



Оригинальная статья / Original article

УДК 620.192

DOI: <http://dx.doi.org/10.21285/1814-3520-2019-3-463-471>

Оценка качества изделий из полимерных материалов машиностроительного назначения

© А.Г. Ларченко

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Россия

Резюме: Цель исследования – создание методики определения входных параметров высокочастотного оборудования (для реализации диагностирования в режиме автоматизации), повышение качества изделий из полимерных материалов в условиях современного производства. В представленной научной работе рассматривается высокочастотный метод контроля изделий из полимерных композиционных материалов. Приводится обоснование выбора метода высокочастотного диагностирования как наиболее подходящего для проведения неразрушающего контроля. Описываются существующие проблемы технологических операций диагностирования и улучшения эксплуатационных свойств полимеров. Поставленная цель достигается путем анализа исследовательских работ, а также проведенных экспериментальных исследований в данной области. Описываются основные параметры контроля и процесс воздействия высокочастотного излучения на изделия различных форм и размеров. В работе представлены графические результаты. Создан программный комплекс, реализующий расчет параметров диагностирования изделий в режиме автоматизации, описываются результаты экспериментальных исследований с целью подтверждения выдвинутых гипотез и принятых математических решений выбора входных параметров. Была создана методика определения и установки главных параметров высокочастотного оборудования с целью реализации диагностирования и повышения эксплуатационных свойств в режиме автоматизации.

Ключевые слова: машиностроение, диагностирование, контроль, высокочастотное излучение, высокочастотное оборудование, полимер

Информация о статье: Дата поступления 28 февраля 2019 г.; дата принятия к печати 13 марта 2019 г.; дата онлайн-размещения 28 июня 2019 г.

Для цитирования: Ларченко А.Г. Оценка качества изделий из полимерных материалов машиностроительного назначения. *Вестник Иркутского государственного технического университета*. 2019;23(3):463–471. DOI: 10.21285/1814-3520-2019-3-463-471

Quality assessment of products from polymeric materials designed for engineering purposes

Anastasia G. Larchenko

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russia

Abstract: The purpose of this paper is to develop a methodology for determining the input parameters of high-frequency equipment in order to perform diagnostics in the automatic mode as well as to improve the quality of products made of polymeric materials under conditions of modern production. Having considered a high-frequency control method for the products from polymer composite materials the paper substantiates the choice of the high frequency diagnostic method as the most suitable for non-destructive testing. Description is also given to the existing problems of technological operations of diagnosing and improving of polymer operational properties. The set goal is achieved through the analysis of research works and conducted experimental studies in this area. The main control parameters and the process of high-frequency radiation exposure of the products of various shapes and sizes are specified. The paper presents graphic results. A software package has been created that calculates the parameters of product diagnosing in the automation mode. The results of experimental studies are provided and estimated in order to prove the hypotheses put forward and the adopted mathematical solutions for input parameter selection. A methodology has been developed for determining and setting the main parameters of high-frequency equipment in order to implement the diagnosing and improve operational properties in the automation mode.

Keywords: mechanical engineering, diagnostics, control, high-frequency radiation, high-frequency equipment, polymer

Information about the article: Received February 28, 2019; accepted for publication March 13, 2019; available online June 28, 2019.

For citation: Larchenko A.G. Quality assessment of products from polymeric materials designed for engineering purposes. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* = *Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2019;23(3):463–471. (In Russ.) DOI: 10.21285/1814-3520-2019-3-463-471

1. ВВЕДЕНИЕ

В последнее время в машиностроительной отрасли значительно изменилась функция полимерных композиционных материалов. Использование полимеров позволяет решать все более сложные задачи. С каждым годом композиционные материалы улучшают свои механические свойства и активно используются для изготовления конструктивно сложных крупногабаритных деталей [1, 2]. В машиностроении появились полиамидные сепараторы, втулки подвески тормозного башмака боковой рамы, демпферы скользуна тележки, упруго-катковые скользуны-демпферы, износостойкие вставки адаптера кассетной буксы, накладки фрикционного клина.

