

*Птицын Дмитрий Вячеславович, ассистент,*

*Омский государственный технический университет, Россия, г. Омск*

## **ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЭФФЕКТИВНЫЕ РЕЖИМЫ ГИБКИХ ГРЕЮЩИХ ПЛАСТИН**

**Аннотация:** Экспериментально установлено повышение энергетической эффективности инфракрасных излучателей. Доказана целесообразность регулирования гармонического состава излучения. В настоящей работе объектом экспериментального исследования являются гибкие греющие пластины серии КЕ систем обогрева при питании током сложной формы. Цель работы - определение технических и электрических характеристик гибких греющих пластин при изменении амплитуды и частоты питающего напряжения с целью выработки рекомендаций по выбору эффективных режимов.

В данной работе необходимо было решить следующие задачи:

- разработать метод исследования физических моделей системы обогрева;
- разработать рекомендации по выбору эффективных режимов работы нагрузки по результатам измерений технических и электрических параметров исследований.

Решение поставленных задач показало, что работа систем обогрева при питании током сложной формы соответствовала эффективному режиму. Например, коэффициент мощности установки с гибкой греющей пластиной в обычном и новом режимах составил 0,380 и 0,940. Индивидуальные показатели нагрузки в сравниваемых режимах составили: коэффициент мощности принимал значение 0.96.

**Ключевые слова:** ток сложной формы, гибкая греющая пластина, эффективный режим работы.

**Annotation:** An increase in the energy efficiency of infrared emitters has been experimentally established. The expediency of regulating the harmonic composition of radiation is proved. In this paper, the object of experimental research is flexible heating plates of the KE series of heating systems with a complex shape current supply. The purpose of this work is to determine the technical and electrical characteristics of flexible heating plates when the amplitude and frequency of the supply voltage change in order to develop recommendations for choosing effective modes.

In this work it was necessary to solve the following tasks:

- develop a method for studying physical models of the heating system;
- develop recommendations for selecting effective load operating modes based on the results of measurements of technical and electrical parameters of research.

The solution of the set tasks showed that the operation of heating systems when fed with a complex form of current corresponded to the effective mode. For example, the power factor of an installation with a flexible heating plate in the normal and new modes was 0.380 and 0.940. Individual load indicators in the compared modes were: the power factor took the value of 0.96.

**Keyword:** complex shape current, flexible heating plate, efficient operation mode.

**Актуальность.** Объектом и предметом исследования являются установки гибкими греющими пластинами систем обогрева и режимы их работы при питании током сложной формы (ТСФ).

**Предпосылки применения ТСФ.** В металле могут распространяться электромагнитные волны низкой частоты (геликоны и альфвеновские волны), а в газоразрядной плазме возбуждаться ленгмюровские колебания частотой от 16 до 2000 Гц [1; 2]. Повышение эффективности электротехнологических установок (ЭТУ) возможно различными способами. В ЭТУ, использующих сверх высокие частоты (СВЧ) для процессов сушки, плавления, высокотемпературного нагрева диэлектриков, при производстве керамических

изделий, огнеупорных, теплоизоляционных материалов, в технологиях обеззараживания материалов, утилизации отходов повышение эффективности возможно за счет разработки адекватных математических моделей и методик моделирования с учетом динамики изменений свойств диэлектриков и взаимосвязи физических процессов при воздействии на диэлектрики гармонических СВЧ электромагнитных колебаний с применением современного программного обеспечения (программного пакета COMSOL Multiphysica). Математическая модель самосогласованной задачи электродинамики и тепломассопереноса при СВЧ термообработке капиллярно-пористых диэлектриков впервые сформулирована Ю.С. Архангельским в трехмерной постановке и в последующих работах для СВЧ ЭТУ с камерами бегущей волны и лучевого типа апериодического и методического действия [3; 4].

