

ПАВЛОВСКАЯ Ольга Олеговна

**СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ
ПРОЦЕССОМ ЭЛЕКТРОАКТИВАЦИИ
ВЯЖУЩЕГО КОМПОНЕНТА
ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ВЫСОКОПРОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

Специальность 05.13.06 – “Автоматизация и управление
технологическими процессами и производствами
(промышленность)”

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

Челябинск – 2001

Работа выполнена в Южно-Уральском государственном университете.

Научный руководитель – доктор технических наук,
профессор Жабреев В.С.
Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Юсупов Р.Х.;
кандидат технических наук, доцент
Кошеев А.А.

Ведущая организация – ЗАО «Челябинский комбинат строительных материалов
и изделий».

Защита диссертации состоится 16 мая 2001 г., в 15.00 ч. на заседании дис-
сертационного совета Д 212.298.03 в Южно-Уральском государственном уни-
верситете по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 87, ауд. № 705/36.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Южно-Уральского го-
сударственного университета.

Автореферат разослан “ ” 2001 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
к.т.н., доц.



Коровин А.М.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В таких отраслях промышленности, как строительство, металлургия, в частности в литейном производстве, предъявляются высокие требования к прочностным характеристикам материалов, изделий. Применение высокопрочных материалов в строительстве способствует повышению долговечности, расширению конструктивных, архитектурных возможностей строительных изделий и конструкций, а именно уменьшению размеров сечений конструкций и собственного веса элементов, увеличению размеров перекрываемых пролетов. Повышение прочности строительных изделий представляет собой также резерв для снижения материалоемкости производства и, как следствие, снижения стоимости строительных сооружений. В литейном производстве от прочности гипсовой литейной формы зависит не только качество отливок, но и производительность труда, поэтому проблема получения прочной литейной формы продолжает оставаться актуальной.

Прочность изделий определяется активностью и дисперсностью вяжущего компонента смесей (цемента, гипса, извести). Известно множество технологических способов, позволяющих повысить активность и дисперсность вяжущего. Научными исследованиями и практическими разработками в области электротехнологии, использующей для организации производственных процессов воздействие сильных электрических полей на диспергированный материал с целью повышения прочности изделий, занималась группа ученых во главе с академиком В.И. Попковым. Теоретические принципы применения электроактивации в технологии изделий на основе вяжущего впервые разработаны А.Р. Машинным. Первые аппараты, реализующие электронноструйную технологию изготовлены А.Р. Машинным, И.Н. Малым и В.Н. Панфиловым, ими же проведены экспериментальные исследования свойств цементно-песчаного бетона, полученного по этой технологии.

Однако способ и конструкции установки для электроактивации вяжущих компонентов (цемента, гипса, извести) не получили распространения, соответствующего его потенциальным возможностям, что связано с низкой производительностью, высоким потреблением электроэнергии газоразрядных установок низкой эффективностью обработки диспергированного материала. Кроме того, электроактивация остается одним из наименее автоматизированных способов повышения прочности изделий на основе вяжущего компонента.

Поэтому актуальной является задача разработки газоразрядной установки и системы автоматического управления, оптимизирующей процесс электроактивации вяжущего компонента смеси с целью обеспечения максимальной прочности изделий или минимального расхода вяжущего компонента. Влияние на эффективность электроактивации таких дестабилизирующих факторов как неравномерность подачи материала, случайных возмущений, представляющих собой ошибки измерения, позволяет рассматривать систему управления таким процессом как стохастическую. Первым шагом при формировании сигналов управления является оптимальное оценивание, заключающееся в следующем

ГОС. УНИВЕРСИТЕТ
НАУЧНАЯ
БИБЛИОТЕКА

восстановлении вида случайного процесса по сигналу с датчика, несущего информацию об этом процессе и искаженного различного рода помехами.

Проблема оптимального оценивания случайных процессов решена в работах: А.Н. Колмогорова, Н. Винера (корреляционный метод при линейной модели процесса передачи сигнала); Р.Е.Калмана, Р.С.Бьюси (дифференциальный метод при линейной модели процесса передачи сигнала). Методы, не содержащие ограничения линейности модели предложены Леганом и Парксом, Йоула. Для решения поставленной задачи наиболее приемлема современная марковская теория оптимальной нелинейной фильтрации, разработанная Р.Л. Стратоновичем и получившая дальнейшее развитие в трудах отечественных ученых: Н.К. Кульмана, И.Е. Казакова, В.И. Тихонова, Г.С. Черноуцко, В.С. Жабреева, М.С. Ярлыкова и др.

Объектом исследования являются установки и способы повышения активности вяжущего компонента смеси (цемента, гипса, извести) в электрическом поле.

Предметом исследований является система оптимального управления режимами работы газоразрядной установки для обработки вяжущего компонента смесей.

Целью работы является разработка газоразрядной установки и системы оптимального управления процессом электроактивации вяжущего компонента (цемента, гипса, извести) при производстве высокопрочных изделий.

Задачи работы. Достижение поставленной цели предполагает решение следующих задач:

- 1) исследовать возможность автоматизации и повышения эффективности технологического процесса обработки вяжущего материала в электрическом поле;
- 2) разработать структуру и конструкцию газоразрядной установки, реализующей эффективный способ воздействия на свойства вяжущего материала;
- 3) провести синтез оптимальной системы регулирования режимов обработки вяжущего материала в электрическом поле;
- 4) осуществить цифровое моделирование и оптимизацию структуры и параметров системы регулирования режимов обработки вяжущего материала в электрическом поле;
- 5) провести экспериментальные исследования лабораторной установки, подтверждающие эффективность обработки вяжущего материала в электрическом поле тихого разряда.

Методы исследования. Исследования, проводимые в работе, основаны на комплексном использовании теории высоковольтного газового разряда, электростатики механики аэрозолей и методов теории нелинейной фильтрации. При оценке эффективности разработанной системы регулирования режимов работы установки применено цифровое моделирование на ЭВМ.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- 1) установлена закономерность повышения эффективности обработки вяжущего материала при использовании переменного электрического поля на

уровне тихого разряда, обеспечивающей монополярную ионизацию, повышение активности и дисперсности вяжущего материала;

2) получены функциональные взаимосвязи между параметрами напряжения питания и током разряда, позволяющие оптимизировать режим электрообработки вяжущего материала;

3) на основе применения теории нелинейной фильтрации получены уравнения системы регулирования режимов работы установки тихого разряда, обеспечивающей оптимальное соотношение между параметрами электрического поля и характеристиками потока обрабатываемого материала.

