

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.50>

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СЛИВА ВЯЗКИХ НЕФТЕПРОДУКТОВ ИЗ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ЦИСТЕРН

Научная статья

Ереско С.П.^{1,*}, Угрюмов А.В.²

¹ ORCID : 0000-0001-9580-480X;

¹ Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, Красноярск, Российская Федерация

² Государственная Корпорация по космической деятельности «Роскосмос», Красноярск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (eresko07[at]mail.ru)

Аннотация

Приведено технико-экономическое обоснование совершенствования технологии слива вязких нефтепродуктов из железнодорожных цистерн с использованием различных способов индукционного нагрева.

Приведены: схемы прямого индукционного нагрева поверхности цистерн, а также результаты модернизации и совершенствования элементов оборудования для прямого индукционного нагрева цистерн с вязкими нефтепродуктами применением плоских индукторов, позволяющих увеличить площадь индукционного нагрева. Приведены экспериментальные данные времени разогрева стального листа в зависимости от развиваемой индукторами мощности. Показаны пути повышения электрического КПД коэффициента полезного действия представленных схем устройств индукционного нагрева на основе оптимизационного подбора параметров расчета электрического КПД по приведенной выше методике.

Ключевые слова: индукционный нагрев, железнодорожная цистерна, сливной прибор, вязкий нефтепродукт, устройство контроля и автоматизации, проточный нагреватель индукционного типа, оптимизация, конструктивные параметры, режимы работы, электрический коэффициент полезного действия.

IMPROVEMENT OF THE TECHNOLOGY OF VISCOUS OIL PRODUCTS DISCHARGING FROM RAILWAY TANK CARS

Research article

Eresko S.P.^{1,*}, Ugryumov A.V.²

¹ ORCID : 0000-0001-9580-480X;

¹ Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev, Krasnoyarsk, Russian Federation

² State Corporation for Space Activities Roscosmos, Krasnoyarsk, Russian Federation

* Corresponding author (eresko07[at]mail.ru)

Abstract

A technical and economic substantiation of improving the technology of draining viscous oil products from railway tank cars using different methods of induction heating is presented.

The following schemes are presented: schemes of direct induction heating of tank surface, as well as the results of modernization and improvement of equipment elements for direct induction heating of tanks with viscous oil products by using flat inductors that allow to increase the area of induction heating. Experimental data of steel sheet heating time depending on the power developed by inductors are given. Ways of increasing the electrical efficiency of the presented schemes of induction heating devices on the basis of optimization selection of parameters for calculating the electrical efficiency according to the above methodology are demonstrated.

Keywords: induction heating, railway tank car, discharge device, viscous oil product, control and automation device, induction-type flow heater, optimization, design parameters, operating modes, electrical coefficient of performance.

Введение

Необходимость разогрева как темных нефтепродуктов: мазутов, парафинистых нефтей, моторных и трансформаторных масел, так и светлых нефтепродуктов, например, дизельного топлива во время железнодорожных перевозок в зимние время обусловлена их переохлаждением, которое для некоторых светлых нефтепродуктов, таких как дизельные топлива летних марок, сопровождается изменением их эксплуатационных характеристик, вплоть до потери кондиции и практически для всех нефтепродуктов неизменно сопровождающееся повышением их вязкости, что зачастую затрудняет и даже делает невозможным их слив самотеком, без предварительного разогрева нефтегруза для восстановления текучести.

Повышение эффективности железнодорожных перевозок вязких наливных грузов при низких температурах воздуха неразрывно связана с обеспечением возможности и снижением их себестоимости обоснована тем, что большинство предприятий РФ, обеспечивающих добычу и переработку нефти, находятся на Севере и Северо-Востоке страны. Для этих регионов характерны низкие среднегодовые температуры воздуха и большие расстояния до потенциальных потребителей продукции, что обуславливает длительность перевозок в 7-15 суток.

Для доставки вязких нефтепродуктов обычно используют вагоны-цистерны, снабженные средствами разогрева продукта в пунктах выгрузки или цистерны-термосы, имеющие тепловую изоляцию котла. Для них характерен большой (до 50%) порожний пробег. Слив с разогревом является продолжительной, энергозатратной и трудоемкой операцией, а установка тепловой изоляции на котел вагона-цистерны ведет к удорожанию как изготовления, так и эксплуатации самих цистерн на 5-7%. Все это повышает стоимость перевозок вязких нефтепродуктов. Снижение себестоимости железнодорожных перевозок вязких нефтепродуктов имеет особое значение, для Красноярского края, имеющего собственные месторождения и количество перевозимых нефтепродуктов, составляющее сотни миллионов тонн в год, так и тем, что они являются средствами, обеспечивающими деятельность промышленных предприятий, транспорта и коммунального хозяйства большинства населенных пунктов [1]. В работе [2] рассматривается нетрадиционный способ снижения себестоимости транспортировки ВМП (на примере котельного мазута марки М100) за счет рационального использования, как его физических свойств, так и особенностей конструкций вагона-цистерны. Нефтепродукт предлагается перевозить в устойчивом, но неравновесном, так называемом стратифицированном состоянии.