Повышенный уровень технологических операций диагностирования обеспечивает высокое качество изделий из полимерных материалов при изготовлении и в ходе выполнения ремонтных работ, но трудоемкость некоторых методов контроля весьма велика, а в некоторых случаях достигает более 15% от общих трудозатрат. Кроме этого, не все существующие методы контроля позволяют в полной мере выявить разнородные дефекты сложного характера, возникающие вследствие несовершенства технологических процессов, а также при воздействии эксплуатационных факторов, что, в свою очередь, приводит к значительным экономическим потерям, непредвиденному расходу запасных частей, снижению качества выпускаемой продукции, а в некоторых случаях и к аварийным ситуациям.

В соответствии с проведенным литературно-патентным обзором, одним из путей решения задач диагностирования полимерных изделий является использование радиофизического метода контроля, основанного на непрерывном воздействии проникающего высокочастотного электрического поля. В результате присутствующей поляризации в процессе контроля изделие

нагревается, а в местах нарушения сплошности материала появляется скачкообразное увеличение электрической проводимости (микроразряды). Данный метод позволяет выявлять дефекты без механического воздействия, восстанавливать свойства полимерных изделий, снижать время и затраты на испытания [3–6]. Но, несмотря на внушительную практическую значимость метода, оборудование для реализации процесса контроля токами высокой частоты на современном рынке представлено в очень ограниченном количестве, а вопросы определения входных параметров электротермических устройств при осуществлении автоматизированного управления остаются открытыми [7–9]. Исходя из вышесказанного, была поставлена цель создания методики определения входных параметров высокочастотного оборудования для реализации управления процессом диагностирования в режиме автоматизации и повышения качества изделий из полимерных материалов в условиях производства.

2. УСТРОЙСТВО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПОЛИМЕРОВ. СОЗДАНИЕ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ

Для достижения поставленной цели необходимо было произвести ряд теоретических и экспериментальных исследований. Изучения проводились на запатентованном в рамках научной работы устройстве диагностирования изделий из полимерных композиционных материалов (рис. 1), основными элементами которого являются: рабочий конденсатор (1), таймер (2), привод (3), генератор высокочастотного излучения (4), регулятор конденсатора переменной емкости (5), блок автоматизации (6), переменный конденсатор (7), фидер (8). Основные характеристики, принцип работы, а также сопутствующее программное обеспечение представлены в исследованиях [10–15]. Со-



гласно полученным экспериментальным результатам и теоретическим данным, основным входным параметром процесса диагностирования (применительно к разработанному устройству) является мгновенная потребляемая мощность, которая зависит от двух составляющих – удельной мощности и объема контролируемого изделия [13]. При диагностировании объектов контроля различной геометрической формы необходимо сохранить условие неизменности зависимости мгновенной потребляемой мощности $P_{\text{МПМЭ}}$ от времени воздействия высокочастотного излучения. Отсюда процесс воздействия можно представить в следующем виде [3]:

$$P_{\text{МПМЭ}} = P_{\text{МПМ}}, \quad (1)$$

$$\left(5,53 \cdot 10^{-11} \left(\frac{U_3}{d_3} \right) \cdot f \cdot \varepsilon' \cdot \text{tg} \delta \right) \cdot V_3 = \left(5,53 \cdot 10^{-11} \left(\frac{U}{d} \right) \cdot f \cdot \varepsilon' \cdot \text{tg} \delta \right) \cdot V, \quad (2)$$

где U_3 – напряжение эталонного изделия, В; U – напряжение объекта контроля, В; d_3 – высота эталонного изделия, мм; d – высота

объекта контроля, мм; f – частота поля, Гц; ε' – относительная диэлектрическая проницаемость; $\text{tg} \delta$ – тангенс угла диэлектрических потерь; V_3 – объем эталонного изделия, мм³; V – объем объекта контроля, мм³.

