

О Т З Ы В

официального оппонента

на диссертационную работу **Красносельских Николая Валериевича**
«Процессы электротепловой обработки железобетонных изделий токами
повышенной частоты на предприятиях сборного железобетона» по
специальности 05.02.13 – Машины, агрегаты и процессы (строительство).

Объем диссертационной работы Н.В. Красносельских составляет 201 страницу. Она содержит пять глав, выводы (заключение), список использованной литературы из 139 наименований и 1 приложение на 1 странице.

Актуальность темы диссертации.

Несмотря на достаточно высокий уровень развития современной технологии строительных материалов, в частности, бетона и железобетонных изделий, в последние годы все более отчетливой проявляются проблемы этой сферы народного хозяйства. Хорошо известно, что при изготовлении различных стройматериалов требуется термическое воздействие на материал, т.е. тепловая обработка. В случае бетонных и железобетонных изделий такая обработка сопряжена с большими затратами энергии. Положение усугубляется тем, что получившая широкое применение тепловлажностная обработка (ТВО) железобетонных изделий водяным паром в пропарочных камерах, обладает очень низкой энергетической эффективностью: бетон получает не более 11÷12 % энергии пара, а остальная часть теряется. Еще 30÷40 лет назад при использовании такой тепловой обработки не возникало проблем. Однако в последние годы вследствие роста стоимости первичных энергоресурсов использование ТВО превращается в серьезное препятствие. Например, такая технология недоступна малым предприятиям и многим предприятиям среднего бизнеса.

Диссертационная работа Красносельских Н.В. посвящена преодолению этого препятствия за счет применения при изготовлении железобетонных изделий энергосберегающей электротепловой обработки (ЭТО) токами повышенной частоты. Действительно, такая обработка имеет энергетическую эффективность, приближающуюся к 100 %, а легкое, удобное и эффективное оборудование, в частности, источники питания на основе мощных транзисторных преобразователей частоты, обладает низкой стоимостью. Таким образом, представленная работа весьма актуальна и своевременна.

Наряду с отмеченной выше проблемой, в технологии строительной отрасли, может быть не столь ярко, просматривается еще один важный недостаток. Это недостаточно высокий уровень теоретических разработок. В век тотальной компьютеризации очень важно иметь в практическом пользовании обширную библиотеку математических моделей с их программно-алгоритмической реализацией, позволяющие изучать технологические процессы методами компьютерного моделирования. Это позволяет существенно экономить время, силы и средства при разработке технологических установок и рациональных режимов их работы. Учитывая достаточно глубокие теоретические разработки, представленные в работе, нетрудно сделать вывод, что эта диссертационная работа крайне актуальна с точки зрения потребностей развития методологии технологических процессов строительных материалов.

Как отметил автор работы, несколькими годами ранее были выполнены научные исследования, посвященные изучению процессов электротепловой обработки токами повышенной частоты бетона и железобетонных изделий. Полученные результаты доказали высокую эффективность такого технологического приема и стала очевидна необходимость в опытно-промышленной проверке процессов такой обработки при изготовлении железобетонных изделий в производственных условиях. Причем сделать это

необходимо на основе дальнейшего развития теоретических основ технологических процессов производства железобетонных изделий с применением такого вида обработки.

Поэтому вполне логично выглядит сформулированная автором цель диссертационной работы:

Целью настоящей работы является разработка процессов ЭТО железобетонных изделий электродным методом токами повышенной частоты, а также необходимого оборудования для производственного применения на основе дальнейшего развития и совершенствования элементов общей методологии создания и применения таких процессов.

Автором сформулированы задачи работы, решение которых позволяет достичь поставленную цель. Для того, чтобы выработать оценку работы целесообразно проанализировать результаты их решения.

Задачи работы и результаты их решения.

1. Разработать методику расчета характеристик стационарного температурного поля в объеме железобетонного изделия при неоднородном тепловыделении в процессе ЭТО.