При этом плотность ВМП в нижней части котла вагона-цистерны постоянно поддерживается большей, чем в верхней его части. В этом случае сходит на нет естественная конвекция зачастую затрудняет и даже делает невозможным их слив самотеком, без предварительного разогрева нефтегруза для восстановления текучести. Конвекция особенно интенсивная в первые 15-20 часов после налива ВМП в котел цистерны, когда температура нефтепродукта велика, а вязкость мала. Конвективный теплоперенос является основным механизмом охлаждения нефтепродукта внутри вагона-цистерны, его молекулярная теплопроводность, очень мала. Перевод горячего ВМП в стратифицированное состояние осуществляется на стадии заполнения котла вагона-цистерны и достигается следующим образом. В работе [3] разработан новый вариант установки сливного прибора на котел вагона-цистерны, при котором уплотнительная манжета, выполненная из масла и бензостойкой резины тепло изолируется от наливаемого горячего нефтепродукта.

Мероприятие позволяет повысить исходную температуру ВМП при наливке до +120...130 °С, т.е. до уровня значительно превышающего температуру кипения воды при нормальных условиях. Тогда налив ВМП можно одновременно совмещать с охлаждением нижней половины котла вагона-цистерны.

Объем свободного пространства между паробоггревательным кожухом и стенкой котла вагона-цистерны приблизительно составляет 4 м³, кроме того, он имеет патрубки для сброса пара в атмосферу. Если этот объем предварительно заполнить водой, то вода, при наливке ВМП закипает, превращаясь в пар. Кипение сопровождается поглощением большого количества теплоты, забираемой от наливаемого нефтепродукта. Образующийся пар сбрасывается в атмосферу, а наливаемый мазут охлаждается до температуры +50...+60 °С. Это охлаждение происходит только в нижней половине котла вагона-цистерны. Температура мазута в верхней его половине остается на уровне +120...130 °С. С понижением температуры до 80 °С плотность мазута увеличивается на 4-5%. Нефтепродукт оказывается в стратифицированном состоянии. Другими широко применяемыми ВГ, являются технические масла. По специфике применения они подразделяются на моторные, промышленные, компрессорные, трансмиссионные, турбинные и др. [4]. Моторные масла, в свою очередь, делятся на авиационные (ГОСТ 21743-76), дизельные, автомобильные (ГОСТ 1862-63) и автотракторные. Данные масла переходят в вязкое состояние при температурах: авиационные – минус 14-18 °С, дизельные – минус 10-25 °С, автотракторные – минус 5-25 °С.

Наиболее важным параметром, определяющим трудности с выгрузкой вязких нефтепродуктов является низкая температура их вспышки, при которой пары жидкого нефтепродукта возгораются от контакта с открытым огнем. Для всех перечисленных вязких нефтепродуктов температура вспышки находится в следующих интервалах: флотских мазутов от плюс 45 до плюс 120 °С, у котельных мазутов плюс 80-125 °С, у вязких битумов от плюс 200 до 220 °С. Эти характеристики значительно затрудняют применение устройств электроразогрева. В зависимости от температурных условий применения дизельных топлив (ДТ) по ГОСТ 305-2013 подразделяются на летнее (ДТл), зимнее (ДТз) и арктическое (ДТа).

Имеются четыре марки летних, четыре зимних и две марки арктического топлив, все они отличаются друг от друга содержанием серы и температурами вспышки. Летние топлива перевозятся и эксплуатируются при температурах воздуха выше 0 °С, зимние допускают охлаждение до температур минус 30 °С, а арктические – до температур минус 50 °С. Низкотемпературные свойства дизельных топлив проявляются не столько в росте их вязкости, сколько в необратимом эффекте фазового расслоения. С понижением температуры в дизельном топливе выделяется твердая фракция n-парафинов, содержание которых в летних топливах доходит до 20%. При фазовом расслоении в топливе нарушается баланс между входящими в него присадками, что резко ухудшает его эксплуатационные характеристики вплоть до потери кондиции. Зимние и арктические марки дизельных топлив могут перевозиться и эксплуатироваться в зимнее время, но себестоимость их изготовления велика и их выпуск постоянно сокращается ввиду низкой рентабельности производства [5].

Методы и принципы исследования

Включали проведение теоретических и экспериментальных исследований и разработку способов интенсификации выгрузки загустевших моторных масел. Для таких продуктов, имеющих сравнительно высокую вязкость, может применяться совершенно иной авторский способ повышения эффективности использования вагонов, как тары введением внутрь емкости изолирующих пакетов с обеспечением возможности саморазогрева продукта в процессе перевозки [6]. В данной работе приводится описание экспериментальных исследований по созданию эффективного инструмента индукционного нагрева цистерн с вязкими нефтепродуктами для их разогрева при сливе.

