



Информация об авторах

Карамов Дмитрий Николаевич - к. т. н., старший научный сотрудник, Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук, г. Иркутск; доцент кафедры электроснабжения и электротехники, Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, e-mail: dmitriy.karamov@mail.ru

Наумов Игорь Владимирович - д. т. н., профессор, профессор кафедры электроснабжения и электротехники, Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск; профессор кафедры электроснабжения и электротехники, Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, г. Иркутск; e-mail: professornaumov@list.ru

Для цитирования

Карамов Д. Н. Моделирование и оптимизация установленной мощности сетевых инверторов фотоэлектрической системы / Д. Н. Карамов, И. В. Наумов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2019. – Т. 64, № 4. – С. 20–29. – DOI: 10.26731/1813-9108.2019.4(64).20-29

Authors

Dmitrii Nikolaevich Karamov - Ph.D. in Engineering Science, Senior Research Officer, Melentiev Energy Systems Institute of the Siberian Branch of the Russian Academy of Science; Associate Professor, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, e-mail: dmitriy.karamov@mail.ru.

Igor' Vladimirovich Naumov – Doctor of Engineering Science, Professor, Professor of the Subdepartment of Power Supply and Electrical Engineering, Irkutsk National Research Technical University; Professor of the Subdepartment of Power Supply and Electrical Engineering, Ezhevsky Irkutsk State Agrarian University, Irkutsk, e-mail: professornaumov@list.ru

For citation

Karamov D. N., Naumov I. V. Modelirovaniye i optimizatsiya ustanovlennoy moshchnosti setevykh invertorov fotoelektricheskoy sistemy [Modelling and optimization of the installed capacity of grid-tie inverters in photovoltaic systems]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2019. Vol. 64, No. 4. Pp. 20–29. DOI: 10.26731/1813-9108.2019.4(64).20-29

УДК 620.192

DOI: 10.26731/1813-9108.2019.4(64).29–36

А. Г. Ларченко, Н. Г. Филиппенко

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

Дата поступления: 17 мая 2019 г.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОСНАЩЕНИЯ С ЦЕЛЬЮ ДИАГНОСТИКИ КАЧЕСТВА ПОЛИМЕРНЫХ ИЗДЕЛИЙ СЛОЖНОЙ КОНФИГУРАЦИИ

Аннотация. Авторы затрагивают вопрос неразрушающего контроля и повышения эксплуатационных свойств в современном производственном процессе деталей сложной конфигурации из полимерных материалов. В статье обосновывается выбор метода высокочастотного диагностирования как наиболее подходящего для оценки качества изделий при изготовлении деталей и в ходе выполнения ремонтных работ. В работе представлен процесс диагностирования изделий из полимерных материалов на разработанном в ходе исследования устройстве контроля, принцип работы которого также подробно описывается. Кроме этого, предложена разработка методики конструирования технологической оснастки для реализации процесса диагностирования изделий сложной конфигурации в промышленных масштабах. Авторы представляют такой важный этап исследования, как расчет параметров воздушного зазора конструкции электродов, обеспечивающего обязательное условие контроля – равномерность энерговоздействия на элементы изделия. Репрезентированные результаты дают возможность определить суммарную емкость любой системы последовательно соединенных конденсаторов при диагностировании изделий пространственной формы. Также расчеты, представленные в статье, позволяют спроектировать технологическую оснастку с целью обеспечения повышения качества изделий различной конфигурации путем равномерного разогрева высокочастотным полем. В работе решена подзадача изготовления электродов для проведения экспериментального диагностирования, что позволило подтвердить принятые решения и теоретические исследования, сделаны выводы, поставлены цели дальнейших исследований.

Ключевые слова: повышение качества, неразрушающий контроль, полимерные изделия, изделия сложной конфигурации, оснастка, технологическое обеспечение, диагностирование.

A. G. Larchenko, N. G. Filippenko

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

Received: May 17, 2019

DEVELOPMENT OF METHODS OF CALCULATION AND DESIGN OF TECHNOLOGICAL SUPPORT AND IMPROVING THE QUALITY OF POLYMERIC PRODUCTS OF COMPLEX CONFIGURATION



Abstract. *In this scientific work, the authors touch upon the issue of non-destructive testing and improvement of performance properties in the modern production process of parts of complex configuration of polymeric materials. The article substantiates the choice of the method of high-frequency diagnosis as the most suitable for assessing the quality of products in the manufacture and in the course of repair work. It presents the process of diagnostics of polymer materials on a control device developed in the course of the study. The detailed description and the principle of operation of the device are also stated in the work. In addition, the proposed article describes the development of a technique for designing technological tool set to implement the process of diagnosing products of complex configuration on an industrial scale. The authors present an important stage of the study – the calculation of the parameters of the air gap of the structure of the electrodes, which provides a mandatory condition of control: the uniformity of the energy acting on the product elements. The described results allow determining the total capacitance of any system of series-connected capacitors in the diagnosis of spatial shape. Also, the calculations presented in the article make it possible to design technological equipment to improve the quality of products of different configuration by their uniform heating by high-frequency field. The paper solved the subproblem of electrode fabrication for experimental diagnosis, which allowed confirming the decisions made and theoretical studies. The paper draws conclusions and sets goals for further research.*

