

**ПРИДНЕПРОВСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ
СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ**

На правах рукописи

УДК 666.97.035.51

АФАНАСЬЕВ Николай Фирсович

**ТЕХНОЛОГИЯ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ
С НЕПРЕРЫВНЫМ ЭЛЕКТРОРАЗОГРЕВОМ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ**

05.23.05 - Строительные материалы и изделия

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

Днепропетровск - 1997

691

ЛННБ України ім.В.Стефаника



00373752 (R)

48-38.492

ПРИДНЕПРОВСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ
СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ

На правах рукописи

УДК 666.97.035.51

кандидат технических наук
АФАНАСЬЕВ Николай Фирсович

ТЕХНОЛОГИЯ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ
С НЕПРЕРЫВНЫМ ЭЛЕКТРОРАЗОГРЕВОМ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

05.23.05 - Строительные материалы и изделия

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Днепропетровск - 1997

ЛНБ им. В. Стефанишина
АН Украины

Диссертацией является рукопись.

Работа выполнена в Луганском сельскохозяйственном институте Министерства сельского хозяйства и продовольствия Украины.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор

Савин Лев Сергеевич

доктор технических наук, профессор

Матвиенко Василий Андреевич

доктор технических наук, профессор

Шмугальский Владимир Никифорович

Ведущая организация:

Криворожский технический университет

Защита диссертации состоится 30 октября 1997 г. в 13⁰⁰ часов на заседании специализированного ученого совета Д 03.07.05 при Приднпровской государственной академии строительства и архитектуры по адресу: 320005 г. Днепропетровск, ул. Чернышевского 24а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке академии

Автореферат разослан

23.09

1997 г.

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

А.К. Карпухина

Карпухина А.К.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В период становления экономической самостоятельности Украины крайне важно использование новых энергосберегающих технологий при производстве бетонных и железобетонных изделий на тяжелом заполнителе. Решение этой проблемы возможно на основе непрерывного электроразогрева бетонных смесей с использованием эффективных технологических приемов тепловой обработки бетона.

Разработанная технология, при эффективном ее использовании, позволяет:

повысить производительность труда на 40...50%;

сократить продолжительность цикла изготовления изделий на 25...30%;

снизить расход цемента на 10...15%;

уменьшить металлоемкость технологического оборудования на 30...40%;

улучшить санитарно-гигиенические условия труда обслуживающего персонала.

Оптимальная компоновка технологического оборудования, эффективное использование специфических особенностей разогретых бетонных смесей, применение простого и надежного оборудования для непрерывного электроразогрева бетонной смеси обеспечивают принципиально новый этап развития заводской технологии бетонов.

В диссертации осуществлено теоретическое обобщение и решение научной проблемы в области строительной индустрии, имеющей важное народнохозяйственное значение. Эта проблема разрабатывалась на

протяжении 70...80 годов и явилась основой для принятых правительственных постановлений Совета Министров УССР.*

Цель исследования. Целью работы является разработка теоретических основ и научное обоснование технологии бетонных и железобетонных изделий с непрерывным электроразогревом бетонных смесей. При разработке такой технологии выполнены исследования по оптимизации компоновочных решений технологических схем, созданию комплекса нового и модернизации ряда действующего оборудования. Внедрение в производственную практику этих разработок обеспечило в совокупности сокращение продолжительности производства изделий, трудовых, стоимостных и энергетических затрат, создание благоприятных условий для работы обслуживающего персонала.

Задачи исследования. Предусматривается разработка теоретических основ непрерывного электроразогрева бетонных смесей без снижения их удобоукладываемости с использованием нового и модернизированного действующего технологического оборудования, новой техноло-

* * * **Примечание:**

1. Постановление Совета Министров УССР № 236 от 17 мая 1972 г. "Об ускорении технического прогресса в производстве сборного железобетона и улучшения использования действующих мощностей предприятий строительных министерств."

2. Постановление Совета Министров УССР № 33 от 16 января 1975 г. "О работе научно-исследовательского института строительного производства Госстроя УССР по повышению технического уровня строительства в республике".

3. Постановление Совета Министров УССР № 422 от 30 августа 1976 г. "О работе строительных министерств и Главквествострой по ускорению научно-технического прогресса в строительстве в соответствии с решениями XXV съезда КПСС."

гии бетонных и железобетонных изделий с применением подвижных разогретых бетонных смесей.

Конкретные частные задачи:

теоретическое обоснование непрерывного электроразогрева бетонной смеси на движущейся транспортной ленте, как высокоэффективного технологического приема;

разработка метода определения удобоукладываемости бетонных смесей, разогретых электрическим током;

разработка метода оптимизации и корректировки состава бетонной смеси по величине удельного электрического сопротивления;

разработка нового технологического оборудования, обеспечивающего непрерывный электроразогрев бетонной смеси, ее транспортирование к посту формирования и распределение по площади формируемого изделия;

определение оптимальных компоновочных решений технологических схем производства бетонных и железобетонных изделий с непрерывным электроразогревом бетонных смесей.

Решение поставленной задачи осуществлено в два этапа:

получение максимально возможного энергосбережения от применения бетонных смесей, предварительно разогретых электрическим током, без ухудшения их реологических свойств;

повышение качества бетона путем введения в его состав поверхностно активных пластифицирующих добавок, особенно класса суперпластификаторов.

Внедрение комплекса разработок позволило существенно усовершенствовать технологию бетонных и железобетонных изделий различного назначения, обеспечивая новый уровень ресурсо- и энергосбережения

Научная новизна работы:

разработаны теоретические основы непрерывного электроразогрева бетонной смеси системой подвижных электродов, совершающих сложные колебательные движения;

доказано, что между электродами и бетонной смесью развиваются процессы высокоинтенсивного электродинамического характера, приводящие к тиксотропии цементного теста в приэлектродной контактной зоне, которое обеспечивает сохранение подвижности разогретой бетонной смеси;

обеспечен равномерный электроразогрев бетонной смеси в результате надежного контакта между активной поверхностью электродов и обрабатываемой смесью;

найжены оптимальные параметры и оригинальные конструктивные решения системы электродов, обеспечивающие самоочистку их активной поверхности при отсутствии вредных вибрационных воздействий и шума;

сформулирован принцип оптимального сочетания высокоэффективного разогрева, удобоукладываемости бетонной смеси с ускоренным структурообразованием бетона;

разработана высокоэффективная ресурсосберегающая технология бетонных и железобетонных изделий, основанная на использовании подвижных разогретых бетонных смесей и интенсивного структурообразования бетона с существенным сокращением ТВО в тепловых агрегатах непрерывного действия;

разработан новый метод определения удельного электрического сопротивления бетонной смеси, устанавливающий зависимость электропроводности от входящих в ее состав компонентов;

предложен новый оперативный метод определения удобоукладываемости разогретых бетонных смесей.

Принципиальные положения научной новизны разработок обоснованы и экспериментально подтверждены в лабораторных и производственных условиях.

Практическая ценность результатов исследований. Реализованы на практике новые пути повышения эффективности работы технологических линий производства бетонных и железобетонных изделий, в основу которых положены принципы непрерывного электроразогрева смесей, за счет создания новых машин и механизмов, и оптимизации компоновочных решений технологических схем, обеспечивающих комплексную механизацию и автоматизацию производственных процессов.

Практическую ценность имеют также результаты исследований и инженерно-конструкторских разработок, реализованные в виде:

республиканских строительных норм РСН 292-77 "Инструкция по применению предварительного электроразогрева бетонных смесей при производстве сборных бетонных и железобетонных изделий и конструкций";

рекомендаций по непрерывному электроразогреву бетонной смеси на транспортерной ленте;

методических рекомендаций по применению пластифицирующих добавок в бетонных смесях, подвергаемых предварительному электроразогреву;

двух монографий, в которых изложены результаты экспериментально-теоретических исследований и разработок, описаны созданные автором и внедренные в производство современные технологии изготовления изделий из тяжелого бетона с непрерывным электроразогревом бетонных смесей.

пособие для специалистов предприятий стройиндустрии, проектных организаций, в котором даны классификация, технологические характеристики, условия подготовки и применения добавок, повышающих качество бетонов и растворов и сокращающих расход цемента;

предложений по новым бетоноукладочным машинам и установкам для формирования изделий.

Теоретическая ценность результатов исследований заключается в использовании предложенного в работе варианта описания процесса перемещения и разогрева бетонной смеси для расчета привода колебательного механизма и температурного состояния смеси.

Реализация работы. Выполненные теоретические и экспериментальные исследования обеспечили разработку новых и модернизацию существующих технологий бетонных и железобетонных изделий с использованием способа непрерывного электроразогрева бетонных смесей и устройства для ТВО отформованных изделий в тепловых агрегатах непрерывного действия.

Разработки автора внедрены на Краснолучском заводе строительных материалов № 6 производственного объединения Луганскжелезобетон, Перевальском заводе ЖБИ производственного объединения Луганскуголь, Рязанском и Горьковском ДСК. Они используются в учебном процессе вузов при курсовом и дипломном проектировании.

