

УДК 621.3

DOI: 10.25206/1813-8225-2018-158-20-27

Е. В. ПТИЦЫНА¹
Д. В. ПТИЦЫН¹
А. Б. КУВАЛДИН²

¹Омский государственный
технический университет,
г. Омск

²Национальный
исследовательский университет
«Московский энергетический институт»,
г. Москва

НИЗКОВОЛЬТНЫЕ ЭЛЕКТРОДНЫЕ ВОДОПОДОГРЕВАТЕЛИ С ПИТАНИЕМ ТОКОМ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

В настоящее время остается актуальной разработка эффективных электродных водоподогревателей, связанная с потребностью в более совершенных технических средствах электронагрева воды для отдельных технологических процессов на предприятиях.

В статье на примере физической модели низковольтного электродного водоподогревателя описано экспериментальное исследование влияния электрического режима с питанием током сложной формы на процессы нагрева воды. Целью работы является исследование процессов нагрева в электродных водоподогревателях при изменении электрических режимов (амплитуды и частоты питающего напряжения (тока)) для выбора эффективных режимов работы установок. Это потребовало решения научных задач по разработке методики исследований на физической модели водоподогревателя, получения регулировочных характеристик, позволяющих разработать рекомендации по выбору эффективных режимов работы, необходимых для последующей разработки алгоритма функционирования системы автоматического управления. Решение поставленных задач позволило установить влияние электромагнитной составляющей наряду с температурной на процессы нагрева воды: экспериментально доказано, что при той же скорости подъема температуры значение коэффициента мощности установки увеличивается с 0,67 до 0,975. Режим с питанием током сложной формы обуславливает повышение эффективности работы электродных водоподогревателей.

Ключевые слова: электрическая печь сопротивления прямого нагрева, ток сложной формы, низковольтный электродный водоподогреватель.

В электротехнологических установках (ЭТУ) эффективность работы повышается при использовании новых материалов, изменения физических условий, механизации, автоматизации технологического процесса и при использовании нового электрического режима: тока сложной формы (ТСФ) с постоянной составляющей или без нее [1–3]. Как показано в [2], в электролизных установках (электролиз водных растворов: электрохимическое производство хлора и едкого натра (каустической

соды); гидрометаллургия: технологические схемы получения меди, цинка, никеля из водных растворов солей тяжелых цветных металлов; электролиз расплавленных сред (щелочные и щелочно-земельные металлы) имеет место снижение температуры нагрева электролита (раствора и расплава), уменьшение количества вводимых поверхностно-активных веществ, увеличение выхода металла по току, снижение содержания вредных примесей в рафинируемом металле, снижение удельного расхода

электроэнергии за счет уменьшения напряжения на электролизере. В дуговых сталеплавильных печах малой емкости прямого и косвенного нагрева (типов МДК-0,5, ДС-5МТ, ДСП-6) отмечено повышение устойчивости горения дуги; снижение потерь в короткой сети; уменьшение расхода ферросплавов и электродов, огнеупоров, шума и вредных выбросов, уменьшения напряжения на дуге [1, 4].

На долю ЭПС прямого и косвенного нагрева приходится 90 % всех ЭТУ. Их номинальные мощности составляют от единиц киловатт до десятков мегаватт. В обычном режиме питание ЭПС реализовано от сетей напряжением 0,4 кВ (0,66 кВ) трехфазным или однофазным переменным током частотой 50 Гц. При использовании в качестве источника питания понизительного или регулируемого трансформатора, выпрямительных блоков на тиристорах коэффициент мощности установок снижается до 0,5 за счет увеличения потребления реактивной мощности. Графики нагрузки ЭПС различны и зависят от вида установки, характера технологического процесса, числа зон и методов регулирования температуры и др. Например, в камерных ЭПС косвенного нагрева удельный расход электроэнергии составляет 300–400 кВт·ч/т. Это потребители 1-й и 2-й категорий по бесперебойности электроснабжения. Потребляемая мощность установок пропорциональна квадрату напряжения. При нестабильном напряжении в узле нагрузки (отклонениях напряжения) производительность печи падает, и возникает проблема точности поддержания напряжения на зажимах установки [5]. В [6–9] доказано, что в **ЭПС косвенного нагрева** на примере инфракрасных установок с темными и светлыми излучателями повышение эффективности также возможно за счет совершенствования электрического режима: при использовании ТСФ. Напомним, что в качестве темных ИК — излучателей исследованы керамические излучатели «НОМАКОН» типа ИКН-203-0,1/230-2 мощностью 100 Вт с плоской излучающей поверхностью 60×60 мм, а в качестве светлых излучателей — температурные излучатели мощностью 100 Вт. Характерными представителями **ЭПС прямого нагрева** являются графитировочные печи. Процессы графитизации — это длительные (до 100 ч) высокотемпературные процессы (2300–2800 °С). КПД установок составляет 0,5–0,6, а коэффициент мощности порядка 0,6–0,75 [1–8]. Лабораторные исследования на физических моделях печей обжига «зеленых» заготовок и графитизации при питании ТСФ, выполненные на ОАО «Челябинский электродный завод», показали, что в новом режиме с питанием ТСФ уже на стадии обжига «зеленых» заготовок (то есть при низких температурах и только под воздействием электромагнитной составляющей) имело место формирование структуры графита. Температура нагрева в печи обжига зеленых заготовок была 100 °С. Электроды печи выполнены из нихрома. В печь загружали «зеленые» заготовки. Питание печи осуществлялось от трансформатора типа ОСУ-40/0,5-0,4. Коэффициент мощности в новом режиме составил 0,975. Это свидетельствует о возможности повышения энергоэффективности подобных ЭТУ при использовании ТСФ [4].

