

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе
Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Саратовский государственный
технический университет имени
Гагарина Ю.А.»

Д.Ю. Петров



января 2019 г.

ОТЗЫВ

ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.» на диссертационную работу Васильева Ивана Владимировича на тему: «Совершенствование индукционного нагревательного комплекса для термообработки вязких жидкостей», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.10 – Электротехнология.

На рассмотрение были представлены автореферат и диссертационная работа, состоящая из введения, шести глав, заключения, списка использованной литературы из 133 наименований и приложения, общим объемом 139 страниц, в том числе 77 иллюстраций и 7 таблиц.

Диссертационная работа Васильева И.В. посвящена повышению эффективности электротехнологических установок на основе разработки новой конструкции индукционного устройства для нагрева и перемешивания жидкости и оптимизации конструктивных и режимных параметров индукционной нагревательной системы.

1. Актуальность.

Для эффективного функционирования нефтепроводов применяются различные вспомогательные технологические системы и устройства. При транспортировке вязких и высоковязких нефтей широко используются установки для подогрева нефти – печи пламенного нагрева, нагревательные кабели, скан-системы, индукционные нагревательные системы. В настоящее время широкое распространение получили нагревательные системы, в которых в качестве преобразователей электрической энергии в тепло применяются индукционные нагреватели. Применение индукционных нагревателей для нагрева вязких неэлектропроводных жидкостей является перспективным направлением во многих отраслях производства, в том числе в нефтеперерабатывающей, химической промышленности, строительной индустрии. Использование индукционных нагревателей позволяет повысить

надежность и улучшить экологическую обстановку. Индукционный нагрев обеспечивает хорошие санитарно-гигиенические условия эксплуатации, создает условия для полной автоматизации процесса, не требует присутствия специального обслуживающего персонала.

В то же время применение индукционных нагревателей требует разработки специальных методик расчета конструктивных и режимных параметров, основанных на использовании математических моделей взаимосвязанных электромагнитных и тепловых процессов. Процесс теплопередачи в индукционных установках для нагрева неэлектропроводных жидкостей происходит в условиях изменяющейся с ростом температуры вязкости жидкости, что оказывает существенное влияние на характер теплопередачи. Эти процессы относятся к объектам, наиболее сложным с точки зрения математического моделирования – объектам с распределёнными параметрами. В настоящее время решены многие частные задачи моделирования и расчета нагревательных установок для нагрева жидкостей и полимеров, однако, распространить частные результаты на возникающие новые запросы производства не представляется возможным. Обеспеченность научными разработками в этой области явно недостаточна, в то время как необходимость в исследовании, разработке и реализации быстродействующих и экономичных индукционных установок для низкотемпературного нагрева вязких нефтей обусловлена возрастающими требованиями к эффективности производства.

Указанные обстоятельства определяют своевременность и значимость темы диссертационной работы Васильева И.В., посвященной совершенствованию конструкции и методик расчета и проектирования индукционных установок для нагрева неэлектропроводных вязких жидкостей с учетом сложной зависимости физических характеристик нагреваемой жидкости от температуры. Рассматриваемая автором проблема представляет безусловный интерес как с точки зрения совершенствования существующей технологии подготовки нефти к транспортировке по трубопроводам, так и с точки зрения управления и, без сомнения, является актуальной.

2. Научная новизна.

При решении проблемы повышения энергоэффективности индукционных нагревательных установок большое значение имеют вопросы создания уточненных математических моделей индукционных нагревательных систем, разработки на базе полученных моделей конструктивных и режимных параметров индукционных нагревателей с учетом взаимного влияния электромагнитных, тепловых и гидравлических процессов.

В качестве одного из основных научных результатов, полученных автором, можно отметить уточненную математическую модель взаимосвязанных электромагнитных и тепловых процессов в цилиндрическом индукторе, отличающуюся от известных учетом сложной конфигурации нагреваемого объекта. Математические модели, предложенные

автором, позволяют учесть сложную зависимость мощности источников тепла при распределенном многосекционном нагреве, использовать индукционные устройства не только для нагрева, но для перемешивания жидкости, что позволяет улучшить теплообмен между тепловыделяющими элементами нагревателя и жидкостью.