Практическая значимость работы. Разработаны:

1) установка, реализующая способ активации вяжущего под действием переменного электрического поля на уровне тихого разряда, снабженная системой из двух чередующихся групп электродов, при этом электроды первой группы подключены к источнику постоянного высокого напряжения, а электроды второй группы – к источнику переменного напряжения. Новизна конструкции установки подтверждена патентом № 2073362 (РФ), кл. С 04 В 40/00;

2) установка, реализующая способ активации вяжущего под действием переменного электрического поля на уровне тихого разряда, снабженная установленными внутри корпуса тремя concentрично расположенными цилиндрическими барабанами, один из которых, средний, выполнен металлическим и подключен к источнику высокого напряжения, а на поверхности вращающегося наружного барабана (выполненного из диэлектрика) размещены заземленные электроды кольцевой формы. Для очистки и заземления кольцевых электродов на выходе из зоны зарядки установлены электропроводные элементы. Новизна конструкции установки подтверждена патентом РФ № 2158183, кл. С 04 В 40/00;

3) квазиоптимальные структурные схемы системы регулирования режимов работы установки для обработки вяжущего материала в электрическом поле тихого разряда, содержащие нелинейные блоки оценки режимов разряда. Критерий оптимальности – максимум активной мощности;

4) методика синтеза оптимальной системы регулирования режимов работы установки для обработки вяжущего в электрическом поле тихого разряда.

Экспериментальные исследования лабораторной установки подтвердили эффективность обработки вяжущего (цемента, гипса, извести) при использовании переменного электрического поля на уровне тихого разряда: прочность образцов изделий, изготовленных на основе обработанного в электрическом поле вяжущего, в среднем на (30÷70)% выше аналогичного показателя для образцов изделий, изготовленных по традиционным технологиям. Кроме того, обработка цемента в установке тихого разряда позволяет сократить расход цемента на 10 % при неизменной прочности растворов образцов.

Полученные результаты могут быть использованы при проведении ОКР по данной теме, на предприятиях по производству изделий на основе вяжущего компонента (силикатный кирпич, бетонные блоки, гипсовые формы для литья в металлургическом производстве и т.д.).

Реализация результатов работы. Результаты работы, включая способ и конструкцию установки, переданы для внедрения по лицензионному соглашению о передаче права использования патента РФ № 2073362 от 2.08.99 директору АО «Афина» Галееву И.А.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на первой региональной конференции «Уралинформ – 94» (г. Челябинск, 26–29 октября 1994 г.), 52-й научно-технической конференции ЮУрГУ (г. Челябинск, 2000 г.).

Публикации. Основные положения и результаты работы отражены в 9 печатных работах (в том числе 3 патента РФ на изобретение) и одном научно-техническом отчете.

Структура и объем работы. Работа состоит из предисловия, введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 101 наименования, пяти приложений. Работа изложена на 168 страницах печатного текста, содержит 50 рисунков, 12 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во Введении на основе результатов сравнительного анализа эффективности различных технологических способов повышения прочности изделий на основе вяжущего (рис.1, таблица) обоснована актуальность темы диссертационной работы, показана научная новизна и практическая ценность работы.

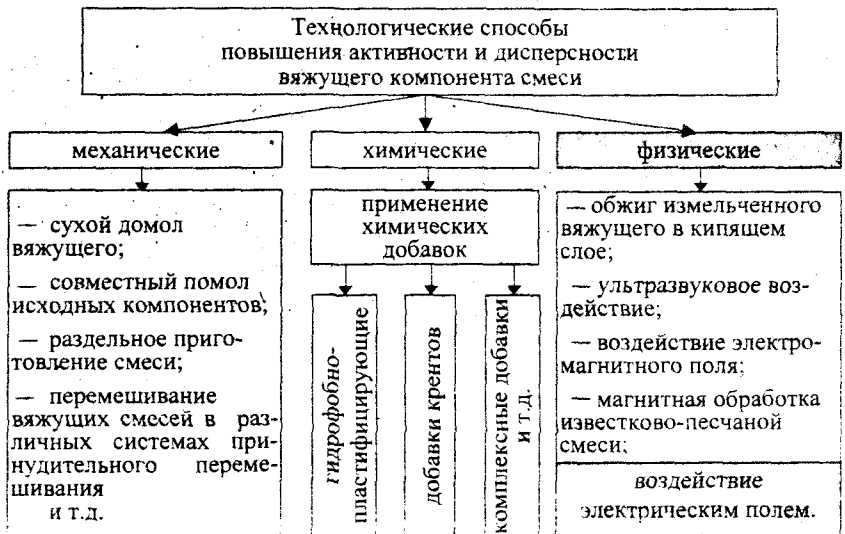


Рис.1

**Эффективность технологических способов
повышения прочности изделий на основе вяжущего материала**

Механические				Хими- ческие	Физи- ческие	Прочность материала, %
Сухой домол	Раздельное приготовле- ние смеси	Принудительное смесеприготовление				
		обычное	струйное			
Нет	Нет	Да	Нет	Нет	Нет	100
Да	Нет	Да	Нет	Нет	Нет	105...110
Нет	Да	Да	Нет	Нет	Нет	110...120
Нет	Нет	Нет	Да	Нет	Нет	110...120
Нет	Нет	Да	Нет	Да	Нет	110...120
Нет	Нет	Да	Нет	Нет	Да	110...150

Первая глава посвящена анализу состояния вопроса и постановке задач исследования. Из анализа известных способов и технических средств повышения прочности изделий за счет обработки вяжущего в электрическом поле следует, что необходимо совершенствовать способ и конструкцию установки с целью реализации потенциальных возможностей воздействия электрического поля высокой напряженности на частицы вяжущего материала. Анализ взаимосвязи между характеристиками потока материала и параметрами электрического поля свидетельствует о целесообразности оптимизации режимов обработки установки с целью повышения эффективности обработки вяжущего материала.

Во второй главе анализ электрофизических процессов направленного воздействия электрического поля на диспергированный вяжущий материал показал:

- 1) для увеличения электрического заряда, приобретаемого частицей вяжущего в электрическом поле, необходимо создать условия для отрицательной униполярной зарядки частиц;
- 2) высокая эффективность зарядки частиц за счет предотвращения экранирования электродов частицами вяжущего материала обеспечивается созданием электрического поля высокой напряженности с помощью импульсного источника питания;
- 3) использование тихого разряда вместо коронного позволяет создать равномерное распределенное электрическое поле и ограничить ток разряда.

С учетом перечисленного предложен способ обработки вяжущего материала в поле тихого разряда, заключающийся в применении переменного электрического поля, обеспечивающий монополярную ионизацию и, как следствие, повышение электрической активности и дисперсности материала (патент РФ № 2073362 "Способ электростатической обработки цемента").

Предложенный способ положен в основу усовершенствованного технологического процесса предприятий строительной, литейной промышленности.