Низковольтные электродные водоподогреватели являются электрическими печами сопротивления прямого нагрева: преобразование электрической энергии в тепловую происходит непосредственно в нагреваемом теле — воде (вода нагревается

за счет джоулевой теплоты при протекании переменного тока частотой 50 Гц). Промышленный низковольтный электродный водоподогреватель — это стальной цилиндрический сосуд с нерасходуемой (или протекающей через сосуд) водой. В воду погружены стальные пластинчатые электроды с развитой поверхностью для уменьшения плотности тока, чтобы избежать электролиза воды. Они неподвижны. Питающее напряжение 380 В. Диапазон мощности низковольтных электродных водоподогревателей составляет 25–400 кВт. В промышленных водоподогревателях выделяемая в котле мощность изменяется при перемещении антиэлектрода (нулевой точки). Котлы используют не только для обогрева помещений, для нагрева воды в технологических целях в химической, текстильной, целлюлозно-бумажной и пищевой промышленности, в сельском хозяйстве и коммунальном хозяйстве. Рабочий режим достигается через 10–20 минут после включения. Достоинство — легкость регулирования температуры. Установка имеет высокий КПД и малые габариты. Проблема: при использовании расходуемой воды регулирование температуры становится затруднительным, так как удельное сопротивление воды изменяется [1–3]. В настоящее время Чехия является известным производителем умных водонагревателей «Дражица» в Европе. Одним из направлений совершенствования водонагревателей является применение полиуретановой изолирующей пены от фирмы Covestro ThermoGen, применение которой обуславливает низкие тепловые потери в водонагревателях [10]. В России проблеме обеспечения удаленных сельскохозяйственных объектов горячим водоснабжением и системами отопления решают также за счет использования электродных водонагревателей (взамен котельных), в которых реализовано автоматическое регулирование мощности в функции теплового режима нагрузки, за счет применения особой конструкции электродной группы. Применение автоматических систем в установках мощностью до 100 кВт позволяет снизить энергозатраты на 30–40 % и затраты на теплоснабжение на 30 % по сравнению с применением котельных [11, 12]. Согласно [13], структурно-технологическая модернизация коснулась ТЭЦ и городских теплофикационных систем. Проблема повышения эффективности ТЭЦ и городских теплофикационных систем возможна за счет снижения температуры и давления подаваемой воды в сети. При этом появляется возможность снизить температурную деформацию стальных труб, уменьшить затраты на техническое обслуживание таких систем (повысить экономическую эффективность теплофикации) [14]. Для электроснабжения и теплоснабжения на предприятиях реализуется питание от ТЭЦ. При этом направление, связанное с разработкой эффективного технического средства электронагрева воды для систем горячего водоснабжения для отдельных технологических процессов на предприятиях химической, текстильной промышленности и др. остается актуальным по настоящее время. Однако в литературе не нашло отражения влияние совершенствования электрического режима на работу водоподогревателей.

В работе представлены результаты экспериментальных исследований на физической модели электрической печи прямого нагрева, на примере низковольтного электродного водоподогревателя.

Целью работы являются тепловизионные исследования температурных полей низковольтных

электродных водоподогревателей при изменении параметров электрических режимов (амплитуды и частоты питающего напряжения (тока)) для разработки рекомендаций по выбору эффективных режимов работы установок прямого нагрева.

Достижение поставленной цели потребовало решения следующих научных задач:

— разработать методику исследований на физической модели установки низковольтного электродного водоподогревателя;

— получить регулировочные характеристики (зависимости изменения температуры при различных электрических режимах) и по результатам измерений энергетических параметров и тепловизионных исследований разработать рекомендации по выбору эффективных режимов работы установок. Это необходимо для последующего решения задач разработки алгоритма и устройства функционирования системы автоматического управления режимами электродных водонагревателей.

Используемые методы. В работе использован метод теории цепей.

Используемые приборы: для измерения электрических параметров установки применяли анализатор качества электрической энергии типа ANALYST 2060. Для исследования температурных полей электродного водоподогревателя использовали тепловизор типа Testo 885-2, серийный номер № 2358782, объектив стандартный 30°, тип детектора — 3200×240 пикс., температурная чувствительность < 30 Мк, спектральный диапазон — 8–14, температурный диапазон — -20 °С +100 °С (0 °С +350°), измерение высоких температур — +350,

погрешность — $\pm 2^\circ\text{C}$ ($\pm 2\%$). По результатам исследований получены файлы радиометрических термограмм, обработанные с использованием программного обеспечения, входящего в комплект портативного тепловизора Testo 885-2. Тепловизор визуализировал ИК-излучение (мощность излучения) от каждой точки установки и бесконтактно измерял температуру его поверхности, то есть пересчитывал мощность излучения в температуру поверхности установки.

Исследования выполнены в сравнении двух электрических режимов: при питании установки переменным током частотой 50 Гц и питании ТСФ без постоянной составляющей, поскольку выпрямленный ток (его постоянная составляющая) вызывает электролиз воды. В обычном режиме питание установки осуществлялось от однофазного трансформатора 220/110В с переключением ступеней напряжения без возбуждения А-Х₁, А-Х₃. Во втором режиме для регулирования формы питающего напряжения (тока) предусматривался дроссель. В стеклянном сосуде с нерасходуемой водой объемом 500 мл неподвижно устанавливали два пластинчатых стальных электрода 20×90 мм. В опытах использовали одинаковый по органолептическим свойствам состав воды: питьевая вода. Начальная температура воды в опытах была 22 °С. Время эксперимента составило 10–15 минут.

