

Белорусский национальный технический университет

УДК 693.54:624.012.4

ШВЕДОВ АЛЕКСАНДР ПЕТРОВИЧ

**ИНТЕНСИВНАЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ
ПРОИЗВОДСТВА БЕТОННЫХ РАБОТ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ
ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ
МОДИФИЦИРОВАННЫХ И ЭЛЕКТРОАКТИВИРОВАННЫХ
ЦЕМЕНТНЫХ СУСПЕНЗИЙ**

05.23.08 – Технология и организация строительства

**Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Минск 2004

Работа выполнена на кафедре строительного производства Полоцкого государственного университета.

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор
БЛЕЩИК Н.П.

Официальные оппоненты - доктор технических наук,
БАТЯНОВСКИЙ Э.И.
- кандидат технических наук,
МАРКОВСКИЙ М.Ф.

Оппонирующая организация - Научно-исследовательское и проектно-технологическое республиканское унитарное предприятие "Институт НИИПТИС"

Защита состоится марта 2004 г. в на заседании совета по защите диссертаций Д.02.05.05 при Белорусском национальном техническом университете по адресу: г.Минск, проспект Ф.Скорины 148, к.15, ауд. 839, телефон ученого секретаря 202-95-87.

Отзывы в двух экземплярах с подписью, заверенной печатью учреждения, следует направлять по адресу: 220027, г.Минск, проспект Ф.Скорины 65, к.1 на имя ученого секретаря.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национального технического университета.

Автореферат разослан " ____ " _____ 2004 г.

Ученый секретарь
совета по защите диссертаций

В.В.Бабицкий

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. В настоящее время в Республике Беларусь значительная часть объемов строительных работ приходится на реконструкцию зданий и сооружений. При этом, как правило, возводятся монолитные и сборно-монолитные конструкции. Использование монолитного бетона обычно связано с относительно небольшими объемами. Как показывает практика последних лет, во многих случаях он используется в наиболее ответственных и нагруженных элементах, сроки возведения которых определяют сроки ввода реконструируемого объекта в эксплуатацию.

При бетонировании монолитных конструкций, определяющих темп и сроки реконструкции объекта в целом, очень часто, особенно при производстве работ при пониженных и отрицательных температурах, возникает ситуация, когда распалубочная прочность бетона оказывается недостаточной для загрузки конструкций со скоростью, обеспечивающей необходимый темп работ, исходя из сроков ввода объекта в эксплуатацию. В этом случае эффективным является использование бетонных смесей, приготовленных на основе активированных цементных суспензий и электропрогрева бетона.

Однако, несмотря на определенные успехи, достигнутые в теории и практике применения активированных цементных суспензий, в особенности электрическим током, они не находят широкого внедрения. К основным причинам создавшегося положения можно отнести противоречивость результатов различных исследований и трудность выявления оптимальных режимов электроактивации суспензий. Существующие в настоящее время рекомендации основаны преимущественно на эмпирических зависимостях, что не соответствует наметившейся в последние годы тенденции к созданию “направленного структурообразования” бетона, одним из аспектов которой является использование электрофизических методов воздействия на структурообразующие цементные суспензии.

В связи с этим, тема диссертации, предусматривающая решение комплекса вопросов, связанных с развитием теории электроактивации модифицированных цементных суспензий, созданием электрических установок и разработкой научнообоснованных рекомендаций по применению электроактивированных цементных суспензий при производстве бетонных работ с электротермообработкой бетона при реконструкции зданий и сооружений, представляется достаточно актуальной.

Связь работы с крупными научными программами, темами.

Исследования по теме были связаны с выполнением следующих республиканских программ и государственных заказов:

- Республиканская программа "Монолит" (постановление Совета Министров БССР от 23.03.1987г), х/д 8618 "Исследовать влияние добав-

ки С-НПИ и её модификаций на физико-механические параметры бетона с выдачей рекомендаций для бетонирования монолитных конструкций".

- Республиканская программа 55-01рц (постановление Совета Министров БССР №279 от 18.09.1985г), х/д 8704 д.с.№1 "Разработать и внедрить эффективные методы бетонирования сборных и монолитных конструкций на основе применения химических добавок".
- Г/б 1794 "Изучить влияние химических добавок на повышение эффективности электроимпульсной обработки бетона" (1994 г.).
- Г/б 2396 "Разработка эффективных конструктивных и технологических решений по возведению объектов, изготовлению конструкций с использованием бетонов, модифицированных добавками на основе местного сырья и отходов производств, обеспечивающих снижение энерго и ресурсоёмкости строительства" (1996 г.).
- Г/б 6321 "Разработка, исследование эффективных решений, при использовании, эксплуатации и восстановлении конструкций, изделий из бетона и железобетона" (2001-2003 гг.).

Цель и задачи исследования. Основной целью исследования является разработка теории и практики дискретной разрядно-импульсной активации цементных суспензий и интенсивной энергосберегающей технологии производства бетонных работ при реконструкции зданий и сооружений.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- разработать теоретические предпосылки дискретной разрядно-импульсной активации цементных суспензий;
- создать устройство для проведения дискретной разрядно-импульсной активации цементных суспензий электрическим током;
- исследовать и обосновать рациональные режимы дискретной разрядно-импульсной активации цементных суспензий;
- изучить электрофизические и технологические свойства активированных цементных суспензий;
- изучить влияние последовательности ввода в бетонную смесь активированной цементной суспензии и разработать технологию приготовления бетонных смесей;
- исследовать режимы электропрогрева бетона, приготовленного на основе электроактивированных модифицированных цементных суспензий;
- разработать рекомендации по интенсивной энергосберегающей технологии производства бетонных работ при реконструкции зданий и сооружений.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования являлись бетонные смеси и бетон. Предметом исследований – процессы электроактивации, интенсификации твердения бетона в различных температурно-влажностных условиях.

Гипотеза. В основу работы положена гипотеза о том, что при воздействии на цементную систему электрической энергии с разрядно-дискретными параметрами тока активизируются процессы гидратации цемента и формиро-

вания структуры цементного камня за счет интенсификации отвода продуктов гидратации с поверхности зерен цемента.

Методология и методы проведения исследования. При решении поставленных задач теоретические и экспериментальные исследования проводились с использованием теоретических основ бетоноведения, физической и коллоидной химии, термодинамики и теплопередачи, физики и электротехники, а также стандартных методов определения физико-механических свойств бетона и бетонных смесей. Применялись методы математического моделирования и математической статистики при обработке результатов исследований.

Научная новизна и значимость полученных результатов заключается в следующем:

- разработаны теоретические основы, способ и устройство для электроактивации цементных суспензий дискретно-импульсным методом;
- получены зависимости влияния режимов дискретно-импульсной электрической активации цементных суспензий на кинетику структурообразования и физико-механические свойства цементного камня и бетона;
- получены экспериментальные данные об электрических свойствах активированных цементных суспензий и бетонов;
- разработаны технологические режимы приготовления бетонных смесей с электроактивированными цементными суспензиями и интенсивные энергосберегающие режимы электротермообработки бетона для производства работ на реконструируемых объектах.

