонных изделий во вращающемся электромагнитном поле. Результаты исследований апробированы при выпуске опытно-промышленной партии бетонных фигурных элементов мощения в количестве 823 м² (28800 шт.). Расчетный годовой экономической эффект от внедрения технологии производства ФЭМ по разработанному регламенту при годовой производительности 21 тыс. м² ФЭМ составляет 20,5 тыс. грн.

Основные положения диссертации опубликованы в таких работах:

1. Дремов В.В., Зайченко Л.Г. Исследование влияния вращающегося электромагнитного поля на структурообразование и прочность цементного камня // Вестник ДонГАСА: Макеевка. – 2003. – Вып. 1 (38). – С. 169-171. (Личный

вклад соискателя – участие в изготовлении экспериментальной установки, проведении экспериментальных исследований, обработка результатов).

2. Зайченко Л.Г. Гидратация портландцемента, активированного во вращающемся электромагнитном поле // Ежегодный научно-технический сб. "Современные проблемы строительства". – Донецк: Донецкий ПромстройНИИпроект. – 2003. - № 1(6). – С. 105-109.

3. Братчун В.И., Зайченко Л.Г. Структурообразование минеральных дисперсий, активированных в вихревом электромагнитном поле // Вестник ОГАСА: Одесса – 2004. – Вып. № 15. – С. 48-53. *(Выполнено исследование кинетики седиментации минеральных дисперсий и структурообразования цементных паст, обработка результатов).*

4. Братчун В.И., Зайченко Л.Г. Эффективность влияния вращающегося электромагнитного поля на бетонные смеси // Сб. научн. трудов "Строительство, материаловедение, машиностроение". – Днепропетровск: ПГАСА. – 2005. – С. 89-94. *(Подготовка материалов к химическому анализу и определение намагниченности насыщения, исследование свойств бетонных смесей и бетонов, обработка результатов).*

5. Братчун В.И., Зайченко Л.Г. Оптимизация факторов электромагнитной активации бетонных смесей // Вестник ОГАСА: Одесса. – 2005. – Вып. № 20. – С. 40-46. *(Участие в проведении экспериментов, расчет уравнения регрессии).*

6. Братчун В.И., Зайченко Л.Г. Вплив обертового електромагнітного поля на фазовий склад новоутворень цементного каменю з феромагнітними добавками // Зб. наук. праць "Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди": Рівне. – 2006. – Вип. 14. – С. 9-15. *(Подготовка материалов к физико-химическому анализу, обработка данных).*

7. Зайченко Л.Г. Эксплуатационные свойства мелкозернистых бетонов, активированных во вращающемся электромагнитном поле // Вестник ОГАСА: Одесса. – 2006. – Вып. № 23. – С. 94-99.

8. Декл. пат. № 69552 А Україна, (51) 7 E04G21/04. Спосіб активації бетонних сумішей в обертовому електромагнітному полі: Александров В.Д., Дрьомов В.В., Зайченко Л.Г. Заявлено 01.08.2003; Опубл. 15.09.2004. – Бюл. № 9. *(Выполнение исследований, патентный поиск, участие в разработке схемы установки для активации).*

9. Зайченко Л.Г., Григоренко Н.В., Бондаренко О.В. Технология активации свежееотформованных бетонных изделий в вихревом электромагнитном поле // Материалы 30-й научн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых // Вестник ДонГАСА: Макеевка. – 2004. – Вып. 3 (45) – С. 127-130. *(Участие в проведении экспериментальных исследований, обработка результатов).*

10. Зайченко Л.Г. Інтенсифікація процесів формування структури і властивостей цементних бетонів активацією в обертовому електромагнітному полі // Головні доповіді II науково-технічної конф. "Енергозаощадження у будівництві". – Чернівці. – 2006. – С. 32-34.

АННОТАЦИЯ

Зайченко Л.Г. Мелкозернистые цементные бетоны, активированные во вращающемся электромагнитном поле. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.23.05 – строительные материалы и изделия. – Украинская государственная академия железнодорожного транспорта Министерства транспорта и связи Украины, Харьков, 2007 г.

