

В диссертационный совет Д 212.355.01
созданного на базе федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения высшего образования
«Ивановский государственный политехнический университет»

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук, профессора кафедры «Сопротивление материалов» ФГБОУ ВО «Донской государственной технической университет» на диссертацию Красносельских Николая Валериевича на тему «Процессы электротепловой обработки железобетонных изделий токами повышенной частоты на предприятиях сборного железобетона», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.02.13 - «Машины, агрегаты и процессы (строительство)».

Для рецензирования диссертационной работы в виде отзыва соискателем были представлены все необходимые материалы в электронном и печатном виде в частности:

- текст диссертационной работы, состоящей из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, приложений. Общий объём работы составляет 201 страницу, содержит 68 рисунков, 5 таблиц. Список литературы состоит из 139 наименований.
- автореферат объемом 18 страниц;

1. Актуальность выбранной темы исследования.

По своей сути весь комплекс исследований Н.В. Красносельских, обобщенных в его кандидатской диссертации, представляет собой применение электротепловой обработки электродным методом, когда разогрев бетона производится посредством пропускания электрического тока повышенной частоты в толще бетона и выделения тепла по всему объему материала.

Поскольку четких требований к разработке и применения процессов электротепловой обработке токами повышенной частоты в Российских нормах практически отсутствуют, эти задачи представляют непосредственный интерес для практики применения подобных технических решений, в частности, в технологическом процессе изготовления железобетонных изделий на предприятиях сборного железобетона и крупнопанельного домостроения.

Однако есть проблемы, заключающиеся в том, что существующие источники питания промышленной частоты крайне неудобны в эксплуатации из-за большой массы и значительных габаритов.

Эти обстоятельства и противоречия, возникшие на практике, стали причиной того, что в последние годы были выполнены научно-технические исследования по разработке и применению процессов ЭТО железобетонных изделий токами повышенной частоты с помощью источников питания нового поколения, выполненных на основе полупроводниковых (транзисторных) преобразователей частоты.

Объективно возникла необходимость проведения дальнейших разработок, направленных на практическое применение процессов такой электротепловой обработки на предприятиях сборного железобетона.

С учетом вышесказанного, можно сказать, что основной вектор исследований в диссертационной работе Красносельских Н.В. направлен на решение актуальной задачи, как разработка процессов ЭТО железобетонных изделий электродным методом токами повышенной частоты, а также, разработка необходимого оборудования для производственного применения.

Несомненно, такая постановка исследований, является **актуальной**.

2. Структура и характеристика работы

Структура работы соответствует заявленной специальности – 05.02.13 – Машины, агрегаты и процессы (строительство) и отражает специфику и логику проведенного исследования.

В **первой главе** выполнен литературный обзор вопросов тепловой, электротепловой и электрофизической обработки железобетонных изделий, а также результатов перспективных научно-технических разработок, выполненные в последние годы, по разработке и применению на предприятиях сборного железобетона ЭТО токами повышенной частоты электродным методом с помощью источников питания нового поколения, выполненных на основе полупроводниковых (транзисторных) преобразователей напряжения. Показано, что тепловая обработка является обязательной составной частью технологического процесса изготовления железобетонных изделий на предприятиях сборного железобетона и крупнопанельного домостроения.

Приведены основные характеристики и показатели тепловой обработки бетона, а также современные требования, предъявляемые к ней. Соискателем подробно представлено эволюция в вопросах теории ЭТО: разработана общая методология создания и применения процессов ЭТО, которая базируется на решении феноменологических дифференциальных уравнений тепломассопереноса при наличии источника тепла в объёме материала, мощность которого определяется решением уравнений электрического поля в материале с

комплексной (активно-ёмкостной) электрической проводимостью в сочетании с использованием целого ряда дополнительных теоретических моделей и расчётных методов, где центральное место в этой методологии занимает процедура расчета характеристик температурного поля в объеме железобетонного изделия в ходе ЭТО.

На основе анализа сведений, приведенных в *главе 1*, были сформулированы цель и задачи.

Во **второй главе** показано решение задачи одномерного теплопереноса при неоднородном тепловыделении в направлении теплового потока при выполнении ЭТО с определением закона изменения температуры и градиента температуры в этом направлении. Отметим, что соискатель решал для двух вариантов характера изменения объемной плотности тепловыделения: когда этот параметр убывает по линейному закону и когда по такому же закону убывает напряженность электрического поля. При этом автор акцентировал внимание в вопросе создания инженерной методики численно аналитического расчета процесса теплопереноса и стационарного температурного поля в трехмерном пространстве объема железобетонного изделия, подвергающихся ЭТО электродным методом доступной широкому кругу пользователей.

Соискатель убедительно доказывает, что для реализации численно-аналитической методики расчета температурного поля в трехмерном пространстве удобно воспользоваться объектом, в объеме которого производится расчет температурного поля, в виде параллелепипеда.