Отличие схем построения усовершенствованного и традиционного технологических процессов (рис.2) состоит в том, что на стадии 1 после традиционных операций подготовки исходного сырья осуществляется электрообработка вяжущего материала. Для достижения высокого и стабильного эффекта повышения прочности на стадии 2 рекомендуется раздельное приготовление смеси непосредственно после обработки вяжущего: сначала вяжущий компонент затворяется водой, затем добавляются остальные компоненты смеси.

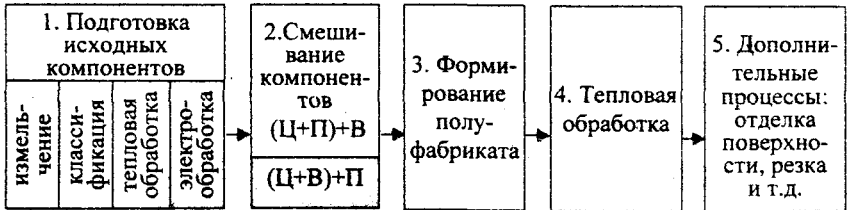


Рис.2

Предложено два варианта конструкции установки, реализующей эффективный способ электрообработки вяжущего. Особенностью конструкций установки является использование тихого разряда, создаваемого системой электродов, один из которых изолирован и подключен к плюсу импульсного источника питания, а другой заземлен и выполнен оголенным. Изолированность одного электрода обеспечивает отрицательную униполярную зарядку частиц, а также высокую напряженность электрического поля при меньших энергозатратах.

Установка с системой неподвижных электродов (рис.3) состоит из камеры для распыления частиц вяжущего 1 и камеры заряжения 2. Камера распыления снабжена ситом 3, к ней подключен электромагнит 4. Камера заряжения снабжена системой из двух групп электродов 5. На электроды первой группы подается постоянное напряжение, а электроды второй группы – переменное напряжение от высоковольтного источника питания 6. Конструкция установки защищена патентом РФ № 2073362.

Установка с системой вращающихся электродов (рис.4) снабжена тремя concentрично установленными барабанами. Внутренний барабан 1 выполнен из диэлектрика. В его стенках выполнены сквозные сообщающиеся полости 2 для пропускания хладагента. Средний барабан 3 выполнен металлическим и подключен к источнику высокого напряжения 4. Внешний барабан 5 выполнен из диэлектрика, на его поверхности перпендикулярно оси вращения барабанов равномерно размещены кольцевые электроды 6. Установка снабжена мягкими электропроводными элементами 7 для заземления и очистки кольцевых электродов. Особенностью данной конструкции установки является использование краевых эффектов электродов. Конструкция установки защищена патентом РФ № 2158183.

Анализ электрофизических процессов направленного воздействия электрического поля на частицы вяжущего материала показал, что эффективность