Разработка конструкции индуктора для нагрева котла цистерны

Разработка конструкции индуктора для нагрева котла цистерны включала следующие этапы:

1. Спроектирован и изготовлен монтажный стол для осуществления процесса намотки индуктора, макет согласующего устройства (Рис.1) и загрузка в виде стального листа (Рис.2.).

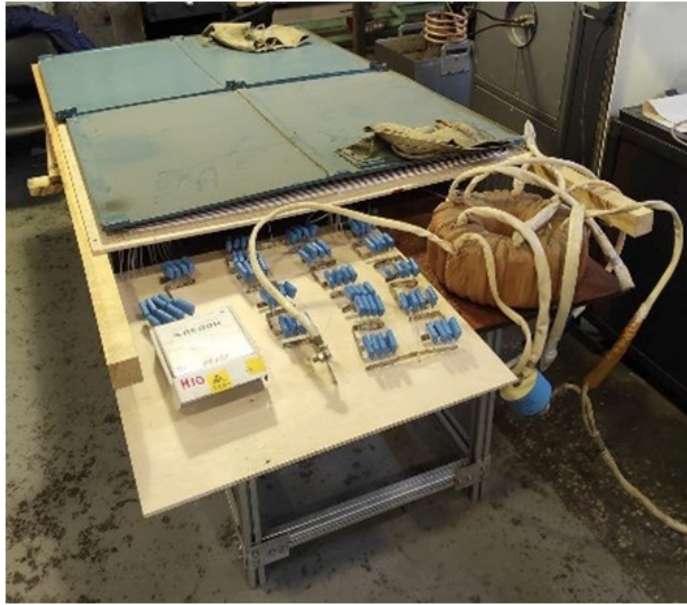


Рисунок 1 - Монтажный стол для осуществления процесса намотки индуктора
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.50.1>



Рисунок 2 - Загрузка в виде стального листа
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.50.2>

2. Изготовлен макет плоского индуктора 1600мм x 950мм, 47 витков из одного провода ЛЭЛО 1075x0,071. (Рис.3) и показан процесс его намотки (Рис.4). Вследствие большой площади и индуктивности индуктора возникло значительное изменение свойств металла при приложении напряжения разной величины. Данные, полученные при измерениях низковольтной аппаратурой, не соответствовали экспериментальным данным. Максимальная замеренная мощность генератора, отдаваемая в нагрузку, составила 3,5кВт, что явно недостаточно.

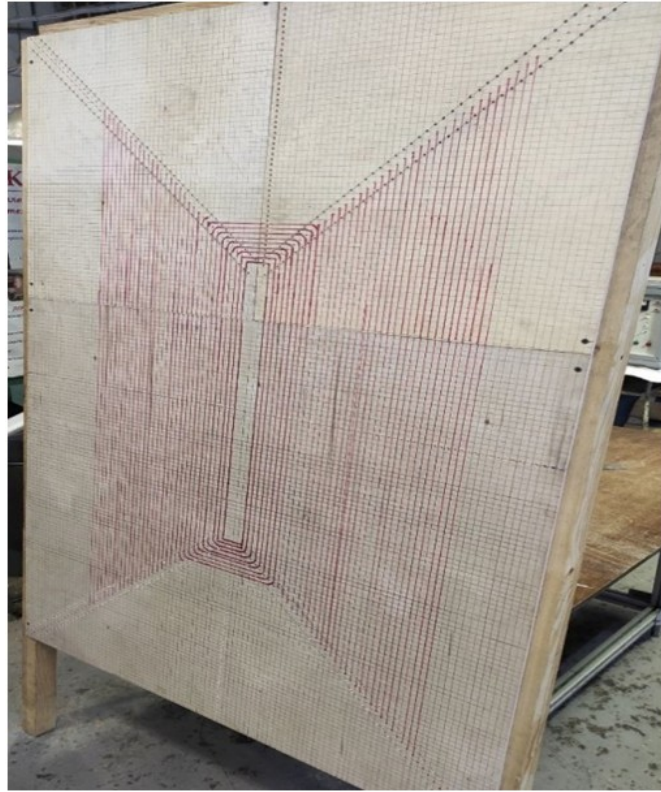


Рисунок 3 - Макет плоского индуктора 1600мм x 950мм, состоящий из 47 витков из одного провода ЛЭЛО 1075x0,071
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.50.3>