Для решения задачи энергообмена в рассматриваемой автором системе разработаны вычислительный алгоритм и программа расчета. Разработанная компьютерная модель позволяет выполнить анализ электромагнитных и тепловых процессов в сложной составной структуре нагреваемого объекта.

Важным результатом диссертационной работы Васильева И.В. является разработка математической модели и методики инженерного расчета новой конструкции устройства для перемешивания и нагрева жидкости на основе трехфазного индуктора с вращающимся магнитным полем.

На основе предложенного комплекса математических моделей разработана методика оптимального проектирования многосекционного индукционного нагревателя с улучшенными энерготехнологическими характеристиками.

Таким образом, предлагаемые автором комплекс математических моделей, методика оптимального проектирования, программное и алгоритмическое обеспечение, предназначенные для решения задач расчета и проектирования электротехнологического нагревательного комплекса, включающего индукционные нагреватели, источники питания промышленной и повышенной частот и автоматизированную систему управления, обладают безусловной научной новизной.

3. Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Положения, выносимые автором на защиту, обладают научной новизной и практической значимостью, а их совокупность обеспечивает достижение основной цели, поставленной в диссертации - исследованию и реализации энергоэффективных индукционных нагревательных комплексов в линиях транспортировки нефти и других вязких жидкостей.

Достижение поставленной цели обеспечивается путем решения корректно поставленных задач математического моделирования электромагнитных, тепловых и гидравлических процессов в сложной структуре тел с различными физическими свойствами. Математические модели электромагнитных и тепловых полей в элементах сложной конфигурации, разработанные автором для решения поставленных задач, основывается на известных зависимостях, в частности, базовых уравнениях Максвелла и Фурье.

Обоснованность применения предлагаемых решений подтверждается актом использования разработанной автором методики расчета электромагнитных и тепловых полей в индукционной нагревательной системе для проектирования нагревательных устройств в линиях перекачки высоковязкой нефти в условиях Заполярья.

4. Достоверность результатов диссертационной работы.

Достоверность полученных результатов обусловлена применением известных методов решения задач математической физики, использованием современных эффективных методов исследования, базирующихся на методах теории электромагнитного поля, теории теплопроводности, методов компьютерного моделирования объектов с распределенными параметрами;

– применением теории автоматического регулирования систем с распределенными параметрами;

- сравнением полученных автором результатов компьютерного моделирования с опубликованными результатами других авторов в исследуемой области;

– обсуждением основных положений и результатов исследований на Международных и Российских научных конференциях и семинарах, а также публикациями автора.

5. Практическая ценность работы заключается:

– в разработке способа и устройства, совмещающего функции нагрева и перемешивания. Оригинальная конструкция трехфазного индукционного устройства повышает эффективность нагрева и позволяет сократить общую длину многосекционного нагревателя;

– в реализации и внедрении в проектную практику методики расчета параметров индукционной системы для нагрева трубопроводов с вязкой жидкостью;

– в предложенных Васильевым И.В. оптимальных алгоритмах пространственного распределения мощности по длине многосекционного нагревателя, обеспечивающих высокую эффективность и требуемое качество нагрева в установившихся и переходных режимах функционирования;

– в разработке структуры системы автоматического управления индукционным нагревательным комплексом, обеспечивающей заданный режим работы комплекса с учетом технологических и энергетических ограничений.

Данные численных экспериментов подтверждают достоверность сформулированных в диссертации научных положений, выводов и заключений.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о целесообразности применения предложенных автором математических моделей и методик расчета не только для решения конкретно поставленной задачи, но и для других практически важных задач индукционного нагрева вязких жидкостей.

6. Замечания по работе.

1. В «Положениях, выносимых на защиту» (третий пункт положений) «–Методика оптимального проектирования и управления связанными процессами подогрева и перемешивания нефти для многосекционного индукционного комплекса, совмещающего в себе функции нагрева и перемешивания» (С.8) – непонятно, как можно в одной методике реализовать

две задачи – проектирование конструкции и управление.

2. Там же, (четвертый пункт положений) «– Оптимальные алгоритмы пространственного распределения источников тепловыделения в многосекционном индукционном нагревателе при ограничении на мощность нагрева и температуру пристенного слоя жидкости» 9С.8).