Согласно алгебраическим преобразованиям,

$$\left(\frac{U_3}{d_3} \right) \cdot V_3 = \left(\frac{U}{d} \right) \cdot V. \quad (3)$$

Исходя из вышеизложенного,

$$U = \sqrt{\frac{31242,706 \cdot d}{S}}. \quad (4)$$

Для реализации процесса контроля изделий необходимо установить напряжение на обкладках рабочего конденсатора в соответствии с выражением 4. Установка напряжения на устройстве диагностирования осуществляется переменным конденсатором (рис. 2), состоящим из двух токопроводящих пластин (2, 3), одна из которых (2), вращаясь в зависимости от регулятора емкости (1), изменяет угол относительно другой (3).

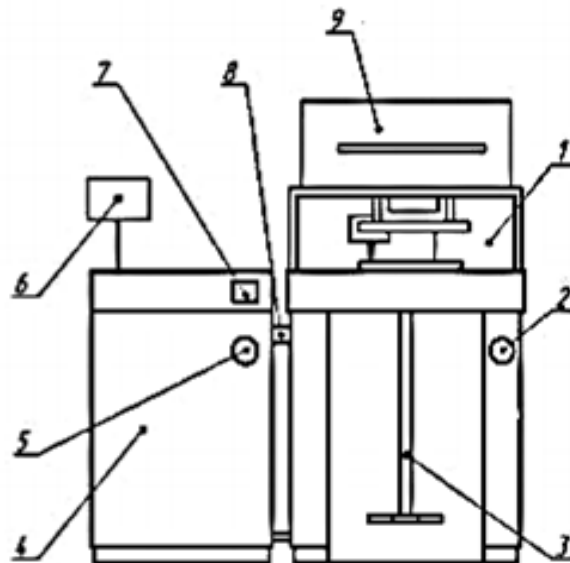


Рис. 1. Схема устройства контроля полимерных изделий машиностроительного назначения
Fig. 1. Diagram of the control device of polymer products designed for engineering purposes

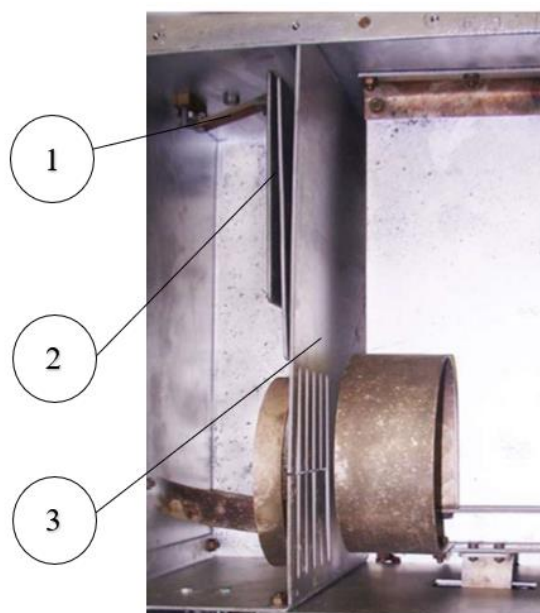


Рис. 2. Конденсатор переменной емкости устройства диагностирования полимерных изделий
 Fig. 2. Continuously adjustable capacitor of the diagnostic device for polymer products

Необходимо отметить, что с изменением угла между пластинами емкость рабочего конденсатора изменяется нелинейно. Максимальное значение емкости достигается при минимальном значении угла наклона, что, в свою очередь, соответствует максимальному значению напряжения. Максимальное напряжение равно значению 4000 В, при емкости равной 105 пФ [3]. Минимальное расстояние между пластинами составляет 3 мм, угол поворота варьируется от 0 до 15°. Для удобства расчета пластины конденсатора были разбиты на элементарные поверхности. Ширина простейшего конденсатора на высоте 0–45 мм равна 110 мм, при высоте от 45–230 составляет 165 мм. Емкость переменного конденсатора соответствует выражению:

$$C_{н.к.} = \sum_{i=1}^{230} \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot b_i}{d + l_i \cdot \operatorname{tg} \alpha}, \quad (5)$$

где ε – диэлектрическая проницаемость; l_i – расстояние до i -го конденсатора мм; ε_0 – диэлектрическая постоянная; d – расстояние между пластинами мм; b – ширина конденсатора мм; α – угол поворота.