Доказано [5; 6] нагрев диэлектрических материалов в высокочастотных электромагнитных полях обеспечивает высокую скорость нагрева, экологичность (отсутствие продуктов сгорания топлива), простоту управления температурным режимом. Высокочастотный нагрев (1,76 – 152,5 МГц) используется для сушки для порошковых, капиллярных, пористых; капиллярно-пористых и коллоидных материалов (сушка паковок нитей и других изделий легкой промышленности, брикетов сена и т.д.). Основная проблема – неравномерность температурного поля и снижение качества продукции. Недостатки - сложность и высокая стоимость оборудования.

В [7] установлено повышение эффективности газоразрядных излучателей низкого давления при низкочастотном внешнем воздействии: в люминесцентных лампах низкого давления уменьшается величина анодно-катодного падения потенциала и анодно-катодных потерь мощности, наблюдается рост световой отдачи столба при частоте 200-400 Гц. Подобное изменение световой отдачи столба разряда происходит за счет уширения радиального распределения возбужденных атомов ртути на уровнях 63P, что облегчает выход резонансного излучения. Тепловое движение излучающих

(поглощающих) атомов вызывает в линейчатых спектрах газового разряда дополнительное уширение энергетических уровней и соответствующих спектральных линий. Известен способ усиления электромагнитного излучения (ультрафиолетового, видимого, инфракрасного, радиодиапазонов), основанный на явлении индуцированного испускания. В работах Г. Меккера и В. Филькенбурга установлено влияние частоты тока на излучение газового разряда [8]. В работах О.А. Попова, С.А. Свитнева доказано повышение эффективности источников ультрафиолетового излучения на основе разряда низкого давления. Трубчатые бесферритные индукционные ультрафиолетовые лампы, наполненные смесью аргона и ртути целесообразны для обеззараживания воды и воздуха. Они имеют высокий коэффициент полезного действия и высокие мощности 150-500 Вт [9]. В работе О.А. Попова, И.В. Ирхина исследованы источники оптического излучения на основе безэлектродных серных ламп. Конструктивно СВЧ лампы высокого давления (ВД), предназначенные для общего освещения, прожекторного освещения, использования в теплицах, состоят из трех узлов. Основные элементы конструкции - генератор высокочастотной мощности, разрядная колба с плазмой, согласующее устройство для передачи мощности от высокочастотного генератора в плазму. Эффективность источника оптического излучения зависит от эффективности этих элементов конструкции. Установлено, что параметры плазмы ее излучательные и электрические характеристики зависят от скорости вращения колбы, а габариты источников оптического излучения зависят от типа резонатора, используемого для пробоя газа в колбе. Доказано, размеры спиральных резонаторов (и источника излучения) можно уменьшить в 30 раз по сравнению с объемными резонаторами. В серных лампах колба помещается внутри СВЧ резонатора и заполняется аргоном и серой. Моделированием в HFSS рассчитана резонансная частота спирального резонатора 848,3 МГц при добротности  $Q=874$ . Доказано, такие источники видимого излучения на основе серных СВЧ ламп ВД имеют лучшие технические и эксплуатационные характеристики, чем электродные ртутные и натриевые лампы ДРЛ, ДНаТ [10].

В [11] доказано, что эффективно воздействующими частотами для инфракрасных излучателей являются частоты в диапазоне 102÷103 Гц. Так, в установках со светлыми излучателями электромагнитная составляющая способна повлиять на процесс излучения. При протекании тока в излучателе возникает омический нагрев. Энергия передается электронам, находящимся в тепловом движении. Под действием поля электроны перемещаются со средней дрейфовой скоростью. При неупругих столкновениях происходит термическое возбуждение атомов, которые переходят в состояние с меньшей энергией и испускают фотоны. Имеет место процесс излучения электромагнитных волн. При передаче тепла излучением, часть тепловой энергии на поверхности излучателя превращается в энергию электромагнитных колебаний (видимые лучи). Следовательно, внешняя вынуждающая сила (электромагнитная составляющая), наряду с температурной составляющей, в условиях резонансного совпадения частот обуславливает изменение его фотометрических и радиометрических, колориметрических параметров.

