

УДК 620.192

А.Г. Ларченко, Н.Г. Филиппенко, Д.С. Грамаков

Иркутский Государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, ул. Чернышевского 15.

Larchenkoa@inbox.ru, pentagon@mail.ru, mercurial3@mail.ru

ДИАГНОСТИКА ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ТРАНСПОРТЕ

Аннотация. В работе рассматривается сфера применения изделий из полимерных материалов. Описываются существующие проблемы технологических операций диагностирования, и улучшения эксплуатационных свойств полимеров. Поставлена цель повышения качества изготовления и ремонта полимерных изделий, путем усовершенствования операции диагностирования. Цель достигается путем анализа литературных источников, исследовательских работ в данной области, проведенных экспериментальных исследований. В научной работе представлен способ диагностирования полимерных изделий методом высокочастотного излучения, описаны основные параметры контроля и физический процесс воздействия. Даются описание разработанного в рамках исследования устройства диагностирования, представляется алгоритм контроля. В статье представлен способ преобразования и обработки основного диагностического параметра. Важная роль отведена изучению процесса диагностирования сложных геометрических изделий. Представлена методика конструирования технологической оснастки для осуществления процесса контроля.

Ключевые слова: диагностика, контроль, полимерные материалы, высокочастотное излучение, высокочастотное оборудование, анодный ток.

A. G. Larchenko, N. G. Filippenko, D. S. Gramakov

Irkutsk State University of Railway Transport, Irkutsk, Russian Federation

DIAGNOSTICS OF PRODUCTS MADE OF POLYMER MATERIALS IN TRANSPORT

Annotation. The paper considers the scope of application of products made of polymer materials. The existing problems of technological operations of diagnostics and improvement of operational properties of polymers are described. The goal is to improve the quality of manufacturing and repair of polymer products by improving the diagnosis operation. The goal is achieved by analyzing literature sources, research works in this field, and experimental studies. The paper presents a method for diagnosing polymer products by high-frequency radiation, describes the main control parameters and the physical process of exposure. The description of the diagnostic device developed in the framework of the study is given, and the control algorithm is presented. The article presents a method for converting and processing the main diagnostic parameter. An important role is assigned to the study of the process of diagnosing complex geometric products. The method of designing technological equipment for the control process is presented.

Keywords: diagnostics, control, polymer materials, high-frequency radiation, high-frequency equipment, anode current.

Введение. Постановка задач.

В современном транспортном машиностроении растёт область использования изделий из полимерных композиционных материалов. Примерами таких изделий является полиамидный сепаратор буксового узла и износостойкая полимерная накладка фрикционного

клина тележки грузовых вагонов. Свойства данных изделий уникальны, они обладают низкой теплопроводностью, высокой механической прочностью [1]. В представленных изделиях зачастую присутствуют дефекты, которые ухудшают физические, механические и эксплуатационные характеристики. На сегодняшний день сепараторы, накладки фрикционного клина и втулки после изготовления и при плановых видах ремонта подвергаются только визуальному контролю. А тем временем 23 сентября 2019 года на станции Тайшет отцеплен вагон в результате излома сепаратора. По причине образования трещины в сепараторе 13.10.2019 на станции Таловка остановлен поезд №1838. Наиболее часто встречаемые дефекты в полиамидном сепараторе представлены на рис.1. Исследования проводились на предприятии ремонтного профиля г Иркутск.

Анализ причин отказов, говорит о том, что для безопасной и надёжной работы изделия и узла в целом требуется разработка и внедрение нового метода контроля, применимого на всех стадиях жизненного цикла. В связи с вышесказанным поставлена цель повышения качества изготовления и ремонта полимерных изделий, путем усовершенствования операции диагностирования.



Рис. 1. Данные по выбраковке изделий из полимерных материалов

Устройство контроля. Алгоритм контроля. Экспериментальные исследования.

На основании физических явлений сопровождающих процесс высокочастотного проникновения электрического тока был создан и запатентован способ выявления дефектов типа металлические и воздушные включения. Способ включает в себя воздействие на объект контроля высокочастотного, электрического поля, путём помещения контролируемого изделия между двумя электродами с разными потенциалами. В местах нарушения сплошности в результате процесса поляризации возникают микроразряды, а при наличии металлического включения время выдержки сокращается в несколько раз. Изменение показателей напряжения в момент микроразряда и быстрый нагрев до установленной температуры вызовут перераспределение электрофизических показателей работы электротермических устройств, а в особенности анодного тока [2-11, 16].