Результаты экспериментов для обычного электрического режима с питанием переменным током частотой 50 Гц и для нового электрического режима с питанием ТСФ без постоянной составляющей представлены в табл. 1.

Таблица 1

Наименование электрического режима	Мощность из сети			Коэффициент мощности
	Активная P, кВт	Реактивная Q, квар	Полная S, кВА	
1. Обычный режим: переменный ток, 50 Гц	0,039	0,042	0,058	0,670
2. Новый режим: ТСФ без постоянной составляющей	0,048	0,011	0,050	0,975

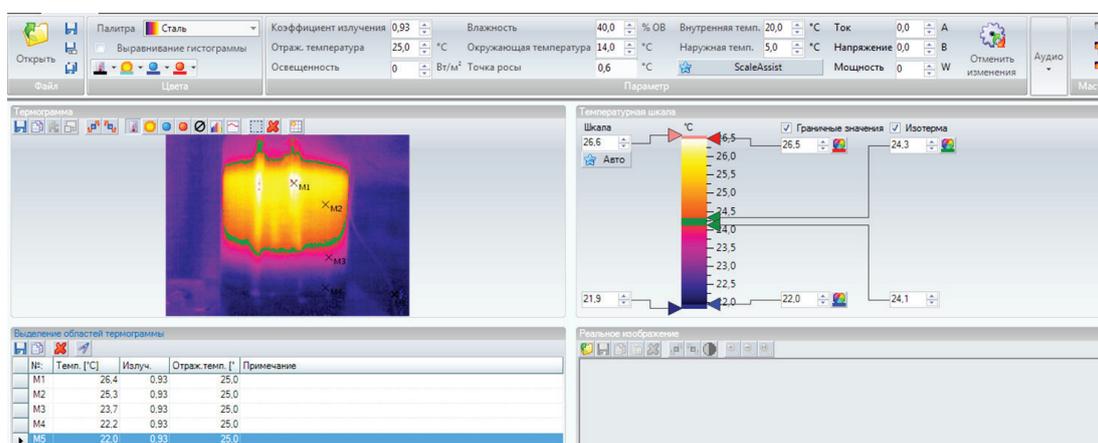


Рис. 1. Окно термограммы физической модели низковольтного электродного водоподогревателя в обычном режиме: переменный ток частота 50 Гц (температура в точках M1 — 26,4 °С, M2 — 25,3 °С, M3 — 23,7 °С, M4 — 22,2 °С, M5 — 22,0 °С)

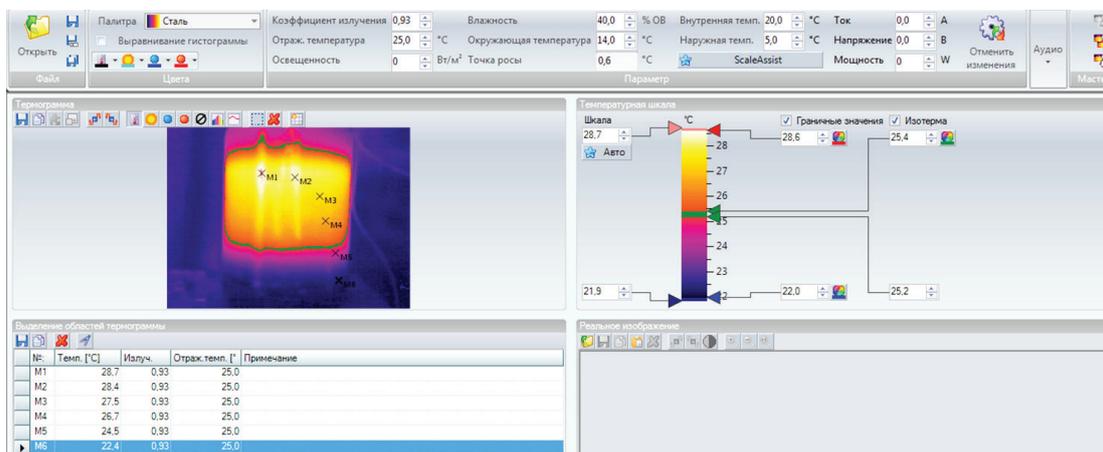


Рис. 2. Окно термограммы физической модели низковольтного электродного водоподогревателя в обычном режиме: переменный ток частота 50 Гц (температура в точках M1 — 28,7 °C, M2 — 28,4 °C, M3 — 27,5 °C, M4 — 26,7 °C, M5 — 24,5 °C, M6 — 22,4 °C)