Keywords: *quality improvement, non-destructive testing, polymeric products, diagnosing products of complex configuration, tool set, technological support, diagnosing.*

Введение

В последние десятилетия железнодорожная, авиационная и автомобильная промышленности являются одними из крупнейших отраслей потребления полимерных материалов [1–4]. Внедрение композиционных материалов позволило значительно сэкономить на использовании литейной стали и дорогостоящих цветных металлов; снизить трудоемкость производства; увеличить гарантийный срок и межремонтный пробег. Несмотря на то, что композиционные полимеры по многим параметрам превосходят традиционные материалы, следует отметить, что на заводах изготовителях и предприятиях ремонтного профиля контроль изделий сложной конфигурации осуществляется только визуальным методом, который не позволяет выявить скрытые структурные дефекты. Это в свою очередь приводит к дополнительному расходу материально-технических ресурсов, снижению качества выпускаемой продукции, а в некоторых случаях и к аварийным ситуациям. В связи со сказанным в качестве цели исследования были поставлены вопросы организации процесса диагностирования изделий сложной пространственной формы транспортного назначения на стадиях производства и ремонта.

Разработка методики расчета и подбор технологического оснащения повышения качества изделий

Проведенная оценка теоретических и экспериментальных исследований показала, что наиболее подходящим методом диагностирования с точки зрения безопасности и эффективности процесса является метод высокочастотного контроля, который основан на выявлении локальных дефектов различного происхождения преимущественно в изделиях из полимерных материалов путем воздействия на исследуемый объект проникающего электрического поля [5–10]. К дефектам, выявляемым высокочастотным ме-

тодом, относят металлические и инородные включения, трещины, поры, пустоты. Апробирование методики контроля изделий методом высокочастотного излучения проводилось на запатентованном в рамках исследования устройстве диагностирования полимерных материалов (рис. 1, 2) [10–12].

Представленное устройство позволяет не только выявлять дефекты различного рода и характера, но и проводить контроль без механического воздействия, что немаловажно при диагностировании полимерных изделий в промышленных масштабах. Однако без применения дополнительной оснастки в виде электродов невозможно обеспечить диагностирование изделий сложной пространственной формы по всему объему и достоверно оценить результаты контроля. Для достижения поставленной подзадачи была разработана методика конструирования технологической оснастки для реализации процесса диагностирования. При проектировании оснастки необходимо учесть, что для контроля габаритных изделий методом высокочастотного излучения зачастую мощности оборудования недостаточно ввиду значительных размеров при незначительном объеме обрабатываемого материала [7].

Данная проблема была решена усовершенствованием способа конструирования электродов с разбиением изделия на участки, представляющие собой последовательность элементарных конденсаторов [13–14]. Способ был модернизирован введением расчетного зазора конструкции электродов, обеспечивающего равномерность энергвоздействия на элементы изделия. Кроме этого, была разработана методика расчета толщины данного зазора.

В рамках исследования для удобства восприятия решение поставленных задач описывается на примерах износостойких полимерных накладок фрикционного клина тележки грузовых вагонов.

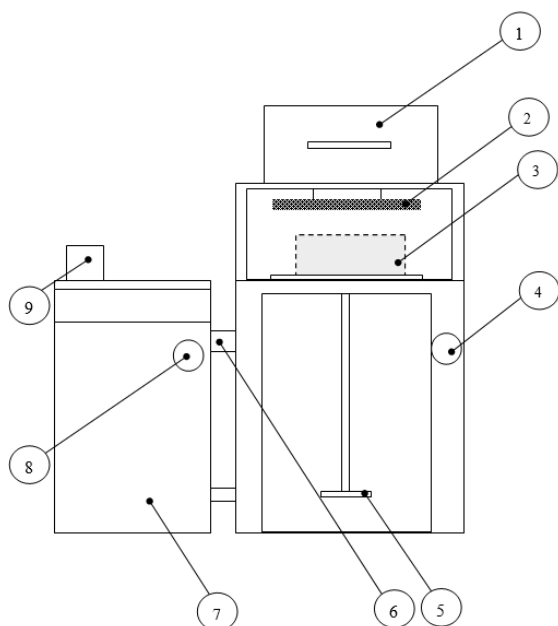


Рис. 1. Устройство контроля изделий из полимеров:
 1 – защитный экран; 2 – верхняя высокопотенциальная плита; 3 – объект контроля; 4 – таймер; 5 – привод; 6 – фидер; 7 – генератор высокочастотного излучения; 8 – регулятор конденсатора переменной емкости; 9 – блок автоматизации

Любое изделие сложной конфигурации при организации процесса диагностирования охватывают электродами, создавая, тем самым, рабочие конденсаторы, где полимер выступает в качестве диэлектрика. Для достижения равномерного прогрева изделия по всему объему (обязательное условие процесса контроля) необходимо обеспечить равные значения емкости в каждом искусственно созданном конденсаторе. Первым этапом построения методики являлся расчет емкости плоскопараллельных конденсаторов, представляющих из себя сложную конфигурацию, находящуюся между электродами [13–14]. Далее представлена схема разбиения износостойкой накладки тележки модели 18–194–1 на элементарные геометрические поверхности [15–16] и определена емкость на каждом участке (рис. 3).