Для реализации способа выявления дефектов различного рода было разработано устройство контроля с применением современных средств автоматизации [10, 12, 17]. Данное устройство представлено на рис.2. Подробный алгоритм неразрушающего контроля представлен на рис.3. В процессе исследования значений анодного тока была введена математическая обработка с целью выделения динамики разрядов. В результате полученных данных было разработано и зарегистрировано программное обеспечение, алгоритм работы которого представлен на рис.4.

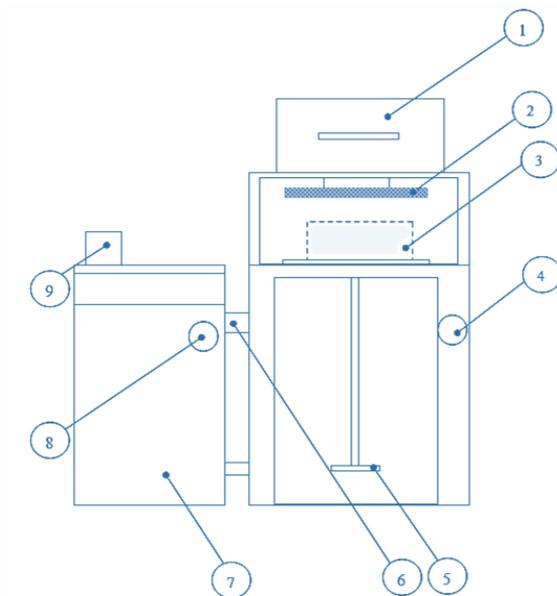


Рис. 2. Электротермическая установка УЗП 2500:

1 – защитный экран; 2 – верхний высокопотенциальный электрод; 3 – изделие; 4 – таймер; 5 – привод; 6 – фидер, 7 – генератор высокочастотного излучения, 8 – конденсатор переменной емкости, 9 – блок автоматического управления.