Практическая значимость полученных результатов. Разработанные основы теории процесса электроактивации цементных суспензий, предложения по интенсификации твердения бетона, рекомендации по активированию цементных суспензий и технология производства бетонных работ с их применением обеспечивают увеличение прочности бетона монолитных конструкций на 30%, сокращение сроков достижения распалубочной прочности бетона на 30-35% и снижение расхода электроэнергии на 20- 40%. Повышению эффективности бетонных работ способствуют разработанные новые технические решения, одно из которых защищено авторским свидетельством ССС Р№1522814, на другое получено решение о выдаче патента по заявке № и20030049 от 10.02.03.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

- теоретические основы механизма активации цементных суспензий переменным электрическим током, изменяющимся в дискретном разрядно-импульсном режиме;
- устройство для активации цементных суспензий и способ ее осуществления;

- результаты экспериментальных исследований по оптимизации режимов электроактивации цементных суспензий;
- результаты экспериментальных исследований кинетики набора прочности электроактивированного бетона в процессе электротермообработки;
- рекомендации по электроактивации цементных суспензий и технологии производства бетонных работ с их применением.

Личный вклад соискателя. Представленные в диссертации результаты исследований получены лично автором. Экспериментальные исследования, опытно-промышленная проверка и внедрения результатов исследования осуществлялись автором с участием сотрудников ПГУ и строительных организаций.

Апробация результатов работы. Результаты исследований докладывались и обсуждались на научно-практической конференции "Научно-исследовательская работа ВУЗОВ – народному хозяйству", г.Витебск (1986 г); на областной конференции "Вклад молодёжи по проблемам повышения эффективности и качества технологии строительного производства, материалов и конструкций" в г.Новополоцке (1986 г); на научно-технической конференции "Современные изделия и технологии в строительстве", г.Новополоцк (1989 г); на международной конференции "Инженерные проблемы современного бетона и железобетона", г.Минск (1997 г).

Опубликованность результатов. Основное содержание диссертации опубликовано в 11 печатных работах.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из общей характеристики работы, пяти глав, заключения, приложений. Она содержит 133 страницы, 23 рисунка, 29 таблиц, 4 приложения, списка использованных источников из 146 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе выполнен анализ результатов многочисленных исследовательских и практических работ по возведению монолитных конструкций, связанных с воздействием на бетон в период его твердения. На основе анализа различных методов ускорения набора прочности бетона установлено, что для условий строительной площадки наиболее целесообразным является использование электропрогрева бетона. Однако, его эффективность (по энергозатратам, темпу набора прочности) не вполне соответствует современным требованиям.

С целью снижения энергозатрат при электропрогреве необходимо, наряду с тепловым воздействием, применять методы ускорения процесса гидратации цемента и структурообразования бетона. Однако, известные методы электроактивации цементных систем связаны, в основном, с применением высоких напряжённостей электрического поля – до 430 В/м, или высоких напряжений в пределах 50-60 кВ. При этом сроки обработки систем строго

лимитируются сроками схватывания цемента, а процесс обработки должен продолжаться до 10 мин. Все это существенно ограничивает возможности промышленного использования данных методов.

Результаты анализа методов активации структурообразования цементных систем позволили обосновать возможность и техническую целесообразность применения электрического поля пониженной напряженности для электроактивации цементных систем, модифицированных комплексными химическими добавками-пластификаторами и электролитами.

На основании результатов обобщения опыта интенсификации процессов твердения бетона различными методами и в различных температурных условиях сформулированы частные задачи исследования.

Во второй главе изложены теоретические предпосылки дискретной разрядно-импульсной активации цементных суспензий.

Теоретической базой проводимых исследований послужили работы Антропова Л.И., Ахвердова И.Н., Батракова В.Г., Блещика Н.П., Полака А.Ф., Толстого Н.А. и других авторов.

При наложении электрического поля продукты гидратации цемента перемещаются в сольватной оболочке по направлению уменьшения плотности.

Для отвода продуктов гидратации необходимо преодолеть силу поверхностного натяжения. Значение необходимого для этой цели напряжённости (градиента напряжения) электрического поля в первом приближении может определяться по следующей зависимости, полученной с использованием формулы поверхностного натяжения Бачинского и зависимостей физических параметров пленочной воды, представленных в работах Н.П. Блещика:

$$\text{grad}U = .372 \cdot 10^8 \cdot \left[- \frac{K_{т.п}^3}{K_{т.п} + \Delta S} \right], \quad (1)$$

где $K_{т.п}$ – коэффициент тонкости помола, определяемый по формуле:

$$K_{т.п} = -2 \cdot 0.395 - K_{нр} \cdot 10^{-6} \cdot \cos \left[\frac{\arccos \left(- \frac{5 \cdot 10^{-2}}{0.395 - K_{нр}} \right)}{3} + \frac{\tau}{3} \right]; \quad (2)$$

$K_{нр}$ – коэффициент нормальной густоты цементного теста;

ΔS – расстояния перемещения иона, м.

Электрическое поле с расчетным градиентом напряжения приведет в движение ионы, которые во время столкновения будут передавать энергию продуктам гидратации. Увеличение энергии у частиц продуктов гидратации позволит им преодолеть силы поверхностного натяжения и перейти на более удаленное расстояние. Это означает, что будет происходить отвод продуктов гидратации от цементных частиц.

Анализ технических решений устройств для электроактивации дисперсных систем показывает, что на основе напряжения тока промышленной частоты возможно получить электрическое поле с расчетной напряжённостью в момент его включения, но при этом оно будет изменяться в дискретном разрядно-импульсном режиме. Мгновенная электрическая мощность, необходимая для передачи энергии, достаточной для преодоления сил поверхностного натяжения продуктами гидратации и их удаления от цементной частицы, выделения энергии в виде тепла, скорости движения ионов под воздействием градиента напряжения и др., определяется формулой, полученной на основе общих зависимостей характера изменения напряжения синусоидального электрического тока в дискретном режиме:

$$P_{\text{обр}} = 0.08 \cdot \sqrt{T} \left(m_{\text{в}} c_{\text{в}} + m_{\text{ц}} c_{\text{ц}} \right) \cdot a - m_{\text{ц}} \frac{d\Delta\Theta}{d\tau}, \quad (3)$$

где T – температура, К;

$m_{\text{ц}}$, $m_{\text{в}}$ – масса цемента и воды соответственно, кг;

$c_{\text{ц}}$, $c_{\text{в}}$ – удельная теплоемкость цемента и воды соответственно, Дж/кг·К;

a – ускорение частицы, м/с²;

$\Delta\Theta$ – изменение тепловыделения цемента, Дж/кг·с;

τ – время, с.

На основе результатов анализа различных схем электрических установок разработана новая принципиальная схема устройства (рис.1).

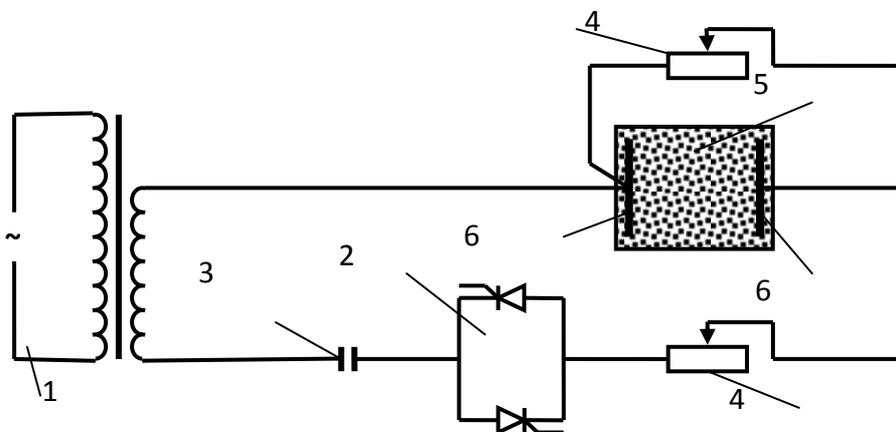


Рис 1. Принципиальная схема устройства для проведения дискретной разрядно-импульсной обработки цементных суспензий.