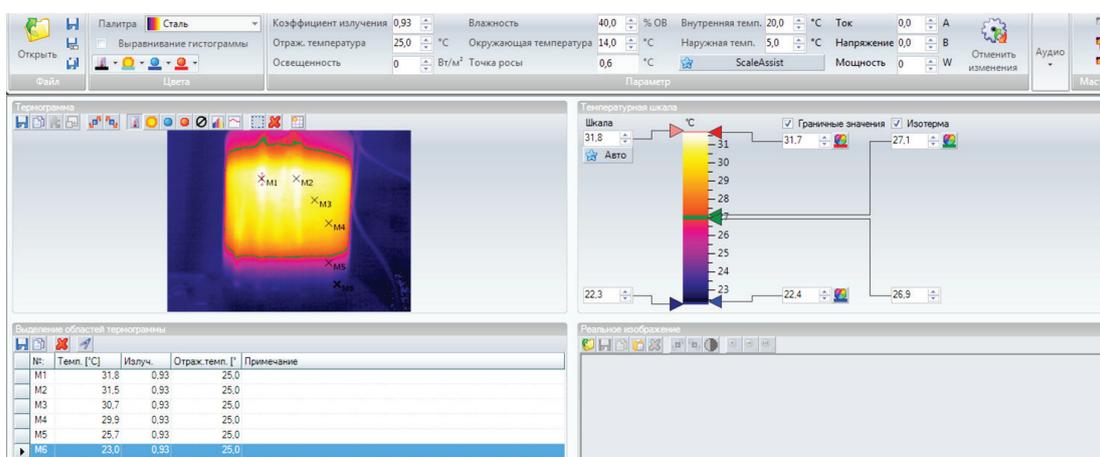


Рис. 3. Окно термограммы физической модели низковольтного электродного водоподогревателя в обычном режиме: переменный ток частота 50 Гц (температура в точках M1 — 31,8 °C, M2 — 31,5 °C, M3 — 30,7 °C, M4 — 29,9 °C, M5 — 25,7 °C, M6 — 23,0 °C)

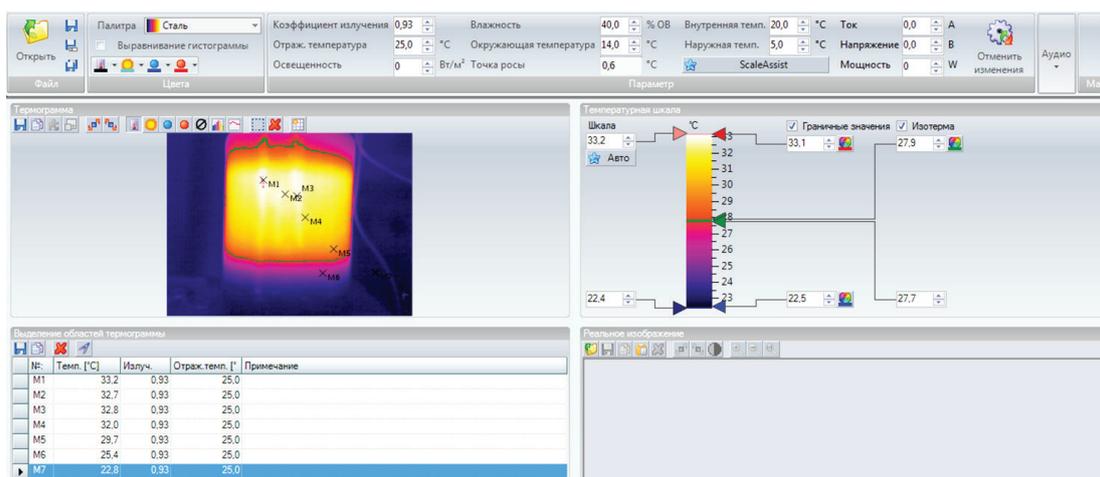


Рис. 4. Окно термограммы физической модели низковольтного электродного водоподогревателя в обычном режиме: переменный ток частота 50 Гц (температура в точках M1 — 33,2 °C, M2 — 32,7 °C, M3 — 32,8 °C, M4 — 32,0 °C, M5 — 29,7 °C, M6 — 25,4 °C, M7 — 22,8 °C)

На рис. 1–5 показаны окна термограмм для физической модели низковольтного электродного водоподогревателя в **обычном** режиме. Термограммы соответствуют следующим температурам самых нагретых точек в ванне: 26,6; 28,7; 31,8; 33,2; 34,9 °C.

На каждой термограмме указаны дополнительные точки температурного поля для данного момента времени. На рис. 6–10 даны окна термограмм для физической модели низковольтного электродного водоподогревателя в **новом** режиме. Термо-

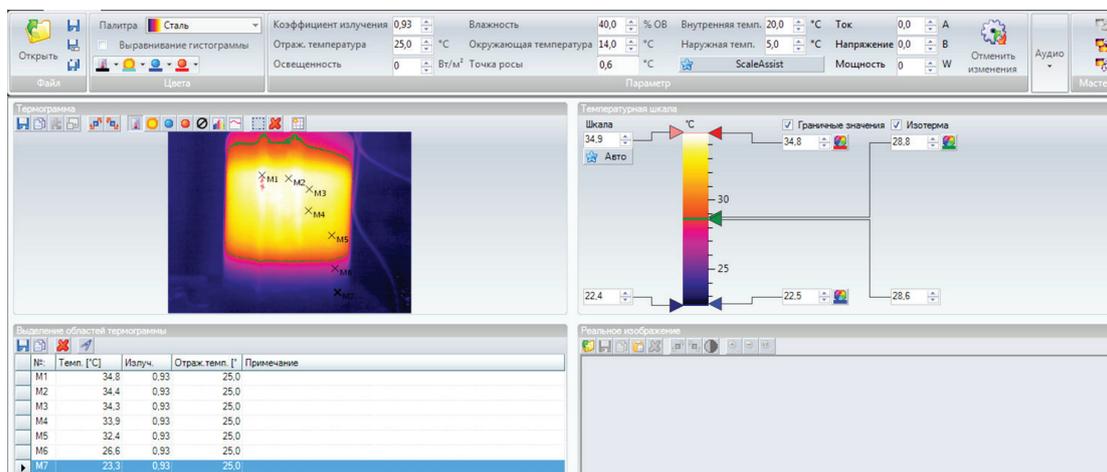


Рис. 5. Окно термограммы физической модели низковольтного электродного водоподогревателя в обычном режиме: переменный ток частота 50 Гц (температура в точках M1 — 34,8 °C, M2 — 34,4 °C, M3 — 34,3 °C, M4 — 33,9 °C, M5 — 32,4 °C, M6 — 26,6 °C, M7 — 23,3 °C)

