

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 4 (2024)

ПАВЛОДАР

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания

№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/FYZZ1289>

Бас редакторы – главный редактор

Талипов О. М.

доктор PhD, ассоц. профессор (доцент)

Заместитель главного редактора

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Сағындық Ә.Б., *доктор PhD*

Редакция алкасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никифоров А. С.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Новожилов А. Н.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никитин К. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Алиферов А. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Кошеков К. Т.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Приходько Е. В.,	<i>к.т.н., профессор</i>
Кислов А. П.,	<i>к.т.н., доцент</i>
Нефтисов А. В.,	<i>доктор PhD</i>
Омарова А. Р.	<i>технический редактор</i>

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

<https://doi.org/10.48081/KGCJ7730>

Д. Г. Инсепов*

Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева, Республика Казахстан, г. Алматы

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7098-4824>

*e-mail: insepov_dauren83@mail.ru

ИЗУЧЕНИЕ РОЛИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ В ИНДУКЦИОННОМ НАГРЕВЕ НЕФТЕПРОВОДОВ

В данной статье представлен углубленный анализ роли преобразователей частоты в процессе индукционного нагрева, в частности, в контексте нагрева нефтепроводов. Индукционный нагрев - это процесс, использующий электромагнитные принципы для выработки тепла, – необходим для поддержания текучести нефти, особенно в холодных регионах, что обеспечивает бесперебойную и эффективную транспортировку нефти по трубопроводам. Эффективность этого процесса во многом зависит от частоты используемого переменного тока, которая регулируется преобразователями частоты. Частотные преобразователи, представляют собой электротехническое оборудование, предназначенное для регулирования частоты переменного напряжения, что позволяет изменять частоту вращения и крутящий момент электрических машин асинхронного типа. В статье предлагается комплексное теоретическое и аналитическое исследование влияния и значения преобразователей частоты в системах индукционного нагрева. В данной статье также подчеркиваются преимущества и потенциальные проблемы, которые связаны с использованием преобразователей частоты, и определяются потенциальные области для будущих исследований. Таким образом, данное исследование подчеркивает решающую роль преобразователей частоты в индукционном нагреве нефтепроводов, а также признает их потенциальные недостатки и области, которые требуют дальнейшего улучшения.

Ключевые слова: индукционный нагрев, преобразователи частоты, нефтепровод, переменный ток, энергоэффективность.

Введение

Индукционный нагрев, процесс, использующий принципы электромагнетизма для выработки тепла, изменил правила игры в различных отраслях промышленности, включая нефтегазовый сектор. Среди множества применений этой технологии выделяется обогрев нефтепроводов. Этот процесс имеет решающее значение для поддержания текучести масла, особенно в холодных регионах, и предотвращения потенциальных закупорок.

Однако эффективность индукционного нагрева во многом зависит от частоты используемого переменного тока. Здесь в игру вступают преобразователи частоты. Эти устройства могут регулировать частоту электропитания в соответствии с требованиями системы индукционного нагрева.

Несмотря на важнейшую роль преобразователей частоты в индукционном нагреве нефтепроводов, комплексных исследований по этой теме недостаточно. Данная статья призвана восполнить этот пробел, предоставив подробный обзор использования преобразователей частоты для этой цели. Обзор углубится в технические аспекты, обсудит преимущества и проблемы, а также изучит потенциальные области для будущих исследований. Этот обзор является своевременным и актуальным, учитывая растущую зависимость от индукционного нагрева в нефтегазовой отрасли и постоянный поиск эффективности и устойчивости в использовании энергии.

Материалы и методы

Статья представляет собой комплексное теоретическое и аналитическое исследование, в котором фундаментальные физики, электротехники и термодинамики используются для изучения роли и влияния преобразователей частоты в системах индукционного нагрева, особенно в контексте нагрева нефтепроводов.

Методология исследования основана на строгом научном подходе. Автор использует математическое моделирование как ключевой инструмент для выяснения основных принципов индукционного нагрева.

В статье подробно рассматривается роль преобразователей частоты в этом процессе. Приведен подробный анализ того, как эти устройства, изменяя частоту переменного тока, могут управлять глубиной проникновения тепла и скоростью нагрева, оптимизируя тем самым процесс индукционного нагрева.