На рис. 3. представлены графиче-

ские результаты расчетной зависимости емкости от угла поворота подвижной пластины. Исходя из графика, следует вывод о том, что чем меньше угол между токопроводящими пластинами, тем выше значение емкости.

Важно учесть, что конденсатор в цепи переменного тока обладает реактивным сопротивлением, изменяющимся в зависимости от частоты переменного тока:

$$R_c = \frac{1}{2\pi f C}. \quad (6)$$

Так как с изменением положения подвижной пластины конденсатора изменяется емкость, из выражения (3) была определена зависимость напряжения от угла поворота [3].

Данные расчеты и графики позволяют контролировать изделия различной формы и размеров в течение установленного периода. Оптимальное время контроля (исходя из экспериментальных данных) составляет 111 с [13]. Данное время позволяет выявлять дефекты различного рода и проводить диагностирование без структурных и фазовых изменений.

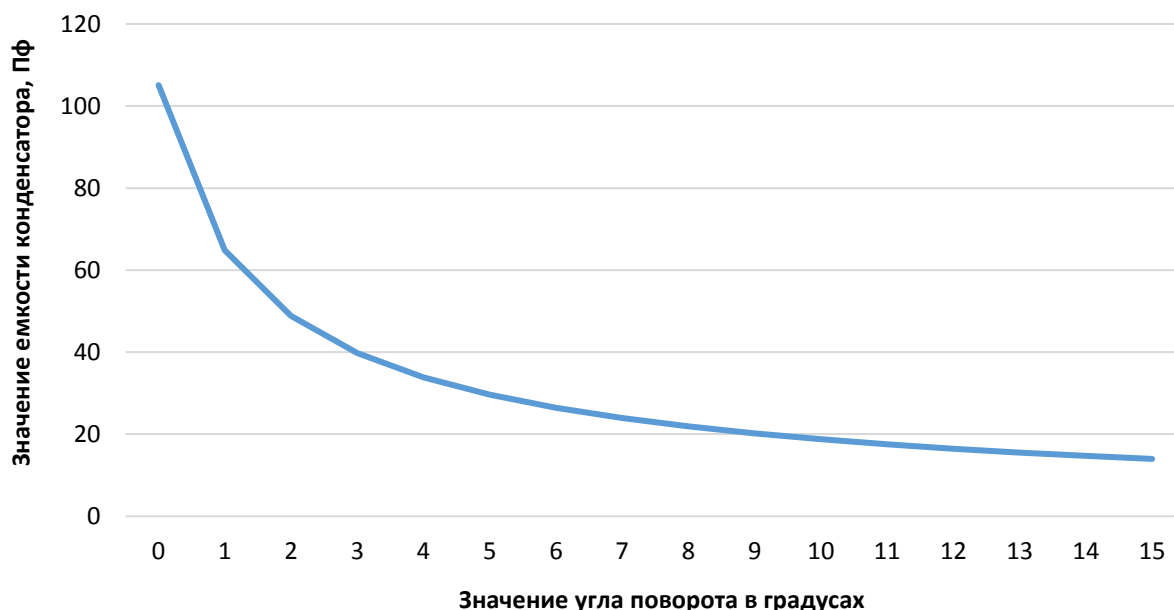


Рис. 3. Зависимость емкости от угла между токопроводящими пластинами
Fig. 3. Dependence of capacitance on the angle between the conductive plates

3. ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ALEO-DIAGNOST. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ. ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Для удобства расчетов и установки параметров диагностирования в рамках исследования был разработан и зарегистрирован программный комплекс Aleo-Diagnost. Алгоритм использования программного комплекса представлен на рис. 4.