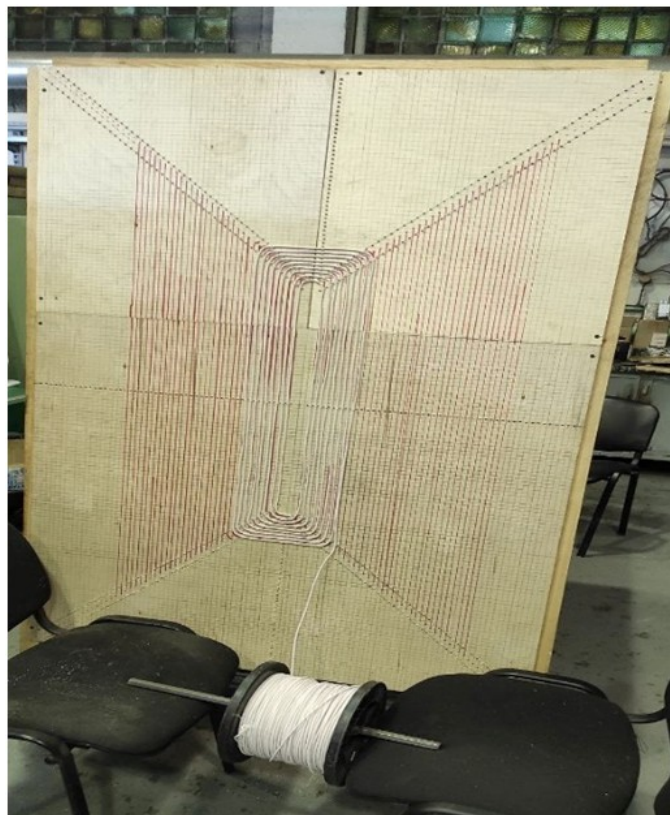


Рисунок 4 - Процесс намотки макета плоского индуктора
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.50.4>

3. Далее был изготовлен макет плоского индуктора, состоящего из 9 концентрических индукторов 370мм x 330мм, 16 витков из одного провода ЛЭЛО 1075x0,071 (Рис.5).

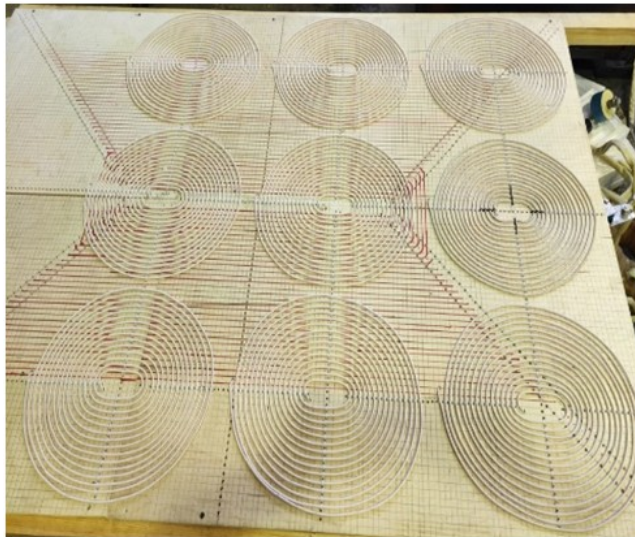


Рисунок 5 - Макет плоского индуктора, состоящий из 9 концентрических индукторов 370мм x 330мм, 16 витков из одного провода ЛЭЛО 1075x0,071
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.50.5>

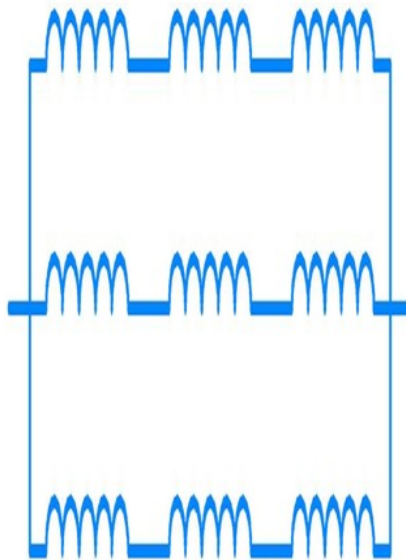


Рисунок 6 - Схема подключения 9 концентрических индукторов
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.50.6>

Сборка и испытание при разогреве стальной рифленной пластины толщиной 4 мм показали следующие результаты ее нагрева, замеренные пирометрическим тепловизором (Рис.7).

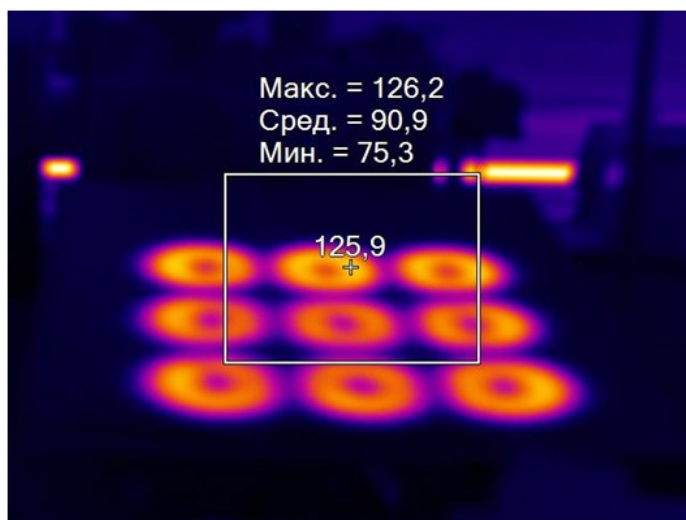


Рисунок 7 - Результаты нагрева стальной рифленой пластины, замеренные пирометрическим тепловизором

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.50.7>

Максимальная мощность генератора, отдаваемая в нагрузку, составила 9 кВт и ограничилась сечением провода.