Апробация работы. Основные положения, результаты исследований и внедрения разработок доложены и получили одобрение на координационном совещании по вопросам зимнего бетонирования (г. Москва, 1968 г.), семинаре по электротепловой обработке железобетонных изделий (ВДНХ СССР, 1968 г.), научно-технических конференциях КИСИ (г. Киев, 1968, 1969, 1970 гг.), комиссии по тепловой обработке

научно-координационного совета по бетону и железобетону Госстроя СССР (г. Киев, КДНТП, 1970 г., г. Москва, НИИЖБ Госстроя СССР, 1971, 1972 г.), республиканском научно-техническом совещании "Применение предварительного разогрева смесей в технологии производства сборного железобетона" (г. Минск, 1975 г.), республиканском семинаре "Новые технологические решения в производстве сборного железобетона для жилищно-гражданского строительства" (г. Киев, 1977 г.), научно-техническом семинаре "Интенсивные методы развития производства сборного железобетона" (г. Москва, МДНТП, 1977 г.), конференции по проблеме "Эффективные методы бетонных и железобетонных работ в зимнее время" (г. Новосибирск, 1977 г.), научном совете по проблеме "Массо- и теплоперенос в технологических процессах" ГК Совета Министров СССР по науке и технике (г. Краснодар, 1980 г, г. Ростов- на-Дону, 1986 г., г. Владимир, 1987 г., г. Тбилиси, 1988 г., г. Львов, 1992 г.), семинаре Харьковского инженерно-строительного института (г. Харьков, 1991 г.), научно-технических конференциях Луганского СХИ (г. Луганск, 1987-1997 гг.).

Декларация конкретного личного вклада. В плане реализации общей задачи - в создании высокоэффективной ресурсосберегающей технологии бетонных и железобетонных изделий с непрерывным электро-разогревом бетонных смесей; в плане реализации конкретных частных задач - в разработке теоретических основ непрерывного электроразогрева бетонной смеси на движущейся транспортной ленте, принципов оптимального расположения технологического оборудования и принятых оригинальных конструктивных решений, в создании промышленных образцов бетоноукладочных машин непрерывного действия, обеспечивающих равномерный электроразогрев бетонной смеси, тиксотропию цементного теста и самоочистку активной поверхности электродов;

в разработке методик определения электропроводности и удобоукладываемости разогретых бетонных смесей.

Публикации. Основные положения работы отражены в 36 печатных трудах, включающих 2 монографии, пособие, 4 нормативно-методических документа, 8 авторских свидетельств на изобретения, 2 свидетельства на промышленные образцы и 1 патент.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, девяти глав, приложения и включает в себя 320 страниц основного текста, 82 рисунка и 34 таблицы. Список использованной литературы включает 216 наименований.

На защиту выносятся:

теоретические основы непрерывного электроразогрева бетонной смеси на движущейся транспортной ленте;

влияние технологических параметров электроразогрева бетонной смеси на температуру, продолжительность и скорость разогрева смеси, а также энергетические и геометрические параметры всей системы;

зависимости, связывающие технологические параметры при электроразогреве бетонной смеси с параметрами колебательного механизма электродной системы, давшие возможность создать устройства, обеспечивающие равномерное перемещение бетонной смеси между электродами и самоочистку их активной поверхности;

оптимальные компоновочные решения технологических схем производства изделий с непрерывным электроразогревом бетонных смесей;

технологические схемы способа непрерывного электроразогрева бетонных смесей на движущейся транспортной ленте;

методы и устройства для определения удобоукладываемости разогретых бетонных смесей;

метод определения удельного электрического сопротивления бетонной смеси;

результаты инженерно-конструкторских разработок по созданию комплекса нового и модернизации действующего технологического оборудования, обеспечивающего в совокупности повышение эффективности работы технологических линий за счет: снижения затрат ручного труда, экономного расходования топливно-энергетических ресурсов, сокращения общего цикла изготовления изделий вообще и тепловлажностной обработки (ТВО) бетона в частности.

Объект исследований - заводские технологические процессы производства бетонных и железобетонных изделий с использованием бетонных смесей, разогретых электрическим током.

Предмет исследования - бетонные смеси на тяжелом заполнителе.

Методы исследований - принятые в строительных материалах и изделиях стандартные экспериментальные и специальные методы. С применением стандартных методик исследовались: нормальная густота теста, прочность, удобоукладываемость. С применением специальных методик исследовалась электропроводность бетонной смеси, удобоукладываемость разогретых бетонных смесей, выполнялись рентгеноструктурный и термографический анализ бетонов. Обработка экспериментальных данных выполнялась с применением ЭВМ.

Достоверность результатов подтверждается сравнением результатов теоретических расчетов с данными лабораторных и натурных экспериментальных исследований параметров технологического процесса.

Основное содержание работы

В диссертации показана актуальность представленной работы, сформулированы цель и основные задачи исследований, изложена научная новизна, практическая ценность разработок и их реализация.

Проведен аналитический обзор данных по технологии бетонных и железобетонных изделий с применением бетонных смесей, разогретых электрическим током.

Большой вклад в теорию тепловой обработки бетона электрическим током и его практическую реализацию внесли И.Н.Ахвердов, А.С.Арбенев, А.А.Афанасьев, В.И.Бабушкин, А.И.Бирюков, Н.П.Блещик, Р.В.Вегенер, А.Н.Воробьев, В.Н.Выровой, В.П.Ганин, В.Я.Гендин, Л.И.Дворкин, Н.Н.Данилов, И.Б.Заседателей, Б.А.Крылов, П.В.Кривенко, А.Л.Калишук, Б.М.Красновский, В.П.Лысов, О.П.Мчедлов-Петросян, С.А.Мионов, Л.А.Малинина, Р.У.Нерс, А.Н.Плугин, Т.С.Пауэре, И.Ржига, А.Н.Сторожук, А.А.Старосельский, Ю.Сторк, А.В.Ушерев-Маршак, А.С.Файвусович, М.Ш.Файнер и др.

Одной из разновидностей тепловой обработки бетона электрическим током является электроразогрев бетонных смесей перед укладкой их в форму. Технология бетонирования с электроразогревом смеси, предложенная в начале 60-х годов А.С.Арбеневым, позволяет интенсивно вносить тепло в начальной (самой рациональной) стадии твердения бетона (процесс схватывания, начало кристаллизации), интенсифицировать физико-химические процессы (в том числе экзотермию цемента), уплотнять смеси в разогретом состоянии, за счет частичного испарения влаги получить более плотную и прочную структуру бетона с минимальными температурными деформациями, исключить время вы-

держки отформированных изделий перед ТВО, создать предпосылки для механизации и автоматизации процесса разогрева смеси.

Успехи ученых и специалистов в области теории тепловой обработки бетона электрическим током, в том числе форсированного электроразогрева бетонной смеси, общепризнанны. Однако в вопросе применения непрерывного электроразогрева бетонной смеси в заводской технологии бетона имеются существенные проблемы, связанные с необходимостью разработки теоретических основ разогрева бетонной смеси электрическим током в непрерывном потоке, созданием на основе теории новых способов и обладающих высокой надежностью устройств для их реализации.

Анализ динамики конкретных показателей производства сборного железобетона показывает, что за последние 15-20 лет, несмотря на большое количество способов и устройств для интенсификации процесса тепловой обработки бетона с применением бетонных смесей, разогретых электрическим током, не удалось достигнуть существенного эффекта по сокращению общего технологического цикла производства изделий и конструкций, снижению расхода тепла, комплексной механизации и автоматизации производственных процессов.

Выполнен анализ известных устройств для электроразогрева бетонных смесей, которые применялись или могут быть рекомендованы к применению в современных технологических решениях при проектировании новых и реконструкции действующих предприятий сборного железобетона.

Анализ экспериментальных работ, изучение и обобщение опыта работы строек и предприятий КПД и заводов ЖБИ, применяющих для производства бетонных и железобетонных изделий и конструкций новую технологию бетонирования, основанную на использовании кратко-

временного интенсивного воздействия электрической энергии на бетонную смесь, позволяет сделать вывод о том, что в производственных условиях опробовано большое количество способов и устройств, позволяющих достаточно эффективно вести электроразогрев бетонных смесей. При этом установлено, что наиболее распространенными устройствами для электроразогрева бетонных смесей являются бадьи и бункеры различной формы и конструкции. К сожалению эти устройства изготавливаются кустарным способом, что отрицательно сказывается на их работоспособности и надежности. Внешний вид устройств мало привлекателен, а эстетические и эргономические требования, предъявляемые к устройствам этой категории, не выполнены.

Устройства непрерывного действия для электроразогрева бетонных смесей также изготовлены кустарным способом и проверены в работе на стадии опытных образцов главным образом для подтверждения приоритетов при защите авторских прав. Ни одно из устройств не выпускается серийно. Технологический уровень оборудования для электроразогрева бетонных смесей, применяемых в современных технологических решениях, весьма низок, что сдерживает внедрение в производство этого прогрессивного метода тепловой обработки бетона.

