

*А.Г. Ларченко, С.М. Морозов, Е.Ю. Тирских*

*Иркутский государственный университет путей сообщения, ул. Чернышевского 15, г. Иркутск, Российская Федерация*

## **МЕТОД НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ТЕРМО- И РЕАКТОПЛАСТОВ**

**Аннотация.** В связи с быстрым развитием технологий и с появлением новых современных материалов задача обеспечения высокого качества изделий становится первоочередной. Методы неразрушающего контроля играют ключевую роль в обеспечении безопасности и надёжности машин и оборудования. В данной работе описываются основные области применения изделий из композиционных, полимерных материалов. Определяются основные преимущества, уникальные свойства и недостатки. Описываются возможные технологические и эксплуатационные дефекты в таких изделиях как, полиамидные сепараторы буксового узла, композиционные тормозные колодки грузового вагона. Рассматриваются такие современные способы неразрушающего контроля как, рентгенография, ультразвуковой и капиллярный методы. Особое внимание уделяется визуальному методу контроля. В статье объясняется, почему данные методы не являются эффективными в условиях современных производственных процессов. Цель работы заключается в изучении возможности использования высокочастотного излучения с разрешенной частотой 27,12 МГц для контроля линейных и пространственных полимеров. При организации неразрушающего контроля высокочастотным методом особое внимание уделяется температурным воздействиям. В работе описывается влияние воздействия токов высокой частоты на объект контроля из композиционных материалов. Дается пояснение механизма образования микрозарядов в местах образований дефектов. Представлена эквивалентная схема и схема замещения. В работе анализируется интенсивность образования микрозарядов и длина импульса, в зависимости от размера и расположения дефекта. Приводятся выводы и задачи дальнейших исследований.

**Ключевые слова:** композиционные тормозные колодки, полиамидные сепараторы, диагностика, высокочастотное излучение, контроль, микрозаряды.

*A.G. Larchenko, S.M. Morozov, E.Yu. Tirskikh*

*Irkutsk State Transport University, st. Chernyshevsky 15, Irkutsk*

## **METHOD OF NON-DESTRUCTIVE TESTING OF PRODUCTS FROM THERMO- AND RESET PLASTICS**

**Abstract.** Currently, due to the rapid development of technology and the advent of new modern materials, the task of ensuring high quality products becomes a priority. Non-destructive testing methods play a key role in ensuring the safety and reliability of machinery and equipment. This paper describes the main areas of application of products made from composite polymer materials. The main advantages, unique properties and disadvantages are determined. Possible technological and operational defects in such products as polyamide axle box separators and composite brake pads of a freight car are described. Such modern methods of non-destructive testing as radiography, ultrasonic and capillary methods are considered. Particular attention is paid to the visual control method. The article explains why these methods are not effective in modern production processes. The purpose of the work is to study the possibility of using high-frequency radiation with a resolved frequency of 27.12 MHz for monitoring linear and spatial polymers. When organizing non-destructive testing using the high-frequency method, special attention is paid to temperature effects. The paper describes the effect of high-frequency radiation on a test object made of composite materials. An explanation is given of the mechanism for the formation of microdischarges in places where defects form. The equivalent circuit and equivalent circuit are presented. The work analyzes the intensity of microdischarge formation and pulse length, depending on the size and location of the defect. Conclusions and tasks for further research are presented.

**Key words:** composite brake pads, polyamide separators, diagnostics, high-frequency radiation, control, microdischarges.

### **Введение. Постановка цели исследования**

На сегодняшний день российский рынок изделий из полимеров характеризуется устойчивыми и стремительными темпами развития. Внедрение композитов в современную технику не только уменьшает массу машин и оборудования, но и обеспечивает увеличение

мощности транспортных средств. Для изготовления зубчатых и червячных колес, деталей подшипников, пружин, рессор, кулачковых механизмов используют композиционные материалы, обладающие большой износостойкостью, теплостойкостью, стабильностью размеров в условиях эксплуатации.

В зависимости от внутренней структуры все композиционные материалы можно разделить на линейные, разветвленные и пространственные [1].