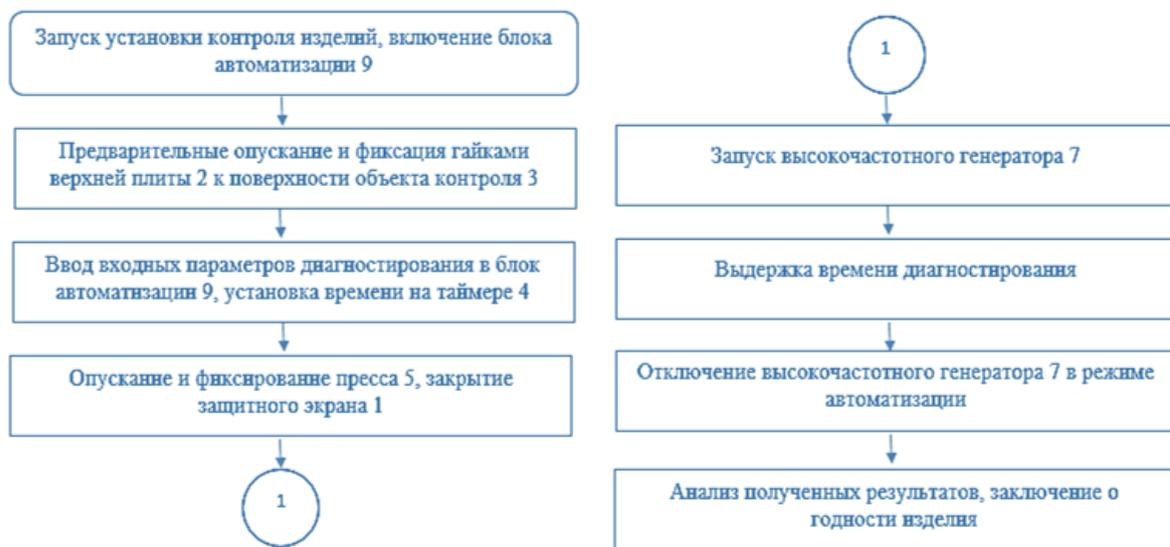


Рис. 3. Общий алгоритм контроля изделий из полимеров

Результативные графики экспериментальных исследований после математической обработки при наличии металлического включения и в состоянии нарушения сплошности (наличие трещины) представлены на рис.4. При диагностировании образцов без дефектов время нагрева варьируется в интервале $111,4 \pm 7,88$ секунд. При наличии искусственно созданной трещины, в процессе диагностирования образуются периодическая амплитуда тока, возникающая в результате приобретения и потери полярности в местах нарушения сплошности (36 ± 6 ед.). Если в изделиях присутствует включение в виде медной пластины, скорость нагрева варьируется в пределах $20 \pm 5,29$ сек.