Выявлены существенные противоречия в подходе к выбору рациональных режимов электроразогрева, несовершенство составов бетонов и неравномерность разогрева смесей объясняются недостаточной изученностью процессов перемещения и электроразогрева бетонных смесей таким методом.

Случаи нарушения структуры электроразогретых бетонных смесей в процессе их уплотнения, а также незначительное повышение прочности (до 20%), водонепроницаемости и других технических свойств бетонов, изготовленных из электроразогретых бетонных смесей, в сравнении с неразогетыми следует объяснить отсутствием оптимальных

технологических, конструктивных и энергетических параметров. Сложность в эксплуатации и несовершенство конструкций устройств для электроразогрева бетонных смесей, отсутствие серийного их производства, стремление к локальному решению проблемы вместо системного подхода к созданию новых технологических линий, существенно сдерживают распространение и ограничивают область применения этой высокоэффективной технологии бетонных и железобетонных изделий. Это позволило определить цель и задачи работы, сформулировать рабочую гипотезу.

Высокоэффективную ресурсосберегающую технологию бетонных и железобетонных изделий можно создать на основе рационального сочетания способа непрерывного электроразогрева бетонной смеси колеблющимися электродами с устройством для ТВО отформованных изделий в тепловых агрегатах непрерывного действия. При этом способ непрерывного электроразогрева бетонной смеси колеблющимися электродами обеспечивает тиксотропию цементного теста, экзотермию цемента, равномерность разогрева смеси и самоочистку активной поверхности электродов, а устройство для ТВО отформованных изделий непрерывного действия, помимо прямого назначения, способствует эффективно-му использованию тепловой энергии, полученной от электроразогрева смеси и экзотермии цемента. Такое сочетание способа и устройства позволяет ускорить процесс структурообразования бетона, существенно сократить продолжительность цикла изготовления изделий, создать предпосылки для комплексной механизации и автоматизации технологических процессов.

Это должны обеспечить: оптимальный состав бетонной смеси, предназначенный для электроразогрева в непрерывном потоке;

оптимальные режимы электроразогрева бетонных смесей различного состава;

однородная электропроводность бетонной смеси, для достижения которой необходимо: не допускать отклонений в расходе составляющих бетона выше допустимых соответствующими нормативно-методическими документами; перемешивать бетонную смесь не менее 3 мин, а при возможности продлить этот срок до 5 мин;

при загрузке, перегрузке или выгрузке смеси не допускать ее падения с высоты более 50 см;

при прочих равных условиях предпочтение отдавать бетонным смесям с тяжелым заполнителем меньших фракций;

высокоэффективные устройства для непрерывного электроразогрева бетонной смеси, простота их конструкции, надежность в работе, безопасность в обслуживании.

В работе рассмотрен предложенный автором способ непрерывного электроразогрева бетонной смеси в сочетании с вибрированием (амплитуда 10...20 мм, частота 0,8...1,6 с⁻¹), как с самым распространенным и эффективным способом уплотняющего механического воздействия на разогреваемую смесь.

Каждому методу и интенсивности электроразогрева соответствует свой оптимальный состав бетонной смеси. Метод предварительного электроразогрева имеет свои специфические особенности. В соответствии с этим бетонная смесь оптимального состава для электроразогрева не может быть одновременно рациональной и для обычного формирования. Состав бетонной смеси, предназначенной для электроразогрева, должен обеспечивать:

нормальный ход процесса непрерывного электроразогрева, т.е. равномерный теплообмен разогреваемой массы бетонной смеси;

минимальное удельное электрическое сопротивление бетонной смеси;

заданные свойства бетонной смеси после разогрева.

Электроразогрев бетонной смеси должен обеспечивать в комплексе:

- равномерный разогрев бетонной смеси;
- заданный градиент скорости разогрева бетонной смеси;
- заданную удобоукладываемость бетонной смеси после разогрева.

При электроразогреве бетонную смесь удобнее рассматривать в виде модели двухфазной среды, состоящей из цементного теста и заполнителя. Основным проводником электрического тока, проходящего через бетонную смесь, является цементное тесто. Заполнитель много хуже (в 150...200 раз) проводит электрический ток, однако в составе бетонной смеси его электропроводностью пренебрегать нельзя, т.к. на его долю приходится 60...80% массы бетона. После затворения компонентов бетонной смеси водой в системе происходят сложные физико-химические и физико-механические процессы, при которых вода расходуется на химическое связывание с цементом, испарение, некоторая ее часть поглощается заполнителем. Частицы заполнителя обволакиваются цементным тестом по наружной поверхности, происходит диффузионный процесс проникновения влаги в поры заполнителя. Поверхностный слой заполнителя в направлении прохождения электрического тока становится электропроводным. Электрический ток преодолевает двойное электрическое сопротивление - поверхностный токопроводящий слой заполнителя и находящееся в межзерновом пространстве цементное тесто.

Электрическая энергия, превращаясь в тепловую, выделяет в каждом сопротивлении определенное количество теплоты. Более интенсивно нагревается цементное тесто, менее интенсивно нагреваются поверхностные слои заполнителя и его внутренняя масса. Быстро разогреваемое цементное тесто передает теплоту заполнителю. Процесс теплообмена будет длиться до тех пор, пока температура цементного теста и

заполнителя сравниваются. Описанный механизм электроразогрева бетонной смеси позволяет сделать вывод о том, что, при прочих равных условиях бетонную смесь равномерно разогреть не представляется возможным; чем крупнее заполнитель, тем большее время затрачивается на разогрев бетонной смеси; чем выше температура, до которой нагрета бетонная смесь, тем большее количество энергии затрачивается на ее нагрев, тем быстрее эта смесь охлаждается.

Неравномерность разогрева бетонной смеси обусловлена не только наличием крупного заполнителя в ее составе, но и равномерным убыванием контакта бетонной смеси с активной поверхностью электродов. Причиной этому является образование и увеличение во время разогрева путей миграции свободной воды (пара) и газовой среды (воздуха), внутреннее давление которых на массу бетонной смеси с увеличением температуры возрастает.

Существенным фактором неравномерного разогрева бетонной смеси является покрытие активной поверхности электродов слоем цементного теста, переходящим затем в цементный камень. Механизм этого явления состоит в следующем. Во время разогрева бетонной смеси активная поверхность электродов покрывается тонким слоем цементного теста в виде пленки, которая быстро твердеет. По мере увеличения количества формовок происходит наложение одной пленки на другую, в результате накапливается слой из нескольких пленок, превращающийся после затвердевания в цементный камень, плохо проводящий электрический ток. В этих условиях бетонная смесь разогревается не только неравномерно, но и длительное время. Вполне естественно, что восстановить исходный режим разогрева бетонной смеси можно только путем очистки электродов от цементного камня.

Электроразогрев не даст должного эффекта, если разогреваемая бетонная смесь не соответствует оптимальному составу по количественным и качественным параметрам компонентов, входящих в ее состав,

что ведет к образованию деструктивных процессов при ее уплотнении, снижению прочности бетона. Это может быть следствием не только неравномерного теплового обмена и нерациональных способов и параметров тепловой обработки, но и конструктивных недостатков устройств для электроразогрева бетонной смеси, при которых масса смеси проходит между электродами неравномерным рыхлым слоем, имеет место массоперенос цементного теста под действием сил тяжести, неправильно выбранные параметры колебаний электродной системы.

Существенным фактором улучшения качества бетона является введение в бетонную смесь пластифицирующих и суперпластифицирующих добавок. Особенно эффективно их применение в технологии бетонных и железобетонных изделий с электроразогревом бетонных смесей.

Изучено влияние пластифицирующих добавок ПАЩ, СДО и суперпластифицирующих добавок С-3, Дофен, 10-03 на свойства разогретых бетонных смесей.

Доказано, что эффективность применения электроразогретых бетонных смесей может быть существенно повышена за счет введения пластифицирующих и особенно суперпластифицирующих добавок, оказывающих на разогреваемую бетонную смесь позитивное влияние в многих направлениях. Во-первых, существенно повышается подвижность разогретых бетонных смесей (рис. 1), что способствует уменьшению до 20% расхода воды с потенциальными возможностями повышения прочности бетона, во-вторых - примерно вдвое уменьшается электрическое сопротивление разогреваемой бетонной смеси, что позволяет увеличить расстояние между электродами.