Автор убедительно показал, что при разработке и применении на практике процессов ЭТО токами повышенной частоты при изготовлении железобетонных изделий на предприятиях сборного железобетона центральное место принадлежит процедуре расчета характеристик температурного поля в объеме изделия в ходе такой обработки. Разработана методика расчета характеристик одномерного стационарного температурного поля в объеме железобетонного изделия при неоднородном тепловыделении в процессе ЭТО, с помощью которой установлено что, однородное выделение тепла в объеме материала является

далеко не самым лучшим вариантом электротермической обработки, и значительно более однородное температурное поле в стационарном режиме достигается в том случае, если имеет место снижение объёмной плотности мощности тепловыделения в направлении распространения теплового потока. Эта теоретическая разработка имеет практическое значение для анализа особенностей ЭТО электродным методом с учетом влияния арматуры. В частности, показано, что неоднородность тепловыделения, возникающая из-за влияния арматуры, не приводит к каким-либо критическим последствиям для процесса ЭТО. Температурное поле в объеме материала получается значительно более однородным, чем предполагалось ранее. Этот вывод получил полное подтверждение при проведении экспериментов на опытно-промышленной установке, результаты которых представлены в работе.

2. Необходимо сформулировать и обосновать порядок применения принципа суперпозиции при расчете характеристик температурного поля в объеме железобетонного изделия в ходе его электротепловой обработки.

Эта задача также успешно решена. Предложен и обоснован принцип расчета температурного поля в трехмерном пространстве объема железобетонных изделий в ходе их электротепловой обработки (ЭТО) электродным методом, базирующийся на суперпозиции градиентов температуры и интегрировании функции его изменения в пространстве с учетом знака градиента при перемещении от начальной точки с известной температурой к конечной с произвольными координатами, где температура определяется как сумма температуры в начальной точки и интеграла градиента температуры. В данном случае используется аналогия между температурным и электромагнитным полем, а принцип суперпозиции широко применяется при решении полевых задач электрического и магнитного полей.

3. Разработать инженерную методику численно-аналитического расчета процесса теплопереноса и стационарного температурного поля в трехмерном пространстве объема железобетонного изделия при его электротепловой обработке на основе предложенного принципа суперпозиции градиентов температуры.

В работе подробно описано решение этой задачи, и она является наиболее сложной из всех задач настоящей работы. Разработана оригинальная инженерная методика численно-аналитического расчета процесса теплопередачи и характеристик стационарного температурного поля в трехмерном пространстве объема железобетонного изделия (с равномерным тепловыделением по всему объему), подвергающемуся ЭТО электродным методом, доступная широкому кругу пользователей. Представлено программно-алгоритмическая реализация этой методики. Основе методики лежит один из важнейших принципов научной школы академика С.В. Федосова, неоднократно подтвердивший свою эффективность. Это гармоничное сочетание численных и аналитических методов вычислений, когда достаточно простые и проверенные решения (в данном случае решение одномерной задачи теплопереноса) благодаря численной форме применения позволяют решать сложные задачи, в том числе нелинейные. При решении этой задачи автором правильно сформулированы и умело использованы краевые условия решения дифференциального уравнения теплопроводности, составленного с учетом объемного тепловыделения, обусловленного электрическим током в толще бетона. Эта методика в сочетании с теоретическими разработками по пп. 1 и 2 фактически образуют практически полную и универсальную математическую модель теплопереноса и стационарного температурного поля в трехмерном пространстве.

4. Выполнить с помощью этой методики исследования характеристик такого поля применительно к реальным изделиям в целях создания опытно-промышленных установок для производства таких изделий и разработки процесса ЭТО токами повышенной частоты.

Автор также успешно справился с решением и этой задачи. Представленные результаты теоретических исследований характеристик температурного поля применительно к реальным изделиям с помощью предложенной численно-аналитической методики показали, что эта методика представляет собой эффективный инструмент исследования температурных полей в объеме железобетонных изделий в целях создания необходимого оборудования и выбора режимов процесса ЭТО. Показано, что для устранения опасности повреждения материала (бетона) внутренними механическими напряжениями, вызванных градиентами температуры, скорость подъема температуры на стадии нагревания должна быть не более $5\div 7$ °С/ч. при температуре разогрева материала не выше $45\div 48$ °С и при толщине слоя теплоизоляции (пенопласта) не менее $4\div 6$ см

5. Составить и обосновать перечень вариантов опытно-промышленной реализации изготовления железобетонных изделий с помощью ЭТО, обеспечить разработку и изготовление опытно-промышленных установок, выполнить экспериментальные исследования характеристик процесса ЭТО токами повышенной частоты в производственных условиях.