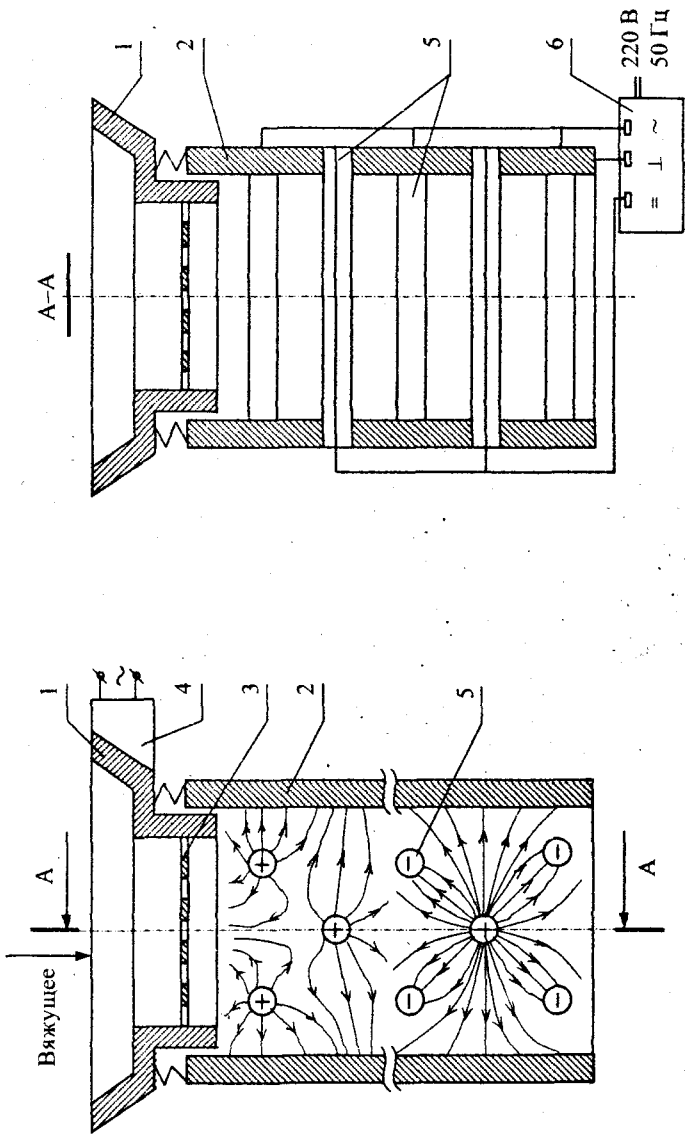


Рис.3. Установка с системой неподвижных электродов

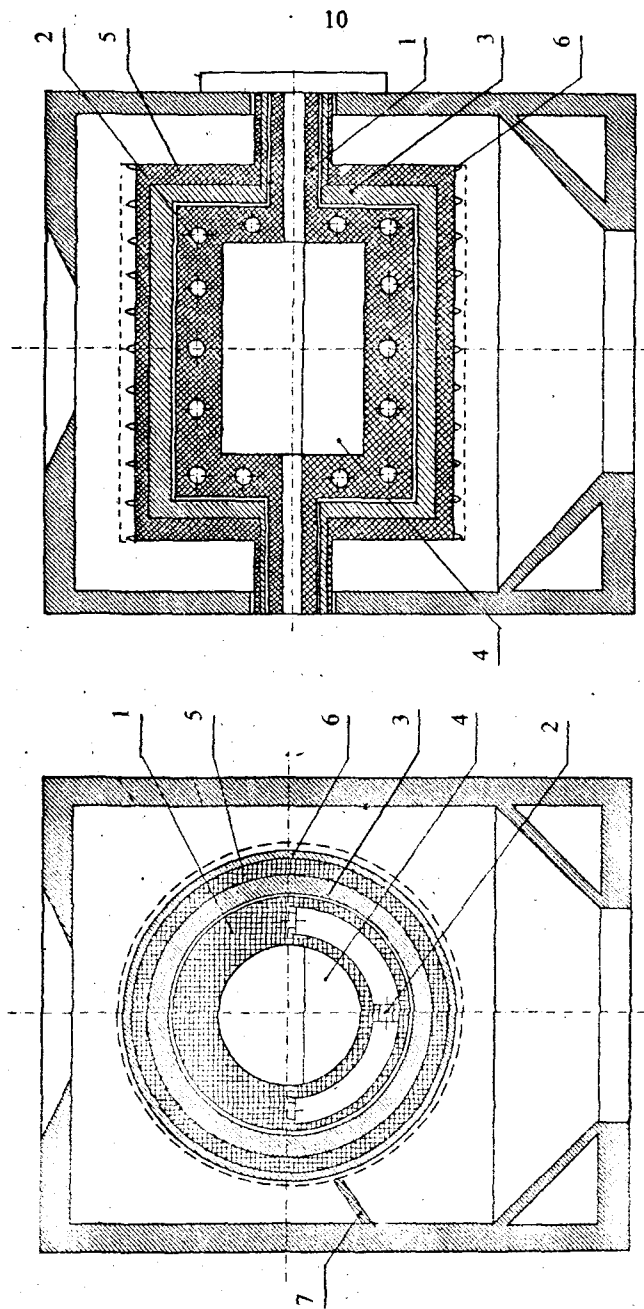


Рис. 4. Установка с системой вращающихся электродов

обработки вяжущего определяется величиной электрического заряда, приобретенного частицами вяжущего. В свою очередь, с увеличением заряда частицы Q_c , возрастает ток разряда i . На величину тока разряда i , следовательно, на эффективность электрообработки вяжущего, влияют: 1) массовая концентрация материала в пространстве между электродами; 2) тип вяжущего материала (гипс, известь, цемент); 3) температура воздуха в пространстве между электродами; 4) степень экранирования электродов частицами вяжущего материала.

Однако, изменение типа вяжущего материала происходит при переходе от одного производства к другому, изменения температуры воздушной среды носят сезонный характер. Поэтому изменение данных факторов можно учесть соответствующей настройкой величины массовой концентрации материала M_0 из условия обеспечения требуемой эффективности работы установки $i = i_{\text{треб}}$.

В соответствии с технологическими особенностями шнековой подачи материала в камеру зарядания массовая концентрация материала представляет собой сумму двух составляющих: M_0 и ΔM , где ΔM – случайная величина, отражающая неравномерность шнековой подачи материала, и приводящая к случайному изменению тока разряда Δi в окрестности тока $i_{\text{треб}}$.

Законы регулирования электрических параметров установки (амплитуды и частоты напряжения питания) определяются обратной зависимостью тока разряда от массовой концентрации материала в пространстве между электродами и процессами экранирования электродов частицами вяжущего материала. С целью стабилизации эффекта от обработки материала при изменениях массовой концентрации материала ΔM относительно значения M_0 необходимо изменять амплитуду, а для предотвращения экранирования электродов – частоту импульсного напряжения питания в соответствии с фактически имеющим место процессом $i(t)$.

Общая функциональная схема оптимальной системы регулирования параметров высоковольтного напряжения питания представлена на рис.5, где обозначено: ОУ – объект управления (газоразрядная установка); Д – датчик; БО₁; БО₂ – блоки оценки, БП – блок питания. Критерий оптимальности – максимум величины электрического заряда, приобретенного частицей вяжущего в электрическом поле тихого разряда.

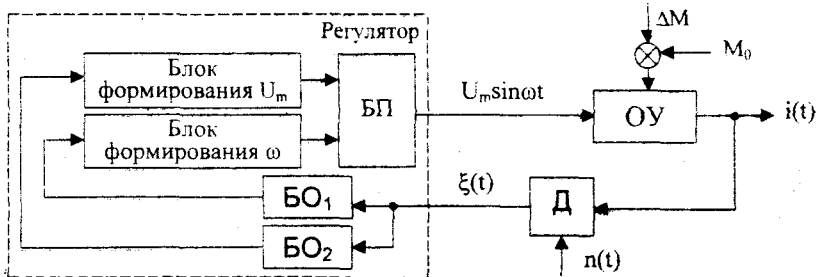


Рис. 5

Состояние ОУ характеризуется случайной величиной тока разряда $i(t)$ при определенных значениях входных воздействий: управляющего U_0 и задающего M_0 . Случайность $i(t)$ определена неравномерностью шнековой подачи материала и процессами экранирования электродов заряженными частицами вяжущего материала. Кроме того, внутри системы возникают случайные возмущения, представляющие собой ошибки измерения. Поэтому процессы, протекающие в такой системе, являются стохастическими, а синтез системы осуществляется на основе теории стохастических систем.

В третьей главе рассмотрены две задачи: оптимальной оценки и оптимального управления. Методами марковской оптимальной нелинейной фильтрации проведен синтез структур блоков оценки (БО₁ и БО₂ на рис.5), позволяющих восстановить значения параметров сигнала $i(t)$, а именно фазу $\varphi(t)$ или действующее значение $I(t)$ из зашумленного сигнала с выхода выпрямителя. С учетом $\xi(t) = (I_0 + \Delta I) \cdot K_n + n(t)$, где K_n – коэффициент передачи выпрямителя, $n(t)$ – помехи датчика, получена структурная схема блока, формирующего оценочные значения компонент информационного вектора $\bar{\lambda} = [I_0; \Delta I]^T$ с минимально возможными дисперсиями (рис.6).

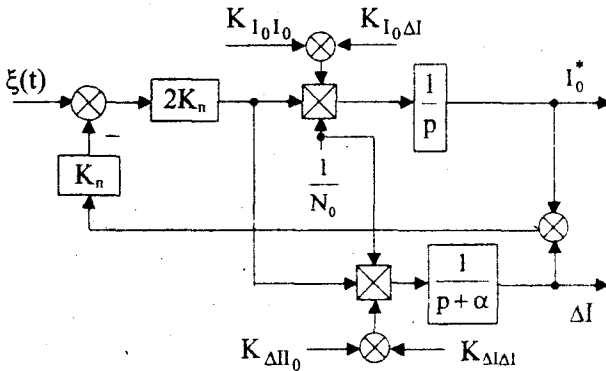


Рис.6

Упрощенная структурная схема блока оценки случайной фазы тока тихого разряда, представлена на рис.7, где ПГ – подстраиваемый генератор.