Диссертация посвящена решению актуальной задачи – повышения качества бетонных и железобетонных изделий, а также энерго- и ресурсосбережения на основе теоретического и экспериментального обоснования способа активации цементных бетонов, которые содержат в своем составе минеральные добавки с магнитными свойствами, путем установления закономерностей влияния вращающегося электромагнитного поля на формирование структуры и свойств цементного камня и бетона.

Установлено, что минеральные добавки из отходов металлургической и топливно-энергетической промышленности, содержащие в своем составе значительное количество оксидов железа, во внешнем магнитном поле способны намагничиваться как типичные ферромагнетики. Из исследованных добавок наибольшей намагниченностью насыщения характеризуются колошниковая пыль Макеевского металлургического комбината ($G = 12 \text{ Гс}\cdot\text{см}^3/\text{г}$) и зола-унос Углегорской ТЭС ($G = 7,4 \text{ Гс}\cdot\text{см}^3/\text{г}$). Показано, что вращающееся электромагнитное поле влияет на процессы структурообразования минеральных дисперсий и цементных паст, что приводит к усилению межчастичных взаимодействий в системе, ее уплотнению и повышению прочности. При оптимальных составах бетонных смесей и режимах обработки в ЭМП предел прочности при сжатии бетона повышается на 25...32 %. Эта тенденция сохраняется как на ранних стадиях твердения бетона, так и в проектном возрасте, в т.ч. после ТВО.

Выпуск опытно-промышленной партии изделий (ФЭМ) из мелкозернистого бетона, содержащего в качестве заполнителя зола-шлаковую смесь Углегорской ТЭС, осуществлен на заводе ЖБК ЗАО "Бетон-Нова", пгт. Мироновский. Достигнуто снижение себестоимости 1 м^3 бетонной смеси за счет экономии цемента на 9 %.

Ключевые слова: ферромагнитная минеральная добавка, цементная паста, бетонная смесь, вращающееся электромагнитное поле, свойства бетона.

АНОТАЦІЯ

Зайченко Л.Г. Дрібнозернисті цементні бетони, активовані в обертовому електромагнітному полі. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.05 – будівельні матеріали та вироби. – Українська державна академія залізничного транспорту Міністерства транспорту та зв'язку України, Харків, 2007 р.

Дисертація присвячена вирішенню актуальної задачі підвищення якості бетонних та залізобетонних виробів, а також енерго- та ресурсозбереження на основі теоретичного й експериментального обґрунтування способу активації цементних бетонів, що містять у своєму складі мінеральні добавки з магнітними властивостями, та встановлення закономірностей впливу обертового електромагнітного поля на формування структури і властивостей цементного каменя і бетону.

В першому розділі виконано аналіз сучасного стану питання з наряду теми дисертації, викладено теоретичні передумови дослідження, на основі яких сформульовано наукові гіпотези роботи.

У другому розділі наведено властивості вихідних матеріалів, викладено методи досліджень, подано конструктивні характеристики установки для обробки сумішей в обертовому електромагнітному полі, а також виконано обґрунтування вибору об'єктів досліджень – мінеральних добавок для бетонів, на основі їх пуцоланової активності та магнітних властивостей. Встановлено, що мінеральні добавки бетонів з відходів металургійної та паливно-енергетичної промисловості, що містять в своєму складі значну кількість оксидів заліза, у зовнішньому магнітному полі здатні намагнічуватися як типові феромагнетики. З досліджених добавок найбільшу намагніченість насичення мають колошниковий пил Макіївського металургійного комбінату ($G = 12 \text{ Гс}\cdot\text{см}^3/\text{г}$) та зола-винесення Вуглегорської ТЕС ($G = 7,4 \text{ Гс}\cdot\text{см}^3/\text{г}$).

У третьому розділі наведено результати досліджень структуроутворення мінеральних дисперсій, цементних паст та бетонних сумішей, активованих в обертовому електромагнітному полі; визначено вплив мінеральних добавок, що характеризуються магнітними властивостями, на ефективність електромагнітної обробки сумішей; виконано оптимізацію параметрів електромагнітної активації та складів дрібнозернистих бетонних сумішей. Показано, що обертове електромагнітне поле впливає на процеси структуроутворення мінеральних дисперсій та цементних паст, що приводить до посилення міжчасткових взаємодій в системі, її ущільненню і підвищенню міцності. При оптимальних складах бетонних сумішей і режимах обробки в ЕМП межа міцності при стиску бетону підвищується на 25...32 %. Ця тенденція зберігається як на ранніх стадіях тверднення бетону, так і в проектному віці, в т.ч. після ТВО.