Согласно вышесказанному, температурное поле в объеме материала, описываемое дифференциальным уравнением, соискатель представляет в виде системы одномерных дифференциальных уравнений, описывающих процесс теплопереноса вдоль осей системы координат в стационарном режиме с соответствующими краевыми условиями. Расчет включает в себя решение вспомогательных задач. В результате определяется изменение температуры в пределах каждого слоя вдоль каждой из осей и результирующее значение изменения температуры ΔT при перемещении в пределах слоя в направлении к конечной точке по прямой. На основании предложенной численно-аналитической методики расчета параметров температурного поля в трехмерном пространстве разработана ее реализация в среде MATLAB.

Приведенные данные свидетельствуют о хорошем уровне подготовке автора в области численного моделирования работы железобетонных конструкций.

Приведенные примеры в этой главе демонстрируют применение авторской методики инженерного расчета конструкций.

Третья глава посвящена всестороннему исследованию характеристик температурных полей в объеме материала железобетонного изделия в ходе его электротепловой обработки электродным методом с помощью расчетных методик, предложенных в настоящей работе. Выполненные теоретические исследования показывают, что использование ЭТО при изготовлении железобетонных изделий обеспечивает существенно более высокую однородность температурного поля, чем при применении традиционных методов тепловой обработки (например, ТВО).

В результате приведенных исследований установлено, что эффективными средствами управления неоднородностью температурного поля в процессе ЭТО являются изменение распределения электрического поля в объеме материала изделия и параметров теплоизоляционного слоя на поверхности опалубки. На основании выполненных теоретических исследований автор рекомендует в общем случае применять теплоизоляцию, в частности, «пенопласт» толщиной $H_{\text{и}} = 4 - 6$ см.

Выполненные теоретические исследования соискателем позволили оценить минимально допустимые значения длительности стадии нагрева, при соблюдении которых устраняется опасность повреждения материала изделия внутренними механическими напряжениями.

В **главе 4** затронуты вопросы разработки опытно-промышленных установок для изготовления широко распространенных железобетонных изделий с применением электротепловой обработки токами повышенной частоты, а также методики проведения экспериментальных исследований с использованием этих установок на основе результатов теоретических исследований. Автором подробно описана методика проведения экспериментов с использованием ЭТО токами повышенной частоты.

После завершения ЭТО, охлаждения и распалубки изделия соискателем рекомендует производить периодическое измерение предела прочности на сжатие бетона неразрушающим методом.

В **главе 5** приведены результаты экспериментальных исследований показателей и характеристик ЭТО железобетонных изделий в производственных условиях с использованием опытно-промышленных установок.

Представленные результаты расчета и эксперимента по определению температуры в объеме железобетонного изделия в ходе его ЭТО токами повышенной частоты, которые демонстрируют хорошее согласование теоретических и опытных значений. Достаточно обширный экспериментальный материал, полученный в настоящей работе, свидетельствует о достоверности

предложенного принципа расчета температурного поля в трехмерном пространстве и разработанной на его основе методики численно-аналитического расчета стационарного температурного поля в объеме железобетонного изделия при его электротепловой обработке.

3. Теоретическая значимость

Теоретическая значимость диссертационной работы вполне очевидна, т.к. предложена оригинальная, не имеющая аналогов, математическая модель температурного поля в трехмерном пространстве в объема железобетонного изделия в процессе его электротепловой обработки и представляет собой существенный вклад в развитие теории процессов тепломассопереноса при изготовлении и эксплуатации строительных материалов и изделий. Эта модель также представляет интерес для специалистов в сфере математического моделирования с точки зрения эффективного сочетания численных и аналитических методов расчета.

4. Практическая значимость работы

Пожалуй, главный позитивный результат диссертации справедливо сформулирован в одном из выводов: «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... Опытно-промышленные установки, представленные в работе, уже пригодны для промышленного использования производственных условиях».

Это очень важный с точки зрения технических приложений результат работы. Я думаю, что именно в этом состоит основная практическая значимость работы.

5. Новизна научных положений, выводов и рекомендаций

К научной новизне следует отнести следующее:

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

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

6. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций.

Достоверность результатов не вызывает сомнения и в приведенных в работе теоретических и эмпирических результатов подтверждается удовлетворительной их корреляцией с данными, полученными путем численных расчетов, а также с данными экспериментальных исследований, полученными самим автором в результате испытания натуральных и маломасштабных моделей.

7. Степень завершенности и качество оформления диссертации

Диссертационная работа Красносельских Н.В. написана ясно и точно; всё что нужно на месте. Выводы и решения уравнений вполне поняты, стиль и язык изложения не вызывают возражений. Автореферат диссертации полностью отражает основное содержание диссертации.

8. Полнота опубликованных результатов

По материалам диссертации опубликовано 13 работ, в том числе 3 научные статьи в рецензируемых изданиях из перечня ВАК и 1 работа опубликована в журнале, индексируемом в международных реферативных базах Scopus. Так же опубликовано 9 работ – в материалах международных научно-технических конференций и конференций с международным участием.

9. Соответствие диссертации научной специальности и отрасли науки.