1. Источник тока
2. Тиристорный регулятор напряжения
3. Накопительная емкость
4. Подстроечные сопротивления
5. Емкость для обработки
6. Электроды

Для данной схемы определены соотношения между параметрами составляющих ее элементов, при которых одновременно с разрядом накопительной емкости достигается максимальное значение напряжения.

Система уравнений, связывающая параметры элементов цепи обработки, получена в виде:

$$\begin{cases} \operatorname{tg} \varphi - \cos \varphi = \frac{1}{\sin \left[\frac{\pi}{4 \cdot (-2 \cdot f \cdot t)} \right]} - \sin \varphi \\ \operatorname{tg} \varphi = \frac{\ln \left[\cos \varphi \right]}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot \varphi \cdot t} \end{cases} \quad (4)$$

где f – частота тока, Гц;

φ – угол сдвига фаз между напряжением и током, с;

t – время, в течение которого тиристорный регулятор находится в закрытом состоянии, с.

Решение системы уравнений (4) определяет значение угла сдвига фаз и время закрытия тиристорного регулятора. Для промышленной частоты электрического тока, используемого в РБ 50 Гц, эти параметры следующие: $t = 2,29 \cdot 10^{-3}$ с; $\varphi = 3,57 \cdot 10^{-3}$ с.

Величина " φ " определяет взаимосвязь между величиной накопительной емкости и омическим сопротивлением обрабатываемой среды. В соответствии с законом Ома для переменного тока $RC = 1,53 \cdot 10^{-3}$ с.

В третьей главе приведены характеристики материалов, применяемых в исследованиях, а также методики исследований. Используемые методы испытаний исходных материалов регламентированы действующими стандартами. В исследованиях применялись цементы белорусских цементных заводов ПЦ 500-ДО, ОАО "Красносельскцемент" и ПЦ 500-ДО, ОАО "Кричевцементошифер"; песок карьера "Боровое" с модулем крупности 2,15 и гранитный щебень карьера "Микашевичи". В качестве добавки в основном использовался суперпластификатор С-3, соответствующий ТУ 2481-016-00369171-99 и сульфат натрия по ГОСТ 6318-77.

Для проведения обработки цементных суспензий разработано и изготовлено на базе серийных блоков специальное устройство, блок-схема которого приведена на рис.2. Аппаратурное оформление устройства позволяет не только проводить активирование, но и контролировать, а также корректировать режим процесса обработки.

Обоснована последовательность проведения экспериментальных исследований на основе комплексного применения теории планирования эксперимента.

Разработана методика проведения исследований по определению электрофизических характеристик цементных систем, приготовленных с использованием цементных суспензий, обработанных при помощи синусоидального электрического напряжения, изменяющегося в дискретном разрядно-импульсном режиме.

Определена технология изготовления образцов и условия проведения лабораторных исследований с выбором необходимого для этой цели оборудования и средств измерений.

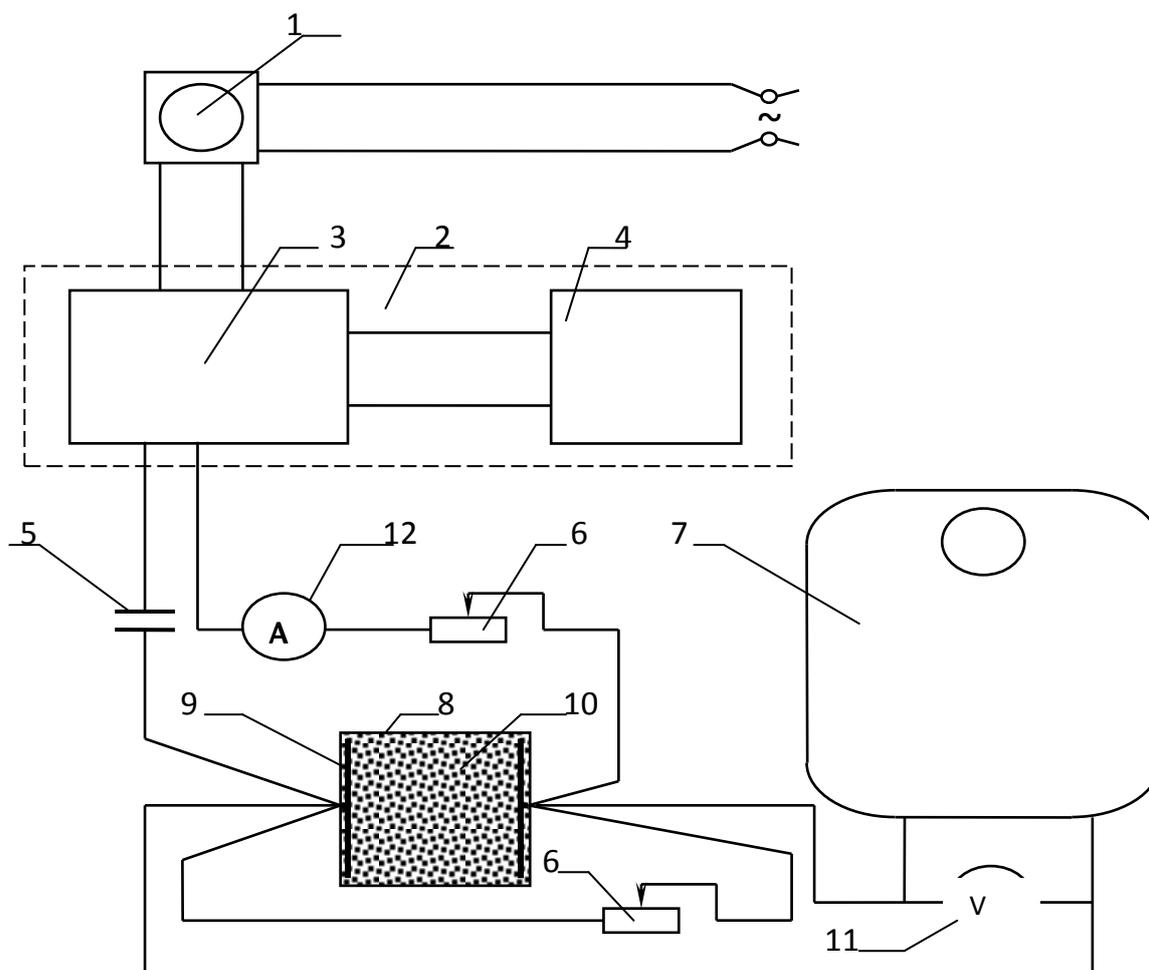


Рис 2. Блок-схема устройства для обработки цементных суспензий

- 1 - лабораторный автотрансформатор; 2 - тиристорный регулятор;
 3 - блок тириستоров; 4 - блок управления тиристорами; 5 - накопительная емкость (конденсатор); 6 - подстроечное сопротивление; 7 - осциллограф; 8 - емкость для обработки; 9 - электроды; 10 - обрабатываемая среда; 11 - вольтметр; 12 – амперметр

В четвертой главе, на основе данных предыдущих глав и анализа литературных данных, принята следующая технология активации цементных суспензий:

1. В емкость с электродами заливается вода затворения с добавкой сульфата натрия и суперпластификатора С-3 или других подобных добавок.