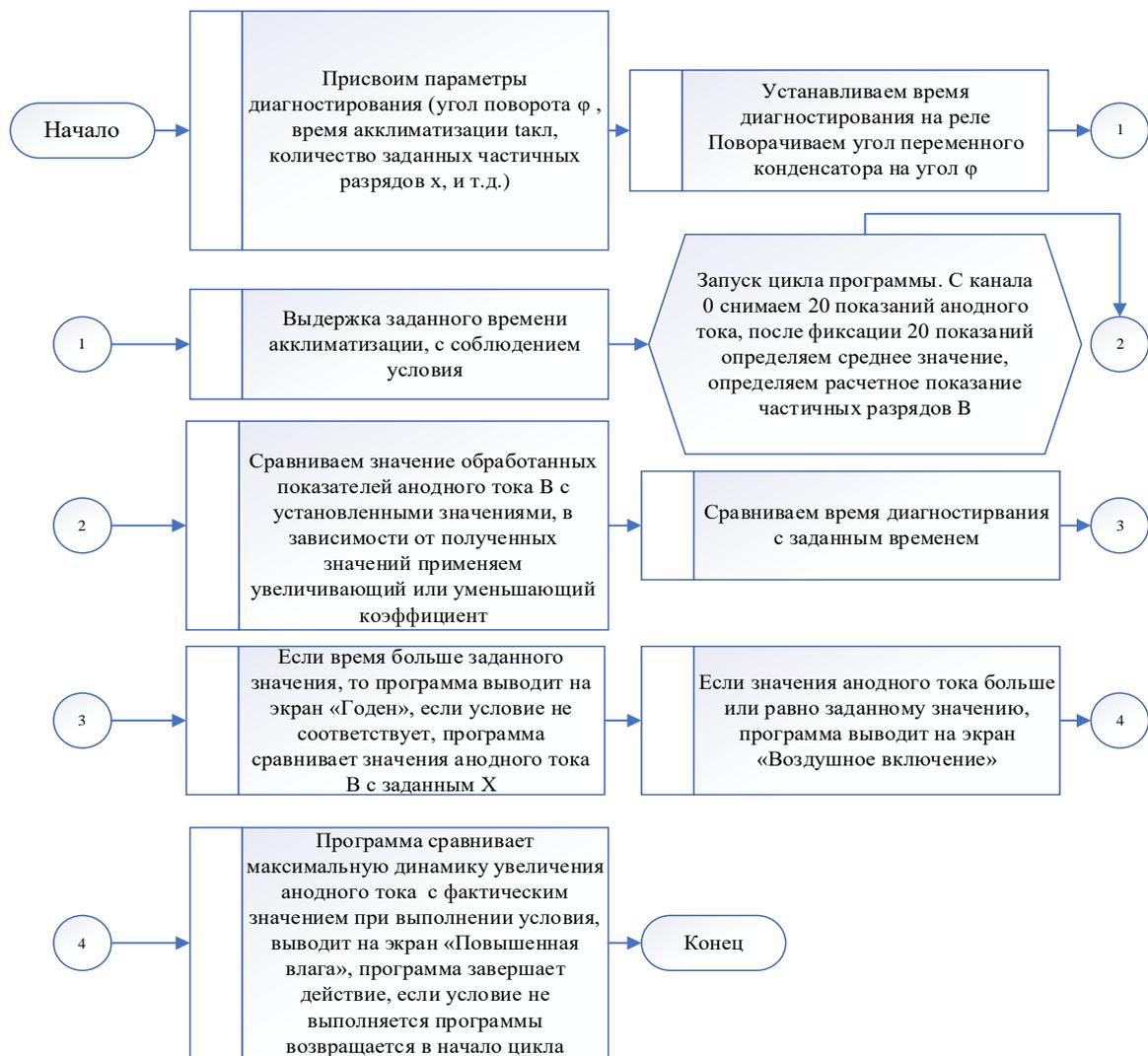


Рис. 4. Алгоритм работы программного обеспечения

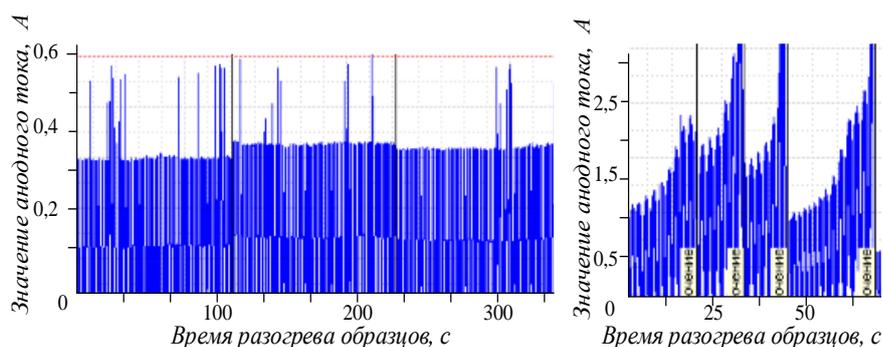


Рис. 5. Результативные графики диагностирования токами высокой частоты
 а) объект контроля с трещиной, б) объект контроля с медной пластиной

Вышеизложенное позволило авторам разработать алгоритм функционирования системы управления в условиях современных технологических процессов. Но при контроле деталей сложной конструкционной формы возникли проблемы, связанные с неравномерным воздействием высокочастотного поля на элементы изделия. Данная проблема на примерах полиамидного сепаратора и накладке фрикционного клина решается путем разбиения изделий сложной конфигурации на простые элементы, представляющие собой диэлектрики в сообщении с электродами и воздушным зазором [6, 18].

Для сепаратора был проведен расчет емкости плоскопараллельных конденсаторов (верхняя и нижняя поверхность перегородки), (рис.б). Расчет проводился согласно выражению:

$$C = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot S}{d} \quad (1)$$

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

Затем были рассмотрены участки включающие в себя перемычки с различными сечениями в результате чего при конструировании электродов необходимо было ввести воздушный зазор (рис.б). Представим первую часть перемычки в виде множества равных по ширине дифференциально малых конденсаторов. Углы направляющих перемычки γ и ζ равны. Тогда емкость на данном участке:

$$C = \sum_{i=1}^n \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S_i}{i \cdot \operatorname{tg} \gamma + i \cdot \operatorname{tg} \zeta + d} \quad (2)$$

где i – ширина i -го конденсатора, мм; S_i – площадь пластины i -го конденсатора; γ , ζ – углы направляющих перемычек.

С учетом воздушного зазора:

$$C_{\text{в}} = \frac{\varepsilon_{\text{воз}} \cdot \varepsilon_0 \cdot S}{2 \cdot l_i \cdot \operatorname{tg} \zeta + 2 \cdot l_i \cdot \operatorname{tg}(\gamma - \zeta)} \quad (3)$$

где: l_i – высота i -го конденсатора, мм

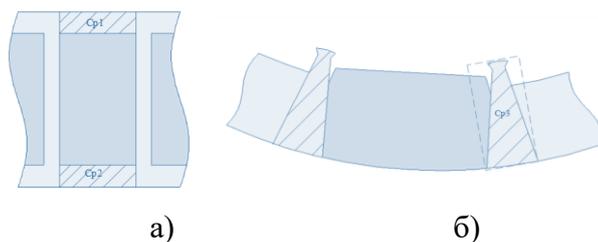


Рис.6. Расположение конденсаторов а) верхняя и нижняя перегородка; б) перемычка

Емкость второго участка без воздушного зазора определяется выражением 4:

$$C_n = \frac{\varepsilon_{\text{пол}} \cdot \varepsilon_0 \cdot S}{2 \cdot \operatorname{tg} \zeta \cdot (l - l_i)}, \quad (4)$$