Линейные и разветвлённые полимеры (термопласты) размягчаются при нагревании и вновь возвращаются в исходное состояние при охлаждении не меняя своих эксплуатационных характеристик. Термопласты имеют высокую пластичность и могут быть легко переработаны. К основным видам термопластов относят полиамиды марок -6, -66, стеклонаполненный полипропилен, полиоксителен.

Пространственные полимеры иначе реактопласты при нагреве в отличие от термопластов приобретают сшитую сетчатую структуру в результате образуются материал с высокой твердостью, который в дальнейшем не подлежит обработке и восстановлению в исходное состояние [2]. К реактопластам относят эпоксидные, фенольные, полиэфирные смолы, полиуретаны, а также аминопласты. Реактопласты отличаются высокой прочностью, жаростойкостью и хорошей химической стойкостью.

На железнодорожном транспорте активно используются как реактопласты (композиционные тормозные колодки на основе фенольных и крезолформальдегидных смол), так и термопласты (полиамидные сепараторы буксового узла грузового вагона из полиамида-66) [2 – 15]. От качества и эксплуатационных характеристик данных деталей напрямую зависит безопасность железнодорожных перевозок. В процессе эксплуатации тормозных колодок при выявлении неисправностей, 57% от забракованных колодок приходится на клиновидный износ, 22 % на раковины материала наполнителя колодки. Наиболее часто встречаемые дефекты выбраковки полиамидных сепараторов подшипников буксовых узлов представлены на рис. 1.

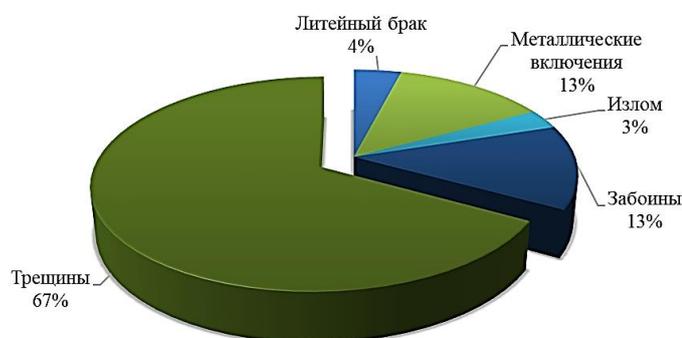


Рис. 1. Данные по выбраковке полиамидных сепараторов

Существует широкая номенклатура методов и способов выявления данных дефектов. К ним относят визуально-измерительный контроль с применением шаблонов и инструментов. Данный контроль позволяет проверить соответствие геометрических размеров, а также выявить дефекты только на поверхности изделия. Известен ультразвуковой метод. Данный метод характеризуется возможностью выявления внутренних дефектов с координатами расположения, но отличается трудоемкостью реализации контроля геометрически сложных, пространственных изделий. Капиллярный метод позволяет выявить поверхностные дефекты, имеет высокую стоимость расходных материалов. Известна технология оперативного и точного контроля- рентгенография. Данная технология отличается высокой стоимостью и вредными воздействиями на организм человека.

Если рассматривать детали грузового вагона (композиционные тормозные колодки и полиамидные сепараторы буксового узла) то, на заводах изготовителях, а также на ремонтных

предприятиях осуществляется только выборочный, визуальный контроль данных изделий, что в условиях современных темпов роста производства и ремонта недопустимо. Данная проблематика актуальна для всех предприятий вагоноремонтного комплекса. В современных производственных реалиях необходим более современный метод контроля, позволяющий выявлять скрытые структурные дефекты, без нарушения целостности изделия и изменения физико-механических свойств. В результате вышесказанного была поставлена цель исследования: изучить возможности использования высокочастотного излучения с разрешенной частотой 27,12 МГц для контроля линейных и пространственных полимеров.

Воздействие высокочастотного поля на линейный или пространственный полимер можно рассмотреть, как конденсатор с емкостью (рис.2). При воздействии токов высокой частоты, в результате перехода потенциальной энергии в тепловую температура объекта контроля увеличивается.