Расчет емкостей конденсаторов на каждой элементарной поверхности производился согласно выражению:

$$C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d}, \quad (1)$$

где C – электрическая емкость, Ф; ϵ – диэлектрическая проницаемость; S – площадь пластин, м²; d – расстояние между пластинами, м; ϵ_0 – электрическая постоянная.

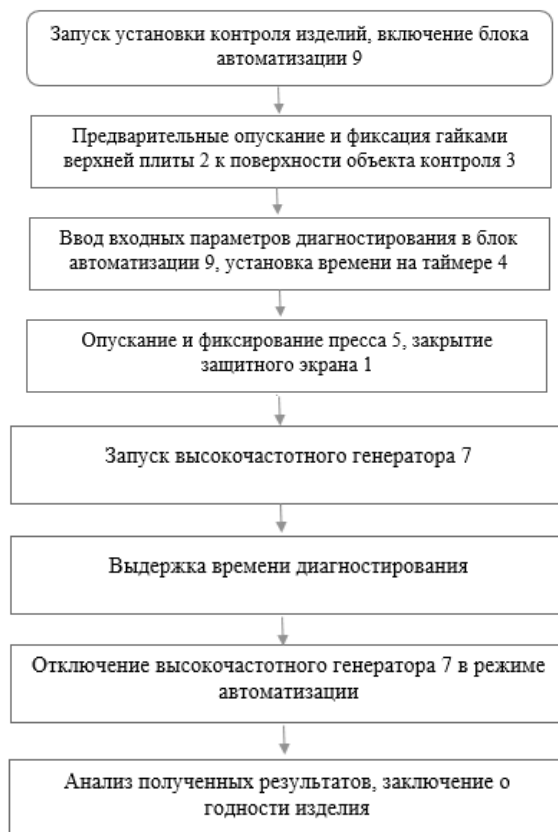


Рис. 2. Общий алгоритм контроля изделий из полимеров

Следующим этапом исследования был расчет емкости конденсаторов, состоящих из емкости накладки и воздушного зазора. Последовательное соединение емкости конденсаторов (рис. 4) происходит согласно выражению:

$$\frac{1}{C_1} = \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_{\text{воз}}} \quad (2)$$

Емкость воздушного зазора, исходя из выражения (2), равна:

$$C_{\text{воз}} = \frac{C_1 C_2}{C_2 - C_1} \quad (3)$$

Далее необходимо было найти расстояние $d_{\text{воз}}$ для обеспечения равного значения емкости. Расстояние определяется из выражения (1):

$$d_{\text{воз}} = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{C_{\text{воз}}} \quad (4)$$

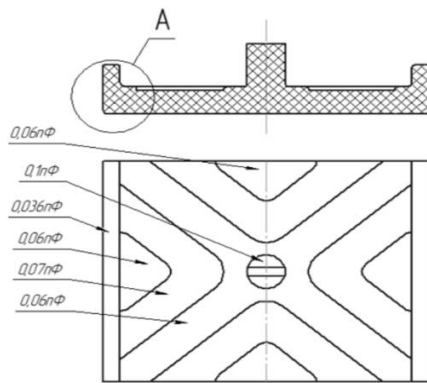


Рис. 3. Схема разбиения полимерной накладки на элементарные поверхности

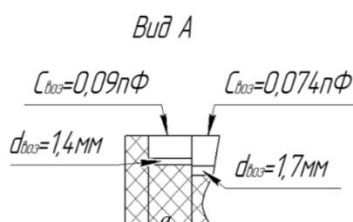


Рис. 4. Схема последовательного соединения конденсаторов износостойкой накладки

Важным этапом для организации процесса диагностирования и улучшения качества выпускаемой продукции является разработка методики расчета параметров зазора конструкции электродов, обеспечивающего равномерность энерговоздействия на элементы изделия. Так как поверхность 1 рассматриваемой полимерной накладки имеет цилиндрическую форму и технологический паз, важно при конструировании электродов учесть неравномерный воздушный зазор (см. рис. 3), (рис. 5).