4. Далее был изготовлен макет плоского индуктора состоящего из 36 индукторов 170мм x 140мм 6,5 витков из одного провода ЛЭЛО 1075x0,071 (Рис.8) и схема соединений обмоток индуктора (Рис.9).

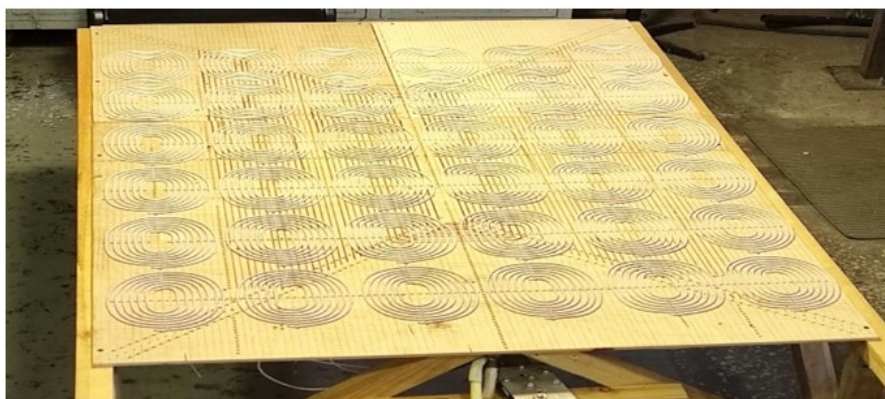


Рисунок 8 - Макет плоского индуктора, состоящего из 36 индукторов 170мм x 140мм 6,5 витков из одного провода ЛЭЛО 1075x0,071

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.50.8>

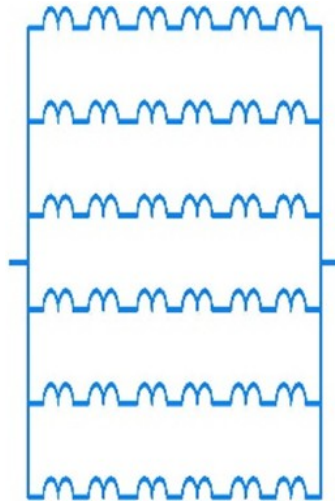


Рисунок 9 - Схема соединений обмоток индуктора
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.50.9>

Результаты испытаний индуктора, приведенного на рис. 8 приведены на рис.10.

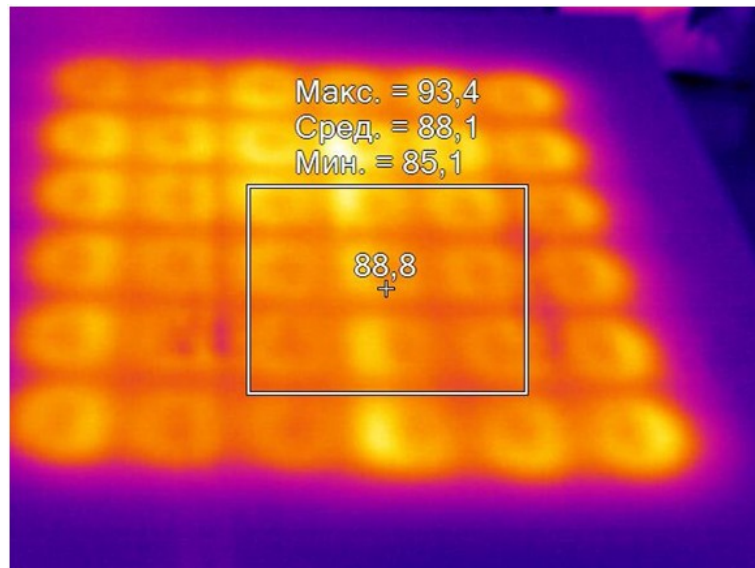


Рисунок 10 - Результаты нагрева пластины, замеренные пирометрическим тепловизором
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.50.10>

Максимальная мощность генератора, отдаваемая в нагрузку, составила 14 кВт. Индуктор имел низкое входное сопротивление, что не позволило оптимально согласовать его с генератором.

5. Далее был изготовлен макет плоского индуктора, состоящего из 9 индукторов 340мм x 300мм, 16 витков из двойного провода ЛЭЛО 1075x0,071. (Рис.11), подключенных по схеме, приведенной на Рис.12.