2. Электроды подключаются к источнику электрического тока, обеспечивающему создание в суспензии заданной величины напряжённости (градиента напряжения), и производится его регулирование как по величине, так и по форме.

3. При постоянном перемешивании суспензии в емкость вводится цемент.

На первом этапе исследований продолжительность активации суспензии принята из анализа литературных данных. Величина необходимого градиента напряжения получена расчетным путем при ΔS , равном $4 \cdot 10^{-10}$ м. Расчетное значение одного из основных параметров активации - произведения активного сопротивления цементной суспензии и накопительной емкости RC, в первом приближении принято равным $1,53 \cdot 10^{-3}$ с. Оно для определенной частоты переменного электрического поля является величиной постоянной. Так как данный параметр определяет закон изменения напряжения электрического тока при электроактивации суспензии, то его значение необходимо было уточнить с целью достижения наибольшего значения эффекта.

При уточнении величины RC исследования проводились на цементном тесте с В/Ц 0,53. При приготовлении суспензии в емкость вводили 48 г. воды, 0,45 г. добавки суперпластификатора С-3 и 0,7 г. сульфата натрия. Все компоненты тщательно перемешивались, после чего электроды подключались к источнику электрического тока, обеспечивающему создание градиента напряжения в суспензии 195 В/м, рассчитанного по зависимостям (1) и (2). Определялась величина активного сопротивления, и по заданному значению RC устанавливалось значение накопительной емкости. После включения цепи обработки, в водный раствор добавок высыпалось 90 г цемента. В процессе обработки величина напряжения поддерживалась латром, а необходимый закон изменения напряжения фиксировался осциллографом и регулировался подстроечным сопротивлением. Перемешивание суспензии производилось вручную. По окончании обработки суспензия выливалась в сферическую чашку со 190 г цемента и интенсивно перемешивалась в течение 2 мин., после чего добавлялось 29 г воды с 1,23 г суперпластификатора С-3, и смесь перемешивалась еще 3 мин. Аналогично, но только без активации, готовился с теми же компонентами контрольный состав.

Степень пластификации приготовленного теста определялась с помощью мини-конуса НИИЖБ, а прочность - по отформованным из данной пасты кубикам размером 0,02x0,02x0,02 м. Образцы после формовки подвергались тепловлажностной обработке (по режиму "1+3+3+3" при температуре изотермы 50°C) и испытывались через 4 часа после ее проведения.

Максимальный эффект по увеличению пластичности активированного цементного теста и прочности цементного камня наблюдается при значениях основной характеристики процесса активации (RC), равных $1,3 \cdot 10^{-3}$ - $1,5 \cdot 10^{-3}$ с. На следующем этапе исследований решались задачи отработки условий активации цементных суспензий, обеспечивающих максимальное повышение прочности бетона с определенной частью активированной цементной суспензии. Задача решалась с использованием схемы многофакторного поиска методом симплекс-планирования. В процессе эксперимента изменялись следующие параметры:

- величина напряжённости (градиента напряжения grad U), В/м;

- время активации цементной суспензии (t_a) мин.;
- количество добавки сульфата натрия (СН), %;
- содержание активированной части цемента (Ца), %.

В результате были получены два варианта параметров активации цементных суспензий, представленные в табл.1.

Таблица 1

Варианты параметров эффективной активации цементных суспензий

Вариант	grad U (В/м) эксп.	t_a (мин)	СН (%)	Ца (%)	grad U (В/м) расчёт.
1	271,47	4,2	0,779	29,94	195
2	98,78	4,32	1,262	33,98	63,13

Полученные параметры были проверены на оптимальность. Так как количество сульфата натрия связано с величиной градиента напряжения, то в эксперименте проверялись только оптимальность градиента напряжения обработки (X_1), время активации (X_2) и доля активированной части цемента (X_3). Оптимизация параметров разрядно-импульсной активации проводилась по параметру прироста прочности бетона по сравнению с прочностью контрольных образцов при одинаковой подвижности бетонных смесей. При этом использовались модели второго порядка. После обработки экспериментальных данных получен следующий вид модели:

$$Y = \Delta R = 131 + 2 \cdot X_1 + X_2 + X_3 - 9 \cdot X_1 \cdot X_2 + 5 \cdot X_2 \cdot X_3 - 11 \cdot X_1^2 - 13 \cdot X_2^2 - 7 \cdot X_3^2; \quad (5)$$

и следующие оптимальные параметры активации:

$$\text{grad}U = 274,4 \text{ В/м}; t_a = 4,03 \text{ мин}; \text{Ца} = 31,6\%.$$

Основная характеристика процесса активации цементных суспензий RC содержит множитель R (активное сопротивление суспензии). Выполненные исследования характера его изменения на протяжении процесса активации, результаты которых представлены на рис.3, показали, что ее значение зависит от времени активации, вида цемента, содержания химических добавок.

Интенсивное изменение электросопротивления наблюдается в течение первой минуты. В дальнейшем процесс начинает стабилизироваться. С первой по четвертую минуты электросопротивление цементной суспензии изменяется на 11-16%, так как допустимый интервал изменения значения RC составляет $1,3 \cdot 10^{-3} - 1,5 \cdot 10^{-3}$ с, т.е. может изменяться в пределах 15%, то процесс обработки суспензии, особенно в первую минуту, необходимо вести при строгом контроле величины изменения используемого напряжения, и в

случае необходимости осуществлять его регулирование при помощи подстроечных сопротивлений и автотрансформатора.

Ввод активированной цементной суспензии в смесительные установки может производиться по нескольким вариантам:

- совместно со всей водой затворения и всеми добавками;
- перед вводом воды затворения и добавок;
- после ввода воды затворения и добавок.