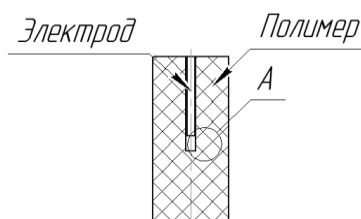


Рис. 5. Цилиндрическая поверхность накладки

Для организации диагностирования данного участка первоначально необходимо было определить направление напряженности электрического поля на различных плоскостях изделия (рис. 6) при воздействии высокочастотного излучения. Теоретические и экспериментальные исследования показали, что напряженность в процессе контроля установлена в разных направлениях [13–14, 17–19], исходя из этого

можно сделать вывод, что, разогрев изделия происходит неравномерно.

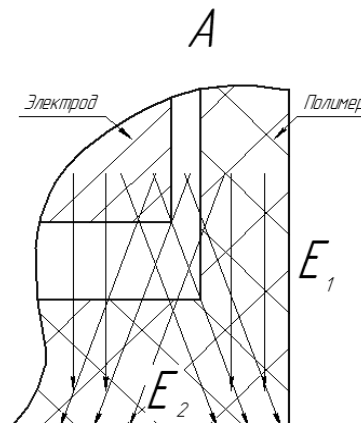


Рис. 6. Напряженность электрического поля в системе «электрод – воздушный зазор – полимер»

Таким образом, представим систему «электрод – воздушный зазор – полимер» в виде схемы замещения конденсаторов, образующихся в полимере и в воздушном зазоре (рис. 7) при диагностировании.

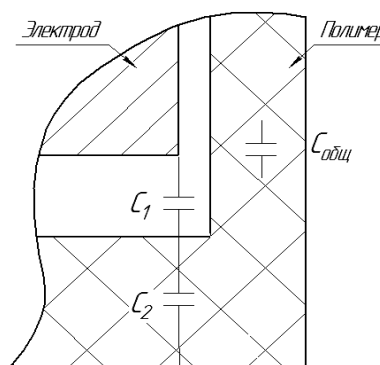


Рис. 7. Схема замещения системы «электрод – воздушный зазор – полимер»

Опираясь на схему, определяем общее значение емкости последовательного соединения конденсаторов системы «электрод – полимер – воздушный зазор». Из представленных выражений следует:

$$C_{\text{общ}} = \frac{\epsilon_1 \epsilon_0 S \epsilon_2}{d_2 \epsilon_1 + d_1 \epsilon_2} \quad (5)$$

Полученное выражение дает возможность определить суммарную емкость любой системы последовательно соединенных конденсаторов при диагностировании. Однако, так как изделие имеет сложную конфигурацию, следует учесть изменение воздушного зазора и полярность конденсаторов в системе «электрод – воздух – полимер» (рис. 8).

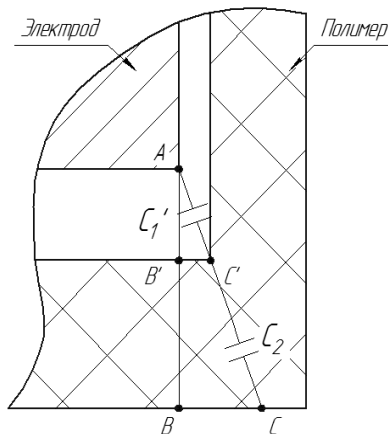


Рис. 8. Расстояние воздушного зазора и полярность конденсаторов в системе

Для определения величины изменения расстояния между обкладками в зависимости от ширины воздушного зазора был рассмотрен вспомогательный треугольник ABC (см рис. 8), (рис. 9).

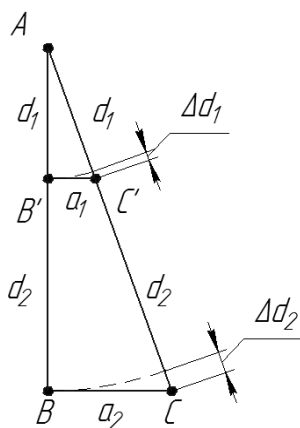


Рис. 9. Вспомогательный треугольник ABC

С учетом описанного и согласно выражению (5) была найдена величина приращения воздушного зазора Δd_1 :

$$\Delta d_1 = \sqrt{d_1^2 + a_1^2} - d_1. \quad (6)$$

Установлено приращение Δd_2 в полимерной накладке:

$$\Delta d_2 = \sqrt{d_2^2 + a_2^2} - d_2. \quad (7)$$

Найдены значения конденсаторов в приращенной части воздушного зазора:

$$C'_1 = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d_1 + \Delta d_1}. \quad (8)$$

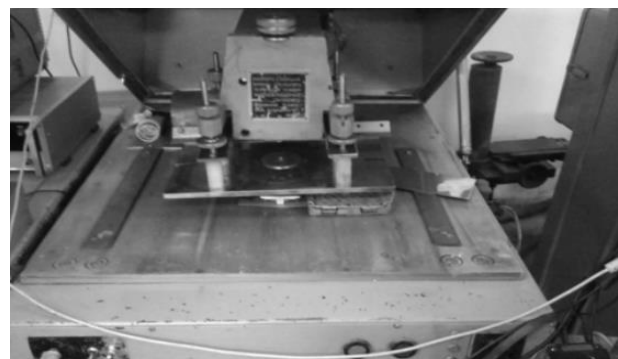
$$C'_2 = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d_2 + \Delta d_2}. \quad (9)$$