Рисунок 11 - Макет плоского индуктора, состоящего из 9 индукторов 340мм x 300мм, 16 витков из двойного провода ЛЭЛО 1075x0,071

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.50.11>

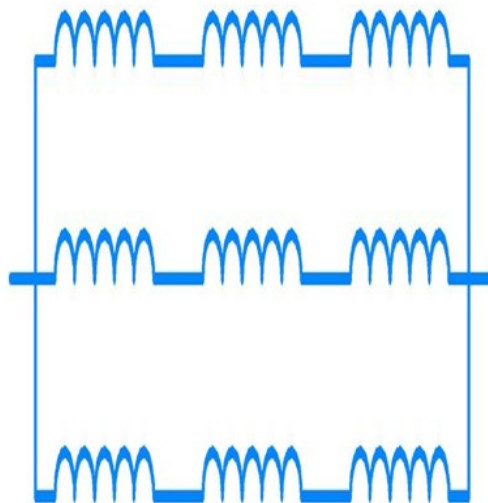


Рисунок 12 - Схема соединений обмоток индуктора

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.50.12>

Причем между стальным листом и индуктором был проложен теплоизолятор (Рис. 13).

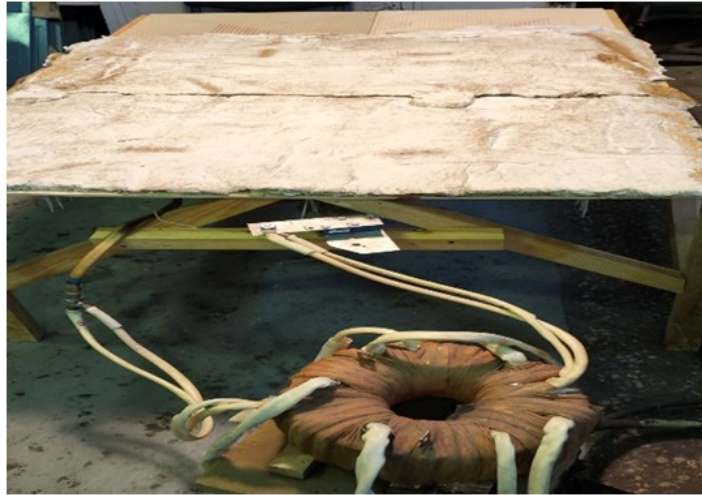


Рисунок 13 - Теплоизолятор между стальным листом и индуктором
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.50.13>

На рис. 14 приведены результаты экспериментальных замеров температуры нагрева стального листа через 75 минут от момента включения генератора. Мощность генератора, отдаваемая в нагрузку, составила 23 кВт, с возможностью повышения до максимальной – 25 кВт.

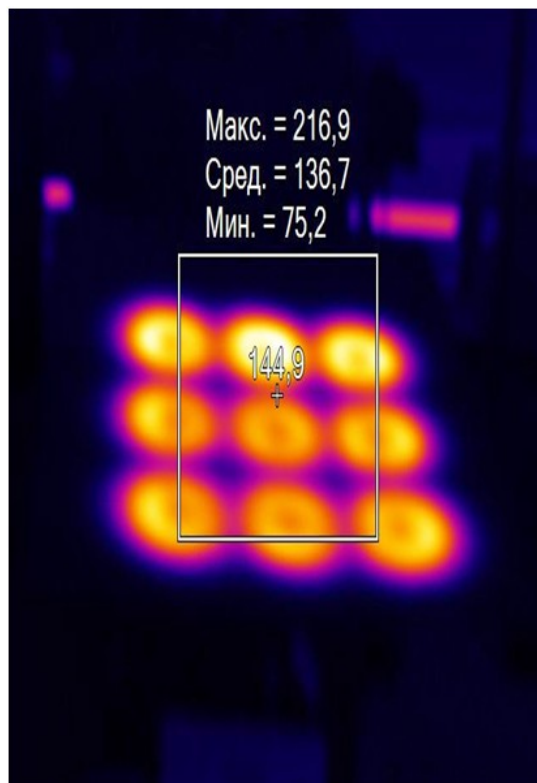


Рисунок 14 - Результаты экспериментальных замеров температуры нагрева стального листа через 75 минут от момента включения генератора
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.50.14>

Данный вариант индуктора принят в качестве окончательного на данном этапе. Идеальный электрический КПД системы «индуктор–загрузка» для идеализированной плоской системы, когда индуктор и загрузка являются полубесконечными телами [7], определяется по формуле: $\eta=1/(1+(\rho_1\mu_1)^{0,5}/(\rho_2\mu_2)^{0,5})$

где ρ_1 и ρ_2 – удельное электрическое сопротивление индуктора и загрузки, соответственно, Ом · м; μ_1 и μ_2 – относительная магнитная проницаемость индуктора и загрузки, соответственно.

Из приведенной формулы следует, что для получения наибольшего КПД материал индуктора должен иметь минимальное удельное электрическое сопротивление и быть немагнитным, а загрузка, напротив, должна обладать большим ρ_2 и быть ферромагнетиком. Электрический КПД цилиндрической системы «индуктор–загрузка» зависит не только от электрофизических свойств материалов индуктора и загрузки, но и от их геометрических размеров и частоты

тока в индукторе [8]. Зависимость КПД от геометрии системы носит сложный характер, так как помимо отношения диаметров индуктора и загрузки еще учитываются поправочные функции, определяющие, во сколько раз значения активной и реактивной мощности для проводящих тел конечных размеров отличаются от значений этих же величин для полубесконечных тел. Во многих случаях кривизной индуктора можно пренебречь и рассматривать его как плиту (функция $F_{пл}$), а цилиндрическая форма загрузки учтена функцией $F_{ц}$. Так как $F_{пл}$ и $F_{ц}$ зависят от глубины проникновения электромагнитной волны и, следовательно, от частоты, то и электрический КПД также зависит от частоты, причем возрастает с увеличением частоты до некоторого предельного значения [9].