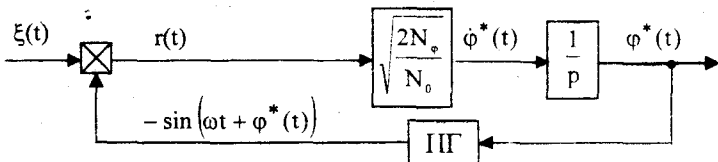


Рис.7

Синтез системы регулирования амплитуды импульсного напряжения по действующему значению тока сводится к синтезу прямого канала. Функциональная схема системы регулирования представлена на рис.8.

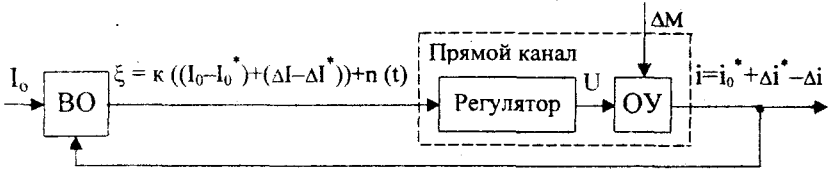


Рис.8

Алгоритм нелинейной фильтрации описывается уравнениями (1), (2):

$$\begin{cases} \dot{I}_0 = \frac{2K}{N_0} \xi(t) (K_{I_0 I_0} + K_{I_0 \Delta I}); \\ K_{I_0 I_0} = \frac{1}{2} N_{I_0 I_0} - 2K^2 (K_{I_0 I_0}^2 + K_{I_0 I_0} K_{\Delta I \Pi_0} + K_{I_0 \Delta I} K_{I_0 I_0} + \\ + K_{I_0 \Delta I} K_{\Delta I \Pi_0}); \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} K_{I_0 \Delta I} = \frac{1}{2} N_{I_0 \Delta I} - \alpha K_{I_0 \Delta I} - 2K^2 (K_{I_0 I_0} K_{I_0 \Delta I_0} + K_{I_0 I_0} K_{\Delta I \Delta I} + \\ + K_{I_0 \Delta I}^2 + K_{I_0 \Delta I} K_{\Delta I \Delta I}), \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{\Delta I} = -\alpha \cdot \Delta I^* + \frac{2K}{N_0} \xi(t) \cdot (K_{\Delta I \Pi_0} + K_{\Delta I \Delta I}); \end{cases}$$

$$\begin{cases} K_{\Delta I \Pi_0} = \frac{1}{2} N_{\Delta I \Pi_0} - \alpha K_{\Delta I \Pi_0} - 2K^2 (K_{\Delta I \Pi_0} K_{I_0 I_0} + K_{\Delta I \Delta I} K_{I_0 I_0} + \\ + K_{\Delta I \Pi_0}^2 + K_{\Delta I \Delta I} K_{\Delta I \Pi_0}); \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} K_{\Delta I \Delta I} = \frac{1}{2} N_{\Delta I \Delta I} - 2\alpha K_{\Delta I \Delta I} - 2K^2 (K_{\Delta I \Pi_0} K_{I_0 \Delta I} + K_{\Delta I \Pi_0} K_{\Delta I \Delta I} + \\ + K_{\Delta I \Delta I}^2 + K_{\Delta I \Delta I} K_{I_0 \Delta I}), \end{cases}$$

где коэффициенты K_{ij} характеризуют коррелированность оценок параметров i и j .

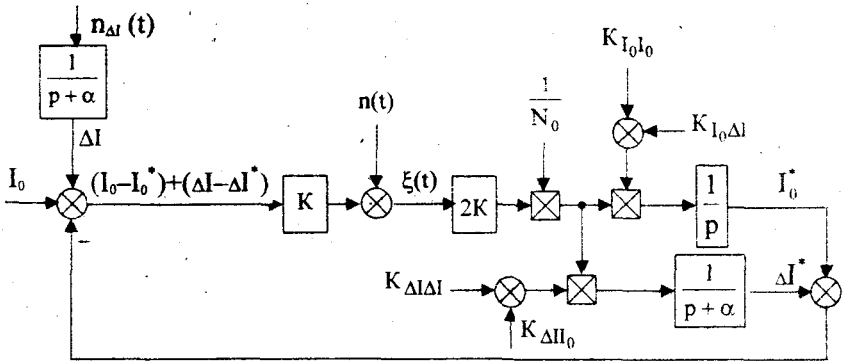


Рис.9. Структурная схема системы регулирования амплитуды импульсного напряжения питания

Функциональная схема оптимальной системы регулирования частоты пространственного разряда в газодисперсной среде представлена на рис.10.

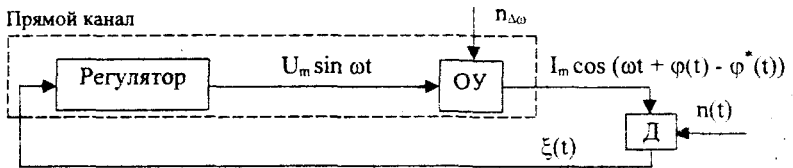


Рис.10

Уравнения оптимальной фильтрации:

$$\left\{ \begin{aligned}
 \dot{\varphi}^*(t) &= \Delta\omega^*(t) + K_{\varphi\varphi} F_{\varphi}; \\
 \dot{\Delta\omega}^*(t) &= -\alpha \Delta\omega^*(t) + K_{\Delta\omega\varphi} F_{\varphi}; \\
 \dot{K}_{\varphi\varphi} &= \frac{1}{2} N_{\varphi\varphi} + K_{\Delta\omega\varphi} + K_{\varphi\Delta\omega} + F_{\varphi\varphi} K_{\varphi\varphi}^2; \\
 \dot{K}_{\varphi\Delta\omega} &= \frac{1}{2} N_{\varphi\Delta\omega} + K_{\Delta\omega\Delta\omega} - \alpha K_{\varphi\Delta\omega} + F_{\varphi\varphi} K_{\varphi\varphi} K_{\varphi\Delta\omega}; \\
 \dot{K}_{\Delta\omega\varphi} &= \frac{1}{2} N_{\Delta\omega\varphi} + K_{\Delta\omega\Delta\omega} - \alpha K_{\Delta\omega\varphi} + F_{\varphi\varphi} K_{\Delta\omega\varphi} K_{\varphi\varphi}; \\
 \dot{K}_{\Delta\omega\Delta\omega} &= \frac{1}{2} N_{\Delta\omega\Delta\omega} - 2\alpha K_{\Delta\omega\Delta\omega} + F_{\varphi\varphi} K_{\Delta\omega\varphi} K_{\varphi\Delta\omega},
 \end{aligned} \right. \quad (3)$$

где

$$\begin{cases} F_{\varphi} \Big|_{\varphi=\varphi^*} = -\frac{2I_m}{N_0} \xi(t) \sin \omega t; \\ F_{\varphi\varphi} \Big|_{\varphi=\varphi^*} = -\frac{2I_m}{N_0} \xi(t) \cos \omega t. \end{cases} \quad (4)$$

По уравнениям (3) и упрощенным уравнениям (4) с учетом выражения $\xi(t) = I_m \cos(\omega t + \varphi(t) - \varphi^*(t)) + n(t)$, получена структурная схема системы регулирования частоты пространственного разряда (рис.11), где $n_{\omega}(t)$ – помехи, обусловленные неравномерностью подачи материала; $n_1(t)$ – помехи датчика.