Доказано, что введение добавок является одним из самых технологичных и универсальных способов повышения не только реологических свойств разогретых бетонных смесей и прочностных характеристик бетонов, они способствуют снижению материалоемкости изделий, эко-

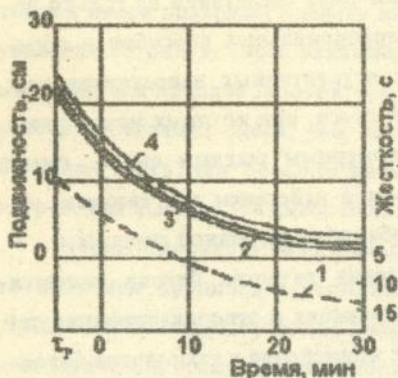


Рис.1. Влияние добавки С-3 на удобоукладываемость разогретых бетонных смесей:

1 - удобоукладываемость бетонной смеси без добавки (10-12 см);

2,3,4 - удобоукладываемость бетонных смесей с добавкой, соответственно 0,5; 0,6 и 0,7% массы цемента (18-24 см);

τ_p - время разогрева бетонной смеси.

номному расходованию топливно-энергетических ресурсов. Выявлено, что самое эффективное воздействие на подвижность бетонной смеси и рост прочности бетона оказывает суперпластифицирующая добавка С-3. Установлено оптимальное количество добавки С-3, вводимой в разогреваемые бетонные смеси, которое находится в пределах 0,5...0,7% массы цемента.

Изучены связи между количественными и качественными показателями бетонных смесей путем создания адекватных математических моделей системы компонентов, входящих в их состав. Показано, что математическую модель рассматриваемых систем можно представить в виде регрессивной зависимости, в которой переменными параметрами приняты количественные показатели бетонных смесей и режимов ТВО бетона из них

$$y = f(B, Ц, Д, t, \tau_{np}) , \quad (1)$$

где $B(X_1)$ - расход воды в л/м³; $C(X_2)$ - расход цемента в кг/м³; $D(X_3)$ - расход добавки в % массы цемента; $t(X_4)$ - температура разогрева бетонной смеси в °C; $t_{пр}(X_5)$ - время ТВО бетона в час.

В качестве функций отклика приняты качественные показатели бетонных смесей и бетонов в заданных диапазонах начальной подвижности бетонных смесей: Y_1 - прочность бетона после ТВО в МПа; Y_2 - прочность бетона после ТВО + 28 сут. в МПа; Y_3 - удобоукладываемость бетонной смеси после приготовления в см; Y_4 - удобоукладываемость бетонной смеси после разогрева в см. или с.

Для каждого из изучаемых параметров с применением ЭВМ составлено по 12 уравнений регрессии. Так, например, прочность бетона через 28 суток твердения описывается уравнением

$$y = 206,01 + 8,38x_1 + 12,40x_2 - 1,33x_1^2 - 1,62x_2^2 + 0,56x_3^2 - 3,41x_4^2 - 0,44x_5^2, \quad (2)$$

Реализация уравнений позволяет определить оптимальные составы бетонных смесей и режимы ТВО бетона из них.

Анализ экспериментальных данных и результатов их математической обработки позволяет выделить оптимальную с экономической и технической точек зрения область варьирования факторов, в которой обеспечивается заданный уровень всех откликов одновременно.

Неравномерность разогрева бетонной смеси, деструктивные процессы при разогреве, покрытие активной поверхности электродов цементным тестом, переходящим в цементный камень - все эти и другие недостатки сдерживают внедрение в производство этого эффективного способа тепловой обработки бетона электрическим током.

С целью ликвидации указанных выше недостатков, автором разработан новый способ предварительного электроразогрева бетонной смеси - ее непрерывный электроразогрев на движущейся транспортной ленте, позволяющий существенно улучшить технические и технологические параметры разогреваемой бетонной смеси, совместить процесс

электроразогрева с другими технологическими операциями. Согласно этому способу устройство для электроразогрева бетонной смеси предложено смонтировать над транспортной лентой бетоноукладчика новой конструкции (рис. 2).

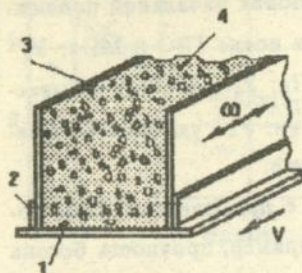


Рис.2. Схема устройства для непрерывного электроразогрева бетонной смеси на движущейся транспортной ленте:

- 1 - лента транспортная; 2 - фартук;
3 - электрод; 4 - бетонная смесь

Надежная изоляция электродной системы, рациональное размещение формообразующих элементов, относительно большая поверхность соприкосновения бетонной смеси с электродами, исключение деструктивных процессов в разогреваемых бетонных смесях, совмещение функций бетоноукладчика и электродного устройства, относительная равномерность разогрева бетонной смеси, самоочистка активной поверхности электродов от затвердевшего цементного камня, простота конструкции, надежность, безопасность и безшумность в работе - вот те достоинства предложенного способа, значительно повышающие эффективность предварительного электроразогрева бетонной смеси.

Бетонная смесь, движущаяся вместе с транспортной лентой, проходя между колеблющимися электродами, на которые подается напряжение переменного тока, нагревается до заданной температуры и поступает в форму.

Математическая модель процесса электроразогрева бетонной смеси описывается известным уравнением Фурье-Кирхгофа

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}, \quad (3)$$

где T - температура бетонной смеси на расстоянии x от начала разогрева;

t - время разогрева бетонной смеси до температуры T ;

$a = \frac{H}{\rho \cdot C}$ - коэффициент температуропроводности;

H - коэффициент теплопроводности;

ρ - плотность бетонной смеси;

C - удельная теплоемкость бетонной смеси.

Количество теплоты, необходимое для электроразогрева бетонной смеси до заданной температуры, определяется по формуле

$$Q_n = Q_r + Q_o = C \cdot m \cdot (T_k - T_o) + H \cdot S \cdot (t_k - t_o) \cdot \left[\frac{k_1 \cdot (t_k + t_o)}{2} - T_o \right], \quad (4)$$

где Q_n - количество теплоты, необходимое для разогрева бетонной смеси до заданной температуры;

Q_r - количество теплоты, необходимое для разогрева бетонной смеси до заданной температуры (без учета охлаждения);

Q_o - уход теплоты в окружающую среду;

m - масса бетонной смеси;

T_k, T_o - конечная температура разогрева бетонной смеси и температура окружающей среды;

S - поверхность, через которую происходит утечка теплоты в окружающую среду;

T - температура бетонной смеси;

t_k, t_o - время, необходимое для нагрева бетонной смеси от 0 до T_k °C и время, необходимое для нагрева бетонной смеси от 0 до T_o °C;

$$k_1 = \frac{0,864 \cdot I^2 \cdot R}{C \cdot m} - \text{коэффициент нагрева смеси;}$$

I - сила тока, проходящего через бетонную смесь;

R - электрическое сопротивление бетонной смеси.

Рассмотрим механизм электроразогрева бетонной смеси в непрерывном потоке на движущейся транспортной ленте.

Характерной особенностью предложенного автором способа электроразогрева бетонной смеси является то обстоятельство, что часть процессов физико-химического и физико-механического характера происходит не после ее уплотнения в форме, а во время разогрева на движущейся транспортной ленте.

Вода затворения в бетонной смеси представлена в виде пленки (под пленкой понимается тонкая часть системы, находящаяся в межзерновом поровом пространстве), включающей поверхностный слой, характерный для физико-химических связей, и свободную воду, расходующую на удовлетворение физико-механических связей. Такое допущение позволяет в дальнейшем рассматривать отдельно поверхностный слой и свободную воду, их межмолекулярное взаимодействие, а также их влияние на термодинамическое равновесие разогреваемой бетонной смеси.

При рассмотрении механизма испарения воды и выхода нагретого воздуха из разогреваемой бетонной смеси можно предположить, что количество испаряющейся воды уменьшается при увеличении размеров частиц заполнителя и уменьшении поверхностного натяжения жидкой фазы и увеличивается при уменьшении краевого угла (угла смачивания). Не вся свободная вода бетонной смеси в одинаковой мере подвергается температурному воздействию. При электроразогреве обезвоживание бетонной смеси происходит неравномерно не только в горизонтальной плоскости по высоте разогреваемого слоя смеси, но и в плоскости, параллельной поверхности электродов.

Можно предположить также, что в аналогичных условиях находится и заземленный воздух. Нагреваясь, воздух, коэффициент объемного расширения которого примерно в пять раз больше, чем у пара, создаст пути миграции, преодолевая на своем пути силы межмолекулярного взаимодействия поверхностных пленок воды и химических добавок, если последние введены в бетонную смесь. По этим путям, в плоскостях, определяемых формой и размерами твердых частиц, по линии наименьшего сопротивления, преодолевая пленки воды и добавок, в окружающую среду выходит расширившийся воздух, а вместе с ним и пары воды, образуя поры в цементном тесте, занимающем межзерновое пространство, и каверны на плоскостях бетона, прилегающих к электродам, и на активной поверхности электродов. Бетонная смесь при этом будет иметь рыхлую коагуляционную структуру, а изготовленный из нее бетон пониженную прочность.