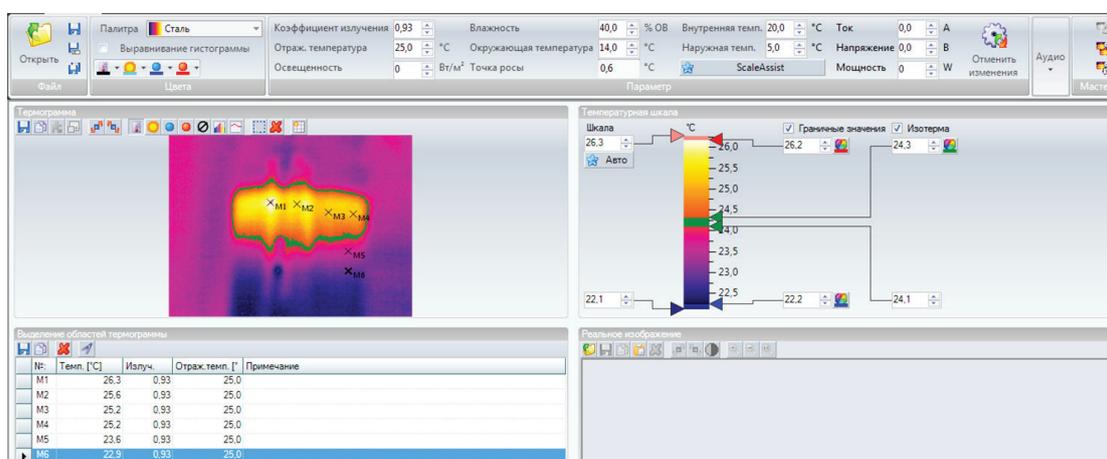


Рис. 6. Окно термограммы физической модели низковольтного электродного водоподогревателя в новом режиме: переменный ток частота 50 Гц (температура в точках M1 — 26,3 °C, M2 — 25,6 °C, M3 — 25,2 °C, M4 — 25,2 °C, M5 — 23,6 °C, M6 — 22,9 °C)

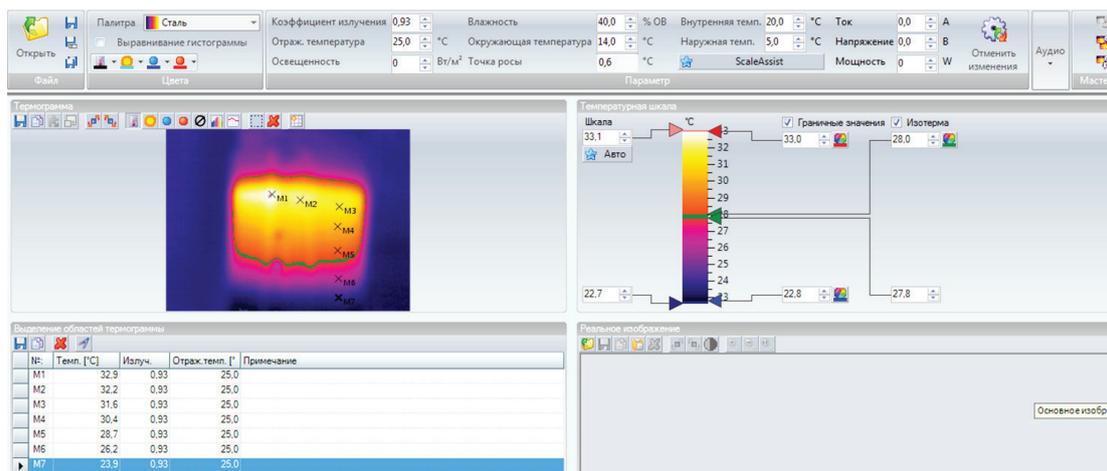


Рис. 7. Окно термограммы физической модели низковольтного электродного водоподогревателя в новом режиме: переменный ток частота 50 Гц (температура в точках M1 — 32,9 °C, M2 — 32,2 °C, M3 — 31,6 °C, M4 — 30,4 °C, M5 — 28,7 °C, M6 — 23,9 °C)

граммы сняты для следующих значений самой нагретой точки в ванне: 26,3; 33,1; 34,7; 38,9; 43,7 °C.