Перспективным направлением является применение установок инфракрасного нагрева для устранения дефектов в сварных соединениях. По ГОСТ 30242 дефекты в сварных швах делятся на шесть групп: трещины, поры, твердые включения, непровары, нарушения формы шва и пр. дефекты. Самые опасные – трещины. Причинами дефектов являются: концентраторы напряжений, дефекты проката, литья, остаточные напряжения при несовершенной технологии изготовления, неудачный выбор материала и вибрации. Причины трудно выявить. Способы устранения дефектов разные (химическая, механическая, термическая обработка). В [12] предлагается локальный переплав по всему сечению сварного шва. В [13] используют лазер для устранения дефектов сварного шва.

Также используется технология отжига. В ОАО НПО ЦНИИТмаш разработано оборудование для отжига сварных швов корпусов реакторов типа ВВЭР-1000 (ВВЭР-440) для АЭС. Проблема – в охрупчивании сварных соединений корпуса реактора от нейтронного облучения. Установка состоит из

нагревательного оборудования, оборудования для установки внешней тепловой изоляции, системы контроля и управления. Оборудование позволяет проводить термообработку корпусов реактора при высокой температуре. Нагревательная установка обеспечивает восстановление механических свойств сварных швов. Все оборудование реактора освобождается из корпуса и внутрь опускается нагревательное устройство. Это сборка нагревательных элементов из нержавеющей стали. Корпус медленно нагревается до заданной температуры и медленно охлаждается. Весь технологический процесс отжига занимает до 21 дней вместо трех месяцев. Сокращение времени отжига обусловлено использованием системы управления технологическим процессом. При этом отжиг продлевает срок службы реактора на 10-30 лет. В 2010 году подобные работы ОАО НПО ЦНИИТмаш проводят совместно с «Атомэнергоремонт» на АЭС [14]. В [15] применяют инфракрасный нагрев для повышения качества сварных соединений.

Применяют инфракрасные излучатели и для сушки. Известен способ нагрева вращающихся сушильных тонкостенных цилиндров электромагнитным излучением изнутри [16]. В [17] предлагается сушильный барабан с инфракрасным нагревателем для непрерывной сушки длинномерных материалов: влажного текстильного полотна; бумаги; резинотехнических изделий; нагрева пленочных материалов. Внутри барабана в качестве нагревателя размещена электролампа накаливания.

Регулирование параметров режима установок с различными нагревателями осуществляют по-разному и на разном оборудовании.

В [18] предлагается устройство для сушки длинномерных материалов, в котором для повышения качества сушки и КПД, регулируют скорость и температуру горячего воздуха путем изменения расхода воздуха и величины тока в электронагревателе. Устройство может быть использовано для сушки нитей, шнуров, лент. В [19] при сушке древесины осуществляется предварительный нагрев древесины тепловой энергией от электродов-теплообменников в вакууме, затем прикладывают к электродам

теплообменникам переменное высокочастотное напряжение, измеряют температуру внутри и на поверхности древесины. Температуру нагрева поддерживают в заданном диапазоне путем изменения электрической мощности, подводимой к межэлектродному промежутку.

Так, установки типа РТ применяется для местной и объемной термообработки сварных швов (для термообработки сварных стыков трубопроводов, сварных швов труб, металлоконструкций, сварных швов трубной арматуры). Установка типа РТ 33 – ЗИ имеет три канала управления. Обеспечивает плавность нагрева, надежность за счет применения инверторного источника питания. Напряжение сети 380 В. диапазон изменения вторичного напряжения 20-80 В. Используется PID контроллер по каждому каналу, имеется 6 – каналный электронный регистратор с записью на USB флэш-карту. Для предварительного и сопутствующего подогрева при сварке, для после-сварочной термообработки по режимам высокого отпуска, стабилизирующего отжиг аустенизации, нормализации сталей различных классов (низкоуглеродистых 09 Г2С, жаропрочных 12 ХМ, 15 ХМ, нержавеющей ОВХ18Н10Т и т.д.). нагревают трубы диаметром 630, 1020, 1220, 1420 мм. Температура нагрева от 630 до 830 0С. Скорость нагрева от 1 до 50 0 С/ мин [20].