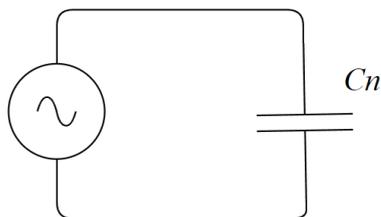


Рис. 2. Схема замещения образца без дефектов

Важно отметить то, что помимо нагрева, на поверхности или внутри изделия при наличии нарушения сплошности в результате ионизационных процессов [2 – 4] появляются микроразряды. Если изделие без дефектов, то данные процессы отсутствуют. Регистрация и анализ микроразрядов позволяет говорить о наличии и характере дефекта. Появление микроразрядов объясняется это тем, что прикладываемое напряжение вызывает накопление заряда между полимером и нарушением сплошности. По достижению начальной ионизации газов происходит частичный разряд. Эквивалентная схема полимера с нарушением сплошности представлена на рис.3.

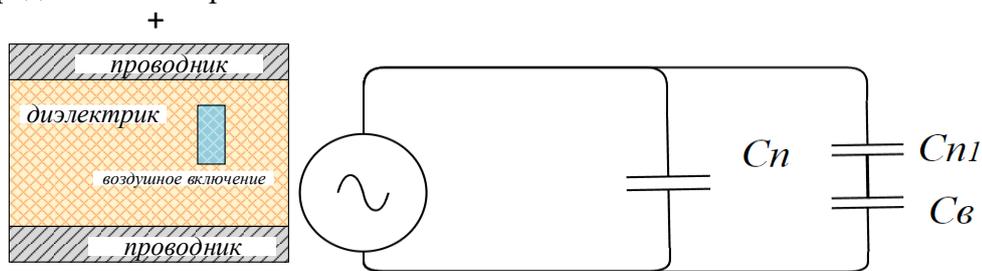


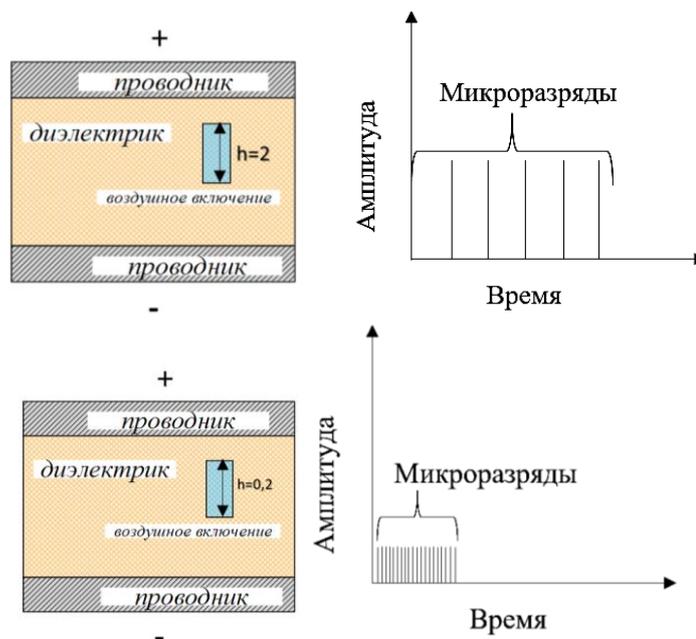
Рис. 3. Схема замещения образца с дефектом

где  $C_n$  - емкость полимера;  $C_v$  - емкость нарушения сплошности;  $C_{n1}$  – емкость полимера

Напряжение в газовом включении согласно схеме замещения определяется выражением 1:

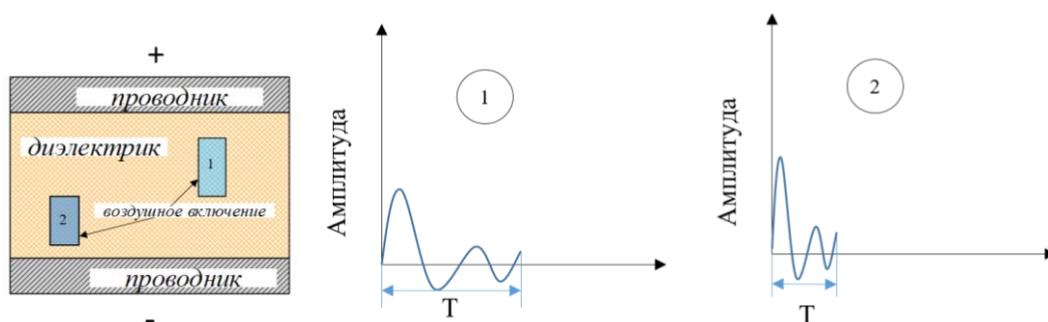
$$U_B = \frac{C_{n1}}{C_{n1} + C_v} U_{\text{сети}} \quad (1)$$

Согласно работам [5 – 10] интенсивность микроразрядов напрямую зависит от размеров нарушения сплошности. Например, интенсивность образования разрядов в случае газовых включений с большими размерами будет меньше, но при этом амплитуда (скачок) будет значительно выше (рис.4).



**Рис. 4. Интенсивность развития микроразрядов в зависимости от размеров воздушного включения**

По мере прохождения микроразрядов через структуру полимера импульс претерпевает изменения. Общая длина разряда включает в себя начальный импульс и возникающий хвост в процессе прохождения. Мощность импульса не изменяется. Если приложить высокочастотное электрическое поле на полимер с нарушением сплошности в разных местах, то в зависимости от расположения дефектов импульсы и длина микроразрядов будут отличаться (рис.5).



**Рис. 5. Импульсы и длины микроразрядов в зависимости от расположения дефектов**

С целью проверки выдвинутых гипотез необходимо запустить установку с разрешенной рабочей частотой 27,12 МГц, предлагается использовать УЗП 2500 [4]. Для реализации процесса фиксации и обработки микроразрядов необходимо встроить в электрическую цепь датчики измерения силы тока. Датчики должны быть построены на эффекте Холла (характеризуются линейной зависимостью измеряемого тока и выходного сигнального напряжения). Кроме этого в систему ВЧ-контроля контроля необходимо внедрить микрофонные модули, позволяющие не только фиксировать разряд в результате процессов ионизации, но и дать возможность определения координат расположения дефекта.

### **Заключение**

Согласно вышеописанным теоретическим исследованиям анализируя интенсивность, частоту и длину частичных разрядов можно говорить не только о наличии, но и о степени развития дефектов, определять количество и координаты расположения. В заключении

хочется отметить, что представленный метод требует дальнейшего детального изучения, включающего в себя подбор входных и выходных параметров диагностирования, запуск оборудования, изготовление образцов из реакто- и термопластов (с нарушением сплошности и без дефектов) а также проработку методики контроля, апробацию метода в условиях производственного процесса.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дориомедов М. С., Дасковский М. И., Скрипачев С. Ю. Полимерные композиционные материалы в железнодорожном транспорте в России // Труды ВИАМ: Электронный научный журнал. 2016. № 7(43).
2. Кочергин Д.А., Линдт Е.В. Преимущества и недостатки ультразвукового контроля // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. Т.1, 2016 с.430-431.
3. Larchenko A.G., Filippenko N.G., Livshits A.V., Kargapoltocev S.K. Diagnostic operation of fabrications of rolling stock by high-frequency method // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Conference on Transport and Infrastructure of the Siberian Region, SibTrans 2019. 2020. С. 012037.
4. Ларченко А.Г., Филиппенко Н.Г. Высокочастотное диагностирование машиностроительных изделий из полимерных материалов // Технология машиностроения. 2020. № 11. С. 55-63.
5. Стратегия развития железнодорожного транспорта в РФ до 2030 года: распоряжение Правительства РФ от 17 июня. 2008 г. №.877-р.
6. Павлюков А. Э., Черепов О. В., Шалупина П. И. Тормозные колодки грузовых вагонов: анализ повреждаемости и факторов, влияющих на создание тормозной силы // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения – 2017. – № 4 (36). – С. 4–11.
7. Ларченко А.Г. Неразрушающий контроль и диагностика изделий из реактопластов (тормозные колодки) // Контроль. Диагностика. 2022. Т. 25. № 3 (285). С. 46-51.
8. Технология производства и ремонта вагонов / К.В. Мотовилов и др. М.: Маршрут, 2013.
9. Сухогозов А. П., Косяков А. А. Исследование частичных разрядов в изоляции электрических // Вестник УГТУ–УПИ. 2003. № 5(25). Ч. 1. С. 363–371.
10. Ларченко А.Г., Филиппенко Н.Г., Лившиц А.В. Высокочастотная электротермическая автоматизированная технология повышения качества полимерных изделий сложной конфигурации // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2019. № 1 (61). С. 8-13.
11. Бабушкин А. А. Частичные разряды в изоляции. «ДАТОС ЛТД».
12. Канискин В., Таджибаев А. Определение остаточного ресурса силовых кабелей неразрушающая диагностика // Новости электротехники №2(20) 2003.
13. Filippenko N.G., Larchenko A.G. Automated experiment systems for studying the properties of transport polymer materials in high-frequency electrothermia. Siberian Journal of Science and Technology. 2020. Т. 21. № 2. С. 279-288.
14. Filippenko N.G., Livshits A.V., Larchenko A.G. Thermal-electric self-healing of construction thermoplastics. Innovation and Sustainability of Modern Railway. 2014. № 2. С. 263-267.
15. Руководящий документ по ремонту и техническому обслуживанию колесных пар с буксовыми узлами грузовых вагонов магистральных железных дорог колеи 1520. ОАО «ВНИИЖТ».