Использование полученных результатов и программного комплекса значительно упрощает организацию процесса диагностирования в режиме автоматизации, а также допускает исследование процесса воздействия высокочастотного излучения на изделия различной конфигурации с целью улучшения качества изделий и восстановления эксплуатационных свойств. Непосредственно для исследования процесса воздействия высокочастотного поля и изучения возможностей программного комплекса в работе были рассмотрены изделия различной конфигурации. Для каждого изделия были найдены параметры диагностиро-

вания в режиме автоматизации. Полученные данные говорят о том, что с увеличением высоты контролируемых изделий возрастает рабочее напряжение и уменьшается удельная потребляемая мощность, но, если высота остается постоянной, а изменяются другие геометрические параметры (например, диаметр), то рабочее напряжение и удельная мощность изменяются в меньшую сторону. Для подтверждения расчетов и выдвинутых гипотез была проведена серия экспериментов. Исследование заключалось в обработке (диагностировании) образцов различных геометрических размеров путем воздействия электрического поля и нагрева до температуры 202°C. Геометрические параметры первой группы образцов составляли: высота – 4 мм, диаметр – 30 мм, у второй группы высота – 4 мм, диаметр, в свою очередь, – 20 мм. Эксперименты проводились на устройстве диагностирования, угол поворота (согласно методике расчета входных параметров) составляет 3°, а рабочее напряжение 1020 В. На рис. 5 представлены образцы для исследования процесса воздействия высокочастотного излучения.