Далее была найдена общая емкость последовательного соединения элементарных плоских кон-

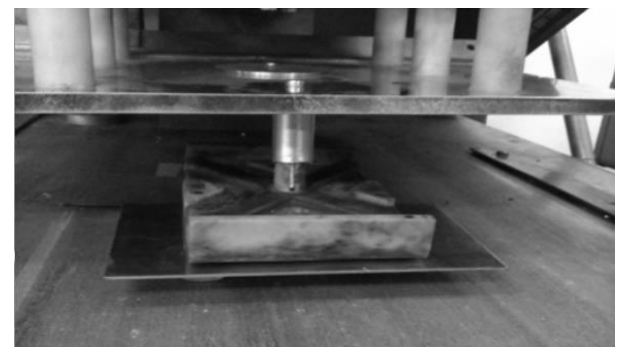
денсаторов. В зависимости от расстояния воздушного зазора между электродом и диэлектриком:

$$C_{\text{общ}} = \frac{\epsilon_1 \epsilon_0 S \epsilon_2}{(d_2 + \Delta d_2) \epsilon_1 + (d_1 + \Delta d_1) \epsilon_2}. \quad (10)$$

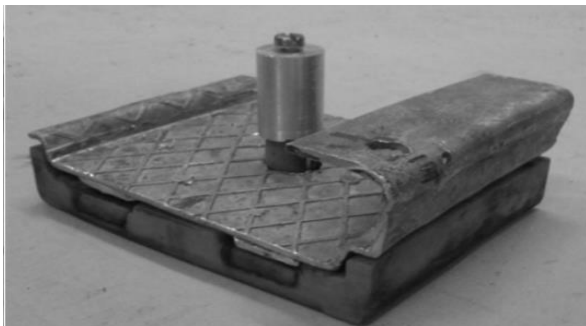
Приведенные расчеты позволили перейти к проектированию электродов для организации процесса диагностирования полимерной накладки путем равномерного разогрева высокочастотным полем. Таким образом, для поверхностей полимерного изделия в совокупности с оснасткой, представляющей из себя пространственную схему конденсаторов, определена величина емкости с целью обеспечения постоянного и равного распределения воздействия высокочастотного излучения по всей поверхности детали [20]. В результате была получена пространственная схема конденсаторов одинаковых емкостей, равных 0,036 пФ. Такая конструкция позволяет производить высокочастотный контроль одновременно всех соединенных с электродами элементов накладки за один цикл. Разработанная методика подбора оснастки и расчета воздушного зазора применима к полимерам различных марок и изделиям сложной конфигурации. Из представленных результатов исследования была также решена подзадача изготовления технологической оснастки для проведения экспериментального диагностирования (рис. 10).