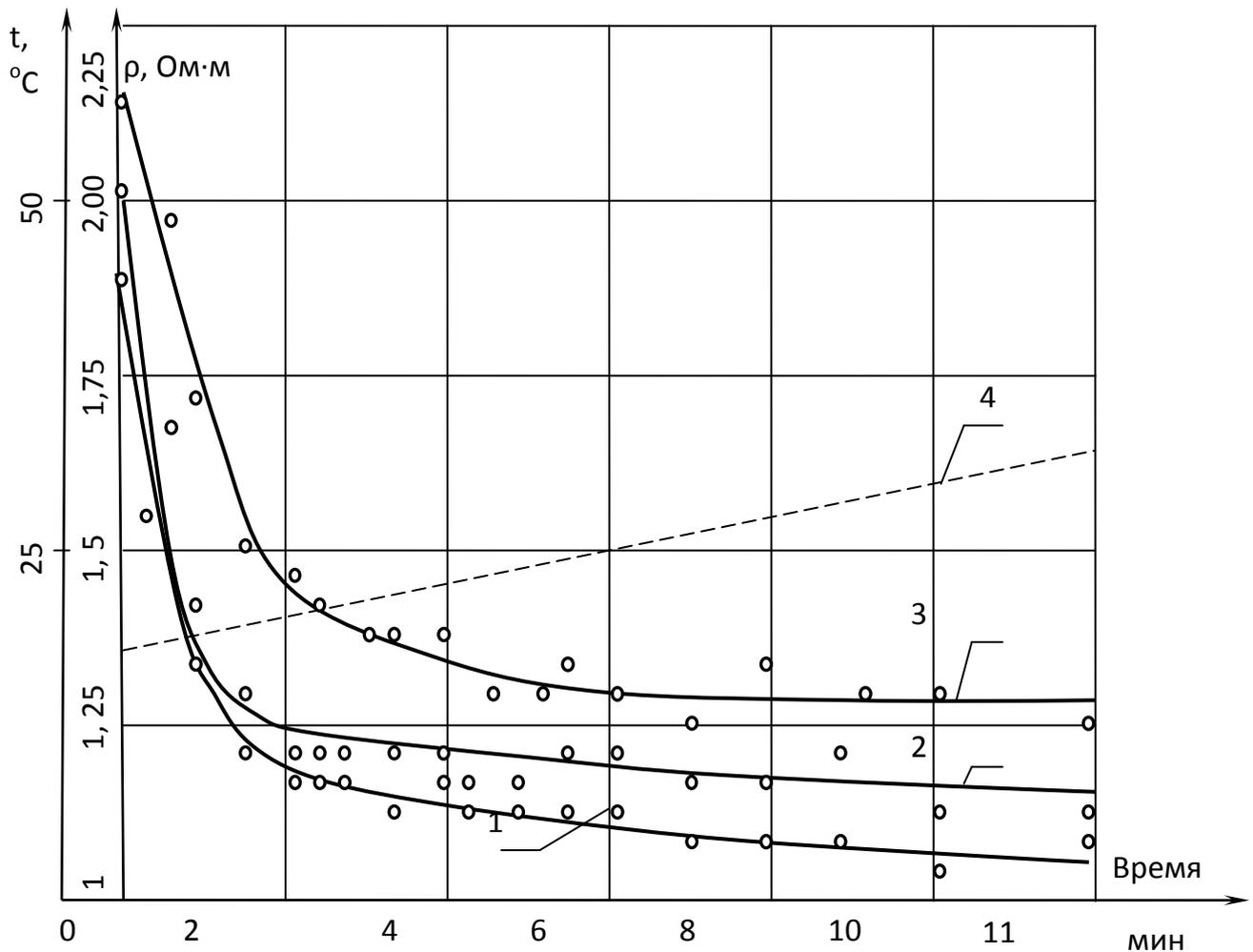


Рис 3. Изменение удельного электросопротивления и температуры цементной суспензии в процессе дискретной разрядно-импульсной обработки.

1. ПЦ 500-ДО, ОАО Кричевцементношифер С-3 0,6%+СН 0,8%
2. ПЦ 500-ДО, ОАО Красносельскцемент С-3 0,6%+СН 0,8%
3. ПЦ 500-ДО, ОАО Красносельскцемент С-3 0,4%+СН 0,8%
4. Изменение температуры суспензии в процессе активации.

Для определения наиболее выгодной последовательности, с точки зрения получения наибольшего эффекта, были приготовлены замесы бетонной смеси с расходом цемента 320 кг/м^3 со всеми возможными

последовательностями ввода. Данные испытаний подвижности смеси и прочности бетона представлены в табл.2.

Анализ данных табл.2 позволяет сделать вывод о том, что активированная цементная суспензия должна вводиться в смеситель после загрузки всех компонентов как первая порция воды затворения.

Таблица 2

Влияние последовательности ввода активированной цементной суспензии на подвижность бетонной смеси и прочность бетона.

№ п/п	Последовательность ввода активированной цементной суспензии	Осадка конуса (см)	Предел прочности на сжатие в возрасте сут, МПа		
			3	7	28
1	Контрольный - С-3 + СН со второй порцией воды затворения	5	28,2	30,6	37,8
2	Активированная цементная суспензия совместно с водой затворения	8	34,5	37,1	44,5
3	После ввода первой порции воды и добавок	5	28,4	30,5	37,9
4	Перед вводом воды и добавок	9,5	35,42	38,1	45,7

Результаты экспериментальных исследований сохранения подвижности бетонной смеси во времени, представленные на рис. 4, показывают, что скорость потери подвижности в первые 2 часа у бетонных смесей, содержащих активированную цементную суспензию, несколько меньше, чем у смесей не содержащих суспензию.

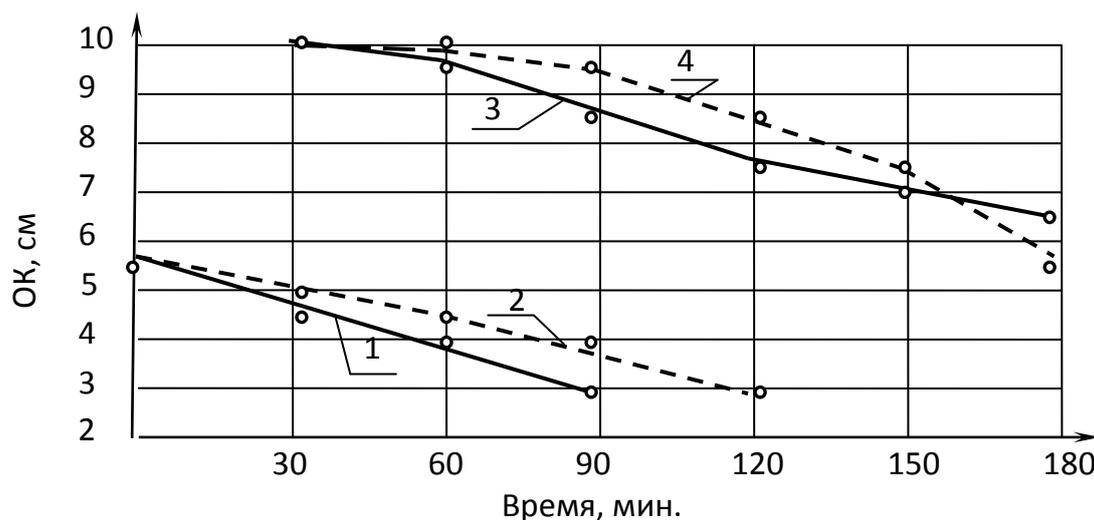


Рис 4. Кинетика изменения подвижности бетонной смеси.

- контрольный состав;
- с добавкой активированной цементной суспензии;
- 1,2. при начальной подвижности 5 см.;
- 3,4. при начальной подвижности 9 – 10 см.

Применение электроактивированной цементной суспензии позволяет, при прочих равных условиях и равных содержаниях всех компонентов бетонной смеси, увеличить ее подвижность до 2 раз с одновременным увеличением прочности бетона в 7-суточном возрасте в пределах 24% и в 28-суточном возрасте в пределах 20%.

В пятой главе представлены результаты исследований, относящиеся к определению режимов электропрогрева активированного бетона и их опытно-промышленной проверке.

Для решения поставленной задачи был спланирован трехфакторный эксперимент. При этом область режимов электропрогрева бетона определена из соображений охвата наибольших температур и скоростей подъема. При этом предварительное выдерживание длилось 2 часа, а скорость остывания поддерживалась равной 10°C/ч . Условия эксперимента и его результаты приведены в таб. 3.