А общая емкость из выражения:

$$C_{\text{общ}} = \sum_{i=1}^n \frac{C_{ei} \cdot C_{ni}}{C_{ei} + C_{ni}} \quad (5)$$

Таким образом полученные расчеты показали, что элементарные конденсаторы, на которые был разбит сепаратор равны по емкости с учетом разработанных воздушных зазоров. Представленная методика позволяет применить разработанный метод к изделиям из полимерных материалов любой геометрической формы [11-15, 19]. Расчет был применен и к таким изделиям как накладка фрикционного клина. Была получена пространственная схема конденсаторов одинаковых емкостей. Такая конструкция, позволяет производить высокочастотный контроль одновременно всех соединенных с электродами элементов накладки, за один цикл.

На базе расчетов изготовлена технологическая оснастка и проведены первоначальные испытания на заявленном оборудовании. Испытания показали, что изделий разогревается равномерно по всему объему, что свидетельствует о верном направлении в изысканиях.

На сегодняшний день поставлены цели дальнейших исследований – проведение экспериментальных испытаний с различными видами дефектов изделий сложной пространственной формы, отработка методики конструирования и диагностирования.

Заключение. Представленные практические результаты позволили подтвердить принятые решения и теоретические исследования. Итоги исследования показали, что контроль токами высокой частоты возможен и целесообразен. Внедрение нового оборудования на предприятия позволит снизить трудоемкость выполняемых работ и повысить качество их выполнения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Филиппенко Н.Г., Буторин Д.В., Лившиц А.В. Определение фазовых и релаксационных переходов в полимерных материалах // Автоматизация. Современные технологии. 2017. Т. 71. № 4. С. 171-175.

2. Kolisnichenko E. A. Technologies to Ensure the Safety of Trains to Snowfalls // Innovation and Sustainability of Modern Railway: The Fifth International Symposium on Innovation and Sustainability of Modern Railway (ISMR'2016), Nanchang, China, October 20-21, 2016. – 276-279 p.

3. Колисниченко Е. А., Шишкунов Д.И., Миронов М.А. Датчики измерения температуры при работе в условиях сибирской зимы // Сборник трудов межвузовской конференции студентов «МИКС - 2014» - Иркутск: ИрГУПС, 2014. С. 88-92.

4. Буторин Д.В. Методика расчета и проектирования технологической оснастки для высокочастотной обработки полиуретановой накладки фрикционного клина вагонной тележки // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2018. № 2 (58). С. 125-133.

5. Круглов С.П., Ковыршин С.В., Ведерников И.Е. Адаптивное управление перемещением груза мостовым краном с идентификационным алгоритмом // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2017. Т.56, №4. С.114-122.

6. Круглов С.П. Адаптивная автоматизация пилотирования самолетом на больших углах атаки на основе упрощенных условий адаптируемости. // Иркутск: Иркутский филиал Московского государственного университета гражданской авиации, 2012. С. 248.

7. Butorin D.V., Larchenko A.G., Aleksandrov A.A. Design of the tooling of a complex geometric shape for electrothermal processing of the polymer covering plate of the bogie friction wedge // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2020. С. 012011.

8. Филиппенко Н.Г. Методика автоматизации процесса электротермического нагрева полимерных материалов. // Автоматизация. Современные технологии. 2017. Т. 71. № 7. С. 291-295.

9. Ларченко А.Г. Оценка качества изделий из полимерных материалов машиностроительного назначения // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2019. Т. 23. № 3 (146). С. 463-471.

10. Пат. 132209 РФ МПК G01N29/04. Устройство диагностики деталей из полиамидных материалов А. Г. Ларченко, А. В. Лившиц, С. И. Попов. Заявлен 10.09.2013, №132209.

11. Ларченко А.Г., Филиппенко Н.Г. Разработка методики расчета и технологического оснащения с целью диагностики качества полимерных изделий сложной конфигурации. //Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2019. № 4 (64). С. 29-36.

12. Butorin D. Automated control system to monitor dielectric losses in polymers // MATEC Web of Conferences 2018. С. 02003.