Для устранения этого явления бетонную смесь во время разогрева необходимо подвергать вибрационным воздействиям. В предложении автором способе эта проблема решается путем придания электродам колебательных движений. В результате вибрационных воздействий на бетонную смесь разрушаются пленки воды и химических добавок, существенно уменьшается поверхностная энергия Гиббса, разрушаются пути миграции воздуха и влаги, стираются каверны на активной поверхности электродов. Твердые составляющие частично сближаются до соприкосновения между собой по поверхностным слоям, разделенным тонкой пленкой, что достигается при незначительных затратах энергии колеблющихся электродов.

Установлено, что процессы коагуляционного структурообразования бетонной смеси интенсифицируются при температуре 50°C и выше. Причиной этому является повышение при нагревании химической активности воды. Это происходит в связи с понижением вязкости, умень-

шением поверхностной энергии Гиббса, разагрегирования ассоциатов воды, диссоциированием части молекул воды на ионы водорода и кислорода. Подвижность частиц воды резко возрастает и количество контактов между ними и поверхностью цементных зерен увеличивается, что приводит к более активному химическому связыванию воды и появлению в системе гидратных новообразований.

Результаты экспериментальных исследований показывают, что прочность бетонов, изготовленных из бетонных смесей, разогретых до 60°C и 80°C , существенно не отличаются. Это позволило установить верхний предел температуры разогрева бетонных смесей - 60°C .

Установлено, что оптимальная температура разогрева бетонной смеси находится в пределах $50\ldots 60^{\circ}\text{C}$. В этом же диапазоне температур происходит интенсивное тепловыделение цемента, что имеет существенное значение в общем балансе ТВО бетона.

Разогретая до заданной температуры бетонная смесь подается непрерывным потоком в форму, где и уплотняется. Во время и после уплотнения процессы формирования температуры бетона проходят более интенсивно по сравнению с бетонами, отформованными из неразогретых смесей.

Результаты, полученные на основании теоретических исследований, подтверждены экспериментально. Так, прочность бетона, изготовленного из электроразогретых бетонных смесей по предложенной технологии на $20\ldots 25\%$ выше, чем у бетонов того же состава из неразогретых смесей.

Такое повышение прочности бетонов из разогретых бетонных смесей позволяет уменьшить расход цемента или сократить время ТВО бетона.

Исследованиями в лабораторных и производственных условиях установлено, что бетонная смесь между неподвижными электродами

сначала перемещается неравномерным слоем, а затем скапливается у входа в зону нагрева и ее передвижение прекращается полностью.

Это связано с тем, что силы перемещения бетонной смеси, определяемые ее массой и коэффициентом внешнего трения о транспортную ленту, меньше сил сопротивления, которые определяются силами трения бетонной смеси о поверхность электродов.

Для обеспечения процесса перемещения бетонной смеси, находящейся на транспортной ленте, между электродами, необходимо, чтобы соблюдалось условие, при котором

$$P_n \geq P_c, \quad (6)$$

где P_n - сила трения, передающаяся на бетонную смесь транспортной лентой;

P_c - сила сопротивления перемещению электродов.

В общем случае зависимость (6) можно записать в следующем виде

$$F \cdot f_1 \cdot \rho \cdot g \cdot h \geq 2 \cdot (n-1) \cdot f_2 \cdot h \cdot l \cdot \frac{\rho \cdot g \cdot h}{2}, \quad (7)$$

где $F = b \cdot l$ - поверхность транспортной ленты, на которую опирается бетонная смесь;

b - расстояние между крайними электродами;

l - длина электродов;

f_1 - коэффициент трения бетонной смеси о поверхность ленты;

ρ - плотность бетонной смеси;

g - ускорение;

h - высота слоя разогреваемой бетонной смеси;

n - количество электродов;

f_2 - коэффициент трения бетонной смеси о поверхность электродов.

Для обеспечения транспортного эффекта перемещения бетонной смеси предложено придавать электродам колебательные движения. В этом случае в приэлектродном слое между электродом и бетонной

смесью образуется вязкий слой цементного теста, в котором амплитуда скорости сдвиговой деформации равна

$$\epsilon'_{\text{сдв}} = \frac{A \cdot \omega}{b'} \quad (8)$$

где A, ω - амплитуда и круговая частота колебаний электродов;

b' - глубина проработки бетонной смеси (приэлектродный вязкий слой цементного теста).

Сдвиговая деформация, определяемая скоростью транспортной ленты и силами трения между транспортной лентой и бетонной смесью, имеет зависимость

$$\epsilon'_n = \frac{V_o}{b'} \quad (9)$$

где V_o - скорость движения ленты.

Силы сопротивления перемещению бетонной смеси будут определяться зависимостями

$$\tau_{\text{сдв}} = \eta_{\text{эф}} \cdot \epsilon'_{\text{сдв}}; \quad \tau_n = \eta_{\text{эф}} \cdot \epsilon'_n \quad (10)$$

где $\eta_{\text{эф}}$ - эффективная вязкость бетонной смеси.

В этом случае зависимость (7) для определения сил сопротивления будет иметь вид

$$F \cdot f_1 \cdot \rho \cdot g \cdot h \geq 2 \cdot (n-1) \cdot h \cdot l \cdot \frac{V_o}{b'} \cdot \eta_{\text{эф}} \quad (11)$$

Выведена формула, позволяющая определить суммарное усилие, действующее на привод колебательного механизма бетоноукладчика с непрерывным электрорагревом смеси

$$P = 2 \cdot (n-1) \cdot l \cdot h \cdot \frac{A \cdot \omega + V_o}{b'} \cdot \eta_{\text{эф}} \quad (12)$$

Автором предложен расчетно-экспериментальный метод определения удельного электрического сопротивления бетонной смеси, осно-

ванный на установлении закономерности, связывающей удельное электрическое сопротивление цементного теста и объемную концентрацию заполнителя в зависимости

$$\rho_6 = \rho_{ц.т.} \left(1 + \frac{k}{1 - k^{1-n}} \right), \quad (13)$$

где ρ_6 , $\rho_{ц.т.}$ - удельное электрическое сопротивление бетонной смеси и цементного теста;

k - коэффициент объемной концентрации заполнителя, равный отношению объема заполнителя V , к объему бетона V_6 ;

n - показатель структуры заполнителя в бетонной смеси.

Разработана методика определения прямых характеристик удобоукладываемости разогретых электрическим током бетонных смесей. С этой целью модернизированы стандартный конус для определения подвижности и стандартный прибор для определения жесткости бетонных смесей. При этом бетонная смесь разогревается не отдельно в форме, а непосредственно в модернизированных устройствах.

На основе утилитарных и эстетических принципов конструирования изделий промышленного производства созданы, разработаны и внедрены в производство два типа промышленных образцов бетоноукладчиков непрерывного действия - БЭС-2 и БЭС-3,6 (а.с. 333149, 473701, 480682, 376344, 637396, 630073, св. на пром. образцы 5869, 7547). Бетоноукладчик БЭС-2 обеспечивает электроразогрев бетонной смеси, ее транспортирование к посту формования и укладку в формы при изготовлении изделий произвольной конфигурации, шириной до 2-х метров. При формовании изделий, шириной до 3,6-х метра применяется бетоноукладчик БЭС-3,6. Он обеспечивает электроразогрев бетонной смеси до температуры 50...60° С, ее транспортирование и укладку в формы при изготовлении изделий произвольной конфигурации с проемами различных размеров, расположенными в любом месте формы, что

достигается сочетанием продольного перемещения бетоноукладчика вдоль формы и поперечного перемещения самоходной каретки с разгрузочным конвейером и поворотом лотка.

С учетом специфических особенностей предварительно разогретых бетонных смесей и оригинальности конструктивного решения бетоноукладочных машин разработана принципиальная схема технологии бетонных и железобетонных изделий с непрерывным электроразогревом бетонных смесей, рис. 3.

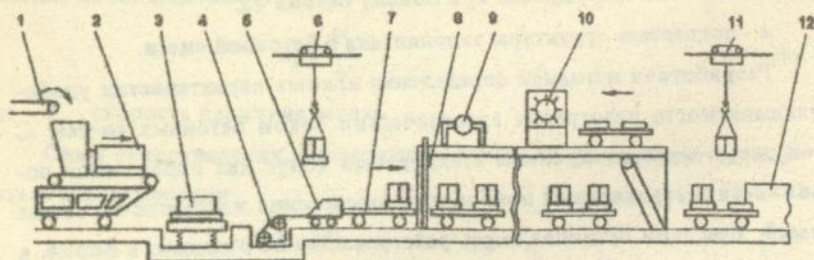


Рис. 3. Схема технологической линии:

1 - конвейер ленточный; 2 - бетоноукладчик с электроразогревом смеси; 3 - виброплощадка; 4 - лебедка; 5 - толкатель; 6, 11 - краны; 7 - тележка; 8 - туннельная камера; 9 - механизм смазки поддонов; 10 - механизм очистки поддонов; 12 - склад готовой продукции

Установлен оптимальный способ производства, обеспечивающий достижение максимального использования технологического оборудования и площадей, минимальной длительности технологических циклов, снижение трудовых и энергетических затрат, повышение производительности труда; учтены основные принципы организации производства

- специализация, пропорциональность, ритмичность, автоматизация, безопасность, решена форма организации технологического процесса и типа производства на линии; учтены специфические особенности разогретых бетонных смесей, относящиеся к быстрой потере ими пластических свойств и температуры; разработан эффективный способ использования технологического пара, подаваемого в тепловые регистры туннельных камер непрерывного действия; автоматизированы посты очистки и смазки форм-тележек; решены вопросы телефонной и электронной связи поста формирования с диспетчерской службой завода; организован учет работы технологического оборудования линии.