Для анализа полученных результатов исследования был использован термин «квазикристаллическая жидкость». Известно [1–3, 9], что чистая вода

представляет собой слабый электролит. Значительная полярность молекулы воды свидетельствует, что молекула имеет угловое строение. В молекуле воды только четыре из восьми электронов образуют O–H связи, а две электронные пары остаются

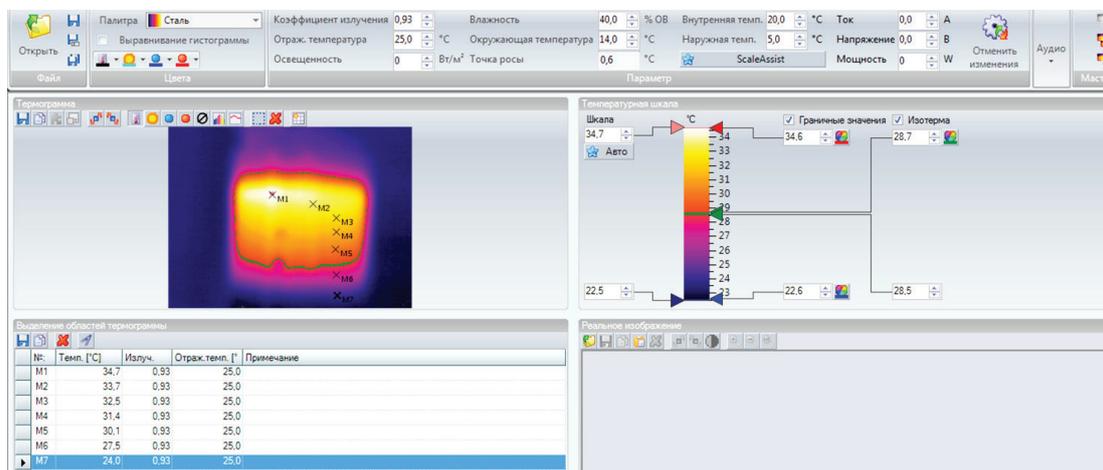


Рис. 8. Окно термограммы физической модели низковольтного электродного водоподогревателя в новом режиме: переменный ток частота 50 Гц (температура в точках M1 — 34,7 °C, M2 — 33,7 °C, M3 — 32,5 °C, M4 — 31,4 °C, M5 — 30,1 °C, M6 — 27,5 °C, M7 — 24,0 °C)

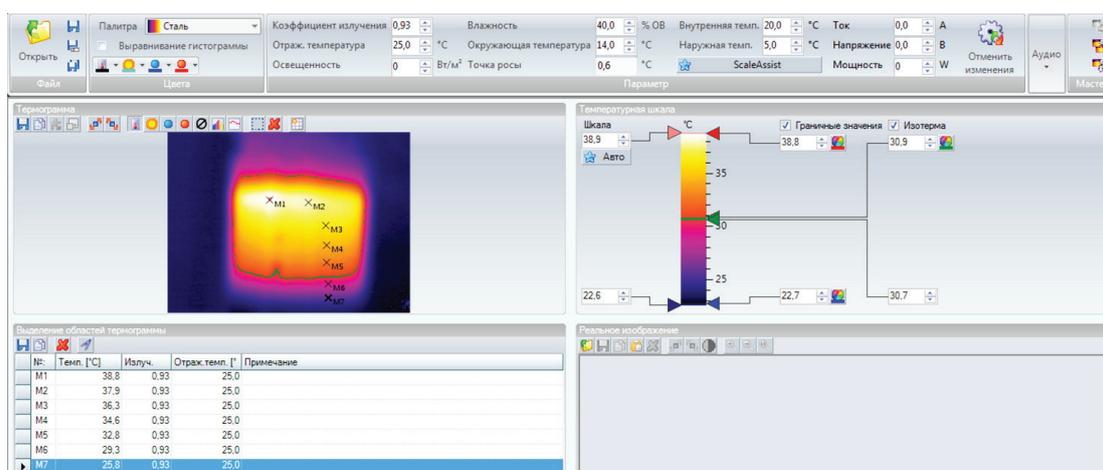


Рис. 9. Окно термограммы физической модели низковольтного электродного водоподогревателя в новом режиме: переменный ток частота 50 Гц (температура в точках M1 — 38,8 °C, M2 — 37,9 °C, M3 — 36,3 °C, M4 — 34,6 °C, M5 — 32,8 °C, M6 — 29,3 °C, M7 — 25,8 °C)

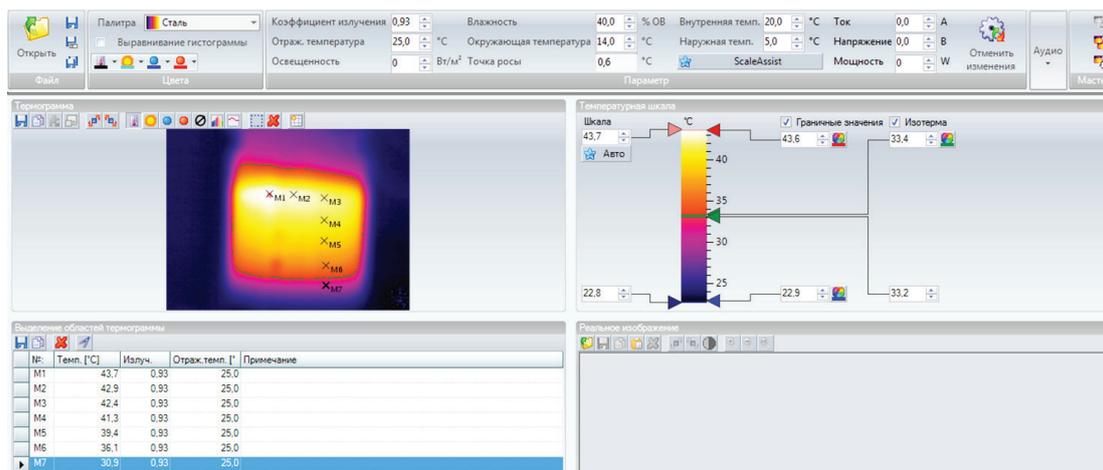


Рис. 10. Окно термограммы физической модели низковольтного электродного водоподогревателя в новом режиме: переменный ток частота 50 Гц (температура в точках M1 — 43,7 °C, M2 — 42,9 °C, M3 — 42,4 °C, M4 — 41,3 °C, M5 — 39,4 °C, M6 — 36,1 °C, M7 — 30,9 °C)

«неподеленными». Это приводит к асимметрии в распределении электронных облаков. Соединения водорода с атомами кислорода обладают рядом аномальных свойств: имеет сильное поляризующее действие иона водорода. Энергия водородной свя-

зи меньше, чем ковалентной. Однако этой энергии достаточно, чтобы вызвать ассоциации молекул, их объединение в полимеры, в димеры, которые существуют в жидком состоянии и сохраняются при переходе воды в пар. Следовательно, ассоциа-

ция молекул, затрудняющая отрыв их друг от друга и служит причиной аномально высокой температуры плавления и кипения воды. Силы, удерживающие частицы друг около друга имеют электрическую природу. Напомним, что жидкости занимают промежуточное положение между газами и кристаллами. В кристаллах имеет место дальний порядок расположения частиц. В жидкости — имеет место ближний порядок: расположение к рассматриваемой частице ближайших соседних частиц является упорядоченным. В жидкости частицы связаны друг с другом, но не жестко. Степень упорядоченности частиц у разных жидкостей различна. Она изменяется при изменении температуры. При низких температурах степень упорядоченности значительна. Таким образом, жидкое состояние является сложным по своим свойствам: и до сих пор не создана законченная и общепризнанная теория жидкости. Поэтому структуру жидкости и называют «квазикристаллической». Согласно кинетической теории Я. И. Френкеля, в жидкости имеет место тепловое движение частиц: молекула жидкости совершает колебательные движения около положения равновесия в течение определенного времени. Затем она скачком перемещается в новое положение на расстоянии порядка размера самой молекулы: частицы медленно движутся внутри жидкости, пребывая часть времени около определенных мест равновесия. Длительность колебаний молекул около положений равновесия является для каждой жидкости определенной величиной и уменьшается при повышении температуры. Согласно теории Я. И. Френкеля, процесс диффузии в воде представляет собой ряд последовательных перескоков молекулы из одного равновесного положения в другое. С увеличением температуры возрастает подвижность молекул. Таким образом, движение молекул в жидкости, как и в кристаллах, носит колебательный характер.

Согласно теоретическим исследованиям, представленным в [2–3], примем гипотезу, что при протекании ТСФ без постоянной составляющей и совпадении частоты собственных колебаний молекул с частотой внешней вынуждающей силы увеличивается амплитуда колебаний и перемещений частиц. Разумно принять, что при резонансном совпадении частот возрастает амплитуда колебаний и перемещения молекул. За счет увеличения кинетической энергии частиц при хаотическом движении возрастает ускорение частиц. Ускорение проявляется в нагреве воды. В новом электрическом режиме при регулировании частоты (спектра частот) тока скорость нагрева можно менять. При той же скорости подъема температуры нагрева воды можно обеспечить работу питающего трансформатора на более низкой ступени ПБВ: в обычном режиме зажимы $(A-X_1)$, а в новом — $(A-X_3)$. При этом за счет уменьшения потребления реактивной мощности установкой в опытах отмечено увеличение значения коэффициента мощности ЭТУ. Так, на физической модели электродного водоподогревателя значение коэффициента мощности возросло с 0,67 до 0,975.

Выводы. Результатами экспериментальных исследований в ЭПС, на примере низкотемпературных электродных водоподогревателей установлено, что за счет совершенствования электрического режима на основе применения ТСФ без постоянной составляющей, при резонансном совпадении частоты собственных колебаний молекул с частотой внешней вынуждающей силы увеличивается

амплитуда колебаний, перемещений и их подвижность. При протекании ТСФ возрастает кинетическая энергия молекул. Увеличение ускорения частиц обуславливает увеличение скорости подъема температуры. В новом режиме с питанием ТСФ при той же скорости подъема температуры питающий трансформатор работает на более низкой ступени ПБВ, что обуславливает снижение потребления реактивной мощности и проявляется в увеличении коэффициента мощности электродного водоподогревателя, то есть в повышении эффективности работы установки.

Библиографический список

1. Свенчанский А. Д., Евтюкова И. П., Кацевич Л. С. [и др.] Электротехнологические промышленные установки / под ред. А. Д. Свенчанского. М.: Энергоиздат, 1982. 400 с.
2. Птицына Е. В. Электролизные и газоразрядные электротехнологические установки с питанием током сложной формы: моногр. / под ред. А. Б. Кувалдина. Павлодар: ТОО НПФ ЭКО, 2007. 420 с.
3. Птицына Е. В., Кувалдин А. Б. Работа дуговых печей небольшой емкости при питании током сложной формы // Электротехнология. 2006. № 6. С. 26–36.
4. Птицына Е. В., Бойко Ф. К., Киряев С. А. Применение тока сложной формы в технологических процессах графитизации и обжига // Наука и техника Казахстана. 2001. № 1. С. 170–175.
5. Птицына Е. В., Птицын Д. В., Кувалдин А. Б. Исследование светлых, темных инфракрасных излучателей и газоразрядных излучателей низкого давления при различных электрических режимах // Электротехнологии для обработки материалов: материалы XVIII Междунар. УИЭ-Конгресса, 6–9 июня. Ганновер, 2017. С. 497–502.
6. Птицына Е. В., Птицын Д. В., Кувалдин А. Б. Тепловизионные исследования температурных полей светлых инфракрасных излучателей // Энерго- и ресурсосбережение XXI век: сб. материалов XIV Междунар. науч.-практ. конф. (15 марта – 30 июня 2016 г.). Орел: Изд-во ОГТУ им. И. С. Тургенева, 2016. С. 128–133.
7. Птицына Е. В., Птицын Д. В., Кувалдин А. Б. Процессы в темных излучателях при питании током сложной формы // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: материалы конф. 2015. Т. 3, № 8-2 (19–2). С. 344–348. DOI: 10.12737/15553.
8. Птицына Е. В., Птицын Д. В., Кувалдин А. Б. Тепловизионные исследования темных излучателей с питанием током сложной формы // Материалы XV Междунар. науч.-практ. конф. (15 марта – 30 июня 2017 г.) / под ред.: О. В. Пилипенко, А. Н. Качанова, Ю. С. Степанова. Орел: Изд-во ОГТУ им. И. С. Тургенева, 2017. С. 82–86.
9. Савельев И. В. Курс общей физики. В 3-х т. Т. 1. Механика. Молекулярная физика. 3-е изд., испр. М.: Наука, 1987. 432 с.
10. Официальный сайт производителя водонагревателей DZ Drazice. URL: <http://www.dz.cz/lanq/ru> (дата обращения: 15.02.2018).
11. Пат. 2156410 Российская Федерация, МПК F 24 H 1/20. Электродный нагреватель // Шувалов А. И., Клейменов О. А., Калинин В. Ф., Гудухин В. Ф., Терентьев О. В. № 99103567/06; заявл. 23.02.99; опубл. 20.09.00.
12. Пат. 2182285 Российская Федерация, МПК F 24 H 1/00, F 24 H 1/20. Бытовой универсальный котел // Шувалов А. И., Калинин В. Ф., Клейменов О. А., Терентьев О. В., Демин А. А. № 2000110940/06; заявл. 28.04.00; опубл. 10.05.01.
13. Орлов М. Е. Повышение эффективности ТЭЦ и подключение к ним городских теплофикационных систем за счет структурно-технологической модернизации: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Новочеркасск, 2017. 40 с.

14. Rotov P. V., Orlov M. E., Sharapov V. I. The concept of better regulation of the load domestic heat supply systems (О концепции совершенствования технологий регулирования тепловой нагрузки теплофикационных систем) // Transaction of Academenergo (Труды Академэнерго). 2012. № 2. P. 76–87.

ПТИЦЫНА Елена Витальевна, доктор технических наук, профессор кафедры «Теоретическая и общая электротехника» Омского государственного технического университета (ОмГТУ), член-корреспондент Российской академии электротехнических наук.
SPIN-код: 4415-9705

AuthorID (РИНЦ): 416340

Адрес для переписки: evptitsyna@yandex.ru

ПТИЦЫН Дмитрий Вячеславович, ассистент кафедры «Теоретическая и общая электротехника» ОмГТУ.

Адрес для переписки: ptitsyndv@mail.ru

КУВАЛДИН Александр Борисович, доктор технических наук, профессор (Россия), профессор кафедры «Автоматизированные электротехнологические установки и системы» Национального исследовательского университета «Московский энергетический институт», академик Российской академии электротехнических наук.

SPIN-код: 4507-4908

AuthorID (РИНЦ): 250862

Адрес для переписки: a.kuvaldin2013@yandex.ru

Для цитирования

Птицына Е. В., Птицын Д. В., Кувалдин А. Б. Низковольтные электродные водоподогреватели с питанием током сложной формы // Омский научный вестник. 2018. № 2 (158). С. 20–27. DOI: 10.25206/1813-8225-2018-158-20-27.

Статья поступила в редакцию 16.02.2018 г.

© Е. В. Птицына, Д. В. Птицын, А. Б. Кувалдин

УДК 621.313

DOI: 10.25206/1813-8225-2018-158-27-32

В. В. ХАРЛАМОВ
С. Н. НАЙДЕН
А. С. ХЛОПЦОВ
П. Г. ПЕТРОВ

Омский государственный
университет путей сообщения,
г. Омск

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПРЕВЫШЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В УЗЛАХ КОЛЛЕКТОРНО-ЩЕТОЧНОГО УСТРОЙСТВА ТЯГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ ЭДП-800 КАРЬЕРНОГО САМОСВАЛА БелАЗ В СТАЦИОНАРНОМ РЕЖИМЕ

В статье приведена математическая модель коллекторно-щеточного устройства тягового двигателя ЭДП-800 карьерного самосвала БелАЗ и выполнен расчет превышения температуры в стационарном режиме. С помощью тепловизора получены превышения температуры в узлах коллекторно-щеточного устройства при номинальном режиме работы двигателя. Дана оценка математической модели путем сопоставления экспериментальных и расчетных данных.

Ключевые слова: коллекторно-щеточный узел, зона контакта, тепловая схема замещения, превышение температуры, тепловое сопротивление, тепловой поток, стационарный режим.

Тепловые процессы в коллекторно-щеточном узле (КЩУ) машины постоянного тока являются весьма сложными для анализа, так как имеют множество составляющих [1].

Основными процессами, имеющими отношение к температуре в зоне скользящего контакта,

являются: механическое трение щетки по пластине коллектора, протекание тока через коллектор и щетку, различной степени искрение в зависимости от условий коммутации [2].

Для оценки влияния факторов электрической и механической природы на нагрев элементов