Таблица 3

Матрица планирования, средние значения энергозатрат и прочности бетона

№ опыта	Натуральные значения факторов			Прочность бетона, МПа				Энерго-затраты, кВт·час/м ³
	Скорость подъема температуры, °С/час(X_1).	температура изотермы, °С(X_2).	длительность изо-термы, час(X_3).	При использовании суспензии		Стандартные условия		
				Через 4 часа после электропрогрева	через 28 суток	Через 4 часа после электропрогрева	через 28 суток	
1	20	90	6,5	29,12	33,6	24,96	28,48	98
2	20	50	6,5	25,6	39,36	22,72	32,96	51
3	5	90	6,5	33,6	40,32	27,52	32,64	117
4	5	50	6,5	30,08	43,52	23,68	36,16	56
5	20	70	10	29,44	38,08	24,96	28,48	85
6	20	70	3	24,96	39,36	19,2	31,04	62
7	5	70	10	33,6	41,28	27,84	32,96	96
8	5	70	3	28,8	42,24	23,04	37,12	74
9	12,5	90	10	32,96	36,16	27,52	28,48	119
10	12,5	90	3	31,04	38,4	23,68	31,36	91
11	12,5	50	10	29,76	39,68	24,0	34,88	69
12	12,5	50	3	25,28	41,6	17,6	36,16	51
13	12,5	70	6,5	30,72	41,92	24,96	31,36	69
14	12,5	70	6,5	30,4	41,28	23,04	32,64	69
15	12,5	70	6,5	31,04	40,96	24,0	31,04	69

Получены следующие модели прочности бетона: с активированной суспензией (\bar{R}_B^a) и без нее (\bar{R}_B) - через 4 часа после электропрогрева и (\bar{R}_B^{28}) и (\bar{R}_B^{28}) - через 28 суток, в зависимости от режимов электропрогрева:

$$\bar{R}_B^a = 1 - 1,1 \cdot X_1 + 1 \cdot X_2 + 1 \cdot X_3 - 1,6 \cdot X_2 \cdot X_3 - 1,8 \cdot X_1^2 - 1,3 \cdot X_2^2 - 1,7 \cdot X_3^2; \quad (6)$$

$$\bar{R}_B^{a28} = 1 - 1 \cdot X_1 - 1 \cdot X_2 - 1,8 \cdot X_3 - 1,6 \cdot X_1 \cdot X_2 - 1,5 \cdot X_1^2 - 1,7 \cdot X_2^2 - 1,7 \cdot X_3^2; \quad (7)$$

$$\bar{R}_B = 1,4 - 0,3 \cdot X_1 + 1 \cdot X_2 + 1,6 \cdot X_3 - 1,4 \cdot X_1 \cdot X_2 - 1,6 \cdot X_2 \cdot X_3 + 1,6 \cdot X_1^2 - 1,9 \cdot X_3^2; \quad (8)$$

$$\bar{R}_b^{28} = 12 - 2,2 \cdot X_1 - 2,4 \cdot X_2 - 0,4 \cdot X_3 + 1,4 \cdot X_1 \cdot X_3 - 1,4 \cdot X_2 \cdot X_3 + 0,6 \cdot X_2^2 + 1,4 \cdot X_1 \cdot X_2 \quad (9)$$

Анализ результатов исследований показывает, что наибольшая прочность бетона, приготовленного с использованием активированной цементной суспензии, достигается при мягких режимах проведения процесса, т.е. при небольшой скорости подъема температуры, равной $5 - 12^\circ\text{C}/\text{час}$. С увеличением температуры изотермического прогрева свыше 50°C прочность электроактивированного бетона в 28-суточном возрасте, как правило, снижается. При этом возрастают энергозатраты.

При проектировании режимов электропрогрева в качестве исходной величины используется электросопротивление бетонной смеси. Для бетонных смесей, содержащих и не содержащих активированную цементную суспензию, результаты исследования электросопротивления при электропрогреве бетона представлены на рис.4.

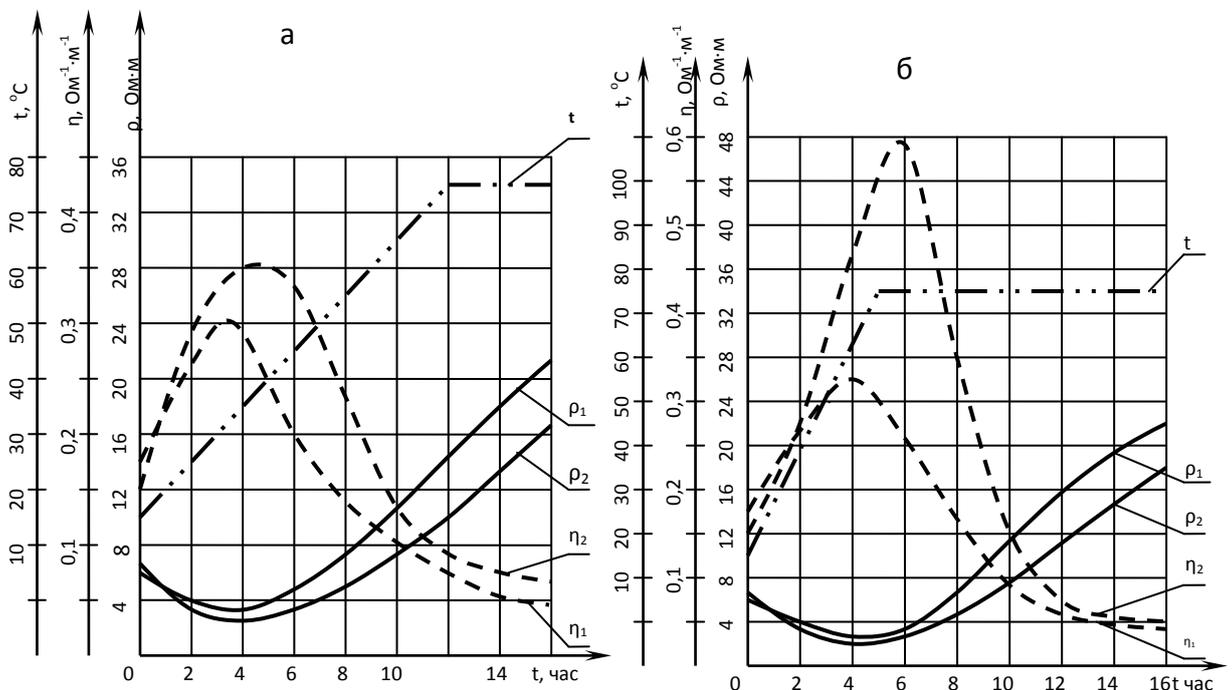


Рис.5. Изменение электрофизических характеристик бетона в процессе электропрогрева (а – скорость подъема температуры $5^\circ\text{C}/\text{час}$; б – $12,5^\circ\text{C}/\text{час}$): ρ_1 и η_1 – соответственно удельное электрическое сопротивление и проводимость бетона без суспензии; ρ_2 и η_2 – тоже бетона с активированной суспензией.

Характер изменения электросопротивления активированной бетонной смеси в процессе электротермообработки и его величина позволяют вести процесс при пониженном напряжении, что повышает уровень безопасности производства работ при электропрогреве бетона на строительной площадке. Для опытно-промышленной проверки результатов исследований, с целью увеличения электробезопасности процесса проведения активации, напряжение в цепи активации было принято равным 127 В. В процессе активации величина РС должна быть постоянна. Поэтому распределение напряжения между накопительной емкостью и активируемой цементной

суспензией будет неизменным. В связи с этим было решено автотрансформатор не использовать, а заданное значение градиента напряжения поддерживать изменением величины накопительной емкости в пределах необходимого значения RC . Исходя из того, что общее сопротивление цепи активации равно:

$$R_{\text{общ}} = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}\right)^2}, \quad (10)$$

и принимая во внимание, что

$$C = \frac{1.3 \cdot 10^{-1} \div .5 \cdot 10^{-1}}{R},$$

зависимость общего сопротивления цепи при активации цементной суспензии записана в виде:

$$R_{\text{общ}} = R \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{\left[2 \cdot \pi \cdot f \cdot \left(.3 \cdot 10^{-1} \div .5 \cdot 10^{-1}\right)\right]^2}}. \quad (11)$$

Для частоты тока 50 Гц общее сопротивление цепи составит:

$$R_{\text{общ}} = R \cdot (2,346 \div 2,645), \quad (12)$$

где R – сопротивление обрабатываемой среды, Ом.

При использовании в цепи обработки напряжения величиной 127 В с величиной градиента напряжения на емкости активации 274 В/м, расстояние между электродами будет равно $0,3 \div 0,33$ м.

В процессе опытно-промышленной проверки результатов исследований на первом этапе приготовления бетонных смесей производилось активирование цементной суспензии. По окончании обработки активированная цементная суспензия выливалась в бетоносмеситель, где находились отдозированные компоненты бетонной смеси (мелкий и крупный заполнители, цемент). После получения однородной массы в смеситель добавлялась оставшаяся часть воды и добавок. Полученная бетонная смесь в бадьях доставлялась к месту укладки и распределялась в опалубке конструкций.

Опыты показали, что использование для приготовления бетонных смесей активированной цементной суспензии позволяет в пределах рабочих напряжений автотрансформатора выдерживать проектный режим до достижения бетоном заданной распалубочной прочности. При этом продолжительность изотермического прогрева сокращается на 5-8 часов или на 56-87%. Сокращение сроков выдержки конструкций в опалубке позволило интенсифицировать процесс реконструкции объектов. Затраты электроэнергии при достижении заданных прочностных показателей снижались на 20-40% и одновременно сокращались сроки выдерживания конструкций в опалубке на 30-35%.

Производственная проверка разработанной технологии производства бетонных работ с использованием активированных бетонных смесей в реальных условиях строительной площадки подтвердила достоверность результатов теоретических и экспериментальных исследований.

На основании результатов исследований разработаны "Рекомендации по активированию цементных суспензий и технологии производства бетонных работ с их применением".

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Известные методы электроактивации цементных систем получили ограниченное применение в связи с применением электрического поля высокой напряженности – до 430 В/м и напряжения до 50-60 кВ, а также в связи с необходимостью согласовывать сроки электроактивации со сроками схватывания цемента [1, 4, 11].
2. С целью повышения эффективности электроактивации цементных систем предложен и теоретически обоснован метод дискретной разрядно-импульсной обработки, позволяющий интенсифицировать процесс отвода продуктов гидратации от поверхности зёрен цемента, основной параметр которого градиент напряжения электрического тока (напряжённость электрического поля) определяется дисперсностью цемента, геометрическими и физическими характеристиками пленочной воды. Разработана методика расчета электрической мощности, необходимой для электроактивации цементных суспензий. Установлено, что необходимая мощность зависит от массы и теплоемкости воды и цемента, температуры цементной суспензии, экзотермии цемента. Показано, что основной характеристикой процесса активации цементных суспензий является постоянная величина (RC), равная произведению активного сопротивления цементной суспензии и емкости накопительного конденсатора [5, 7, 8, 11].
3. Разработаны принципиальные схемы и созданы установки для дискретной разрядно-импульсной обработки цементных суспензий в лабораторных и производственных условиях, на которых выполнен комплекс исследований по отработке оптимальных параметров электрического поля и режимов активации цементных суспензий [9].
4. В результате теоретических и экспериментальных исследований установлено, что процесс активации цементных суспензий следует начинать с начала контакта цемента с водой и продолжать в течение 4 минут при величине основной характеристики процесса активации, равной $1,3 \cdot 10^{-3}$ – $1,5 \cdot 10^{-3}$ с при градиенте напряжения электрического тока 274 В/м. Количество активированного цемента должно составлять 32% от массы цемента, рассчитанной на приготовление бетонной смеси [7, 9, 10].
5. Установлена последовательность приготовления бетонной смеси с применением электроактивированной цементной суспензии, выявлено ее влияние на подвижность смеси и кинетику набора прочности бетона как в нормально-влажностных условиях, так и при электротермообработке. Показано, что применение электроактивированной цементной суспензии увеличивает подвижность смеси до 2 раз с одновременным увеличением прочности бетона в 7-суточном возрасте на 24% и в 28-суточном – на 19-22%. Установлены рациональные режимы электротермообработки

активированного бетона: скорость подъема температуры – 5-12°C/час; температура изотермического прогрева – 50-60°C. Изучены электрические характеристики активированной цементной суспензии и бетона, приготовленного с ее применением [7, 10].

6. Разработаны Рекомендации по электроактивации цементных суспензий и технологии производства бетонных работ с их применением. Результаты комплексных исследований прошли опытно-промышленную проверку при реконструкции ряда объектов РУП "Строительномонтажный трест №22" в Республике Беларусь, а также в Российской Федерации. Результаты проверки подтвердили достоверность основных положений и методик расчета технологических режимов. Производственные режимы электроактивации цементных суспензий и термообработки бетона отличались от расчетных на 6-10%. Эффективность исследований, подтвержденная результатами опытно-промышленной проверки, обеспечивается сокращением затрат электроэнергии при термообработке бетона на 20-40% и сроков выдерживания конструкций в опалубке на 30-35%, и продолжительности изотермического прогрева на 56-87% [2, 3, 6, 11].

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Калмыков Л.Ф., Коньков В.В., Шведов А.П. Методы ускорения твердения бетона // Сельское строительство Белоруссии.- 1986.- №3.- С. 12-15.
2. Шведов А.П. Новый метод электротермообработки монолитных железобетонных конструкций // Научно-исследовательская работа ВУЗов – народному хозяйству: Тез. докл. конф.- Витебск, 1986.- С. 78-79.
3. Шведов А.П. Методы интенсификации твердения бетона в монолитном строительстве, их недостатки и пути совершенствования // Вклад молодежи по проблемам повышения эффективности и качества технологии строительного производства, материалов и конструкций: Тез. докл. конф.- Новополоцк, 1986.- С. 42-43.
4. А.с. 1522814 СССР, МКИ 4E04 G9/10. Способ возведения железобетонных конструкций и устройство для его осуществления / А.П.Шведов, С.С.Атаев, Л.Ф.Калмыков, К.А.Кунцевич, В.С.Войтенков, И.П.Шведов, А.Н.Леонович (СССР).- №4262761/29-331. Заявлено 15.06.87.
5. Шведов А.П., Шведов И.П. Характер изменения температуры в межзерновом пространстве при электропрогреве бетона // Современные изделия и технологии в строительстве: Тез. докл. конф. – Новополоцк, 1989.- С.35.
6. Калмыков Л.Ф., Шведов А.П. Ресурсосберегающая технология бетонирования монолитных конструкций в зимних условиях. Обзор. инфор. / БелНИИНТИ.- Минск, 1992.- 64 с.
7. Блещик Н.П., Коньков В.В., Шведов А.П., Шведов И.П. Интенсификация процесса твердения бетона за счёт разрядно-импульсной обработки цементных паст // Инженерные проблемы современного бетона и

железобетона: Сб. науч. ст. международн. конференции.- Минск, 1997.- Т.2.- С. 9-15.