При компоновке схемы использован принцип "оптикор" в основу которого положено оптимальное сочетание в размещении комплекса нового и модернизированного оборудования, способствовавшее созданию высокоэффективной энергосберегающей комплексно механизированной и автоматизированной технологии бетонных и железобетонных изделий с непрерывным электроразогревом бетонных смесей.

Две такие технологические линии внедрены на Краснолучском заводе строительных материалов № 6 производственного объединения "Луганскжелезобетон". Аналогичные разработки внедрены в производство трестом Луганскгустрой производственного объединения "Луганскуголь". На Рязанском домостроительном комбинате внедрены в производство три бетоноукладчика БЭС-3,6, изготовленные Карачевским механическим заводом г.Москвы. Они работают в составе технологических линий по выпуску наружных стеновых панелей на основе легкого заполнителя из керамзита.

Техническая документация на бетоноукладчики разослана в десятки организаций бывшего союза. Эта документация была использована на Обнинском домостроительном комбинате Калужской области и Н.Новгородском ДСК при производстве наружных стеновых панелей.

Монографии автора и разработанные под его руководством и при личном участии нормативно-методические документы и пособия применяются многими высшими учебными заведениями Украины и стран СНГ при чтении лекций, курсовом и дипломном проектировании.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ, ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Исследован механизм непрерывного электроразогрева бетонной смеси с применением основ теории электропроводности гетерогенных систем. Показано влияние температурного фактора на физико-химическое и физико-механическое состояние воды затворения, реологические свойства разогреваемой бетонной смеси и прочностные характеристики бетонов, изготовленных из предварительно разогретых бетонных смесей. Характерной особенностью свежесформованного бетона, изготовленного из предварительно разогретой бетонной смеси, является его высокая коагуляционная прочность, получаемая за счет проникновения в капиллярно-пористую структуру заполнителя жидкой фазы цементного теста, обладающей клеящей способностью, обусловленной физико-химическим связыванием воды затворения, в результате чего уменьшается толщина водной пленки на поверхности заполнителя, увеличивается поверхностная энергия Гиббса, происходит объемное обжатие скелета заполнителя поверхностными пленками жидкой фазы.

2. Доказано, что между электродами и бетонной смесью развиваются процессы высокоинтенсивного электродинамического характера, приводящие к тиксотропии цементного теста в приэлектродной контактной зоне, обеспечивающие равномерный электроразогрев бетонной смеси, сохранение ее подвижности и самоочистку активной поверхности электродов при отсутствии вредных вибрационных воздействий и шума.

3. Теоретически обоснована и практически подтверждена возможность улучшения реологических свойств бетонной смеси и качества бетона за счет уменьшения толщины водной пленки на поверхности заполнителя при изготовлении его из предварительно разогретых бетонных смесей. Для этих целей в состав бетонных смесей рекомендовано вводить суперпластифицирующие добавки С-3 (0,5...0,7% массы цемента), Дофен (0,5...1,5% массы цемента), 10-03 (0,2...0,7% массы цемента). Суперпластификаторы на разных стадиях взаимодействия цемента с водой затвердения образуют пленки, частично изолирующие зерна цемента, затрудняя последующую коагуляцию мелких и средних его частиц до крупных образований вследствие адсорбции ПАВ на твердой фазе и экранирующей силы межмолекулярного притяжения, что способствует замедлению процессов структурообразования, но обеспечивает более полное протекание процессов гидратации и образование однородной мелкокристаллической структуры. При изготовлении бетонов из предварительно разогретых бетонных смесей, пленки, частично изолирующие зерна цемента, разрушаются, силы межмолекулярного притяжения возрастают, способствуя более быстрому коагуляционному и кристаллизационному структурообразованию.

Добавки суперпластификаторов в предварительно разогреваемые бетонные смеси в оптимальном количестве позволяют улучшить реологические свойства бетонных смесей, значительно повысить прочность бетона в сравнении с бетонами без добавок.

4. Дальнейшее развитие получило новое перспективное направление эффективного использования электрической энергии для интенсификации твердения бетона - электроразогрев бетонной смеси в непрерывном потоке. Разработаны расчетно-теоретические основы предварительного электроразогрева бетонной смеси на движущейся транспортной ленте, что позволило реализовать рабочую гипотезу о том, что высокоэффек-

тивную ресурсосберегающую технологию бетонных и железобетонных изделий можно создать на основе рационального сочетания способа непрерывного электроразогрева бетонной смеси с тиксотропией цементного теста, обеспечивающими в совокупности равномерный разогрев бетонной смеси и самоочистку активной поверхности электродов, а также ускоренное структурообразование бетона. Последнее позволяет существенно сократить или полностью отказаться от ТВО отформованных изделий. Разработаны новые бетоноукладочные машины непрерывного действия, обеспечивающие непрерывный равномерный электроразогрев бетонной смеси, ее транспортирование и укладку в формы изделий различной конфигурации.

5. Сформулированы общие принципы технологии бетонных и железобетонных изделий из разогретых бетонных смесей и механикоматематические методы описания протекающих процессов, позволившие определить перемещение и силовое воздействие бетонной смеси на рабочие органы установки, находить рациональные конструктивные решения и оптимальные параметры электроразогревательных устройств, обеспечивающих равномерный электроразогрев при минимальных затратах электроэнергии. Эти положения позволили обосновать энергосберегающие технологии, разработать высокопроизводительные экономичные машины и тепловые агрегаты, способы их эффективного использования.

6. На основе комплексных исследований электрофизических и технологических свойств бетонных смесей, подвергаемых предварительно электроразогреву, установлены зависимости: технологических параметров от параметров электрической сети и конструктивных параметров устройств для их осуществления; связывающие потери удобоукладываемости разогретой бетонной смеси с временным и температурным факторами, обусловленными транспортированием, укладкой и

уплотнением бетонной смеси, что предопределяет размещение устройств для разогрева бетонной смеси и поста формирования, сохранение аккумулярованного разогретой бетонной смесью тепла, определение оптимальной температуры разогрева бетонной смеси ($50...60^{\circ}\text{C}$); связывающие улучшение формовочных свойств разогретых бетонных смесей с введением в их состав пластифицирующих добавок, на основе чего определены оптимальные дозировки добавок и временной фактор сохранения разогретой бетонной смесью исходной удобоукладываемости.

7. Предложен новый метод определения электропроводности бетонной смеси, согласно которому она рассматривается в виде модели двухфазной среды (жидкая и твердая) с произвольной структурой заполнителя, на основе которого выведена формула, позволяющая по полученному экспериментальным путем значению электропроводности цементного теста и вычисленному коэффициенту объемной концентрации заполнителя определить удельное электрическое сопротивление бетонной смеси. По сравнению с классическим, при котором готовится бетонная смесь, предложенный метод, при котором готовится цементное тесто, менее трудоемок, а полученные данные, необходимые для назначения режимов и проектирования устройств для электроразогрева бетонной смеси, находится в пределах допустимых погрешностей.

8. Предложены новые конструкции конуса и прибора, модернизированные таким образом, что в этих же устройствах бетонная смесь разогревается электрическим током. Это позволяет получать фактические данные, характеризующие удобоукладываемость бетонных смесей. Разработана методика определения подвижности и жесткости разогретых бетонных смесей в конусе и приборе новой конструкции.

9. С целью снижения негативного воздействия форсированного электроразогрева бетонной смеси на ее удобоукладываемость, проведены комплексные исследования влияния пластифицирующих добавок на

ее формовочные свойства. Установлено, что пластифицирующие добавки, особенно класса суперпластификаторов, вводимые в разогреваемые смеси в пределах норм для неразогретых смесей, позволяют в течение 30...40 мин. сохранять их начальную (исходную) удобоукладываемость.

10. Реализовано новое перспективное направление в технологии производства сборного железобетона, заключающееся в переходе от механизации отдельных технологических операций к комплексной механизации и автоматизации технологического процесса. Для этого разработаны: новые бетоноукладчики с электроразогревом смеси; устройства для очистки и смазки поддонов, работающие в автоматическом режиме; установка для изготовления изделий с бескрановыми операциями на посту формования; подъемники-снижатели на базе гидравлического и электромеханического приводов; толкатели различных конструкций.