а



б



6

Рис. 10. Технологическая оснастка для экспериментального диагностирования

Заключение

Проведенные экспериментальные исследования позволили подтвердить принятые решения и теоретические исследования. Результаты диагностирования показали, что высокочастотное поле на объект контроля воздействует равномерно, использование разработанной оснастки позволяет производить диагностику изделий в промышленных условиях без повреждения, выявлять дефекты различного рода и характера, тем самым повышать качество изделий при их производстве, эксплуатации и в ходе ремонтных работ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Воротилкин А.В., Каргапольцев С.К., Гозбенко В.Е. Математическая модель динамического взаимодействия в системе "колесо-рельс" с учетом их лубрикации. Депонированная рукопись № 152-В2006 13.02.2006
2. Воротилкин А.В., Гозбенко В.Е., Каргапольцев С.К., Хоменко А.П., Корчевин Н.А. Композиция для снижения износа в паре трения колесо – рельс. Патент на изобретение RU 2318013 С1, 27.02.2008. Заявка № 2006131639/04 от 01.09.2006.
3. Gozbenko V.E., Khomenko A.P., Kargapoltsev S.K., Minaev N.V., Karlina A.I. Creating of the alternative lubricants and practice of their use. International Journal of Applied Engineering Research. 2017. Т. 12. № 22. С. 12369-12372.
4. Khomenko A.P., Gozbenko V.E., Kargapoltsev S.K., Minaev N.V., Karlina A.I. Comparative analysis of simulation results and test of the dynamics of the wheelset. International Journal of Applied Engineering Research. 2017. Т. 12. № 23. С. 13773-13778.
5. Лившиц А.В., Филиппенко Н.Г., Каргапольцев С.К. Высокочастотная обработка полимерных материалов. Организация систем управления. Иркутск : Изд-во ИрГУПС, 2013.
6. Лившиц А.В. Управление технологическими процессами высокочастотной электротермии полимеров // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2015. № 3. С. 120–126.
7. Попов С.И., Лившиц А.В., Филиппенко Н.Г. Восстановление подшипников буксовых узлов подвижного состава // Сб. науч. тр. SWorld. 2012. Т. 2. № 3. С. 39–42.
8. Лившиц А.В. Автоматизированная система научных исследований высокочастотной электротермии // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2015. № 4. С. 54–60.
9. Филиппенко Н.Г. Методика автоматизации процесса электротермического нагрева полимерных материалов // Автоматизация. Современные технологии. 2017. Т. 71. № 7. С. 291–295.
10. Ларченко А. Г. Автоматизированное устройство диагностирования полимерных изделий сложной конфигурации методом высокочастотного излучения // Контроль. Диагностика. 2016. № 2. С. 61–65.
11. Пат. 132209 РФ МПК G01N29/04. Устройство диагностики деталей из полиамидных материалов / А. Г. Ларченко, А. В. Лившиц, С. И. Попов. № 2013115531/28 ; заявл. 2013.04.05 ; опубли. 10.09.2013, № 132209.
12. Филатова С.Н., Бычковский В.С. Баканин Д.В. Использование высокочастотного нагрева при изготовлении сэндвич-панелей с утеплителем на основе кремнеосодержащих отходов производств // Инновации и обеспечение безопасности эксплуатации современных железных дорог : материалы XI Междунар. симпозиума. Иркутск, 2018.
13. Ларченко А. Г. Система автоматизированного управления высокочастотным диагностированием при производстве и эксплуатации изделий из полимерных материалов : дис. ... канд. тех. наук: 05.13.06 / А. Г. Ларченко. Иркутск, 2014. 164 с.
14. Лившиц А. В. Несимметричные термоизоляторы при высокочастотной электротермии полимеров // Наука и образование. 2014. № 5. С. 31–40.
15. Быков Б. В. Конструкция тележек грузовых и пассажирских вагонов. М. : Маршрут, 2004. 36 с.
16. Каргапольцев С.К. Остаточные деформации при фрезеровании маложестких деталей с подкреплением. Научный редактор А.И. Промптов. Иркутск, 1999.
17. Butorin D. V. Mathematical modeling of electrothermic processes on the example of high-frequency welding of the party of polymeric products // Recent trend in Science and Technology management : the collection includes 7th International Conference London : SCIEURO, 2018. P. 49–59.
18. Butorin D. V. Automation of the Process of Control of States of Polymer Materials at Electrothermal Treatment // Proceedings of the 6th International Symposium on Innovation and Sustainability of Modern Railways, ISMR 2018. Russia, Irkutsk, 25-28 september, 2018. Beijing: China Railway Publishing House, 2018. P. 306–309
19. Livshits A. V. Mathematical modeling of the processes of the high-frequency heating of thermoplasts and quality improvement of welded polymeric items // JP Journal of Heat and Mass Transfer. Allahabad : Pushpa Publishing House, 2017.
20. Лившиц А. В. Исследование процесса высокочастотной электротермии термопластов на основе его математического моделирования. // Системы. Методы. Технологии. 2014. № 2 (22). С. 90–98.

REFERENCES

1. Vorotilkin A.V., Kargapoltsev S. K., Gozbenko V. E. Mathematical model of dynamic interaction in the "wheel-rail" system taking into account their lubrication. Deposited manuscript No. 152-In 2006 13.02.2006