Следует отметить, что используются нагреватели различного принципа действия. В [21] для термообработки сварных швов представлены установки индукционного нагрева. Например, НПК «ТОМ Индуктор» выпускает установки мощностью 45 – 250 кВт для термообработки сварных швов типа Tis 250/АС – РН и др.

На предприятиях широко используются электронагреватели различных типов. Так, на нефтеперерабатывающих заводах находят применение погружные нагреватели, фланцевые погружные нагреватели, проточные электронагреватели, каналные нагреватели воздуха, мощность которых может составлять более 5 МВт, температура нагрева до 800 0С [22]. В [20] применяют нагревательные коврики и ленты. В них используются нагревательные

сердечники-бусины из нихрома и др. материалов с различными размерами бусин по ширине и длине.

Другим направлением повышения энергоэффективности инфракрасных излучателей является применение ТСФ. Однако в литературе не нашло отражение влияние ТСФ на эффективность работы систем обогрева с гибкими греющими пластинами и др.

**Экспериментальные исследования.** Экспериментальные исследования получены с использованием методов теоретических основ электротехники, теории колебаний, теории электрических машин.

**Целью работы** являются исследования режимов гибких греющих пластин систем обогрева, при изменении параметров электрических режимов (амплитуды и частоты питающего напряжения (тока)) для разработки рекомендаций по выбору эффективных режимов при их совместной работе.

Достижение поставленной цели потребовало решения следующих задач:

- разработать методику исследований на физических моделях установок с гибкими греющими пластинами систем обогрева;
- по результатам исследований разработать рекомендации по выбору эффективных режимов работы технологической нагрузки, что необходимо для разработки алгоритмов автоматического управления режимами установок с гибкими греющими пластинами систем обогрева.

Представленные в работе результаты выполнены в сравнении двух электрических режимов: в обычном режиме с питанием током частотой 50 Гц, и в новом режиме при питании ТСФ без постоянной составляющей. В обычном режиме питание нагрузки осуществлялось от однофазного трансформатора 220/110В с переключением ступеней напряжения без возбуждения А-Х1, А-Х3. Во втором режиме – через трансформатор - через однофазный трансформатор и дроссель насыщения. Для регулирования формы питающего напряжения (тока) можно использовать тиристоры и дроссели насыщения. В работе представлены результаты исследований при подключении дросселя.

**Объекты исследования.** Эксперименты выполнены на физической модели установки с гибкими греющими пластинами. Электронагреватель пластинчатый марки «Кеероно» серии KE 100-220-1-0-3М-101x127. Мощность нагревателя 100 Вт, напряжение нагревателя – 220 В, 1- внешний температурный датчик (датчик температуры StarLine PCM ZQ29), 0 - толщина дополнительного теплоизоляционного слоя в мм, 3М – высокотемпературный монтажный клеевой слой на одной из сторон нагревателя с предельной температурой 150 0С, 101x127 – размер нагревателя в мм. Гибкая греющая пластина имеет трехслойную структуру. Верхний и нижний слой – силикон, армированный стекловолокном. Средний слой – нити из сплава вольфрама и никрома. Толщина нагревателя 1,5 мм. Отсутствуют поры и пустоты в структуре пластины. Гибкая греющая пластина соответствует требованиям ТР ТС 004/2011 «О безопасности низковольтного оборудования», ТР ТС 020/2011 «Электромагнитная совместимость технических средств» [23].

**Приборы:** для измерения электрических параметров - анализатор качества электрической энергии типа ANALYST 2060 (погрешность тока  $\pm 1.5\%$ , погрешность напряжения  $\pm 1.0\%$ , погрешность активной мощности  $\pm 2.5\%$ , погрешность полной мощности  $\pm 2.5\%$ , погрешность реактивной мощности  $\pm 2.5\%$ , погрешность коэффициента мощности  $\pm 3$  градуса, погрешность расхода электроэнергии  $\pm 3\%$ ), а также амперметр, вольтметр. Для измерения температуры поверхности излучения использована термопара, в комплекте мультиметра EM5512, а также таймер. Для исследования температурных полей инфракрасных излучателей использовали тепловизор типа Testo 885-2, серийный номер № 2358782, объектив стандартный 300, тип детектора – 3200x240 пикс., температурная чувствительность  $< 30$  Мк, спектральный диапазон – 8-14, температурный диапазон –  $-20^{\circ}\text{C}$   $+100^{\circ}\text{C}$  ( $0^{\circ}\text{C}$   $+350^{\circ}$ ), 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 ИК-излучателя и бесконтактно измерял температуру его поверхности, то есть пересчитывал мощность излучения в температуру поверхности излучателя.