11. На основе изучения отечественных и зарубежных бетоноукладочных машин, устройств для электроразогрева бетонных смесей и опыта эксплуатации экспериментальных образцов аналогичного назначения, разработаны две модели бетоноукладочных машин непрерывного действия, при конструировании которых реализованы: электроразогрев бетонной смеси на транспортной ленте, направленное перемещение бетонной смеси относительно возвратно-поступательного перемещения электродов, обеспечивающее равномерный разогрев смеси и самоочистку их активной поверхности; возможность укладки разогретой бетонной смеси в любую точку формируемого изделия, обеспечиваемую продольным перемещением бетоноукладчика по рельсовому пути и поперечным перемещением питателя относительно бетоноукладчика и формы; эстетические и эргономические требования, обеспечивающие привлекательный внешний вид бетоноукладчиков, удобство обслуживания и ремонта; требования техники безопасности. Обоснованы кон-

структивные решения и параметры новых бетоноукладчиков с устройством для электроразогрева смеси. Доказано, что электродное устройство должно располагаться на амортизационной подвеске и совершать возвратно-поступательные движения с амплитудой 10...20 мм и частотой 0,8...1,6 с⁻¹.

12. Учитывая зависимость эффективности процессов от размещения технологического оборудования в пространстве, выполнен анализ объемно-планировочных решений специализированных технологических линий по производству фундаментных блоков для стен подвалов, на основе чего установлена техническая возможность и экономическая целесообразность двухъярусного размещения технологического оборудования в цехах, обслуживаемых подъемниками-снижателями и установками для изготовления изделий с бескрановыми операциями на посту формования.

13. На основе экспериментальных исследований, выполненных в лабораторных и производственных условиях, определены оптимальные режимы технологических процессов по формированию и тепловой обработке изделий на разработанных технологических линиях с комплексным применением: интенсивного электроразогрева бетонных смесей, формирования изделий нагретой смесью, повторной вибрации, химических добавок, активного термоса. Установлено, что поточные технологические линии наиболее полно отвечают требованиям, предъявляемым к условиям производства с применением электроразогрева бетонной смеси (первая стадия ТВО) и тепловой обработки в тепловых агрегатах непрерывного действия (вторая стадия ТВО). Поточная технология производства изделий на базе тепловых агрегатов непрерывного действия туннельного типа позволяет на 50...60% сократить производственные площади, снизить стоимость строительства цехов примерно вдвое.

14. На основании выполненных исследований и разработок реализованы наиболее эффективные технологии производства изделий с предварительным электроразогревом бетонных смесей;

одноярусное расположение технологического оборудования с возвратом тележек-поддонов по надкамерному рельсовому пути (внедрена на Краснолутском ЗСМ № 6 п.о. "Луганскжелезобетон");

одноярусное расположение технологического оборудования с возвратом тележек-поддонов по параллельному рельсовому пути (внедрено на Перевальском заводе ЖБИ п.о. "Луганскуголь" и Рязанском ДСК);

двухъярусное расположение технологического оборудования с замкнутым циклом перемещения тележек-поддонов (внедряется на Краснолутском ЗСМ № 6 п.о. "Луганскжелезобетон").

Для эффективного выполнения предусмотренных технологических процессов разработано 8 видов машин и устройств, защищенных 7 авторскими свидетельствами на изобретения и двумя свидетельствами на промышленные образцы;

бетоноукладчики БЭС-2 и БЭС-3,6 с электроразогревом смеси (а.с. 333149; 473701; 480682; 630073; 637396, св. на пром. образцы 5869; 7547);

устройства для автоматической очистки и смазки поддонов;

транспортные средства различного назначения;

установка для изготовления изделий с бескрановыми операциями на посту формования (а.с. 944931).

Перечисленные и другие разработки легли в основу создания интенсивных технологий производства изделий с предварительным электроразогревом бетонных смесей. Они обеспечивают: высокий уровень механизации и автоматизации технологических процессов, повышение производительности линий в 1,5...2 раза, экономию цемента, топливно-

энергетических ресурсов, получение бетона в изделиях высокого качества.

Основные результаты работы изложены в следующих публикациях:

КНИГИ, БРОШЮРЫ, СТАТЬИ

Работы, выполненные автором единолично

1. Афанасьев Н.Ф. Электроразогрев бетонных смесей. - Киев.: Будівельник, 1979. - 107 с.

2. Афанасьев Н.Ф. Технология изготовления изделий с электроразогревом бетонных смесей. - Луганск, 1991. Дсп. во ВНИИЭСМ 22.04.1991, № 1878. - 278 с.

3. Афанасьев Н.Ф. Установка для непрерывного электроразогрева бетонной смеси. -Сб.: Бетонные работы. М.: Стройиздат, 1970. - С. 6-12.

4. Афанасьев Н.Ф. Технология изготовления изделий из тяжелого бетона с предварительным электроразогревом смеси. Сб.: Применение предварительного разогрева смесей в технологии производства сборного железобетона. -Минск, 1975. -С. 81-82.

5. Афанасьев Н.Ф. Технология производства изделий из электро-разогретых бетонных смесей. Сб.: Интенсивные методы развития производства сборного железобетона. М.: МДНТП, 1977. - С. 70-79.

6. Афанасьев Н.Ф. Бетоноукладчик БЭС-2 //Строительные и дорожные машины. -1983. № 4. -С. 15-17.

7. Афанасьев Н.Ф. Метод расчета удельного электрического сопротивления бетонной смеси //Изв. вузов. Сер. строительство и архитектура. -1984. -№ 3. - С. 78-81.

8. Афанасьев Н.Ф. Определение удобоукладываемости разогретых бетонных смесей //Бетон и железобетон. - 1985. - № 5. - С. 41-43.

9. Афанасьев Н.Ф. Определение электропроводности бетонных смесей //Бетон и железобетон. -1987. -№ 10. - С. 11-13.

10. Афанасьев Н.Ф. Состояние и перспективы применения бетонных смесей, разогретых электрическим током. - Сб.: Использование электрической энергии в заводской технологии бетона и железобетона. - Ростов-на-Дону, 1986. - С. 51-52.

11. Афанасьев М. Автоматизація електропрогрівання залізобетонних виробів у касетах //Будівельні матеріали і конструкції. -1968. -№ 4. - С. 45.

12. Афанасьев М. Дистанційне замірювання температури у виробках касети //Будівельні матеріали і конструкції. -1968. -№ 2. - С. 43.

13. Афанасьев Н.Ф. Расчет привода колебательного механизма бетоноукладчиков с электроразогревом смеси. - Луганск, 1991. Деп. во ВНИИЭСМ 22.04.1991, № 1877. - 9 с.

Работы, выполненные в соавторстве

14. Афанасьев Н.Ф., Целуйко М.К. Добавки в бетоны и растворы. -Киев.: Будівельник, 1989. - 128 с. (Доля автора 50%. Выполнен системный анализ добавок различного назначения для бетонов и растворов).

15. Афанасьев М., Ткачев В., Селецкий В., Гузь В., Саркисян А. Установка для поперечно-безперервного электророзігрівання бетонних сумішей //Будівельні матеріали і конструкції. - 1969. -№ 5. - С. 12. (Доля автора 55%. Описана установка для непрерывного электроразогрева бетонной смеси перед укладкой ее в форму или опалубку. Дана техническая характеристика установки, устройство, принцип действия).

16. Калишук О., Афанасьев М. Вплив кількісних і якісних показників бетонної суміші на зміну її електропровідності. //Будівельні матеріали і конструкції. -1969. -№ 5. - С. 12. (Доля автора 50%. Изучено и описано влияние количественных и качественных показателей бетонной смеси на ее электропроводность).

17. Калішук О., Афанасьєв М. Методика визначення параметрів установки для безперервного попереднього електророзігрівання бетонної суміші //Будівельні матеріали і конструкції. - 1970. - № 5. - С. 29-30. (Доля автора 50%. Определены основные параметры установки для непрерывного электроразогрева бетонной смеси на движущейся транспортной ленте).

18. Калішук А.Л., Афанасьєв Н.Ф. Електророзогрев бетонних смесей перед формованием. -Киев: НИИСП Гостроя УССР. 1970. -6 с. (Доля автора 50%. Выполнены исследования свойств бетонных смесей различного состава на тяжелом заполнителе. Сформулированы основные положения специфических свойств бетонных смесей, подвергнутых электроразогреву).

19. Калішук О., Афанасьєв М. Попереднє електророзігрівання бетонних сумішей //Сільське будівництво. -1970. -№ 8. - С. 18. (Доля автора 50%. Описана выполненная соискателем установка для предварительного непрерывного электроразогрева бетонной смеси. Дана методика расчета количества теплоты, необходимого для нагрева бетонной смеси до заданной температуры).

20. Калішук О., Афанасьєв М. Про зміну питомого електричного опору бетонної суміші //Будівельні матеріали і конструкції. - 1972. -№ 1. - С. 38. (Доля автора 50%. Описаны проведенные соискателем исследования влияния водоцементного отношения и подвижности бетонной смеси на изменение ее удельного электрического сопротивления).