Кроме того, автор проведен анализ потенциальных преимуществ и недостатков использования преобразователей частоты в системах индукционного нагрева. Это предполагает критическую оценку таких факторов, как энергоэффективность, точность управления, стоимость и потенциальные технические проблемы. Автор сочетает теоретические прогнозы с практическими соображениями, предоставляя целостное

представление о применении преобразователей частоты в индукционном нагреве.

Результаты и обсуждения

Индукционный нагрев – это процесс, используемый для нагрева проводящего объекта. Это достигается за счет создания переменного магнитного поля вокруг объекта, которое индуцирует внутри него электрический ток. Ток, генерируемый внутри объекта, встречает сопротивление, что приводит к выделению тепла [1].

Принцип индукционного нагрева основан на законе электромагнитной индукции Фарадея, показывающий, что изменение магнитной среды катушки с проводом приводит к «индуцированию» напряжения (ЭДС) в катушке [2].

$$E = - d\Phi_B/dt \quad (1)$$

где:

E – электродвижущая сила (ЭДС) или «индуцированное» напряжение,

Φ_B – магнитный поток через цепь

dt – изменение во времени.

Знак минус указывает на то, что индуцированная ЭДС (E) и изменение магнитного потока ($d\Phi_B$) направлены в противоположные стороны. Это известно как закон Ленца, который гласит, что индуцированная ЭДС всегда будет противодействовать изменению магнитного потока, вызвавшему ее.

В контексте индукционного нагрева переменный ток (AC) в катушке создает изменяющееся магнитное поле. Это изменяющееся магнитное поле индуцирует напряжение в проводящем объекте (согласно закону Фарадея), которое, в свою очередь, генерирует электрический ток внутри объекта. Сопротивление этому току генерирует тепло, которое используется для нагрева объекта.

Для работы индукционных нагревателей не требуется непосредственного контакта источника энергии с нагреваемым объектом, а необходимо только наличие магнитной связи между объектом и индуктором. Схема индукционного нагрева показана на рисунке 1[3].

Рассмотрим, как этот принцип применяется при обогреве нефтепроводов. Нефтепроводы часто расположены в чрезвычайно холодных условиях. В таких условиях вязкость масла увеличивается, что затрудняет его течение. Поэтому трубопроводы нагревают. Соответственно вязкость нефти становится меньше и ее течение по нефтепроводу становится легче.

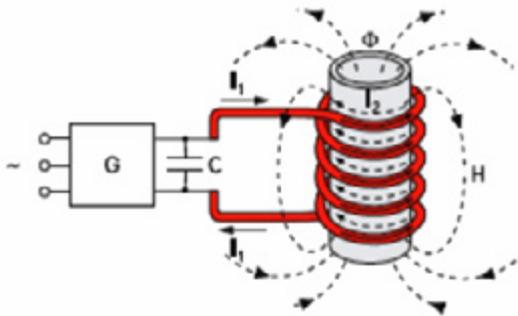


Рисунок 1 - Схема индукционного нагрева

Индукционный нагрев - это нагревание материалов электрическими токами, которые индуцируются переменным магнитным полем. В данном процессе электрический ток создается в материале, в котором генерация тепла происходит благодаря сопротивлению материала. Такой метод достаточно часто применим в металлургической промышленности, обрабатывающем производстве и других областях. Его применяют в Китае, России, США и других странах [4].

Одну из ведущих позиций в процессе индукционного нагрева нефтепроводов занимают частотные преобразователи.

Формула 2 показывает расчет синхронной скорости преобразователя частоты [5]:

$$N = \frac{120 \cdot f}{P} \quad (2)$$

где: N – синхронная скорость двигателя в оборотах в минуту (об/мин);

f – частота источника питания в герцах (Гц);

P – количество полюсов двигателя.

Управление преобразователем частоты выполняется при помощи микропроцессора. Он осуществляет контроль частоты и напряжения.

К основным плюсам применения частотных преобразователей можно отнести продление службы оборудования вследствие снижения нагрузок, уменьшение затрат, связанных с электроэнергией.

При рассмотрении частотных преобразователей индукционного нагрева необходимо учитывать такие принципы, как скин-эффект.

Скин-эффект – это эффект уменьшения амплитуды электромагнитных волн в зависимости от степени их проникновения внутрь среды проводника.

То есть, из-за скин-эффекта, ток протекает у поверхности проводника, и уменьшается к его центру. Это означает, что с увеличением частоты глубина скин-слоя становится меньше, и это приводит к более насыщенному нагреву у поверхности материала.