Обсуждение

Из приведенной формулы следует, что для получения наибольшего КПД материал индуктора должен иметь минимальное удельное электрическое сопротивление и быть немагнитным, а загрузка, напротив, должна обладать большим ρ_2 и быть ферромагнетиком. Электрический КПД цилиндрической системы «индуктор–загрузка» зависит не только от электрофизических свойств материалов индуктора и загрузки, но и от их геометрических размеров и частоты тока в индукторе [8].

Зависимость КПД от геометрии системы носит сложный характер, так как помимо отношения диаметров индуктора и загрузки еще учитываются поправочные функции, определяющие, во сколько раз значения активной и реактивной мощности для проводящих тел конечных размеров отличаются от значений этих же величин для полубесконечных тел.

Во многих случаях кривизной индуктора можно пренебречь и рассматривать его как плиту (функция $F_{пл}$), а цилиндрическая форма загрузки учтена функцией $F_{ц}$. Так как $F_{пл}$ и $F_{ц}$ зависят от глубины проникновения электромагнитной волны и, следовательно, от частоты, то и электрический КПД также зависит от частоты, причем возрастает с увеличением частоты до некоторого предельного значения [9].

Для повышения эффективности разогрева и слива нефтепродуктов была предложена авторская схема индукционного проточного нагревателя жидкостей, зарегистрированного в заявке на изобретение № 2023124199 на которую получено решение о выдаче патента от 16.04.2024 г.

Заключение

Как показали эксперименты, одним из способов снижения потерь активной мощности в нагревательном индукторе является использование многослойных обмоток. Электрические потери в многослойной обмотке в значительной степени зависят от ее конструкции и при правильном выборе токоведущих проводников могут быть заметно меньше, чем в однослойной обмотке. Дальнейшие работы будут включать оптимизацию коэффициента полезного действия представленных схем устройств индукционного нагрева на основе оптимизационного подбора параметров расчета электрического КПД по приведенной выше методике.

Финансирование

Грант Конкурса научно-технических и инновационных проектов, направленных на развитие сферы железнодорожного транспорта на территории Красноярского края, 2022 на тему: «Индукционный нагрев цистерн с вязкими нефтепродуктами»

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Царегородцев Е.Л., Смоленский филиал Московского энергетического института, Смоленск, Российская Федерация
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.50.15>

Funding

Grant of the Competition of scientific, technical and innovative projects aimed at the development of railway transport in the Krasnoyarsk Territory, 2022 on the topic: "Induction heating of tanks with viscous petroleum products"

Conflict of Interest

None declared.

Review

Tsaregorodtsev Y.L., Smolensk branch of Moscow Power Engineering Institute, Smolensk, Russian Federation
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.50.15>

Список литературы / References

1. Копейкин Н.Н. Совершенствование технологии разогрева и слива высоковязкого мазута из железнодорожных цистерн : дис. ...канд. : 05.22.08 : защищена 1997-05-29 : утв. 1997-09-30 / Н.Н. Копейкин. — Санкт-Петербург. — 1997. — 136 с.
2. Карпова Т.С. Моделирование работы нефтеналивного терминала для вязких нефтепродуктов / Т.С. Карпова, В.И. Моисеев, В.А. Ксенофонтова // Транспортные системы и технологии. — 2020. — Т6. — №3. — С. 60-75. — DOI: [10.17816/transsyst20206360.75](https://doi.org/10.17816/transsyst20206360.75).
3. Пат. 2666018 Российская Федерация, МПК2017124560 В61D 5/00 (2006.01). Цистерны для перевозки вязких нефтепродуктов / Моисеев В.И. — № 2017124560 ; заявл. 2017-07-10 ; опубл. 2017-09-05. — №25. — 6 с.
4. ГОСТ РВ 50920-2005 Топлива, масла, смазки и специальные жидкости. Ограничительный перечень и порядок назначения для вооружения и военной техники. (Введен 01.07.2006 взамен ГОСТ РВ 50920-96) — Введ. 2024-06-11. — Москва: Стандартинформ. — 2005. — 35 с.
5. Сафонов А.С. Химмотология топлив для судовых энергетических установок. Эксплуатационные свойства нефтяных топлив. Требования к качеству / А.С. Сафонов. — Санкт-Петербург: НПИКЦ. — 2009. — 224 с.
6. Пат. 1557015 Российская Федерация, МПК4278621 В65D 88/74. Емкость для транспортирования загустевших жидкостей / Ереско С.П. — № 4278621 ; заявл. 1987-06-10 ; опубл. 1987-06-10. — 4 с.