21. Афанасьєв М., Цілуйко М., Борисова Г., Краснякова Є. Вплив пластифікуючих добавок на властивості електророзігрітих бетонних сумішей //Будівельні матеріали і конструкції. -1979. - № 6. - С. 30-31. (Доля автора 50%. Проведены исследования по определению влияния поверхностно-активных пластифицирующих добавок на свойства бетонных смесей, подвергаемых электроразогреву)

22. Афанасьев Н.Ф., Шимко А.И. Бетоноукладчик с электроразогревом смеси //Строительные и дорожные машины. - 1981. № 6. -С. 17-19. (Доля автора 60%. Описано устройство, назначение, принцип действия бетоноукладчика с электроразогревом смеси. Даны параметры разогрева смеси).

Нормативно-методические документы

23. Временные указания по электроразогреву железобетонных панелей в механизированных кассетных установках. -М.: Стройиздат, 1968. - 60 с.

24. Рекомендации по непрерывному электроразогреву бетонной смеси на транспортной ленте. - Киев: НИИСП Госстроя УССР, - 12 с.

25. Методические рекомендации по применению пластифицирующих добавок в бетонных смесях, подвергаемых предварительному электроразогреву. -Киев: НИИСП Госстроя УССР, 1975. - 24 с.

26. Инструкция по применению предварительного электроразогрева бетонных смесей при производстве сборных бетонных и железобетонных изделий и конструкций. РСН 292-77 /Госстрой УССР. - Киев: НИИСП, 1978. - 69 с.

Авторские свидетельства, патенты и свидетельства на промышленные образцы

27. А.с. 480682 СССР, МКИ С 04В 41/30. Способ электроразогрева смесей /Н.Ф.Афанасьев (СССР) //Открытия. Изобретения. - 1975. -№ 30. - С. 69.

28. Патент № 2072339, МКИ 6 04 В 40/02. Способ изготовления бетонных изделий и устройство для его осуществления/ Н.Ф. Афанасьев. Заявл. 26.02.93, опубл. 27.01.97. Бюл. № 3.

29. А.с. 333149 СССР, МКИ С 04В 41/30. Устройство непрерывного электроразогрева бетонной смеси /Н.Ф.Афанасьев, В.А.Ткачев, В.И.Селецкий, В.И.Гузь, А.К.Саркисян (СССР) //Открытия. Изобретения. - 1972. - № 11. - С. 93. (Доля автора 55%. Предложена конструкция устройства для электроразогрева бетонной смеси на транспортной ленте с фиксированным ее положением, для чего использованы звездочки и втулочно-роликовая цепь).

30. А.с. 376344 СССР, МКИ С 04В 41/30. Устройство для электроразогрева бетонной смеси /Н.Ф.Афанасьев, А.Л.Калишук, В.А.Ткачев, М.Х.Зайнулин, В.А.Криворученко (СССР) //Открытия. Изобретения. - 1973. - № 17. - С. 70. (Доля автора 55%. Предложена конструкция устройства для непрерывного электроразогрева бетонной смеси, в которой ленточный питатель совершает возвратно-поступательные движения относительно неподвижных электродов).

31. А.с. 473701 СССР, МКИ С 04В 41/30. Устройство для нагрева бетонной смеси /Н.Ф.Афанасьев, Б.А.Крылов, М.Х.Зайнулин, В.А.Бабков (ССС) //Открытия. Изобретения. - 1975. - № 22. - С. 47. (Доля автора 55%. Предложено устройство для непрерывного электроразогрева бетонной смеси, снабженное эксцентриковым механизмом, взаимодействующим с рамой, а рама, на которой закреплены электроды, выполнена с независимой подвеской на упругих элементах).

32. А.с. 630073 СССР, МКИ В 28В 1/08. Бетоноукладчик /Н.Ф.Афанасьев, М.М.Блох //Открытия. Изобретения. - 1978. - № 40. - С. 38. (Доля автора 60%. Предложен бетоноукладчик, обеспечивающий многослойное формование изделий с непрерывным электроразогревом бетонных смесей).

33. А.с. 637396 СССР, МКИ С 04В 41/30. Устройство для нагрева бетонной смеси /Н.Ф.Афанасьев, Г.А.Хорошун, В.А.Ткачев, А.И.Шимко (СССР) //Открытия. Изобретения. - 1978. - № 46. - С. 64. (Доля автора 50%. Предложено устройство раздвижки электродов, обеспечивающее электроразогрев бетонных смесей различной консистенции (электропроводности).

34. А.с. 944931 СССР, МКИ В 28 В 5/00. Установка для формования железобетонных изделий /Н.Ф.Афанасьев, В.А.Ткачев, Г.А.Хорошун, М.Х.Зайнулин, А.И.Шимко, В.В.Федоренко, В.С.Коляда (СССР) //Открытия. Изобретения. -1982. - № 27. - С. 73. (Доля автора 50%. Предложена установка для формования изделий, в которой все операции выполняются механизмами с подъемно-опускной оснасткой).

35. Св. на пром. образец 5869 СССР, Класс 15-04. Бетоноукладчик с устройством для электроразогрева смесей /Н.Ф.Афанасьев, М.М.Блох, М.Х.Зайнулин, В.А.Бабков (СССР) //Открытия. Изобретения. -1977. -№ 13. - С. 254. (Доля автора 50%. Предложено оптимальное расположение формообразующих элементов бетоноукладчика).

36. Св. на пром. образец 7547 СССР, Класс 15-04. Универсальный бетоноукладчик с электроразогревом смесей /Н.Ф.Афанасьев, М.М.Блох, В.С.Коляда, Г.А.Хорошун (СССР) //Открытия. Изобретения. - 1978. -№ 22. - С. 218. (Доля автора 50%. Предложена конструкция бетоноукладчика для формования многослойных панелей с непрерывным электроразогревом бетонных смесей).

АНОТАЦІЯ

Афанасьєв М.Ф. Технологія бетонних і залізобетонних виробів з безперервним електророзігрівом бетонних сумішей.

Дисертація на здобуття вченого ступеня доктора технічних наук з спеціальності 05.23.05 - будівельні матеріали і вироби. Луганський сільськогосподарський інститут. Луганськ, 1997.

Захищається рукопис дисертації, основний зміст якої викладено у 36 наукових працях.

В роботі наведені результати теоретичних і експериментальних досліджень по розробці технології виготовлення бетонних і залізобетонних виробів з безперервним електророзігрівом бетонних сумішей. Розроблені теоретичні основи безперервного електророзігріву бетонної суміші на рухомій транспортній стрічці.

Створено нове технологічне знаряддя, яке забезпечує безперервний процес електророзігріву бетонної суміші, її транспортування до посту формування і розподілу по всій площі виробу. Запропоновані методи визначення питомого електричного опору і удобоукладання бетонних сумішей, оптимальні компоновочні рішення технологічних мереж виробництва бетонних і залізобетонних виробів з безперервним електророзігрівом бетонних сумішей.

Обгрунтовано перевагу і ефективність розроблених технологій з врахуванням останніх досягнень науки і техніки в галузі теплової обробки бетону електричним струмом.

Summary

Afanasyev N. F. The tehnology of concrete and reinforced concrete units productions with continuous concrete mixture electric heating.

Dissertation paper on Doctor of technical sciences scientific degree competition 05.23.05 speciality-Building materials and units. Lugansk Agri-cultural Institute, 1977.

Has been defended manuscript of dissertation common consist of it has written on 36 scientific papers.

This work contains the results of theoretical and experimental investigations of concrete and reinforced concrete technology development with continuous concrete mixture heating. The theoretical basis for continuous concrete mixture electric heating were developed. Technologically new equipment ensuring the continuous process of concrete mixture electroheating was worked out with its transporting to forming post and its distribution on forming units surface. New methods were proposed for determination of specific electric resistance and suitable concrete mixture laying with optimal arrangement of technological concrete and reinforced concrete units production schemes with continuous electric heating of concrete mixtures. The advantages of effectiveness of developed technologies were grounded with taking into account the latest achievements of science and technology in the sphere of concrete heat processing with electric current.

Ключові слова: технологія, бетонні суміші, електророзігрів, хімічні добавки.

АФАНАСЬЕВ Николай Фирсович

ТЕХНОЛОГИЯ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ
С НЕПРЕРЫВНЫМ ЭЛЕКТРОРАЗОГРЕВОМ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

Автореферат
диссертации на соискание учен.ой степени
доктора технических наук

Подписано к печати 5.06.1997г. Формат 60х84/16 Офсетная печать
Печ.л. 2,0 Уч.-изд.л. 1,97 Тираж 110 Экз. № 134 Цена договорная.

Подразделение оперативной полиграфии ЛНТЭИ
348000, г.Дуганск, Красная пл., 4

AB 38.492