2. The Vorotilkin, A. V., Gasenko V. E., Kargapol'tsev S. K., Khomenko A. P., Korchevin N. And. Composition for reducing wear in a friction pair wheel – rail. The patent for the invention EN 2318013 C1, 27.02.2008. Application no. 2006131639/04 dated 01.09.2006.
3. Gozbenko V.E., Khomenko A.P., Kargapol'tsev S.K., Minaev N.V., Karlina A.I. Creating of the alternative lubricants and practice of their use. International Journal of Applied Engineering Research. 2017. T. 12. № 22. С. 12369-12372.
4. Khomenko A.P., Gozbenko V.E., Kargapol'tsev S.K., Minaev N.V., Karlina A.I. Comparative analysis of simulation results and test of the dynamics of the wheelset. International Journal of Applied Engineering Research. 2017. T. 12. № 23. С. 13773-13778.
5. Livshits A.V., Filippenko N.G., Kargapol'tsev S.K. Vysokochastotnaya obrabotka polimernykh materialov. Organizatsiya sistem upravleniya [High-frequency processing of polymeric materials. Organization of control systems]. Irkutsk 2013.
6. Livshits A.V. Upravlenie tekhnologicheskimi protsessami vysokochastotnoi elektrotermii polimerov [Control of technological processes of high-frequency electrothermal polymers]. Problemy mashinostroeniya i avtomatizatsii [Engineering and automation problems], 2015. No. 3, pp. 120-126.
7. Popov S.I., Livshits A.V., Filippenko N.G. Vosstanovlenie podshipnikov buksovykh uzlov podvizhnogo sostava [Restoration of bearings of axlebox units of rolling stock]. Sbornik nauchnykh trudov SWorld [Collection of scientific papers SWorld], 2012. Vol. 2. No. 3, pp. 39-42.
8. Livshits A.V. Avtomatizirovannaya sistema nauchnykh issledovaniy vysokochastotnoi elektrotermii [Automated system for scientific research of high-frequency electrothermia]. Problemy mashinostroeniya i avtomatizatsii [Engineering and automation problems], 2015. No. 4, pp. 54-60.
9. Filippenko N.G. Metodika avtomatizatsii protsessa elektrotermicheskogo nagreva polimernykh materialov [Technique of automation of the process of electrothermal heating of polymeric materials]. Avtomatizatsiya. Sovremennye tekhnologii [Automation. Modern technologies], 2017. Vol. 71. No. 7, pp. 291-295.
10. Larchenko A. G. Avtomatizirovannoe ustroystvo diagnostirovaniya polimernykh izdelii slozhnoi konfiguratsii metodom vysokochastotnogo izlucheniya [An automated device for diagnosing polymer products of complex configuration by high-frequency radiation]. Kontrol'. Diagnostika [Control. Diagnostics], 2016. No. 2, pp. 61 – 65.
11. Larchenko A. G., Livshits A. V., Popov S. I. Ustroystvo diagnostiki detalei iz poliamidnykh materialov [Diagnostic device for parts made of polyamide materials]. Pat. 132209 RF MPK G01N29/04. Applied Sept 10, 2013, No.132209.
12. Filatova S.N., Bychkovskii V.S. Bakanin D.V. Ispol'zovanie vysokochastotnogo nagreva pri izgotovlenii sendvich-panelei s uteplitelem na osnove kremosoderzhashchikh otkhodov proizvodstv [The use of high-frequency heating in the manufacture of sandwich panels with insulation based on cream-containing industrial waste]. XI Mezhdunarodnyi simpozium «Innovatsii i obespechenie bezopasnosti ekspluatatsii sovremennykh zheleznykh dorog» [XI International Symposium "Innovations and ensuring the safety of modern railways], 2018.
13. Larchenko A. G. Sistema avtomatizirovannogo upravleniya vysokochastotnym diagnostirovaniem pri proizvodstve i ekspluatatsii izdelii iz polimernykh materialov: dis. ... kand. tekhn. nauk [The system of automated control of high-frequency diagnostics in the production and operation of products from polymeric materials: Ph.D. (Engineering) diss.]: 05.13.06; Irkutsk, 2014. 164 p.
14. Livshits A. V. Nesimmetrichnye termoizolyatory pri vysokochastotnoi elektrotermii polimerov [Asymmetric thermal insulators in high-frequency electrothermal polymers]. Nauka i obrazovanie: nauchnoe izdanie MGTU im. N.E. Baumana [Science and education: N.E. Bauman MSTU scientific publication], 2014. No. 5, pp. 31-40.
15. Bykov B. V. Konstruktsiya telezhek gruzovykh i passazhirskikh vagonov: Illyustrirovannoe uchebnoe posobie [The design of bogies of freight and passenger cars: An illustrated study guide]. Moscow: Marshrut Publ., 2004. — 36 p.
16. Kargapol'tsev S. K. Residual deformations during milling of low-rigid parts with reinforcement. Scientific editor A. I. Prompt. Irkutsk, 1999.
17. Butorin D. V. Mathematical modeling of electrothermic processes on the example of high-frequency welding of the party of polymeric products. The collection includes 7th International Conference «Recent trend in Science and Technology management» by SCIEURO in London, 27-29 July 2018. London: SCIEURO, 2018, pp. 49-59.
18. Butorin D. V. Automation of the Process of Control of States of Polymer Materials at Electrothermal Treatment. Proceedings of the 6th International Symposium on Innovation and Sustainability of Modern Railways, ISMR 2018 (Russia, Irkutsk, 25-28 September, 2018). Beijing: China Railway Publishing House, 2018. Pp. 306-309
19. Livshits A. V. Mathematical modeling of the processes of the high-frequency heating of thermoplasts and quality improvement of welded polymeric items. JP Journal of Heat and Mass Transfer, 2017. Pushpa Publishing House, Allahabad, India.
20. Livshits A. V. Issledovanie protsessa vysokochastotnoi elektrotermii termoplastov na osnove ego matematicheskogo modelirovaniya [Investigation of the process of high-frequency electrothermal thermoplastics based on its mathematical modeling]. Sistemy. Metody. Tekhnologii [Systems. Methods. Technologies], 2014. No. 2 (22), pp. 90-98.

Информация об авторах

Ларченко Анастасия Геннадьевна – к. т. н., доцент кафедры автоматизации производственных процессов, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: Larchenkoa@inbox.ru.