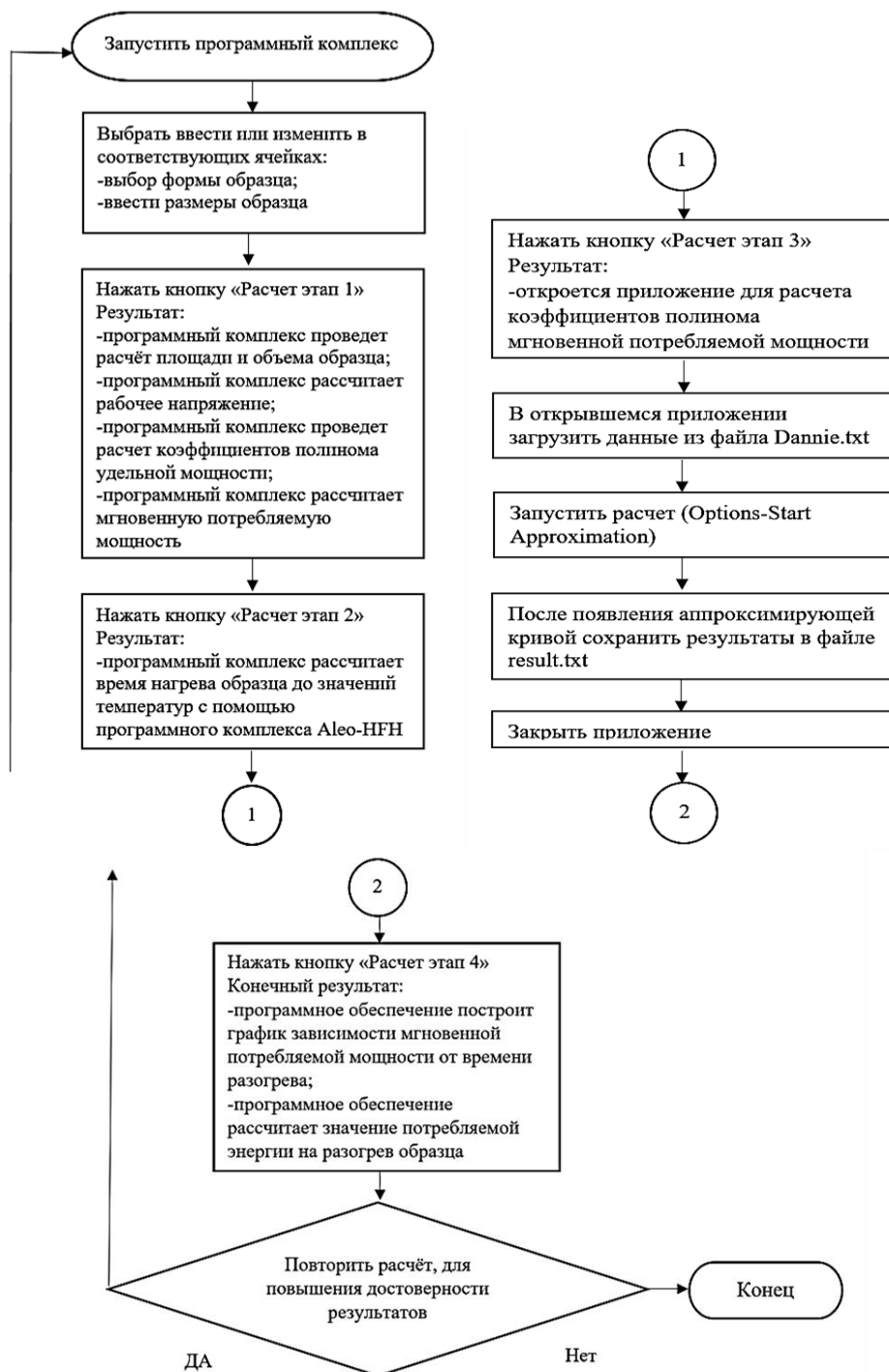


Рис. 4. Алгоритм использования комплекса Aleo-Diagnost
Fig. 4. Algorithm of use of the Aleo-Diagnost complex



Рис. 5. Образцы для исследования
Fig. 5. Samples for research

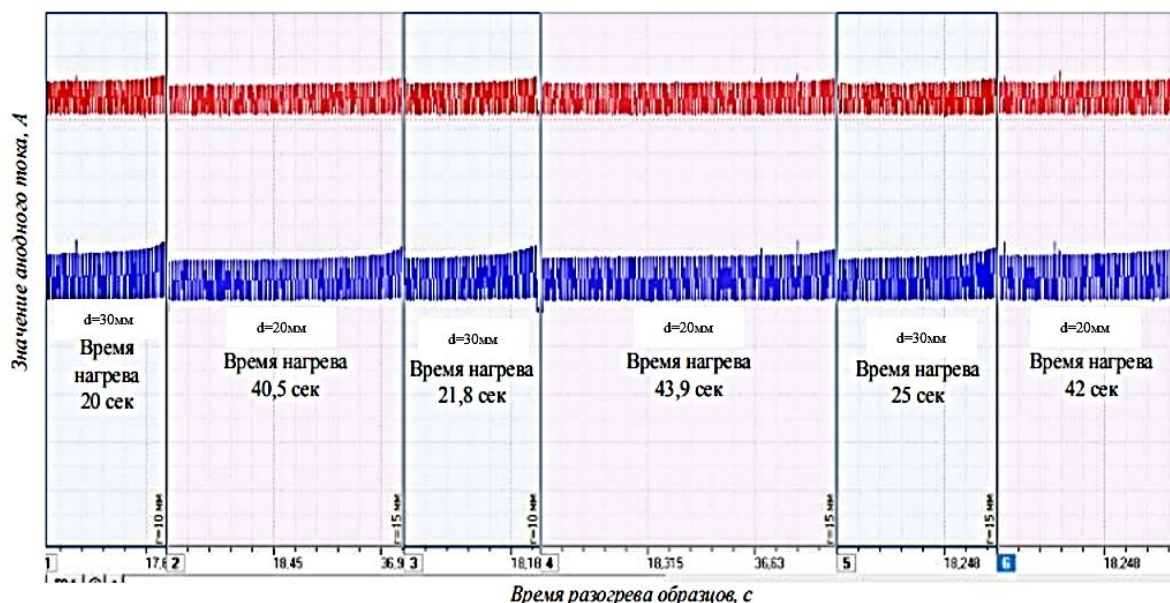


Рис. 6. Результаты нагрева образцов в процессе воздействия высокочастотного излучения
Fig. 6. Results of heating samples when exposed to high-frequency radiation

В результате воздействия высокочастотного излучения образцы нагреваются до температуры, не приводящей к расплавлению и не влияющей на эксплуатационные свойства полимера [3], на экране монитора изображается усредненный график основного параметра диагностирования – анодного тока в зависимости от времени разогрева. Экспериментальные результаты представлены на рис. 6. По завершении практических работ была проведена статистическая обработка данных. Таким образом, первая группа образцов диагностируется за $21,5 \pm 1,19$ с, а время для обработки образцов с диаметром 20 мм составляет $41,7 \pm 1,34$ с. Из вышеописанного следует, что при расчетном рабочем напряжении, составляющем 1020 В с углом поворота в 3° , образец с меньшим радиусом нагревается

дольше, что является основанием для выбора главного, основного параметра контроля токами высокой частоты – рабочего напряжения.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Авторами разработана методика расчета и установки входных параметров электротермического оборудования для организации управления процессом контроля. Созданная методика отличается установленной математической зависимостью подачи рабочего напряжения от формы и размеров объекта контроля. Представленный метод позволяет выявить разнородные дефекты в режиме автоматизации, что существенно облегчает использование высокочастотного контроля в промышленных масштабах машиностроительной отрасли.