13. Hou, A. Effect of microwave irradiation on the physical properties and morphological structures of cotton cellulose/ A. Hou, X. Wang, L. Wu // Carbonate Polymers. 2008. P. 934-937.

14. Karl-Heinz, J. IEC 61131-3: Programming Industrial Automation Systems. Concepts and Programming Languages, Requirements for Programming Systems, Decision-Making Tools // Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2001.

15. Yuj ilkeda, Blazej Grabowskia, Fritz Körmannac Ab initio phase stabilities and mechanical properties of multicomponent alloys: A comprehensive review for high entropy alloys and compositionally complex alloys // Materials Characterization, Volume 147, January 2019, Pages 464-511.

16. Александров А.А. Прогнозирование остаточных напряжений возникающих при термообработке алюминиевых сплавов / Александров А.А. // Инженерный вестник Дона. – 2015 – № 4 (38). – с. 128.

17. Александров А.А. Расчет термических остаточных напряжений в заготовках из алюминиевых сплавов / Александров А.А., Лившиц А.В., Рудых А.В. // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2016 - № 1(49). – с. 52-56.

18. Александров А.А. Влияние растяжения заготовок на уровень термических остаточных напряжений / А.А. Александров, А.В. Лившиц // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2016 - №4(52). – с. 66-69.

19. Александров А.А. Прогнозирование динамики охлаждения заготовок из алюминиевых сплавов при термообработке / А.А. Александров // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2014 - №1(41). – с. 140-145.

REFERENCES

1. Filipenko N.G., Butorin D.V., Livshits A.V. Opredeleniye fazovykh i relaksatsionnykh perekhodov v polimernykh materialakh [Determination of phase and relaxation transition in polymer materials]// Avtomatizatsiya. Sovremennyye tekhnologii [Automation. Modern technologies]. 2017. No 4. p.p. 171-175.

2. Kolisnichenko E. A. Technologies to Ensure the Safety of Trains to Snowfalls // Innovation and Sustainability of Modern Railway: The Fifth International Symposium on Innovation and Sustainability of Modern Railway (ISMR'2016), Nanchang, China, October 20-21, 2016. – 276-279 p.

3. Kolisnichenko E.A., Shishkunov D.I., Mironov M.A. Datchiki izmereniya temperatury pri rabote v usloviyakh sibirskoy zimy. [Temperature measurement sensors when working in the conditions of the Siberian winter]. Sbornik trudov mezhvuzovskoy konferentsii studentov «MIKS - 2014» [Proceedings of the inter-university conference of students "MICS - 2014". Irkutsk: IrGUPS]. 2014. p.p. 88-92.

4. Butorin D.V. Metodika rascheta i proyektirovaniya tekhnologicheskoy osnastki dlya vysokochastotnoy obrabotki poliuretanovoy nakladki friktsionnogo klina vagonnoy telezhki [The technique for calculation and design of technological attachments for high-frequency processing of polyurethane lining of the friction wedge of the truck]. Sovremennyye tekhnologii. Sistemnyy analiz. Modelirovaniye [Modern technologies. System analysis. Modeling]. 2018. No 2 (58). p.p. 125-133.

5. Kruglov S.P., Kovyrshin S.V., Vedernikov I.E. Adaptivnoye upravleniye peremeshcheniyem gruzha mostovym kranom s identifikatsionnym algoritmom. [Adaptive control of the movement of goods by a bridge crane with an identification algorithm]. Sovremennyye tekhnologii. Sistemnyy analiz. Modelirovaniye. [Modern Technologies. System analysis. Modeling]. 2017. No. 4. p.p.114-122.

6. Kruglov S.P. Adaptivnaya avtomatizatsiya pilotirovaniya samoletom na bol'shikh uglakh ataki na osnove uproshchennykh usloviy adaptiruyemosti. [Adaptive automation of piloting aircraft at large angles of attack based on simplified adaptability conditions]. Irkutsk: Irkutskiy filial

Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta grazhdanskoy aviatsii. [Irkutsk: Irkutsk branch of Moscow State University of Civil Aviation]. 2012.