7. Слухоцкий А.Е. Установки индукционного нагрева: учеб. пособие для вузов / А.Е. Слухоцкий. — Ленинград: Энергоиздат. — 1981. — 328 с.
8. Демидович В. Б. Расчет цилиндрического индуктора с немагнитной загрузкой на ЭВМ / В. Б. Демидович, В. С. Немков // Промышленное применение токов высокой частоты. — Ленинград: Машиностроение. — 1975. — с. 38–45.
9. Злотников И.И. Повышение эффективности работы устройств для индукционного нагрева / И.И. Злотников, И.В. Захаров // Вестник ГГТУ. — Гомель: Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого. — 2015. — с. 53-59.
10. Ереско С.П. Индукционный проточный нагреватель жидкостей / С.П. Ереско, А.В. Угрюмов // Заявка на изобретение № 2023124199. — 2024 — URL: https://fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPATAP&DocNumber=2023124199&TypeFile=html (дата обращения: 11.06.2024).

Список литературы на английском языке / References in English

1. Kopejkin N.N. Sovershenstvovanie tehnologii razogreva i sliva vysokovjazkogo mazuta iz zheleznodorozhnyh tsistern [Improving the technology of heating and draining high-viscosity fuel oil from railway tanks] : dis...of PhD in Engineering : 05.22.08 : defense of the thesis 1997-05-29 : approved 1997-09-30 / N.N. Kopejkin. — St. Petersburg. — 1997.— 136 p. [in Russian]
2. Karpova T.S. Modelirovanie raboty neftenalivnogo terminala dlja vjazkih nefteproduktov [Simulation of the operation of an oil loading terminal for viscous petroleum products] / T.S. Karpova, V.I. Moiseev, V.A. Ksenofontova // Transportnye sistemy i tehnologii [Transport systems and technologies]. — 2020. — Vol.6. — N3. — С. 60-75. — DOI: 10.17816/transsyst20206360.75. [in Russian]
3. Pat. 2666018 Russian Federation, МРК2017124560 В61D 5/00 (2006.01). Tsisterny dlja perevozki vjazkih nefteproduktov [Tanks for the transportation of viscous petroleum products] / Moiseev V.I. — N 2017124560 ; appl. 2017-07-10 ; publ. 2017-09-05. — N25. — 6 p. [in Russian]
4. GOST RV 50920-2005 Topliva, masla, smazki i spetsial'nye zhidkosti. Ogranichitel'nyj perechen' i porjadok naznachenija dlja vooruzhenija i voennoj tehniki. (Vveden 01.07.2006 vzamen GOST RV 50920-96) [GOST RV 50920-2005 Fuels, oils, lubricants and special liquids. A restrictive list and procedure for the appointment of weapons and military equipment. (Introduced on 01.07.2006 instead of GOST RV 50920-96)] — Introduced 2024-06-11. — Moscow: Standartinform. — 2005. — 35 p. [in Russian]
5. Safonov A.S. Himmotologija topliv dlja sudovyh energeticheskikh ustanovok. Ekspluatatsionnye svoystva neftjanyh topliv. Trebovanija k kachestvu [Chemical chemistry of fuels for marine power plants. Operational properties of petroleum fuels. Quality requirements] / A.S. Safonov. — Saint Petersburg: NPITC. — 2009. — 224 p. [in Russian]
6. Pat. 1557015 Russian Federation, МРК4278621 В65D 88/74. Emkost' dlja transportirovanija zagustevshih zhidkostej [Container for transportation of thickened liquids] / Eresko S.P. — № 4278621 ; appl. 1987-06-10 ; publ. 1987-06-10. — 4 p. [in Russian]
7. Sluhotskij A.E. Ustanovki induksionnogo nagreva: ucheb. posobie dlja vuzov [Induction heating installations: textbook for universities] / A.E. Sluhotskij. — Ленинград: Энергоиздат. — 1981. — 328 p. [in Russian]
8. Demidovich V. B. Raschet tsilindricheskogo induktora s nemagnitnoj zagruzkoj na EVM [Calculation of a cylindrical inductor with non-magnetic loading on a computer] / V. B. Demidovich, V. S. Nemkov // Promyshlennoe primenenie tokov vysokoj chastoty [Industrial application of high frequency currents]. — Ленинград: Mechanical Engineering. — 1975. — p. 38–45. [in Russian]
9. Zlotnikov I.I. Povyshenie effektivnosti raboty ustrojstv dlja induksionnogo nagreva [Improving the efficiency of induction heating devices] / I.I. Zlotnikov, I.V. Zaharov // Vestnik GGTU [Bulletin of GGTU]. — Gomel: Gomel State Technical University named after P.O. Sukhoi. — 2015. — p. 53-59. [in Russian]
10. Eresko S.P. Induksionnyj protochnyj nagrevatel' zhidkostej [Induction flow heater for liquids] / S.P. Eresko, A.V. Ugrjumov // Invention Application No. 2023124199. — 2024 — URL: https://fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPATAP&DocNumber=2023124199&TypeFile=html (accessed: 11.06.2024). [in Russian]