Результаты исследования индивидуальных показателей работы темных, светлых инфракрасных излучателей, элементов нагревательных гибких и др., а также совместной работы темных и светлых инфракрасных излучателей и силовой нагрузки отражены в работах [24; 25]. Функциональная схема установки для темных излучателей показана на рис. 1. В [24; 25] установлено, снижение потерь в силовом трансформаторе в новом режиме работы при переходе на более низкую ступень РПН за счет уменьшения индуктивности его обмоток. Значение мощности, потребляемой нагрузкой, потери в излучателе с учетом отраженного излучения и полезной мощности, поглощаемой нагревательной поверхностью в сравниваемых режимах были следующими: значение коэффициента мощности имело одно и тоже значение. так, для светлого инфракрасного излучателя мощностью 100 Вт значения мощности и коэффициента мощности в обоих режимах составили 0,032 кВА и 0,97.

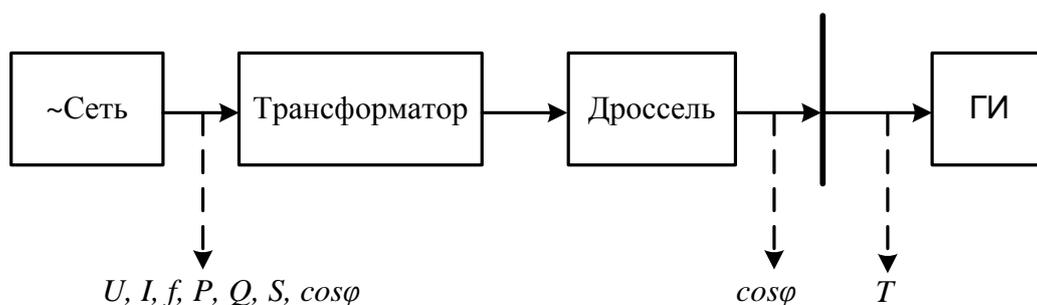


Рисунок 1. Функциональная схема установки с темным излучателем

В работе даны результаты исследования режимов работы установок с, гибкой греющей пластиной систем обогрева. Показатели работы в обычном и новом режимах при питании соответственно переменным током частотой 50 Гц и ТСФ без постоянной составляющей даны в табл.1. В табл. 2 даны индивидуальные характеристики гибких греющих пластин систем обогрева

(составляющие мощности, потребляемой нагрузкой и значение коэффициента мощности). В опытах определяли форму и спектральный состав питающего напряжения в сети для исследуемых режимов. Анализ осциллограмм показывает, что перевод установки в режим с питанием ТСФ не вызывает дополнительное увеличение гармоник в питающем напряжении.

Для установки с гибкой греющей пластиной мощность, потребляемая из сети в сравниваемых режимах, составила 0,118 и 0,049 кВА, значение коэффициента мощности было равно 0,45 и 0,90. За исследуемый интервал 10 минут диапазон нагрева пластины в обычном режиме - с 23 до 33 °С, а в новом - с 23 до 36 °С.

Индивидуальные показатели нагрузки в исследуемых режимах были следующие: значение коэффициента мощности в сравниваемых режимах составило – 0,96.