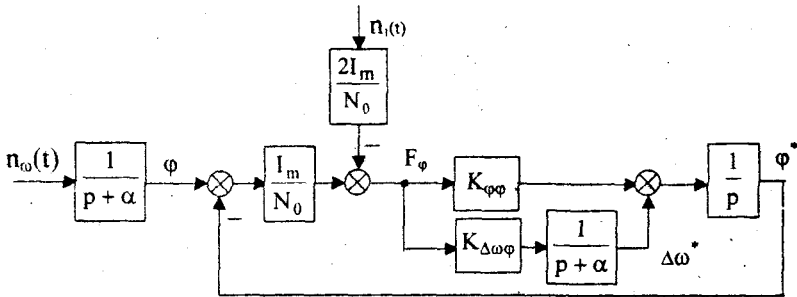


Рис.11

В четвертой главе разработана методика синтеза оптимальной системы регулирования режимов работы установки для обработки вязущего материала в электрическом поле тихого разряда, включающая следующие этапы:

а) математическое описание выходного сигнала датчика тока тихого разряда, выходного сигнала блока выявителя отклонения тока тихого разряда относительно требуемого значения;

б) синтез структурной схемы системы регулирования режимов обработки вязущего материала на основе уравнений оптимальной фильтрации (1), (2) канала регулирования амплитуды и уравнений оптимальной фильтрации (3) канала регулирования частоты импульсного напряжения питания;

в) цифровое моделирование системы регулирования режимов обработки вязущего материала с целью расчета чувствительности синтезированной системы к изменениям параметров выходного сигнала датчика и помех датчика;

г) выбор и оптимизация параметров элементов системы регулирования по заданной точности с использованием кривых чувствительности;

д) экспериментальная настройка и оптимизация режимов работы газоразрядной установки.

0330843

Путем математического моделирования на ЭВМ проведена оценка чувствительности системы регулирования частоты пространственного разряда в газодисперсной среде к возможным отклонениям параметров наблюдаемого процесса от расчетных с учетом принятых упрощений. При этом различные отклонения истинных параметров наблюдаемого процесса от расчетных задаются путем изменения значений коэффициентов $a_{ш}$, B , C :

$$\begin{aligned} \xi_u &= S_u + n_u = I_{mu} \cos(\omega t + (\varphi(t) - \varphi^*(t))_u) + n_u(t) = \\ &= BI_m \cos(\omega t + c(\varphi(t) - \varphi^*(t)) + \sqrt{a_{ш}} n(t), \end{aligned} \quad (5)$$

$$\text{где } B = \frac{I_{mu}}{I_m}, \quad c = \frac{(\varphi(t) - \varphi^*(t))_u}{\varphi(t) - \varphi^*(t)}, \quad a_{ш} = \frac{N_{0u}}{N_0}.$$

С учетом (5) и упрощений выражения (4) принимают вид

$$\begin{cases} F_\varphi = \frac{I_m^2 B}{N_0} c(\varphi(t) - \varphi^*(t)) - \frac{2I_m \sqrt{a_{ш}}}{N_0} n_1(t); \\ F_{\varphi\varphi} = -\frac{BI_m^2}{N_0} - \frac{2I_m \sqrt{a_{ш}}}{N_0} n_2(t). \end{cases} \quad (6)$$

В процессе решения уравнений (3), (6) в приложении Excell из пакета Microsoft Office'97 методом Рунге-Кутты четвертого порядка при одних и тех же $n_1(t)$, $n_2(t)$ для различных значений коэффициентов b , c , $a_{ш}$ вычисляются дисперсии ошибок фильтрации $\delta = \left(\overline{\sigma_\varphi^2} \right)_{\text{уст}}$. Графики чувствительности синтезированной системы представлены на рис.12 – рис.15.

В пятой главе приведены результаты экспериментальных исследований лабораторной установки тихого разряда, изготовленной в соответствии с патентом РФ № 2073362.

Подтверждена обратнопропорциональная зависимость тока установки от массовой концентрации материала в пространстве между электродами (рис.16), что согласуется с результатами теоретического анализа этой зависимости.

В лабораторных условиях получено два вида образцов: контрольные и экспериментальные. Контрольные образцы изготовлены по традиционной технологии, экспериментальные – по усовершенствованной технологии, включающей электрообработку вяжущего компонента смеси.

Исследования влияния обработки *известки* в электрическом поле тихого разряда на прочность силикатного кирпича проведены на заводе эффективного силикатного кирпича «Афина». Усредненные результаты измерений прочности представлены на рис.17. Анализ результатов эксперимента показал, что прочность

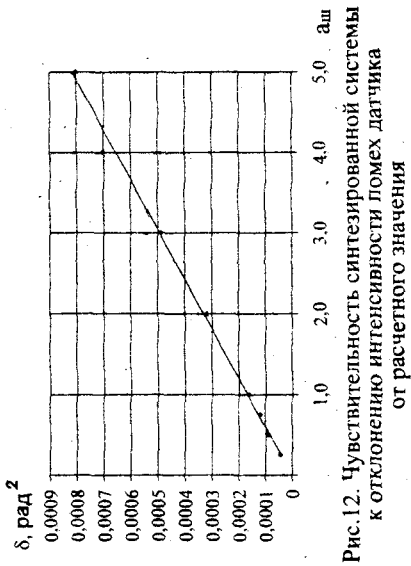


Рис. 12. Чувствительность синтезированной системы к отклонению интенсивности ломех датчика от расчетного значения

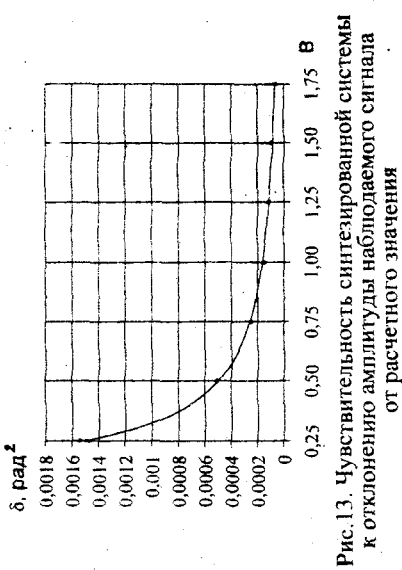


Рис. 13. Чувствительность синтезированной системы к отклонению амплитуды наблюдаемого сигнала от расчетного значения