Частота может оказывать достаточно сильное влияние и на плотность мощности, являющейся количеством энергии, которая передается на единицу площади. Таким образом, чем выше частота, тем выше плотность мощности и, следовательно, тем больше тепла выделяется.

Математическое уравнение (формула 3), которое представляет тепло (Q), выделяемое при индукционном нагреве через преобразователь частоты [6]:

$$Q = 2 \cdot \pi \cdot I^2 \cdot f \cdot \mu \cdot r^2 \cdot \sigma \quad (3)$$

где: I – ток через катушку;

f – частота переменного тока;

μ – магнитная проницаемость материала;

r – радиус катушки;

σ – электропроводность материала.

Данное уравнение показывает, что тепловая мощность имеет прямую корреляцию с квадратом тока (I^2), частотой переменного тока (f), магнитной проницаемостью вещества (μ), квадратом радиуса катушки (r^2), и электропроводность вещества (σ). На рисунке 2 представлена связь между индукционным нагревом (Q) и частотой преобразователя частоты (f).

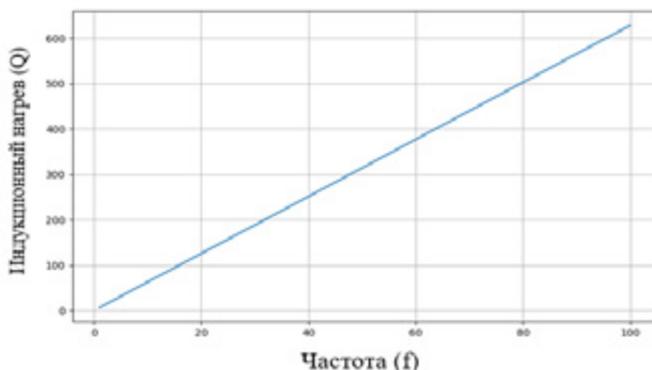


Рисунок 2 – Зависимость индукционного нагрева от частоты

Из представленного рисунка 2 видно, что увеличение частоты связано с увеличением тепловой мощности, что показывает прямую связь между этими

двумя параметрами. Этот вывод согласуется с уравнением индукционного нагрева, которое утверждает, что нагрев прямо пропорционален частоте переменного тока.

Преобразователи частоты играют решающую роль в индукционном нагреве нефтепроводов. Вот некоторые из ключевых преимуществ [7]:

– Преобразователи частоты отличаются высокой энергоэффективностью. Они преобразуют частоту источника питания в нужную частоту для процесса индукционного нагрева. Такое преобразование позволяет системе использовать только то количество энергии, которое необходимо для процесса нагрева, сокращая потери энергии.

– Преобразователи частоты обеспечивают точный контроль над процессом нагрева. Регулируя частоту, операторы могут контролировать глубину проникновения тепла и скорость нагрева. Эта точность имеет решающее значение в таких приложениях, как обогрев нефтепроводов, где поддержание температуры необходимо для снижения вязкости масла и обеспечения плавного потока.

– Преобразователи частоты обеспечивают гибкость с точки зрения выходной мощности и диапазона частот. Это позволяет адаптировать систему индукционного нагрева к конкретным требованиям.

– Повышая энергоэффективность и улучшая производительность процессов, преобразователи частоты могут значительно снизить эксплуатационные расходы. Это особенно выгодно в контексте эксплуатации нефтепроводов, где расходы на энергию могут составлять значительную часть общих эксплуатационных расходов.

– Точное управление, обеспечиваемое преобразователями частоты, может привести к улучшению качества продукции. В частности, для нефтепроводов это может означать более стабильную температуру и скорость потока нефти, что может привести к снижению эксплуатационных осложнений и увеличению общей производительности.

– Преобразователи частоты также могут способствовать продлению срока службы оборудования индукционного нагрева. Обеспечивая точное управление и эффективную работу, они могут снизить износ оборудования, увеличить срок его службы и снизить затраты на техническое обслуживание.

Поэтому включение преобразователей частоты в процесс индукционного нагрева имеет множество преимуществ, что делает его важным элементом обогрева нефтепровода.