Вызывает сомнение целесообразность ограничения по мощности, когда имеется ограничение по температуре.

3. На рис.3.3. (с.50) проводник в статорной обмотке выполнен сплошным, без водяного охлаждения, а на рис. 3.21 для этой же конструкции приведена плотность тока в обмотке $15 - 22 \text{ А/мм}^2$ (С.63). При такой плотности тока без принудительного охлаждения неизбежен перегрев проводников.

4. С.65 «– Анализ численных экспериментов показал, что изменение схемы соединения катушек индуктора можно использовать для выбора режима работы устройства в зависимости от реологических свойств нефти, в первую очередь, от вязкости». В диссертации автор не указывает, как осуществляется коммутация обмоток индуктора в процессе работы?

5. С.81. На рис.4.25 показано распределение температуры в системе «индуктор- труба – жидкость». Отсутствуют сведения о других параметрах процесса – мощности тепловыделения, времени нагрева, скорости потока.

6. С.87. «Показано, что предлагаемая конструкция нагревателя с одной оребренной трубой позволяет повысить коэффициент мощности нагревателя и снизить массогабаритные характеристики по сравнению с нагревателем с осесимметричными трубами» – не ясно, как наличие ребер влияет на коэффициент мощности индукционной системы?

7. В работе имеется ряд стилистических неточностей, затрудняющих чтение диссертации. Так, не все символы, используемые в диссертации, имеют расшифровку, а некоторые символы используются для обозначения двух разных величин, например, μ – магнитная проницаемость и μ_e – динамическая вязкость.

7. Заключение

Диссертация Васильева Ивана Владимировича является научно-квалификационной работой, содержащей научно обоснованные разработки, представляющие существенный интерес и значимость для электротехнологии.

Диссертация написана в форме, позволяющей получить полное и достаточно подробное представление о материалах исследований, проведенных автором. Математический аппарат в основном адекватен решаемым задачам и корректно используется автором диссертации.

Изложение материалов диссертационной работы структурировано логически и, несмотря на ряд неточностей, осуществлено технически грамотным языком. Цитаты и используемый материал сопровождаются ссылками.

Основные научные и практические результаты опубликованы автором в изданиях, внесенных в утвержденный Высшей аттестационной комиссией

Перечень журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации на соискание ученой степени кандидата наук. В опубликованных автором работах отражено содержание диссертации и положений, выносимых на защиту.

В диссертации четко определен вклад автора в разработку проблемы в работах, опубликованных коллективно с соавторами.

Полученные в диссертации результаты соответствуют поставленным целям.

Тема диссертации соответствует заявленной научной специальности 05.09.10 – Электротехнология.

Корректность изложения научного материала, результаты компьютерного моделирования позволяют положительно оценить содержание и значимость проведенных научных исследований, а также объективность сделанных выводов.

Оформление работы аккуратное, соответствует установленным требованиям.

Содержание автореферата соответствует основным положениям диссертации.

При рассмотрении и обсуждении диссертации на заседании кафедры «Электроснабжение и электротехнология» (протокол № 10 от 23 января 2019 г.) установлено, что диссертационная работа Васильева И.В. является систематизированным законченным научным исследованием, в котором дано решение важной научно-технической проблемы в области электротехнологии, имеющей большое прикладное значение.

Диссертационная работа в полной мере отвечает п.п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней, принятого Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (ред. от 01.10.2018), предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата технических наук, а ее автор, Васильев Иван Владимирович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.10 – Электротехнология.

Заведующая кафедрой
«Электроснабжение и электротехнология»,
доктор технических наук,
доцент _____ Калганова Светлана Геннадьевна

Профессор кафедры
«Электроснабжение и электротехнология»,
доктор технических наук, _____
профессор _____ Артюхов Иван Иванович

Профессор кафедры
«Электроснабжение и электротехнология»,
доктор технических наук
профессор Перинский Владимир Владимирович

Сведения об организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Саратовский государственный технический
университет имени Гагарина Ю.А.»

Почтовый адрес 410054, г.Саратов, ул.Политехническая, 77

Телефон: (8452) 99-88-11; факс (8452) 99-88-10

Эл. Почта: sstu_office@sstu.ru