8. Шведов А.П. Метод комбинированного направленного воздействия на процессы гидратации цементных систем // Инженерные проблемы строительства и эксплуатации сооружений: Тр./ Полоцкого гос. ун-та.- Минск, 2001.- С. 390-397.

9. Шведов А.П. Устройство для обработки цементной суспензии // Решение о выдаче патента по заявке №и20030049 от 10.02.03.

10. Блещик. Н.П., Шведов А.П. Определение режимов электроактивации цементных суспензий и технологические свойства бетонных смесей, приготовленных на их основе // Вестник Полоцкого гос. ун-та. Сер. В. – 2003. – Т.2, №2.- С. 80-84.

11. Шведов А.П. Электроактивирование цементных суспензий и их использование в технологии монолитного бетона // Вестник Полоцкого гос. ун-та. Сер. В.- 2003.- Т.2, №2.- С. 74-79.

Р Е З Ю М Е

Шведов Александр Петрович

ИНТЕНСИВНАЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА БЕТОННЫХ РАБОТ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ МОДИФИЦИРОВАННЫХ И ЭЛЕКТРОАКТИВИРОВАННЫХ ЦЕМЕНТНЫХ СУСПЕНЗИЙ

Ключевые слова: бетон, электропрогрев, модификатор, дискретная разрядно-импульсная активация, цементная суспензия, сопротивление, накопительная емкость, градиент напряжения, подвижность смеси, прочность бетона, энергозатраты.

Объект исследования – бетонные смеси и бетон.

Предмет исследования – процессы электроактивации, интенсификации твердения бетона в различных температурно-влажностных условиях.

Цель исследования – разработка теории и практики дискретной разрядно-импульсной активации цементных суспензий и интенсивной энергосберегающей технологии производства бетонных работ при реконструкции зданий и сооружений.

Метод исследования и аппаратура – исследования проводились с использованием разработанных устройств, стандартных методик, статистической и математической обработки экспериментальных данных.

Полученные результаты и их новизна – разработаны теоретические основы механизма активации цементных суспензий переменным электрическим током, изменяющимся в дискретном разрядно-импульсном режиме, устройство для активации цементных суспензий и способ ее осуществления; получены зависимости влияния режимов дискретной разрядно-импульсной электрической активации цементных суспензий на кинетику структурообразования и физико-механические свойства цементного камня и бетона; разработаны технологические режимы приготовления бетонных смесей с использованием электроактивированных цементных суспензий и интенсивная энергосберегающая технология производства бетонных работ при реконструкции зданий и сооружений; разработаны "Рекомендации по активированию цементных суспензий и технологии производства бетонных работ с их применением". Результаты исследований обеспечивают увеличение прочности бетона монолитных конструкций на 30%, сокращение сроков достижения распалубочной прочности бетона на 30-35% и снижение расхода электроэнергии на 20-40%. Принято решение о выдаче патента на устройство.

Р Э З Ю М Э

Шведаў Аляксандр Пятровіч

ІНТЭНСІЎНАЯ ЭНЕРГАЗБЕРАГАЮЧАЯ ТЭХНАЛОГІЯ ВЫТВОРЧАСЦІ БЕТОННЫХ РАБОТ ПРЫ РЕКАНСТРУКЦЫІ БУДЫНКАЎ І ЗБУДАВАННЯЎ З ПРЫМЯНЕННЕМ МАДЫ- ФІКАВАННЫХ І ЭЛЕКТРААКТЫВАВАННЫХ ЦЭМЕНТНЫХ СУСПЕНЗІЙ

Ключавыя словы: бетон, электрапрагрэў, мадыфікатар, дыскрэтная разрадна-імпульсная актывацыя, цэментная суспензія, супраціўленне, накапляльная ёмістасць, градыент напружання, рухавасць сумесі, трываласць бетона, энергазатраты.

Аб'ект даследавання – бетонныя сумесі і бетон.

Прадмет даследавання – працэсы электраактывацыі, інтэнсіфікацыі цвёрдзення бетона ў разнастайных тэмпературна-вільготнасных умовах.

Мэта даследавання – распрацоўка тэорыі і практыкі дыскрэтнай разрадна-імпульснай актывацыі цэментных суспензій і энергазберагаючай тэхналогіі інтэнсіўнай вытворчасці бетонных работ пры рэканструкцыі будынкаў і збудаванняў.

Метад даследавання і апаратура – даследаванні праводзіліся з выкарыстаннем распрацаваных устройстваў, стандартных метадык, статыстычнай і матэматычнай апрацоўкі эксперыментальных дадзеных.

Атрыманыя рэзультаты і іх навізна – распрацаваны тэарэтычныя асновы механізма актывацыі цэментных суспензій пераменным электрычным токам, які мяняецца ў дыскрэтным разрадна-імпульсным рэжыме, устройства для актывацыі яго ажыццяўлення; атрыманы залежнасці ўплывання рэжымаў дыскрэтнай разрадна-імпульснай электрычнай актывацыі цэментных суспензій на кінэтыку структураўтварэння і фізіка-механічныя ўласцівасці цэментнага каменя і бетона; распрацаваны тэхналагічныя рэжымы прыгатавання бетонных сумесей з выкарыстаннем электраактываваных цэментных суспензій і інтэнсіўная энергазберагаючая тэхналогія вытворчасці бетонных работ пры рэканструкцыі будынкаў і збудаванняў; распрацаваны "Рэкамендацыі па актываванню цэментных суспензій і тэхналогіі вытворчасці бетонных работ з іх прымяненнем". Вынікі даследаванняў забяспечваюць павелічэнне трываласці бетона, маналітных канструкцый на 30%, скарачэнне строкаў дасягнення распалубачнай трываласці бетона на 30-35% і зніжэнне расхода электраэнергіі на 20-40%. Прынята рашэнне аб выдачы патэнта на ўстройства.

SUMMARY

Shvedov Alexandr Petrovich

THE INTENSIVE ENERGY SAVING TECHNOLOGY OF CONCRETE WORK PRODUCTION UNDER THE RECONSTRUCTION OF BUILDINGS AND STRUCTURES WITH MODIFIED AND ELECTRO-ACTIVIZED CEMENT SUSPENSION APPLICATION

Concrete, electric heating, modifier, discrete discharge and pulse activation cement suspension, resistance, accumulated unit weight, stress gradient, mixture mobility, concrete strength, energy expense.

The object and the subject of the investigation were concrete and its mixtures electro-activated processes, intensification of concrete hardening under different conditions of temperature and moisture.

The purpose of the investigation was to work out theoretical and practical methods of discrete discharge-pulse activating of cement suspensions and intensive energy saving technologies of concrete work production under the reconstruction of buildings and structures.

The investigation was carried out with standard methods, statistical and mathematical processing of experimental data and using of invented devices.

The results of investigation were realized in the creation of theoretical basis of cement suspension activating mechanism by variable electric current, which changes in discrete discharge and pulse operation, the device for activating cement suspension and the manner of its realization. Besides, there were found the dependence of the effect of discrete discharge and pulse operation of electrical activating of cement suspension on structure forming kinetics, physical and chemical properties of cement stone and concrete.

Technological conditions of concrete mixture making with the use of electro-activating cement suspensions and intensive energy saving technologies of concrete work fabrication in reconstructing of building structures were developed.

The results of the investigations were also realized in the "Recommendations on cement suspension activating and technologies of concrete work fabricating."

This investigation allows increasing the strength of concrete in-situ structures (30%), to decrease the time of the concrete initial strength (30-35%) and consumption of electricity (20-40%). There was received to patent this device.