Одними из важнейших преимуществ частотных преобразователей экономия энергии (ЭЭ) и увеличение срока службы у нефтепроводов.

$$\Delta E = [(E_{\text{с без ин}} - E_{\text{с ин}}) / E_{\text{с без ин}}] \times 100 \quad (4)$$

где: $E_{\text{с без ин}}$ - Энергопотребление без индукционного нагрева в качестве исходного уровня составляет 100%

$E_{\text{с ин}}$ - Энергопотребление с индукционным нагревом примем 40%, исходя из среднестатистического значения среднего снижения энергии от 30 % до 50 %.

Соответственно:

$$\Delta E = [(100 - 40) / 100] \times 100 = 60\%$$

Экономия энергии с применением частотного преобразователя составляет около 60%. Например, если электродвигатель потребляет 100 кВт, то с помощью частотного преобразователя его потребление снижается до 60 кВт.

Далее рассмотрим упрощенный расчет экономической эффективности применения частотных преобразователей. Предположим, что электродвигатель потребляет 100 кВт без преобразователя частоты и 60 кВт с преобразователем частоты. Цена электроэнергии – 80,92 тг за 1 кВтч. Работа двигателя осуществляется 365 дней в году, по 24 ч в сутки. Первоначальные инвестиции в преобразователь частоты составляет 2200 тыс тг. Ежегодную экономию ($E_{\text{э год}}$, тгэнергии рассчитаем по формуле 5:

$$E_{\text{э год}} = (P_{\text{безПЧ}} - P_{\text{сПЧ}}) \cdot Ц_{\text{э}} \cdot t \quad (5)$$

где: $P_{\text{безПЧ}}$ – мощность без преобразователя частоты, Вт;

$P_{\text{с пч}}$ – мощность с преобразователем частоты, Вт;

$Ц_{\text{э}}$ – цена электроэнергии, тг;

t – часы работы в год, ч.

$$E_{\text{э год}} = (P_{\text{безПЧ}} - P_{\text{сПЧ}}) \cdot Ц_{\text{э}} \cdot t$$

Рассчитаем срок (Ток) окупаемости частотного преобразователя по формуле 6:

$$T_{\text{ок}} = \frac{E_{\text{э год}}}{K} \quad (6)$$

где: K – начальные инвестиции.

$$T_{\text{ок}} = \frac{28354}{2200} = 12 \text{ мес}$$

Таким образом, срок окупаемости частотного преобразователя составит 1 год.

Частотные преобразователи несмотря на то, что имеют положительный эффект на обогрев нефтепроводов, могут создавать потенциальные проблемы и трудности [8], представленные на рисунке 3.



Рисунок 3 – Основные проблемы, связанные с применением частотных преобразователей

В области индукционного нагрева преобразователи частоты, для нагрева нефтепроводов, постоянно совершенствуются. Основные улучшения направлены на повышение энергоэффективности, более точное управление процессом нагрева и уменьшение габаритов и веса оборудования. Значительный прогресс был достигнут в снижении влияния электрических гармоник, повышении долговечности и надежности, а также обеспечении регулирования частоты [9].

Развитие области индукционного нагрева и будущие инновации в преобразователях частоты для нагрева нефтепроводов повысят энергоэффективность, улучшат методы управления, уменьшат гармонические помехи, поспособствуют уменьшению размера и веса оборудования, а также повышению его долговечности [10]. Поэтому изучение индукционного нагрева нефтепроводов с применением частотных преобразователей является перспективным направлением.

Выводы

В данной статье рассмотрена роль применения преобразователей частоты для индукционного нагрева нефтепроводов, а также определены основные преимущества преобразователей частоты и рассмотрены основные недостатки, связанные с их применением. Ожидается, что будущие исследования будут сосредоточены на улучшении производительности, систем управления и долговечности, а также на снижении воздействия электрических гармоник. Это важно для поддержания потока нефти в нефтепроводах, особенно в холодных регионах Казахстана.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Колмаков, Ю. В.** Индукционный нагрев // Электротехнология. Электронный учебно-методический комплекс. [Электронный ресурс]. – http://www.kgau.ru/distance/etf_01/kolmakov/eltechnology_eumk/lek3.htm

2 Электромагнитная индукция. [Электронный ресурс] – <https://markirovka.ru/vopros-otvet/электромагнитная-индукция-объяс-нен.html>

3 **Повный, А. К.** Принцип действия и области применения индукционного нагрева. [Электронный ресурс]. – <https://electricalschool.info/main/electrotehnolog/2266-princip-deystviya-i-oblasti-primeneniya-indukcionnogo-nagreva.html>

4 **Инсепов, Д. Г.** Высокочастотный индукционный нагрев нефтепровода [Текст] // Электрификация транспорту. – 2016. – №12. – С.103–106.