Филиппенко Николай Григорьевич – к. т. н., доцент кафедры автоматизации производственных процессов, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: Pentagon@mail.ru.

Для цитирования

Ларченко А. Г. Разработка методики расчета и проектирования технологического оснащения повышения качества полимерных изделий сложной конфигурации / А. Г. Ларченко, Н. Г. Филиппенко // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2019. – Т. 64, № 4. – С. 29–35. – DOI: 10.26731/1813-9108.2019.4(64).29-35



Authors

Anastasiya Gennad'evna Larchenko – Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of the Subdepartment of Automation of Production Processes, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: Larchenkoa@inbox.ru

Nikolai Grigor'evich Filippenko – Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of the Subdepartment of Automation of Production Processes, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: Pentagon@mail.ru

For citation

Larchenko A. G., Filippenko N. G. Razrabotka metodiki rascheta i proyektirovaniya tekhnologicheskogo osnashcheniya povysheniya kachestva polimernykh izdeliy slozhnoy konfiguratsii [Development of methods of calculation and design of technological support and improving the quality of polymeric products of complex configuration]. *Sovremennyye tekhnologii. Sistemyi analiz. Modelirovaniye* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2019. Vol. 64, No. 4. Pp. 29–35. DOI: 10.26731/1813-9108.2019.4(64).29-35

УДК 621.311.1:621.372

DOI: 10.26731/1813-9108.2019.4(64).36–43

Нго Ван Кыонг¹, Л. И. Коверникова^{1,2}

¹ Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Российская Федерация

² Институт систем энергетики им. Л. А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук,

г. Иркутск, Российская Федерация

Дата поступления: 05 мая 2019 г.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕСИНУСОИДАЛЬНОГО РЕЖИМА СЕТИ НА СИЛОВЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Аннотация. В настоящее время параметры режимов электрических сетей часто не удовлетворяют требованиям ГОСТа 32144-2013 в России и руководящим указаниям № 39/2015/ТТ-ВСТ и №25/2016/ТТ-ВСТ во Вьетнаме. В реальных эксплуатационных условиях в электрических сетях имеет место несинусоидальный режим, следствием которого являются гармоники напряжения и тока. Гармоники вызывают перегрев и повреждение силовых трансформаторов, поскольку создают дополнительные потери активной мощности, включающие потери холостого хода, нагрузочные резистивные потери и потери на вихревые токи в обмотках и в других элементах трансформатора. Дополнительные потери вызывают выделение дополнительного тепла, что ускоряет процесс старения изоляции обмоток и магнитопроводов силовых трансформаторов, а в результате, приводит к сокращению сроков службы. Проблема негативного влияния гармоник напряжения и тока на электрооборудование, на эффективность использования электрической энергии в последнее время все чаще ставится в российских публикациях, на конференциях, в органах государственной власти. Потребители обращаются в суды с претензиями к энергоснабжающим организациям, поставляющим им электрическую энергию, которая не соответствует требованиям ГОСТа 32144-2013. В связи с этим возникает необходимость разработки научных методик, которые бы показывали, что некачественная электрическая энергия может привести, например, к сокращению срока службы электрооборудования. В настоящее время разрабатываются автоматизированные системы непрерывного мониторинга показателей качества электрической энергии и параметров режима в электрических сетях. Они могут быть дополнены программами расчета характеристик, сигнализирующих о негативном влиянии гармоник напряжения и тока на различное электрооборудование как энергоснабжающих организаций, так и потребителей электрической энергии. Для прогнозирования влияния гармоник напряжения и тока на силовые трансформаторы может быть использована представленная в статье компьютерная программа. В программе используются характеристики, с помощью которых оценивается и прогнозируется влияние гармоник напряжения и тока на силовые трансформаторы. Программа «Прогнозирование влияния параметров несинусоидального режима на силовые трансформаторы» разработана на основе пакетов программ MS Excel и Matlab. С помощью программы в качестве примера вычислены прогнозы оценок влияния гармоник напряжения и тока на силовой трансформатор, установленный на одной из тяговых подстанций железной дороги. Параметры гармоник напряжения и тока, использованные при расчете, получены в результате измерений в узле присоединения тягового трансформатора к питающей сети. Результаты расчетов показывают, что уровень гармоник напряжения и тока, имевший место в момент измерений, может привести к сокращению срока службы силового трансформатора на 6,98 лет.

Ключевые слова: качество электрической энергии, несинусоидальный режим, гармоники напряжения и тока, измерения, потери активной мощности, силовой трансформатор, сокращение срока службы, энергоэффективность трансформатора.

Ngo Van Cuong¹, L. I. Kovernikova^{1,2}

¹ Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, the Russian Federation

² Melentiev Energy Systems Institute SB RAS, Irkutsk, the Russian Federation

Received: May 05, 2019

PREDICTION OF THE INFLUENCE OF THE NON-SINUSOIDAL NETWORK MODE ON POWER TRANSFORMERS