Таблица 1. Показатели работы в сети в обычном и новом электрических режимах установки с гибкой греющей пластиной систем обогрева

Электрический режим	Мощность из сети			$\cos\varphi$	$U$ в узле питания, В
	$P$ , кВт	$Q$ , квар	$S$ , кВА		
<b>Обычный режим:</b> переменный ток 50 Гц	0,041	0,098	0,107	0,38	115
<b>Новый режим:</b> ТСФ без постоянной составляющей	0,0347	0,010	0,037	0,94	115

Таблица 2. Индивидуальные показатели работы в обычном и новом электрических режимах установки с гибкой греющей пластиной систем обогрева

Электрический режим	Мощность из сети			$\cos\varphi$	$U$ в узле питания, В
	$P$ , кВт	$Q$ , квар	$S$ , кВА		
<b>Обычный режим:</b> переменный ток 50 Гц	0,024	0,007	0,025	0,96	115
<b>Новый режим:</b> ТСФ без постоянной составляющей	0,024	0,007	0,025	0,96	115

## **Выводы**

1. Исследованиями установлено, диапазон эффективно воздействующих частот для темных и светлых инфракрасных излучателей составляет  $102\div 103$  Гц. В темных излучателях электромагнитная составляющая влияет на электрон-фононные взаимодействия и на тепловое излучение [24; 25].

2. Экспериментально доказано, применение ТСФ с эффективно воздействующими частотами  $102\div 103$  Гц позволяет получить положительные эффекты:

- в установках с темными излучателями систем обогрева (элементами нагревательными гибкими ленточными, с инфракрасными керамическими лампами, гибкими греющими пластинами) возможно регулирования скорости подъема температуры;

- обеспечить работу установок с элементами систем обогрева на более низкой ступени ПБВ (РПН) силового трансформатора, с более высоким значением коэффициента мощности при снижении индуктивности его обмоток [24; 25].

3. Установлено, индивидуальные показатели работы установок с элементами нагревательными гибкими ленточными, с инфракрасными керамическими лампами не снижаются при совместном питании в узле нагрузки ТСФ.

4. Для получения позитивных технологических и энергетических эффектов целесообразно регулировать форму и амплитуду питающего напряжения (тока). Этот принцип регулирования разумно использовать и при совместном подключении в узле питания установок с темными и светлыми инфракрасными излучателями, элементов нагревательных ленточных гибких и установок с инфракрасными керамическими лампами, гибкими греющими пластинами систем обогрева [24; 25].

## **Библиографический список:**

1. Крэкнелл, А. / А. Крэкнелл, К. Уонг. – Англия, 1973 / Поверхность Ферми: пер. с англ. / Под ред. В.Я. Кравченко. – М.: Атомиздат, 1977. – 352 с.
2. Грановский, В.Л. Электрический ток в газе. Установившийся ток [Текст] / Грановский В.Л., под ред. Л.А. Сена и В.Е. Голанта. – М.: Изд-во Наука, 1971. – С.543.
3. Kalganova S., Trigorly S., Zakharov V. Computer Simulation of Microwave HeatTreatment of Dielectrics // 2018 IV International Conference on Information Technologies in Engineering Education (INFORINO) / MPEI. – Moscow, 2018. – P. 1 – 5.
4. Trigorly S., Zakharov V. Mathematical Modeling of the Processes of Microwave Thermal Processing of Extended Dielectrics with the Use of Mobile Radiation Systems // 2018 International Conference on Actual Problems of Electron Devices Engineering (APEDE) / SSTU. – Saratov, 2018. – P. 125-131.
5. Качанов, А.Н. Моделирование процесса высокочастотного нагрева влажной древесины в вакуумно-диэлектрической сушильной камере / А.Н. Качанов, Д.А. Коренков // ВестникКрасГАУ. – 2016. 9 (120). – С. 113 – 121.
6. Качанов, А.Н. Описание электромагнитного поля в плоском конденсаторе при высокочастотном нагреве длинномерных диэлектриков / А.Н. Качанов, Д.А. Коренков // Промышленная энергетика. – 2016. - № 9. – С. 23 – 27.
7. Рохлин, Г. Н. Разрядные источники света: - 2-е изд., перераб и доп. / Г.Н. Рохлин. – М.: Энергоатомиздат, 1981. – С. 48, С. 442-445.
8. Финкельбург, В. Электрические дуги и термическая плазма [Текст] / В. Филькенбург, Г. Меккер. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1961.
9. S. A. Svitnev, O.A. Popov Plasma parametrs spatial distribution of low pressure ferrite-free inductive discharge //Light and Engineering 2011.1.P. 79-82.
10. И. В. Ирхин, О.А. Попов. Исследование влияния вращения разрядной колбы на характеристики СВЧ серной лампы высокого давления [Текст] / Тез. докл. XXIII межд. науч.- техн. конф. студентов и аспирантов. Москва. 2017. – Т.1. – с. 134.

11. Птицына, Е.В. Влияние электромагнитной составляющей на процессы в темных и светлых инфракрасных излучателях // Е.В. Птицына, Д.В. Птицын, А.Б. Кувалдин // Электромагнитное поле и материалы (фундаментальные физические исследования). XXVII Междунар конф.: материалы: - М.: МЭИ, 2019. – С. 494 – 504.
12. Пат. 2012474 РФ. Способ устранения трещин в сварных соединениях / Семенов В.Н. Оpubл. 15.05.1994.
13. Пат. 2668623 РФ. Способ устранения дефекта сварного шва трубной сформованной заготовки, выполненного с использованием лазера / Романцев А.И. Оpubл. 2018.10.12.
14. <http://www.cniitmash.com> - Сайт ОАО НПО ЦНИИТмаш (Дата последнего обращения 05.08.2020 г.).
15. А. с. 1682101 SU, МКП В23К 37/00. Инфракрасный нагреватель для сварных соединений. / В.М. Борзаковский, Н.С. Кирпач, заявл. 31.05.89; опубл. 07.10.1991. Бюл. №37.
16. Пат. 2431793 РФ, F 26 В 3/34. Способ нагрева вращающихся сушильных тонкостенных цилиндров электромагнитным излучением изнутри / Лузгин Г.Д., Потемин В.В., Почивалов Ю.С. Оpubл. 20.10.2011.
17. Пат. 2355961 РФ, F26 В 13/08, F 26 В 3/34. Сушильный барабан с инфракрасным нагревателем / Бодырев А.В., Вартанов В.А., Воробьев А.В., Ганичев Г.М., Коволенко А.И., Лузгин Г.Д. и др. Оpubл. 29.05.2009.
18. А.с. 731233 SU, F 26 В 13/02. Устройство для сушки длинномерных материалов / Сиренко Е.Н., Расщупин В.Н., Куц О.Л., Супрунюк П.И. Оpubл. 30.04.1980. Бюлл. № 16.
19. Пат. 2523941 РФ, F 26 В 3/34, F 26 В 5/04. Способ сушки древесины / Лопатин В.В., Секисов Ф.Г., Смердов О.В., Горешнеев М.А. Оpubл. 27.07.2014.
20. <http://www.rem-teh.ru> - Сайт ООО «ГК Ремонтные технологии» (Дата последнего обращения 03.05.2020 г.).

21. <http://www.termoinductor.ru> - Сайт НПК «ТОМ Индуктор» (Дата последнего обращения 05.08.2020 г.).

22. Птицына, Е.В. / Е.В. Птицына, Д.В. Птицын, А.Б. Кувалдин / Элементы нагревательные гибкие ленточные в режиме с питанием током сложной формы // Омский научный вестник. 2019. №2 (164). - С. 36 – 44.

23. <http://www.keenovo.com> – Официальный сайт ООО «Киново Рус» (Дата последнего обращения 03.05.2020 г.).

24. Птицына, Е.В. Исследование режимов работы установок с темными и светлыми излучателями при питании током сложной формы / Е.В. Птицына, Д.В. Птицын, А.Б. Кувалдин // Промышленная энергетика. 2019. №12. – С. 50 – 56.

25. Птицына, Е.В. / Е.В. Птицына, Д.В. Птицын, А.Б. Кувалдин / Режимы совместной работы темных инфракрасных излучателей, элементов нагревательных гибких ленточных и силовой нагрузки // I юбилейные чтения Бойко Ф.К.: материалы междунар. науч.- техн. конф. (21 февраля 2020). – Павлодар: С. Торайгырова ун-т. 2020. Т.1. – с. 413-420.