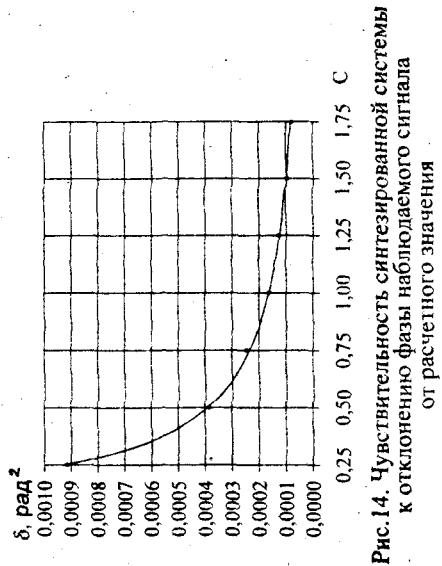


Рис. 14. Чувствительность синтезированной системы к отклонению фазы наблюдаемого сигнала от расчетного значения

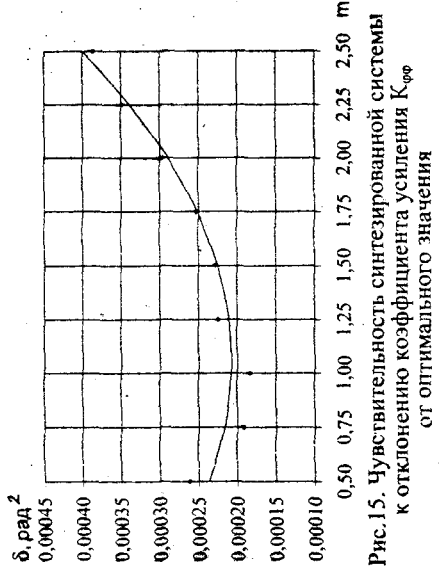


Рис. 15. Чувствительность синтезированной системы к отклонению коэффициента усиления K_{ϕ} от оптимального значения

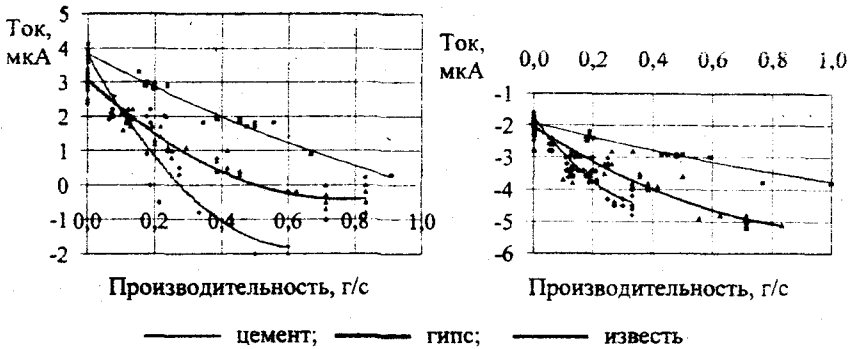


Рис.16

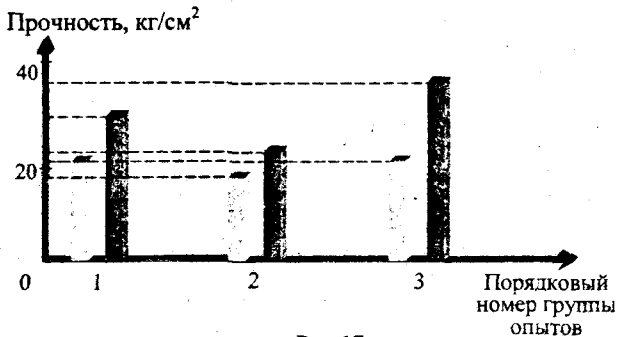


Рис.17

экспериментальных образцов выше прочности контрольных образцов на (30÷70)%, причем величина прироста прочности находится в прямопропорциональной зависимости от химической активности обрабатываемой извести.

Исследования влияния обработки *гипса* в электрическом поле тихого разряда на механические характеристики форм для литья колес компрессора проведены на кафедре «Литейное производство» ЮУрГУ. Результаты исследований отражены в патенте РФ № 2155114. Анализ результатов эксперимента показал: 1) прочность экспериментальных образцов выше прочности контрольных образцов на 30...40%; 2) скорость твердения экспериментальных образцов выше аналогичного показателя для контрольных образцов, но не превышает рекомендуемого для технологического процесса значения;

Исследования влияния обработки *портландцемента* в электрическом поле тихого разряда на объемный вес, пластичность, прочность растворяемых образцов проведены в Центральной строительной лаборатории ЧМС. Анализ

результатов эксперимента показал: 1) существенное влияние на результат обработки оказывает качество воды (прирост прочности образцов, изготовленных на водопроводной воде, составил 12,5 %, а на дистиллированной воде – 30,0 %); 2) объемный вес экспериментальных образцов на 1,4 % выше аналогичного показателя для контрольных образцов; 3) существенное влияние на результат электрообработки портландцемента оказывает порядок соединения компонентов смеси: лучшие результаты получены для последовательности замеса (цемент + вода) + песок; 4) обработка цемента в установке тихого разряда позволяет сократить расход цемента на 10 % при неизменной прочности растворных образцов.

Исследования влияния обработки цемента на величину электрического сопротивления образцов, проведенные в лаборатории кафедры «Технология приборостроения» ЮУрГУ, показали (рис.18), что начальный период твердения (до 20 суток) характеризуется практически совпадением характеристик. В последующий период твердения (до 28 суток) сопротивление экспериментального образца (R_3) в 2 – 4 раза меньше сопротивления контрольного образца (R_k). Различие кинетик свидетельствует об увеличении сорбционной способности цемента после его активации и уменьшения количества воздушных пор, что имеет своим результатом повышение прочности образцов изделий.