5 **Евсиков, А. А., Коковин, В. А., Леонов, А. П.** Автоматизированный электропривод с частотным управлением: учеб. пособие [Текст] – Дубна: гос. ун-т «Дубна», 2020. – 121 с.

6 **Пентегов, И. В., Рымар, С.В.** Применение метода тепловых источников при учете распределения источников тепла при индукционном нагреве [Текст] // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2016. – Т. 12. – № 4. – С.5–12.

7 **Isembergenov, N.T., Sagyndikova, A.J., Konyrova, M. Zh.** Frequency Converter for Induction Heating Oil in Oil Pipelines [Text] // Wseas transactions on electronics. – 2021. – № 12. – P. 24–31.

8 **Иванов, В. О.** Исследование преобразователей частоты. Основные сведения. [Электронный ресурс] – <file:///C:/Users/user/Downloads/issledovanie-preobrazovateley-chastoty-osnovnye-svedeniya.pdf>

9 **Хлюпин, П. А.** Индукционная нагревательная система для нефтепроводов. [Электронный ресурс]. – https://docviewer.yandex.kz/view/0/?page=1&*=c7mbROa

10 **Akagi, H., Kanazawa, Y, Nabaе, A.** Instantaneous Reactive Power Compensators Comprising Switching Devices without Energy Storage Components [Electronic resource] https://ieeemilestones.ethw.org/w/ima-ges/0/0a/Akagi_reference

REFERENCES

1 **Kolmakov, Yu. V.** Induksionnyy nagrev [Induction heating]// Elektrotekhnologiya. Elektronnyy uchebno-metodicheskiy kompleks. [Electronic resource]. – http://www.kgau.ru/distance/etf_01/kolma-kov/eltechnologyeumk/lek3.htm

2 Electromagnitnaya induksiya [Electromagnetic induction] [Electronic resource]. – <https://markirovka.ru/voprosotvet/электро-магнитная-индукция-объяснен.html>

3 **Povnyy, A. K.** Printsip deystviya i oblasti primeneniya induksionnogo nagreva [The principle of operation and areas of application of induction heating.] [Electronic resource]. – <https://electricalschool.in-fo/main/electrotehnolog/2266-princip-deystviya-i-oblasti-primeneniya-indukcionnogo-nagreva.html>

4 **Insepov, D. G.** Vysokochastotnyy induksionnyy nagrev nefteprovoda [High frequency induction heating of oil pipeline] [Text] // Elektrofikatsiya transportu. – 2016. – №12. – P. 103–106.

5 **Evsikov, A. A., Kokovin, V. A., Leonov, A. P.** Avtomatizirovannyy elektroprivod s chastotnym upravleniem: ucheb. posobie [Automated electric drive with frequency control: tutorial] [Text]. – Dubna: gos. un-t «Dubna», 2020. – 121 p.

6 **Pentegov, I. V., Rymar, S. V.** Primenenie metoda teplovykh istochnikov pri uchete raspredeleniya istochnikov tepla pri induksionnom nagreve [Application of the heat source method when taking into account the distribution of heat sources during induction heating] [Text] // Elektrotekhnicheskie i informatsionnye komplekсы i sistemy. – 2016. – V. 12. – № 4. – P. 5–12.

7 **Isembergenov, N. T., Sagyndikova, A. J., Konyrova, M. Zh.** Frequency Converter for Induction Heating Oil in Oil Pipelines [Text] // Wseas transactions on electronics. – 2021. – № 12. – P.24–31.

8 **Ivanov, V. O.** Issledovanie preobrazovateley chastoty. osnovnye svedeniya [Research of frequency converters. Basic information.] [Electronic resource] – <file:///C:/Users/user/Downloads/issledovanie-preobrazovateley-chastoty-osnovnye-svedeniya.pdf>

9 **Hlyupin, P. A.** Induksionnaya nagrevatel'naya sistema dlya nefteprovodov. [Induction heating system for oil pipelines] [Electronic resource] – https://docviewer.yandex.kz/view/0/?page=1&*=c7mbROa

10 Akagi, H., Kanazawa, Y, Nabae, A. Instantaneous Reactive Power Compensators Comprising Switching Devices without Energy Storage Components. [Electronic resource]. – https://ieeemilestones.ethw.org/w/images/0/0a/Akagi_reference

Поступило в редакцию 22.09.24

Поступило с исправлениями 15.10.24

Принято в печать 04.12.24

Д. Г. Инсенов*

Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университеті,
Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

22.09.24 ж. баспаға түсті.