7. Butorin D.V., Larchenko A.G., Aleksandrov A.A. Design of the tooling of a complex geometric shape for electrothermal processing of the polymer covering plate of the bogie friction wedge // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2020. P. 012011.

8. Filipenko N. G. Metodika avtomatizatsii protsessa elektrotermicheskogo nagreva polimernykh materialov [Methodology for automation of the process of electrothermal heating of polymeric materials]. Avtomatizatsiya. Sovremennyye tekhnologii. [Avtomatizatsiya. Sovremennyye tekhnologii]. 2017, No. 1, pp. 291–295.

9. Larchenko, A. G. Otsenka kachestva izdeliy iz polimer-nykh materialov mashinostroitel'nogo naznacheniya [Evaluation of the quality of products from polymer materials of engineering purposes] Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Bulletin of Irkutsk State Technical University. 2019. Vol. 23. No. 3 (146). p.p. 463-471.

10. Larchenko A.G., Livshits A. V., Popov S. I., Filippenko N.G. Ustroystvo diagnostiki detaley iz poliamidnykh materialov. [Device for diagnostics of parts from polyamide materials]. Patent RF, No. 132209, 2013.

11. Larchenko A.G., Filippenko N.G. Razrabotka metodiki rascheta i tekhnologicheskogo osnashcheniya s tsel'yu diagnostiki kachestva polimernykh izdeliy slozhnoy konfiguratsii. [Development of calculation methods and technological equipment in order to diagnose the quality of polymer products of complex configuration]. Sovremennyye tekhnologii. Sistem-nyy ana-liz. Modelirovaniye. [Modern technologies. System analysis. Modeling]. 2019. № 4 (64). p.p. 29-36.

12. Butorin D. Automated control system to monitor dielectric losses in polymers // MATEC Web of Conferences 2018. P. 02003.

13. Hou, A. Effect of microwave irradiation on the physical properties and morphological structures of cotton cellulose/ A. Hou, X. Wang, L. Wu // Carbonate Polymers. 2008. P. 934-937.

14. Karl-Heinz, J. IEC 61131-3: Programming Industrial Automation Systems. Concepts and Programming Languages, Requirements for Programming Systems, Decision-Making Tools // Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2001.

15. Yuj ilkeda, Blazej Grabowskia, Fritz Körmannac Ab initio phase stabilities and mechanical properties of multicomponent alloys: A comprehensive review for high entropy alloys and compositionally complex alloys // Materials Characterization, Volume 147, January 2019, Pages 464-511.

16. Alexandrov A. A. prediction of residual stresses arising during heat treatment of aluminum alloys / Alexandrov A. A. // Engineering Bulletin of the don. - 2015-No. 4 (38). - page 128.

17. Alexandrov A. A. Calculation of thermal residual stresses in billets of aluminum alloys / Alexandrov A. A., Livshits A.V., Rudykh A.V. // Modern technologies. System analysis. Modeling. - 2016-No. 1(49). pp. 52-56.

18. Alexandrov A. A. Influence of stretching of billets on the level of thermal residual stresses / A. A. Alexandrov, A.V. Livshits // Modern technologies. System analysis. Modeling. - 2016-No. 4 (52). pp. 66-69.

19. Alexandrov A. A. Forecasting of dynamics of cooling of billets from aluminum alloys at heat treatment / A. A. Alexandrov // Modern technologies. System analysis. Modeling. - 2014-No. 1(41). pp. 140-145.

Информация об авторах

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

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

Грамаков Демид Сергеевич – аспирант кафедры «Автоматизация производственных процессов», Иркутский Государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: mercurial3@mail.ru

Authors

Larchenko Anastasia Gennadyevna - candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department "Automation of Production Processes", Irkutsk State University of Railway Transport, e-mail: Larchenkoa@inbox.ru

Filippenko Nikolay Grigorievich - candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department "Automation of Production Processes", Irkutsk State University of Railway Transport e-mail: Pentagon@mail.ru

Demid Gramakov, postgraduate student of the Department "Automation of Production Processes", Irkutsk State University of Railway Transport e-mail: mercurial3@mail.ru

Для цитирования

Ларченко А. Г. Диагностика изделий из полимерных материалов на транспорте //

For citation

Larchenko A. G. Diagnostics of products made of polymer materials in transport //