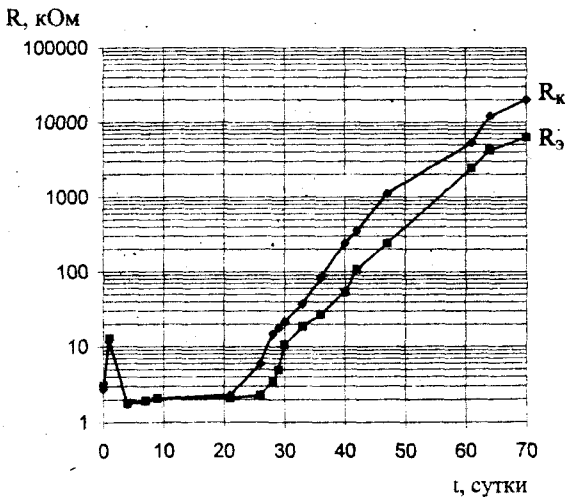


Рис.18

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

1. На основе применения теории марковской фильтрации получены нелинейные уравнения оптимальной системы регулирования частоты

пространственного разряда в газодисперсной среде по критерию максимума активной мощности системы и уравнения оптимальной системы регулирования амплитуды импульсного напряжения питания. Система обеспечивает оптимальное соотношение между параметрами газодисперсной среды и параметрами импульсного напряжения питания.

2. Разработана методика синтеза оптимальной системы регулирования режимов работы установки для обработки вяжущего в электрическом поле тихого разряда.

3. Разработаны конструкции установки, реализующей способ повышения активности и дисперсности вяжущего компонента смеси (цемента, гипса, известки) под действием переменного электрического поля на уровне тихого разряда, создаваемого двумя группами электродов, электроды одной группы выполнены с изоляцией (патент РФ № 2073362 "Способ электростатической обработки цемента", патент РФ № 2158183 "Установка для электростатической обработки вяжущего материала"), что позволяет уменьшить затраты электрической энергии на процессы ионизации и поляризации вяжущего компонента.

4. При цифровом моделировании системы регулирования частоты пространственного разряда в газодисперсной среде получены следующие результаты:

а) зависимость величины дисперсии ошибки фильтрации от интенсивности помех датчика N_0 линейная, причем при увеличении интенсивности помех датчика в пять раз ($a_{ш}$ меняется от 1 до 5) величина дисперсии ошибки фильтрации изменяется от $1,65 \cdot 10^{-4}$ [рад²] до $8,03 \cdot 10^{-4}$ [рад²];

б) при увеличении амплитуды наблюдаемого сигнала на 50 % (B меняется от 1,0 до 1,5) величина дисперсии ошибки фильтрации уменьшается от $1,50 \cdot 10^{-4}$ [рад²] до $9,6 \cdot 10^{-5}$ [рад²] соответственно, а при уменьшении B на 50 % (B меняется от 1,0 до 0,5) – увеличивается от $1,50 \cdot 10^{-4}$ [рад²] до $5,06 \cdot 10^{-4}$ [рад²];

в) при увеличении фазы наблюдаемого сигнала на 50 % относительно расчетного значения (C меняется от 1,0 до 1,5) величина дисперсии ошибки фильтрации δ уменьшается от $1,64 \cdot 10^{-4}$ [рад²] до $9,80 \cdot 10^{-5}$ [рад²] соответственно, а при уменьшении C на 50 % (C меняется от 1,0 до 0,5) – увеличивается от $1,64 \cdot 10^{-4}$ [рад²] до $3,84 \cdot 10^{-4}$ [рад²] соответственно.

Кривые чувствительности (рис.12 – рис.15) позволяют оптимизировать параметры системы при проведении опытно-конструкторских работ.

5. Экспериментальные исследования лабораторной установки тихого разряда, изготовленной по патенту РФ № 2073362, подтвердили обратно-пропорциональную зависимость тока установки от массовой концентрации материала в пространстве между электродами, что согласуется с результатами теоретического анализа этой зависимости. Прочность образцов изделий, изготовленных на основе обработанного в электрическом поле вяжущего компонента смеси, в среднем на 30...70 % выше аналогичного показателя для образцов изделий, изготовленных по традиционным технологиям. Кроме того,

обработка цемента в установке тихого разряда позволяет сократить расход цемента на 10 % при неизменной прочности растворных образцов.

6. Результаты работы переданы директору АО «Афина» Галееву И.А. для использования при изготовлении мелкоштучных строительных материалов (кирпича, строительного камня) с применением золошлаковых отходов ТЭС (лицензионное соглашение от 2.08.99).

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Высоковольтная установка для очистки воды и извлечения частиц из суспензий: Отчет о НИР (заключит.) / ЮУрГУ; Руководитель В.С. Жабреев; отв. исп. О.О. Павловская; № ГР 01.980003281; Инв. № 02.20 0002741. – Челябинск, 1999. – С. 33 – 36, 53 – 59, 127 – 130.
2. Жабреев В.С., Павловская О.О. Изготовление бетона с применением электронных процессов. – Челябинск: Изд. ЧГТУ, 1995. – 4 с.: Деп. в ВИНТИ, 31.05.95, № 1584-B95.
3. Жабреев В.С., Павловская О.О. Использование электронно-ионной технологии в производстве бетона: Препринт. – Челябинск: Изд. ЧГТУ, 1995. – 13 с.
4. Жабреев В.С., Павловская О.О. Исследование электронно-ионной технологии в производстве бетона // Интеллектуальные информационные технологии и стратегии в системной информатизации Уральского региона (Уралинформ – 94): Тезисы докладов первой региональной конференции. – Челябинск, 1994. – Ч. 1. – С. 28 – 29.
5. Жабреев В.С., Павловская О.О., Подлипецкая Л.В. Экстремальная система активации дисперсной среды // Системы автоматического управления: Тем. сб. научн. тр. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2000. – С. 88 – 97.
6. Жабреев В.С., Павловская О.О. Способ электростатической обработки цемента / Челябинский центр научно-технической информации. Информационный листок № 349-98. – 1998. – 1 с.
7. Павловская О.О. Математическое описание процессов направленного воздействия электрического поля на дисперсные среды // Системы автоматического управления: Тем. сб. научн. тр. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2000. – С. 44 – 47.
8. Пат. 2073362 РФ, МКИ 6 С 04 В 40/00. Способ электростатической обработки цемента / В.С. Жабреев, О.О. Павловская, Э.Д. Едренкин. – № 94037619/33; Заявлено 6.10.94; Опубл. 10.02.97 // Бюл. № 4.
9. Пат. 2155114 РФ, МКИ 7 В 22 С 1/18. Смесь для изготовления гипсовых форм и стержней при производстве отливок из цветных и драгоценных сплавов и способ ее приготовления / Л.Г. Знаменский, Б.А. Кулаков, В.С. Жабреев, О.О. Павловская, О.В. Ивочкина, И.Н. Ермаков. – № 99114486/02; Заявлено 07.07.1999; Опубл. 27.08.2000 // Бюл. № 24.
10. Пат. 2158183 РФ, МКИ 7 В 02 С 19/18. Установка для электростатической обработки вяжущего материала / В.С. Жабреев, О.О. Павловская. – № 99110159/03; Заявлено 12.05.1999; Опубл. 27.10.2000 // Бюл. № 30.