Библиографический список

1. Мантия Ф. Вторичная переработка пластмасс / пер. с англ. Г.Е. Заикова. СПб.: Профессия, 2006. 400 с.
2. Рабек Я. Экспериментальные методы в химии полимеров / пер. с англ. В.В. Коршака. М.: Мир, 1983. 480 с.
3. Ohe T., Yoshimura Y. Microwave Irradiation onto Nylon 6 Fibers in Organic Solvent // Sen'i Gakkaishi. 2009. No. 1. P. 64–70.
4. Лившиц А.В., Филиппенко Н.Г., Каргапольцев С.К.

- Повышение эффективности высокочастотной обработки полимерных материалов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2011. № 4 (32). С. 50–54.
5. 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

(London, 27–29 July 2018). London, 2018. P. 49–59.
6. Лившиц А.В. Математическое моделирование процессов высокочастотного нагрева термопластов и повышение качества сварных полимерных деталей // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2014. № 2 (42). С. 115–120.
7. Филиппенко Н.Г. Математическая модель процесса высокочастотной обработки полимерных материалов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2012. № 1 (33). С. 76–79.
8. Aiqin Hou, Xiaojun Wang, Lianghua Wu Effect of microwave irradiation on the physical properties and morphological structures of cotton cellulose // Carbonate Polymers. 2008. P. 934–937.
9. Филиппенко Н.Г. Методика автоматизации процесса электротермического нагрева полимерных материалов // Автоматизация. Современные технологии. 2017. Т. 71. № 7. С. 291–295.
10. Пат. 132209, Российская Федерация, МПК G01N29/04. Устройство диагностики деталей из полиамидных материалов / А.Г. Ларченко, А.В. Лившиц, С.И. Попов, Н.Г. Филиппенко; заявитель и патентообладатель ФГБОУ Иркутский государственный университет путей сообщения. № 2013115531/28; заявл. 10.09.2013; опубл. 10.09.2013.
11. Ларченко А.Г. Автоматизированное выявление

дефектов в изделиях из полиамидных материалов методом высокочастотного излучения // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2014. № 41. С. 160–165.
12. Филиппенко Н.Г., Лившиц А.В., Машович А.Я. Автоматизация процесса высокочастотного нагрева материалов на промышленной установке УЗП 2500 адаптивным методом. Использование автоматизированной установки в лабораторных целях // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2011. № 2. С. 193–198.
13. Ларченко А.Г. Автоматизированное устройство диагностирования полимерных изделий сложной конфигурации методом высокочастотного излучения // Контроль. Диагностика. 2016. № 2. С. 61–65.
14. Филиппенко Н.Г. Системный подход к проблеме повышения эффективности автоматизированного управления процессом высокочастотной электротермии // Научная мысль. 2015. № 6. С. 43–54.
15. Livshits A.V., Filippenko N.G., Homenko A.P., Kargapol'tsev S.K., Gozbenko V.E., Dambaev Z.G. 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. Pushpa Publishing House, Allahabad, India. 2017. Vol. 14. No. 2. С. 219–226.