Четвертий розділ присвячено дослідженню складу продуктів гідратації каменя в'язучого, порової структури, фізико-механічних та експлуатаційних показників якості бетонів, що містять мінеральні добавки з феромагнітними властивостями. За даними ДТГ, РФА та ІЧС встановлено позитивний вплив активації цементних паст в обертовому ЕМП на процеси гідратації і формування складу новоутворень цементного каменя: підвищується ступінь гідратації цементу, інтенсифікується гідросилікатоутворення. Ці процеси виявляються в значно більшій мірі, коли у складі цементних паст містяться мінеральні добавки з магнітними властивостями.

Заповнення частини об'єму капілярних пор продуктами гідратації цементу обумовлює зниження на 1,05 % абсолютного значення (на 14 % у відносних одиницях) уявної пористості і середнього розміру пор ($\bar{\lambda}_2$ акт.=0,75; $\bar{\lambda}_2$ контр.=0,82), а також підвищення однорідності їх розмірів (α акт.=0,54, α контр.=0,45), що позитивно відображається на підвищенні марки за морозостійкістю активованих бетонів ($F_{\text{акт.}}=150$, $F_{\text{контр.}}=100$).

В п'ятому розділі наведено технологічні рішення при застосуванні способу активації бетонних сумішей в обертовому електромагнітному полі в промисловості збірних бетонних та залізобетонних виробів і конструкцій, результати дослідно-промислової апробації дисертаційних досліджень, а також виконано розрахунки техніко-економічних показників запропонованих рішень.

Випуск дослідно-промислової партії виробів (ФЕМ) з дрібнозернистого бетону, що містить як заповнювач золо-шлакову суміш Вуглегорської ТЕС, здійснено на заводі ЗБВ ЗАТ "Бетон-Нова", смт. Миронівський. Досягнуто зниження собівартості 1 м³ бетонної суміші за рахунок економії цементу на 9 %.

Ключові слова: феромагнітна мінеральна добавка, цементна паста, бетонна суміш, обертове електромагнітне поле, властивості бетону.

ABSTRACT

Zaichenko L.G. Fine-drained cement concretes activated in the rotation electromagnetic field. – Manuscript.

The Thesis submitted for the scientific degree of Candidate of Technical Science on a speciality 05.23.05 - Building Materials and Products. – The Ukrainian State Academy of Railway Transport, Kharkiv, 2007.

Dissertation is devoted to the decision of actual task of upgrading concrete and reinforced concrete products as well as energy and material saving based on theoretical and experimental methods of cement concretes activation, which contain in the composition mineral additives with magnetic properties, and establishment of conformities to the law of influencing of the rotation electromagnetic field on structure forming and properties of cement paste and concrete.

It has been determined that concretes mineral additives from wastes of metallurgical and fuel and energy industry, containing the iron oxides in the composition, in the external magnetic field are able to magnetize as typical ferromagnetic. The metallurgical dust and fly ash from the explored additives have the most value of magnetized saturation. It is shown that rotation electromagnetic field affects on the processes of structure formation of mineral dispersions and cement pastes that result in strengthening of interpartial interactions in the system and compression and increase of durability. At the optimum concrete mixtures compositions and treatment parameters the compressive strength of concrete rises on 25...32 %. This tendency is saved both on early stages hardens concrete and in project age, including period after thermal treatment.

The production of experimentally-industrial samples of fine-grained concrete containing as aggregate fly ash-and-slag mixture has been carried out at the Works "Beton-

Nova", Myronovskiy. The prime price decreasing of 1 m³ concrete mix due to the economy of cement on 9 % has been attained.

Keywords: ferromagnetic mineral additive, cement paste, concrete mix, rotation electromagnetic field, properties of concrete.