Диссертация соответствует пункту 1 «Разработка научных и методологических основ проектирования и создания новых машин, агрегатов и процессов» паспорту специальности 05.02.13 – Машины агрегаты и

процессы (строительство), так как в ней рассмотрены вопросы применения процессов электротепловой обработки железобетонных изделий, на основе математического моделирования процессов теплопереноса и определения характеристик температурного поля в трехмерном пространстве объема железобетонных изделий, а также использования таких характеристик для создания необходимого оборудования и выбора рациональных режимов его работы.

10. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы.

Целесообразно разработать и реализовать программу как проведения дальнейших исследований по теме диссертационной работы в целях дальнейшего совершенствования технологических процессов изготовления железобетонных изделий с использованием электротепловой обработки токами повышенной частоты, так и активного внедрения в производство уже достигнутых результатов.

Общие замечания по диссертации:

1. В разделе 2.2. соискатель утверждает, если известно распределение в пространстве (в объеме изделия) величины и направления $grad T$, существует возможность определения значения температуры в любой точке этого объема с произвольными координатами x, y, z по заданной величине температуры в некоторой исходной точке используя например соотношение (2.26). Вопрос? При проекции вектора $grad T$ на прямую отсутствуют направляющие косинусы. На приведенном развернутом рисунке 2.3 их нет. Почему?
2. Предложенная в работе математическая численно-аналитическая модель температурного поля в объеме железобетонного изделия в процессе электротермической обработки позволяет учитывать нелинейное изменение теплофизических параметров материала в его объеме. Однако не совсем ясно: позволяет ли она учитывать нелинейность других параметров, например неоднородность теплоизоляции на поверхности опалубки?
3. Как учитывается неравномерность изменения градиента температуры вдоль ребра изделия при оценке опасности повреждения изделия внутренними механическими напряжениями в ходе электротепловой обработки?
4. При исследовании температурных полей, рассматриваемый объем соискатель мысленно разбивает на тонкие слои, расположенные перпендикулярно осям координат и параллельно соответствующим плоскостям

системы координат, с присвоением им порядковых номеров. По мере удаления от начала системы координат будут изменяться параметры частных решений системы одномерных уравнений (2.29) вследствие изменения граничных условий. Вопрос? Как обойти эти важные узкие моменты в описании граничных условий?

5. Как известно, управление температурным полем в целях повышения его однородности можно достичь не только управлением электрическим полем, но и применением теплоизоляционного слоя на поверхности опалубки переменной толщины. Почему для сравнения не рассматривался такой вопрос?

6. При проведении эксперимента соискателем выявлено что расхождения результатов расчета и эксперимента наблюдаются в ситуациях, когда условия ЭТО в наименьшей степени соответствуют возникновению стационарного температурного поля, например на стадии нагревания при достаточно большой скорости подъема температуры и низкой температуре окружающего воздуха. Чем это явление можно объяснить?

Приведенные замечания не влияют на положительную оценку диссертационной работы. Результаты диссертационной работы достаточно широко освещены в открытой печати, доложены на различных конференциях.

11. Общее заключение

Резюмируя сказанное по существу представленной к защите работы, следует согласиться, что в диссертации Красносельских Николая Валериевича есть рациональное сочетание трех важнейших составляющих научного исследования, направленного, в конечном счете, на решение технических задач – корректная и полная постановка теоретической проблемы, аналитическое и/или численное решение поставленной задачи и экспериментальная проверка полученных результатов.

Эта прекрасная триада – теория-расчет-эксперимент – основа и суть любой хорошей научной работы.

Диссертация является научной квалификационной работой, которая по своему содержанию и значимости соответствует требованиям, изложенным в п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года №842».

Сделанные замечания не оказывают существенного влияния на общую положительную оценку работы.

Таким образом, на основании изложенного считаю, что представленная к

защите на соискание ученой степени кандидата технических наук диссертация Красносельских Николая Валериевича на тему «Процессы электротепловой обработки железобетонных изделий токами повышенной частоты на предприятиях сборного железобетона», в полной мере удовлетворяет требованиям, предъявляемых ВАК Минобрнауки России к кандидатским диссертациям, а ее автор Красносельских Н.В. заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.13 – «Машины, агрегаты и процессы» (строительство).

Официальный оппонент:

доктор технических наук, профессор кафедры «Сопротивление материалов» ФГБОУ ВО «Донской государственной технической университет».

д.т.н., профессор кафедры «Сопротивление материалов» ФГБОУ ВО «Донской государственной технической университет», Советник РААСН, Почетный работник ВПО РФ;
адрес: 236000, Россия, г. Ростов-на-Дону, просп. Гагарина, д.1;
телефон: +7(928)1009121;
адрес электр. почты: ps62@ya.ru,
ibm2225101@gmail.com

 Языев
Батыр
Меретович

Подписи д.т.н., проф. Языева Б.М. удостоверяю
Секретарь ученого Совета ДГТУ, к.т.н., доцент
адрес: 344000, Ростов-на-Дону, Площадь Гагарина 1;
тел. 8 (4012) 99-59-23
E-mail: reception@donstu.ru



 Анисимов Владимир
Николаевич