Соискателю Красносельских Н.В. удалось решить весьма непростую практическую задачу – обеспечить изготовление опытно-промышленных установок для производства различных железобетонных изделий с использованием ЭТО токами повышенной частоты. Разработанные и

изготовленные опытно-промышленные установки позволили выполнить экспериментальные исследования характеристик процесса ЭТО токами повышенной частоты в производственных условиях, которые подтвердили достоверность теоретических разработок и целесообразность широкого применения таких процессов на предприятиях сборного железобетона. Например, удельные затраты энергии на выполнение ЭТО снижаются по сравнению с традиционной ТВО в 12÷30 раз, а ее стоимость в 6÷16 раз, причем. Подтвердился ранее установленный эффект активации процесса твердения бетона при использовании ЭТО токами повышенной частоты и впервые обнаружено явление, когда энергетическая эффективность (КПД) такого процесса может превышать 100% благодаря эффективному использованию тепла гидратации цемента. Опытные-промышленные установки, представленные в работе, уже пригодны для промышленного использования производственных условиях.

Благодаря успешному решению всех задач диссертационного исследования цель работы следует считать достигнутой, а в результате выполнения работы обеспечено получение научной новизны в следующем составе.

1. Предложен и обоснован принцип расчета температурного поля в трехмерном пространстве, на основе суперпозиции градиентов температуры и интегрировании функции изменения градиента температуры в пространстве.

2. Разработана методика численно-аналитического расчета процесса теплопередачи и стационарного температурного поля в трехмерном пространстве объема железобетонного изделия при его электротепловой обработке на основе предложенного принципа вычисления температуры.

3. Решена задача одномерного теплопереноса с определением распределения температуры и градиента температуры при неоднородном

тепловыделении в объеме материала; доказано, что управлением законом изменения тепловыделения в пространстве можно достичь более однородного температурного поля и снижения температурного градиента по сравнению характеристиками при однородном тепловыделении.

4. Усовершенствована методика оценки опасности градиентов температуры посредством приведения предельно допустимых и фактических значений этих параметров к одинаковым (базовым) условиям.

5. Обнаружено явление существенного увеличения энергетической эффективности ЭТО токами повышенной частоты с достижением КПД процесса выше 100 % за счет тепла гидратации цемента в случае использования оборудования (опалубки) рациональной конструкции.

Теоретическая значимость заключается в следующем. Исходя из приведенного выше анализа выполнения задач диссертационного исследования, следует сделать однозначный вывод, что эта работа представляет собой довольно существенный вклад в развитие теории технологических процессов изготовления железобетонных изделий с применением ЭТО. Этот результат достигнут тем, что работе предложена не имеющая аналогов математическая модель температурного поля в объеме железобетонного изделия, возникающего в ходе ЭТО на основе численно-аналитического подхода к решению задач теплопроводности в трехмерном пространстве. Также показан порядок учета, при необходимости, влияния на характер температурного поля неоднородности объемного тепловыделения.

Практическая значимость работы состоит в том, что убедительно доказана эффективность применения предложенной в работе математической модели теплопереноса и температурного поля при разработке технологического оборудования и выбора рациональных режимов его работы. Причем применение

этой математической модели на практике доступно широкому кругу специалистов. Также на основании результатов экспериментальных исследований с использованием опытно-промышленных установок доказана высокая энергетическая эффективность технологического процесса и применяемого оборудования для изготовления железобетонных изделий с применением ЭТО токами повышенной частоты. Важным практическим результатов работы является то, что рассмотренная в работе технология оказывается вполне доступной и выгодной для малых предприятий строительной отрасли.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций.