15.10.24 ж. түзетулерімен түсті.

04.12.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

МҰНАЙ ҚҰБЫРЛАРЫН ИНДУКЦИЯЛЫҚ ЖЫЛЫТУДА ЖИІЛІКТІ ТҮРЛЕРДІРУШІЛЕРДІҢ РӨЛІН ЗЕРТТЕУ

Бұл мақалада индукциялық қыздыру процесіндегі жиілік түрлендіргіштерінің ролі, әсіресе мұнай құбырын жылыту контекстінде терең талдау қарастырылған. Индукциялық қыздыру, жылу алу үшін электромагниттік принциптерді пайдаланатын процесс, мұнайдың сұйықтығын сақтау үшін қажет, әсіресе суық аймақтарда мұнайды құбырлар арқылы біркелкі және тиімді тасымалдауға мүмкіндік береді. Бұл процестің тиімділігі көбінесе жиілікті түрлендіргіштермен реттелетін қолданылатын айнымалы токтың жиілігіне байланысты. Жиілік түрлендіргіштері – асинхронды типті электр машиналарының айналу жиілігін және айналу моментін өзгертуге мүмкіндік беретін айнымалы кернеудің жиілігін реттеуге арналған электр жабдығы. Мақалада индукциялық жылыту жүйелеріндегі жиілік түрлендіргіштерінің әсері мен маңыздылығын кеңенді теориялық және аналитикалық зерттеу ұсынылады. Бұл мақала сонымен қатар жиілік түрлендіргіштерін пайдаланумен байланысты артықшылықтар мен ықтимал проблемаларды көрсетеді және болашақ зерттеулердің әлеуетті бағыттарын анықтайды. Қорытындылай келе, бұл зерттеу мұнай құбырларын индукциялық жылытудағы жиілік түрлендіргіштерінің маңызды

ролін көрсетеді, сонымен бірге олардың ықтимал кемшіліктері мен одан әрі әсетілдіруді қажет ететін аймақтарды мойындайды.

Кілтті сөздер: индукциялық қыздыру, жиілікті түрлендіргіштер, мұнай құбыры, айнымалы ток, энергия тиімділігі.

*D. G. Insepov**

Kazakh National Research Technical University named after K. I. Satpayeva,
the Republic of Kazakhstan, Almaty

Received 22.09.24

Received in revised form 15.10.24

Accepted for publication 04.12.24

STUDYING THE ROLE OF FREQUENCY CONVERTERS IN INDUCTION HEATING OF OIL PIPELINES

This article provides an in-depth analysis of the role of frequency converters in the induction heating process, particularly in the context of oil pipeline heating. Induction heating, a process that uses electromagnetic principles to generate heat, is necessary to maintain oil fluidity, especially in cold regions, allowing oil to be transported smoothly and efficiently through pipelines. The efficiency of this process largely depends on the frequency of the alternating current used, which is regulated by frequency converters. Frequency converters are electrical equipment designed to regulate the frequency of alternating voltage, which allows you to change the speed and torque of asynchronous-type electrical machines. The article offers a comprehensive theoretical and analytical study of the influence and importance of frequency converters in induction heating systems. This article also highlights the benefits and potential problems that are associated with the use of frequency converters and identifies potential areas for future research. In summary, this study highlights the critical role of frequency converters in induction heating of petroleum pipelines, while also recognizing their potential shortcomings and areas that require further improvement.

Key words: induction heating, frequency converters, oil pipeline, alternating current, energy efficiency.

Теруге 04.12.2024 ж. жіберілді. Басуға 30.12.2024 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

29.9 Мб RAM

Шартты баспа табағы 22,2. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс №4317

Сдано в набор 04.12.2024 г. Подписано в печать 30.12.2024 г.

Электронное издание

29.9 Мб RAM

Усл. печ. л. 22,2. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4317

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz