Ивликов Сергей Юрьевич. Система индуктивно-кондуктивного типа для нагрева и омагничивания жидкости : диссертация ... кандидата технических наук : 05.09.03 / Ивликов Сергей Юрьевич; [Место защиты: Комсомольск-на-Амуре гос. техн. ун-т]. - Новосибирск, 2009. - 164 с. : ил. РГБ ОД, 61:10-5/766

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

Ивликов Сергей Юрьевич

СИСТЕМА ИНДУКТИВНО-КОНДУКТИВНОГО ТИПА

ДЛЯ НАГРЕВА И ОМАГНИЧИВАНИЯ ЖИДКОСТИ

Специальность: 05.09.03 — «Электротехнические комплексы

и системы»

Диссертация на соискание ученой степени кандидата

технических наук

Новосибирск 2009

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 3

ГЛАВ А 1. ОБЗОР КОНСТРУКЦИЙ ИНДУКЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ НАГРЕВА И ОМАГНИЧИВАНИЯ ЖИДКОСТЕЙ 13

1.1 Конструкции устройств индукционного нагрева жидкости 13

1.2 Конструкции устройств для омагничивания жидкостей 30

1.3 Выводы 45

ГЛАВА 2 МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМЕ ИНДУКТИВНО-КОНДУКТИВНОГО ТИПА ДЛЯ НАГРЕВА И ОМАГНИЧИВАНИЯ ВОДЫ 46

2.1 Методы расчета устройств нагрева и омагничивания 46

2.2 Постановка задачи 56

2.3 Моделирование электромагнитного поля в системе для нагрева и омагничивания воды 60

2.4 Моделирование теплового поля в системе для нагрева и омагничивания воды 67

2.5 Выводы 73

ГЛАВА 3 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ИНДУКТИВНО-КОНДУКТИВНОГО ТИПА ДЛЯ НАГРЕВА И ОМАГНИЧИВАНИЯ ВОДЫ 74

3.1 Расчёт параметров электромагнитного поля системы для нагрева и омагничивания жидкости .. 74

3.2 Экспериментальные исследования электромагнитных полей коаксиальных цилиндров ,

индукционной установки для обработки жидкостей 83

3.3 Расчёт параметров теплового поля системы для нагрева и омагничивания жидкости 86

3.3.1 Расчет коэффициента теплоотдачи в системе концентрических цилиндров 86

3.3.2 Расчет параметров омагничивателя мощностью 16 кВт 88

3.3.3 Расчет распределения температуры в активных элементах омагничивателя 91

3.3.4 Расчет максимальной напряженности магнитного поля в жидкости 94

3.4 Выводы 96

ГЛАВА 4 ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ НАГРЕВА И ОМАГНИЧИВАНИЯ ИНДУКТИВНО- КОНДУКТИВНОГО ТИПА 97

4.1 Электронагреватели жидкой среды 97

4.2 Очистка воды от избытка железа, солей кальция и марганца 99

4.3 Устройства для защиты от накипи и коррозии систем тепловодоснабжсния 101

4.3.1 Влияние магнитного поля на свойства воды и ее примесей 102

4.4 Применение магнитной обработки в нефтегазовой отрасли 104

4.4.1 Воздействие магнитного поля на АСПО 106

4.4.2 Воздействие магнитного поля на солеотложения 107

4.4.3 Воздействие магнитного поля на эмульсии 108

4.4.3.1 Причины образования и свойства нефтяных эмульсий 108

4.4.3.2 Аппараты для воздействия на водонефтяные эмульсии магнитным полем 111

4.4.4 Аппараты УМП 113

4.4.5 Индуктивно-кондуктивные аппараты 119

4.4.6 Воздействие магнитного поля на коррозионные процессы 121

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 124

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 126

ПРИЛОЖЕНИЕ 1 139

ПРИЛОЖЕНИЕ 2 147

ПРИЛОЖЕНИЕ 3 156

ПРИЛОЖЕНИЕ 4 163

з

ВВЕДЕНИЕ

Современное общество предъявляет всё более высокие требования к техническим устройствам бытового и промышленного назначения, поэтому разработка и внедрение новых устройств, особенно электронагревательных, как важнейших для жизнедеятельности человека, является актуальной задачей. Внедрение электронагрева обуславливается и проблемой энергосбережения при производстве тепла на коммунально-бытовые нужды рассредоточенных потребителей. Из общего количества тепла, расходуемого на эти цели в стране, около половины получают на ТЭЦ и крупных котельных, остальное — на мел-ких котельных, индивидуальных топливных печах и квартирных теплогенера-торах. При этом последняя группа оборудования потребляет топлива пример¬но в два раза больше, чем первая в связи с низкими характеристиками печей и теплогенераторов, большой длительностью межсезонья, при котором объем теплопотребления не достигает номинальных нагрузок и коэффициент исполь-зования топлива снижается до 10-20%. Значительное удаление населенных пунктов от центров снабжения теплом и топливом приводит к высокой стои-мости транспортировки, соизмеримой со стоимостью добычи энергоносите¬лей. В [1,2] показано, что в сельской местности при существенной рассредо-точенности агротехнического комплекса Сибири применение системы элек-тротеплоснабжения по сравнению с теплоснабжением от котельных на твер¬дом топливе позволяет снизить энергозатраты на 30-40%.

Насыщенность некоторых регионов страны дешевой электроэнергией ГЭС и АЭС способствует внедрению электронагрева в быту по экономиче¬ским и техническим аспектам. Обеспечение оптимальной нагрузки энерго¬станций в ночные часы и дни с пониженной производственной деятельностью промышленных предприятий создадут надежные и безопасные условия функ-ционирования энергосистем.

Развитие ВЭУ(ветроэлектроустановок), микроГЭС и других альтерна-тивных источников электроэнергии также стимулирует использование элек-тронагрева.

Система многоставочных тарифов на электроэнергию, сложившаяся за рубежом и постепенно развивающаяся в России, значительно расширит при-менение электронагрева для отопления и горячего водоснабжения и на техно-логические нужды.

Усилиями отечественных и зарубежных фирм созданы высокоэффектив¬ные электронагревательные приборы, получившие широкое распространение в системах производственного и бытового электронагрева [3,4]. За последние двадцать лет удельное энергопотребление электротеплогенераторов снижено в среднем на 50%, что дало возможность концептуально изменить, например, назначение электроотопительных устройств от приборов для дополнительного обогрева помещений к приборам основного теплоснабжения.

К настоящему времени получили широкое распространение резистивные электронагреватели прямого нагрева (ТЭНы и электродные), которые, как из-вестно, обладают рядом недостатков:

- низким классом электробезопасности "0” или “1” (с применением до-полнительных мер);

- опасным напряжением прикосновения, препятствующим применению в жилых помещениях;

- низким сроком службы и надежностью функционирования и высокой пожароопасностью.

Существенным недостатком систем нагрева на основе электродных кон-струкций и ТЭНов является отложение накипи на электродах, наружной по-верхности ТЭНов и теплоотдающих поверхностях системы отопления. В ре-зультате снижается срок службы и надёжность работы нагревательного обору-дования.

Снижение интенсивности накипеобразования и удаление накипи с рабо¬чих поверхностей требует специальных методов водоподготовки и профилак¬тической обработки рабочих поверхностей в периоды останова тепловой сис¬темы, так как принцип работы этих устройств не позволяет предотвратить или снизить интенсивность накипеобразования в эксплуатационный период.

Известно, что около 85% грунтовых и подземных вод Российской Феде-рации, используемых в качестве питьевой, содержат избыток железа и солей кальция. Поэтому пресная вода, используемая в качестве питьевой, в боль¬шинстве регионов РФ не соответствует требованиям ГОСТ, предъявляемым к питьевой воде. Это в первую очередь относится к избыточному количеству железа и солей кальция. Проблема получения с помощью энергосберегающих устройств питьевой воды, имеющей необходимый уровень примесей, является актуальной. Вместе с тем, состав минералов в воде, необходимых для жизне¬деятельности человека, должен быть сохранён при её обработке.

Одним из наиболее перспективных и экологически чистых способов нор-мализации свойств питьевой воды является ее обработка постоянным или пе-ременным электромагнитным полем, приводящая концентрацию железа и же-лезосодержащих примесей к уровню требуемых норм. В процессах магнитной обработки частицы, обладающие ферромагнитными свойствами, при доста¬точно неоднородном магнитном поле выполняют "транспортную" функцию, увлекая при осаждении другие примесные частицы и ионы, что обеспечивает глубокую очистку жидкости.

Решение проблемы накипеобразования оказалось возможным в новых системах нагрева, созданных на основе индукционного метода преобразования электрической энергии в тепловую.

В начале 90-х годов прошлого столетия были разработаны и внедрены новые системы индукционного нагрева жидкостей на основе конструктивных решений с выполнением электропроводящей камеры нагрева, охватывающей первичную обмотку и магнитопровод. Такого типа индукционные системы, названные А.И.Елшиным индуктивно-кондуктивными, обеспечили высокие

эксплуатационные параметры (КПД 96 -f- 99%, cos(p 0,96 ч- 0,99) .

При эксплуатации первых образцов нагревателей индуктивно- кондуктивного типа для систем отопления и горячего водоснабжения жилых зданий экспериментально обнаружено новое свойство создавать объёмную коагуляцию взвешенных в воде частиц и растворять ранее сформировавшиеся отложения накипи на стенках трубопроводов и радиаторов. Совместное дейст¬вие на воду теплового потока и электромагнитного поля обеспечивает условия объёмной коагуляции взвешенных в воде частиц без отложений и накипеобра-зования на нагревающих поверхностях. Продукты соединений различных хи-мических элементов формируются в виде мелкодисперсного порошка в объеме жидкости без отложения накипи на внутренних поверхностях трубопроводов и радиаторов системы отопления и легко отделяются в отстойник. Одновремен¬но с этим, во всей системе нагрева исключено формирование гальванических пар постоянного тока, способствующих возникновению коррозийных центров.

Это позволило сформировать гипотезу, что интенсивность объёмной коагуляции взвешенных в воде частиц будет увеличиваться при нагреве воды с одновременной обработкой сильными электромагнитными полями. Появляет¬ся возможность создания принципиально нового вида электротехнического оборудования - установок индуктивно-кондуктивного типа для переработки жидких промышленных отходов, опреснения воды (включая и морскую воду), удаления из воды накипеобразующих примесей при водоподготовке для ис-пользования в энергетике, обработке воды в пищевой промышленности при изготовлении напитков, в строительной индустрии (для приготовления бето¬нов) и других технических целей.

Анализ технических особенностей нового оборудования индуктивно- кондуктивного типа позволяет сделать вывод, что задача оптимизации конст-руктивных решений установок индуктивно-кондуктивного типа для нагрева и омагничивания возможна путём исследования взаимосвязанных процессов на-грева жидкостей и одновременной обработки интенсивными электромагнит¬ными поля.

Целью работы является создание математической модели системы ин- дуктивно-кондуктивного типа для нагрева и омагничивания жидкости; опти-мизация параметров системы на основе исследования взаимосвязанных про¬цессов нагрева с одновременной обработкой в электромагнитных полях; фор¬' мирование рекомендаций к построению инженерной методики расчета.

В соответствии с этой целью формулируется общая научная задача:

- в теоретическом плане - проведение анализа протекания процессов в омагничивающих установках индуктивно-кондуктивного типа, выявление взаимосвязей интегральных и отдельных составляющих электрических и теп-ловых потоков энергии, связи номинальной мощности с энергетическими ха-рактеристиками (КПД и коэффициентом мощности), принципов оптимизации конструкций и рабочих режимов;

- в экспериментальном плане - разработка технических требований и иссле-дование электротехнического оборудования нового поколения, обеспечения его работоспособности и электробезопасности.

Достижение поставленной цели осуществляется на основе исследования концепции конструктивного исполнения системы индуктивно-кондуктивного типа, существенным отличием которой является формирование зоны нагрева и омагничивания на основе концентрических цилиндров.

Это позволяет:

- создать надежные тепловые условия для первичной обмотки и равно-мерный уровень электромагнитных и тепловых нагрузок любой зоны теплообменника;

- максимально приблизить к единице коэффициент преобразования электроэнергии в тепло для электронагревателя;

- обеспечить условия для эффективного простанственного омагничива¬ния обрабатываемой среды;

- создать рекомендации для дальнейшего совершенствования конструк-ции с целью улучшения массогабаритных и энергетических показате¬лей.

На защиту данной диссертационной работы выносится:

1. Принципы исследования технических решений и конструктивных схем индуктивно-кондуктивных установок, обеспечивающих создание высо-коэффективных и электробезопасных систем нагрева и электромагнитной об-работки жидкости переменным полем.

2. Научно обоснованные исходные положения и математическая модель преобразования электрической энергии в электромагнитную и тепловую на основе численно-аналитического метода расчёта слоистых индуктивно- кондуктивных систем, с использованием рекуррентных соотношений между параметрами поля.

3. Совокупность теоретических и экспериментальных исследований рас-пределения энергии в системе коаксиальных цилиндров из немагнитной стали, алюминия, меди и других цветных металлов, анализ энергораспределений в цилиндрах и зазорах между цилиндрами при изменении их диаметров, количе-ства и толщин.

4. Результаты теоретических и экспериментальных исследований электро-магнитных полей в коаксиальных цилиндрах индукционной системы, образую-щих вторичную нагрузку трансформатора, и используемых в качестве камеры технологической обработки жидкостей.

5. Инженерные методики расчета основных массогабаритных показате¬лей установки по критерию уровня нагрева и омагничивания жидкости.

Научная новизна заключается в:

1. исследовании комплекса научных и прикладных задач по новому на-правлению развития индуктивно-кондуктивных установок для низкотемпера-турного нагрева и технологической обработки жидкостей, обеспечивающий создание принципиально новых электротехнических устройств;

2. впервые разработана методика численно-аналитического расчета электротеплового поля многослойной системы коаксиальных цилиндров, об-разующих активную зону омагничивания;

3. разработана инженерная методика расчёта индуктивно-кондуктивных систем технологической обработки жидкости в интенсивных электромагнит¬ных полях;

4. сформулированы принципы увеличения производительности про-мышленных установок путем использования коаксиальных цилиндров из раз-личных металлов с различными удельными электрическими сопротивлениями с целью увеличения напряженности магнитного поля при одновременном сни-жении удельной поверхностной мощности.

Практическая значимость полученных результатов определяется созда-нием нового вида омагничивающих устройств, воздействующих на жидкость переменном магнитным полем одновременно с нагревом и построенных на ос-нове:

- разработанной математической модели анализа электромагнитного по¬ля в коаксиальных цилиндрах индуктивно-кондуктивных систем, позволяю¬щей получить распределённые и интегральные характеристики системы омаг- ничивания и сформулировать технические требования к выбору материалов цилиндров и их геометрических размеров;

- решения электромагнитной и тепловой задач методами теории поля;

- создания инженерной методики расчета массогабаритных и энергетиче-ских параметров по заданному уровню намагничивающего фактора и произво-дительности устройства.

Реализация работы: созданные инженерные методики расчета систем на-грева и омагничивания переданы для формирования научно-технической до-кументации постановки изделий на производство в Научно-инновационный Центр «Индукционное машиностроение» г. Новосибирск; ФГУ «Сибсельмаш- Спецтехника» г. Новосибирск; ООО «Термотех» г.Новосибирск; ООО «Меч¬та» г. Гурьевск Кемеровской области; ОАО «Сибэлектротерм» г. Новосибирск. Методики расчета электромагнитных и тепловых полей используются в учеб¬ном процессе в Новосибирском техническом университете и Новосибирской государственной академии водного транспорта.

Вклад автора состоит в обосновании общей концепции работы, в форму-лировании постановки целей и задач исследований, в разработке теоретиче¬ских положений и анализе результатов, в самостоятельной подготовке элек-тромагнитной и тепловой задач, их решении, проведении экспериментов, ана¬лиза полученных результатов и формировании выводов работы.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертации докладывались, обсуждались и получили положительную оценку на:

- межвузовской научной студенческой конференции «Интеллектуальный потенциал Сибири», МНСК-2000, 2001 (г.Новосибирск); International Seminar on Heating by Internal Sourse. Padua, 2001, 2004 (Италия); 6 Russian-Korean In- tematijnal Symposium on Science and Technology (KORUS, 2002); 5-й междуна-родной конференции “Электромеханика, электротехнологии и электромате-риаловедение”. (Крым, Алушта, 2003); международной научно-технической конференции ЭЭЭ-2003, Комсомольск-на-Амуре, 2003; международной науч-но-технической конференции "Электроэнергия и будущее цивилизации", Томск, 2004; а также ряде научно — технических совещаний и семинаров, про¬ходивших на кафедре «Автоматические электротехнологические установки» НГТУ, кафедре «Электроэнергетические системы и электротехника» НГАВТ.

Публикации. Основное содержание диссертации опубликовано в 20 пе-чатных работах, в том числе три в журналах, рекомендованных ВАК РФ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, че¬тырёх глав, заключения, списка литературы из 145 наименований и четырех приложений. Материал диссертации изложен на 164 страницах и включает 38 рисунков и 9 таблиц.

В первой главе представлен обзор современного состояния промышлен¬ного и бытового использования индукционных установок для нагрева и омаг- ничивания жидкостей. Показано, что наиболее предпочтительной с точки зре¬ния получения пространственного распределения максимального магнитного поля с однонаправленным градиентом представляется система индуктивно-

кондуктивного типа с распределенной поверхностью нагрева, позволяющей существенно снизить значение удельного теплового потока.

Вторая глава посвящена моделированию процессов в системе индуктив- но-кондуктивного типа для нагрева и омагничивания воды. Приведены резуль-таты расчетно-теоретического анализа электромагнитных связей в системе с коаксиальными цилиндрами с помощью рекуррентного метода.

Полное моделирование процесса нагрева и омагничивания потребовало совместное решение электромагнитной задачи, внутренней электротепловой задачи и задачи внешнего теплообмена.

Создание математической модели осуществлено на основе представления пространственного распределения среды со сложной конфигурацией и нели-нейными электрофизическими характеристиками материалов (с магнитными и немагнитными свойствами) в виде совокупности чередующихся однородных слоев. Поверхности слоев параллельны координатным плоскостям, в пределах которых можно осуществить аппроксимацию нелинейных параметров и найти общие решения для напряженностей электромагнитного поля на базе уравне¬ний электродинамики. По общим решениям исключением постоянных интег-рирования найдены рекуррентные соотношения между выходными характери-стик поля элементарного слоя и входными. Используя рекуррентные соотно-шения и задавая начальные значения величин, численным методом найдено распределение параметров Е и Н в функции координаты в многослойной сре¬де. На каждом последующем шаге счета есть возможность корректировки электрофизических параметров среды по состоянию на предыдущем шаге, ко-торые связаны с изменением величин поля.

Для исследования теплового процесса принята та же методология анализа на основе аналитически-численного метода с применением рекуррентных со-отношений для функции температуры и ее производной. Решение задачи оты-скивается на основании уравнения теплопроводности Фурье для стационарно¬го режима.

В третьей главе приведены результаты расчетно-теоретического анализа электромагнитных связей в системе нагрева и омагничивания с помощью чис-ленно-аналитического метода. Для количественной оценки интегральных электромагнитных параметров нагревателя проведены исследования синусои-дального электромагнитного поля в объеме, включающем в себя цилиндриче¬ские элементы нагревателя и непроводящее пространство между ними. При решении задачи принимались традиционные допущения, позволившие пред¬ставить задачу расчета в дискретной одномерной многослойной среде. Точ¬ность полученных результатов удовлетворяет инженерным требованиям; раз¬ница между расчётными значениями и значениями полученными в результате замеров на опытной установке составляет менее 5%. С помощью физико¬математического моделирования установлено, что оптимальной конструкцией для установки электротехнической обработки жидкости является конструкция, состоящая из двух коаксиальных цилиндров, по которым протекает ток различ¬ного направления, так как это позволяет сконцентрировать реактивную мощ¬ность в камере обработки, а также выделить максимум активной мощности для нагрева обрабатываемых водных систем.