Высокая степень обоснованности и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций представленной работы обусловлена использованием физических представлений и математического описания в виде системы дифференциальных уравнений взаимосвязанного тепломассобаропереноса, впервые предложенных А.В. Лыковым. Эффективность этой методологической основы была неоднократно подтверждена в ходе разнообразных исследований, выполненных различными специалистами. С другой стороны, результаты экспериментов на опытно-промышленных установках, выполненных автором работы, хорошо согласуются с результатами вычислений, проведенных с использованием предложенной в работе математической модели. Это также служит убедительным подтверждением обоснованности и достоверности результатов рассматриваемой работы, как и сходимость этих результатов с данными других исследователей.

Полнота опубликованных результатов. Результаты диссертационной работы в достаточной мере отражены в 13 научных работах, 3 из них в журналах, рекомендованных ВАК, 1 – в издании, индексируемом в аналитической базе

Scopus, 9 – в материалах международных научно-технических конференций и конференций с международным участием.

Соответствие диссертации научной специальности и отрасли науки.

Диссертация соответствует пункту 1 «Разработка научных и методологических основ проектирования и создания новых машин, агрегатов и процессов» области исследований специальности 05.02.13 – Машины агрегаты и процессы (строительство), так как в ней рассмотрены вопросы создания энергоэффективных технологических процессов изготовления железобетонных изделий, включая разработку оборудования, с помощью электротепловой обработки токами повышенной частоты электродным методом на основе дальнейшего развития теории таких процессов.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы.

Результаты работы можно рекомендовать для практического применения практически на всех предприятиях и в организациях строительной отрасли. Кроме этого, целесообразно продолжение исследований по теме диссертационной работы в целях дальнейшего совершенствования технологии производства железобетонных изделий с применением электротепловой обработки токами повышенной частоты, что также предлагает и автор работы.

Общие замечания по диссертации. Несмотря на положительную оценку работы, можно высказать ряд замечаний.

1. Преимуществом предложенной в работе математическая численно-аналитическая модель температурного поля в объеме железобетонного изделия в процессе электротермической обработки является то, что она позволяет учитывать нелинейное изменение теплофизических параметров материала в его объеме. Была ли проведена экспериментальная проверка этой особенности предложенной теоретической разработки?

2. Как отмечено в описании методики численно-аналитического расчета температурного поля, она базируется на мысленном разбиении трехмерного пространства на большое число одинаковых слоев, параллельных трем координатным плоскостям, с последующим пошаговым перемещением по этим слоям в процессе вычислений, начиная от начала системы координат. Каким образом определяется число таких разбиений?
3. Существуют ли преимущества у предложенной в работе численно-аналитической методики расчета температурных полей в трехмерном пространстве по сравнению с существующими методами численного решения полевых задач?

Высказанные замечания несколько не влияют на положительную оценку диссертационной работы Красносельских Н.В.

Заключение

Диссертацию следует квалифицировать, как законченную научно-исследовательскую работу, которую автор выполнил самостоятельно на высоком научно-техническом уровне. Рукопись диссертации имеет качественное оформление, иллюстрации эффективно дополняют и поясняют сведения, представленные в тексте.

Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертации.

Диссертация на тему «Процессы электротепловой обработки железобетонных изделий токами повышенной частоты на предприятиях сборного железобетона» является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи разработки энергосберегающих технологических процессов с применением электротепловой обработки железобетонных изделий электродным методом токами повышенной частоты, а также технологического оборудования на базе дальнейшего развития теории таких технологических процессов, имеющей значение для развития отрасли знаний в сфере

строительных наук, а также изложены новые научно обоснованные технические, решения по реализации таких технологических процессов.

Диссертация соответствует специальности 05.02.13 - Машины, агрегаты и процессы (строительство) и отвечает требованиям пункта 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», а ее автор Красносельских Николай Валериевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Официальный оппонент
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры энергетики
теплотехнологий и газоснабжения
ФГБОУ ВО «Ивановский
государственный энергетический
университет им. В.И. Ленина»

Соколовский

Сокольский
Анатолий Иванович

30.04.2021г.

153003, Ивановская область,
г. Иваново, ул. Рабфаковская, д. 34

Тел.: 8.960 513 58 99

Подпись Сокольского А.И. заверяю

Зг. секретаря
30.04.2021

Сови



мл - / Волынский И.В.