References

1. Mantia F. Recycling plastics, 2006, 400 p. (Russ. ed.: *Vtorichnaya pererabotka plastmass*. St. Petersburg, Profession Publ., 2006, 400 p.).
2. Rabek J. Experimental methods in chemistry of polymers, 1983, 480 p. (Russ. ed.: *Eksperimental'nyye metody v khimii polimerov*, Moscow, Mir Publ., 1983, 480 p.).
3. Ohe T., Yoshimura Y. Microwave Irradiation onto Nylon 6 Fibers in Organic Solvent. Sen'i Gakkaishi, 2009, no. 1, pp. 64–70.
4. Livshits A.V., Filippenko N.G., Kargapol'tsev S.K. Improving of effective processing of high-frequency currents of polymers. *Sovremennyye tekhnologii. Sovremennyy analiz. Modelirovaniye* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling]. 2011, no. 4 (32), pp. 50–54. (In Russ.).
5. Butorin D.V. Mathematical modeling of electrothermic processes on the example of high-frequency welding of the part of polymeric products. The collection includes 7th International Conference «Recent trend in Science and Technology management» by SCI-EURO (London, 27–29 July 2018). London, 2018, pp. 49–59.
6. Livshits A.V. Mathematical modeling of high-frequency heating of thermoplastics and improvement of quality of welded polymer parts. *Sovremennyye tekhnologii. Sovremennyy analiz. Modelirovaniye* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling]. 2014, no. 2, pp. 115–120. (In Russ.).
7. Filippenko N.G. Polymeric materials high-frequency processing mathematical model. *Sovremennyye tekhnologii. Sovremennyy analiz. Modelirovaniye* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling]. 2012, no.

1, pp. 76–79. (In Russ.).
8. Aiqin Hou, Xiaojun Wang, Lianghua Wu Effect of microwave irradiation on the physical properties and morphological structures of cotton cellulose. Carbonate Polymers, 2008, pp. 934–937.
9. Filippenko N.G. Automation methods of electrothermal heating of polymeric materials. *Avtomatizatsiya. Sovremennyye tekhnologii* [Automation. Modern technologies], 2017, no. 1, pp. 291–295. (In Russ.).
10. Larchenko A.G., Livshits A.V., Popov S.I., Filippenko N.G. *Ustroystvo diagnostiki detaley iz poliamidnykh materialov* [Device for diagnosing parts made of polyamide materials]. Patent RF, no. 132209, 2013.
11. Larchenko A.G. Automatic detection of defects in the product of polyamide materials by the method of high radiation. *Sovremennyye tekhnologii. Sovremennyy analiz. Modelirovaniye* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling]. 2014, no. 41, pp. 160–165. (In Russ.).
12. Filippenko N.G., Livshits A.V., Mashovich A.YA. Automation of process of high-frequency heating of materials on the plant UZP 2500 by adaptive method. Use of the automated equipment in the laboratory purposes. *Sovremennyye tekhnologii. Sovremennyy analiz. Modelirovaniye* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling]. 2011, no. 2 (30), pp. 193–198. (In Russ.).
13. Larchenko A.G. Automated device diagnostics polymer products of complex configuration by high-frequency radiation. *Kontrol'. Diagnostika* [Testing. Diagnostics]. 2016, no. 2, pp. 61–65. (In Russ.).
14. Filippenko N.G. System approach to the problem of



raising the effectiveness of automated control of high-frequency electroheat process. *Nauchnaya mysl* [Scientific Thought], 2015, no. 6, pp. 43–54. (In Russ.).

15. Livshits A.V., Filippenko N.G., Homenko A.P., Kargapoltsev S.K., Gozbenko V.E., Dambaev Z.G. 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*. Pushpa Publishing House, Allahabad, India. 2017. Vol. 14. No. 2. C. 219–226.

Критерии авторства

Ларченко А.Г. имеет на статью авторские права и несет ответственность за плагиат.

Authorship criteria

Larchenko A.G. has all author's rights and bears the responsibility for plagiarism.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

The author declares that there is no conflict of interests regarding the publication of this article.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Ларченко Анастасия Геннадьевна,
кандидат технических наук,
доцент кафедры автоматизации
производственных процессов,
Иркутский государственный университет
путей сообщения,
664074, г. Иркутск, Чернышевского, 15, Россия,
e-mail: larchenkoa@inbox.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Anastasia G. Larchenko,
Cand. Sci. (Eng.),
Associate Professor of the Department of Automation
of Production Processes,
Irkutsk State Transport University,
15 Chernyshevsky St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: larchenkoa@inbox.ru