В четвёртой главе рассмотрены области применения систем индуктивно- кондуктивных нагрева и омагничивания жидкости: проточные нагреватели жидкой среды с эффектом омагничивания; теплоаккумуляционные электрона-греватели с функцией очистки воды от избытка железа, солей кальция и мар¬ганца; устройства для защиты от накипи и коррозии систем тепловодоснабже¬ния; системы магнитной обработки водных сред в нефтегазовой отрасли - применение осуществляется в нескольких основных направлениях: борьба с асфальто-смолистыми и парафиновыми отложениями (АСПО), солеотложе¬ниями, предотвращение образования стойких эмульсий, снижение коррози(эн¬ной активности перекачиваемых жидкостей.

Представлены изделия, техническая документация для постановки на производство которых спроектирована с участием автора.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе представлены результаты исследования ка­чественно нового типа системы для нагрева и омагничивания жидкости на основе устройства индуктивно-кондуктивного типа с теплообменной струк­турой, состоящей из ряда концентрических цилиндрических элементов, об­разующих кольцевые каналы для омагничиваемой среды. Уровень энерго­сбережения, надежности и безопасности, реализуемые с помощью иссле­дуемых конструктивных модификаций для различных условий применения в сфере жизнеобеспечения человека, соответствует лучшим мировым стан­дартам.

Основные результаты проведенных в работе теоретических и экспе­риментальных исследований формулируются в следующем:

1. На основе анализа развития и современного состояния промышленных •! индуктивно-кондуктивных установок для нагрева и омагничивания жидкостей

показано, что использование системы коаксиальных короткозамкнутых ци­линдров в качестве камеры для нагрева и обработки жидкостей обеспечивает решение важной технической задачи - создание конкурентоспособных про­мышленных нагревательных установок большой производительности, обла­дающих способностью значительно уменьшать накипеобразование на тепло­отдающих поверхностях, при оптимальных значениях удельной поверхност­ной мощности на нагреваемых поверхностях.

1. Сформулированы принципы исследования технических решений и конструктивных схем индуктивно-кондуктивных установок и показано, что требуемые с технической точки зрения энергетические соотношения в новой системе нагрева индуктивно-кондуктивного типа, включающие снижение удельной поверхностной мощности нагрева и оптимальные значения напря­женности магнитного поля, могут быть получены при надежных тепловых ус­ловиях для первичной обмотки и равномерном уровне электромагнитных и те­пловых нагрузок;
2. Разработана научно обоснованная математическая модель для расчёта слоистых систем преобразования электрической энергии в тепловую на основе решений уравнения Гельмгольца для каждого слоя (проводник, диэлектрик - воздушный зазор) с последующим построением расчетного алгоритма на ос- . нове рекуррентного метода. И на ее основе было установлено, что при изго­товлении коаксиальных цилиндров из материалов с различными электропро­водностями максимальное энерговыделение обеспечивается в цилиндрах, вы­полненных из материалов с большей электропроводностью (медь, алюминий, сплавы цветных металлов) по сравнению с ферромагнитными и немагнитными сталями.
3. Сформулированы рекомендации к реализации.инженерной методики расчета основных массогабаритных показателей установки no-критерию уров­ня омагничивания жидкости.
4. Обобщены теоретические и экспериментальные исследования распре­деления активной и реактивной энергии в системе омагничивания переменным полем. Показана достаточная степень совпадения теоретических и экспери­ментальных данных.

Разработаны основы,проектирования конструкции электромагнитного устройства позволяющие создать техническую документации для постановки на производство устройств низкотемпературного нагрева индуктивно- кондуктивного типа и решать оптимизационные задачи формирования конст­руктивного исполнения і устройств в функции минимизации массогабаритных показателей при сохранении высоких энергетических параметров.