## REFERENCES

1. Doriomedov M. S., Daskovskiy M. I., Skripachev S. YU. Polimernyye kompozitsionnyye materialy v zhelezodorozhnom transporte v Rossii. [Polymer composite materials in railway transport in Russia]. *Trudy VIAM: Elektronnyy nauchnyy zhurnal. [Proceedings of VIAM: Electronic scientific journal]*. 2016. № 7(43).
2. Kochergin D.A., Lindt Ye.V. Preimushchestva i nedostatki ul'trazvukovogo kontrolya. [Advantages and disadvantages of ultrasonic testing]. *Aktual'nyye problemy aviatsii i kosmonavtiki. [Actual problems of aviation and cosmonautics]*. T.1, 2016 pp.430-431.
3. Larchenko A.G., Filippenko N.G., Livshits A.V., Kargapoltcev S.K. Diagnostic operation of fabrications of rolling stock by high-frequency method // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Conference on Transport and Infrastructure of the Siberian Region, SibTrans 2019. 2020. C. 012037.
4. Larchenko A.G., Filippenko N.G. Vysokochastotnoye diagnostirovaniye mashinostroitel'nykh izdeliy iz polimernykh materialov. [High-frequency diagnostics of machine-building products made of polymeric materials]. *Tekhnologiya mashinostroyeniya. [Tekhnologiya mashinostroeniya]*. 2020. No. 11. S. 55-63.
5. Strategiya razvitiya zhelezodorozhnogo transporta v RF do 2030 goda: rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 17 iyun. 2008 g [Strategy of development of railway transport in the Russian Federation until 2030: the order of the Government of the Russian Federation from 17 June. 2008 No.877-p.]. No.877-r.
6. Pavlyukov A. E., Cherepov O. V., Shalupina P. I. Tormoznyye kolodki gruzovykh vagonov: analiz povrezhdayemosti i faktorov, vliyayushchikh na sozdaniye tormoznoy sily [Brake pads of freight cars: analysis of damage and factors influencing the creation of braking force] *Vestnik Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya. [Bulletin of the Ural State Transport University]* - 2017. - No. 4 (36). – P. 4–11.
7. Larchenko A.G. Nerazrushayushchij kontrol' i diagnostika izdeliy iz reaktoplastov (tormoznye kolodki) [Non-destructive testing and diagnostics of products made of reactoplasts (brake pads)]. *Kontrol'. Diagnostika [Kontrol. Diagnostika]*. 2022, Tom. 25, No. 3(285), pp. 46-51.
8. Motovilov K.V. et al. Tekhnologiya proizvodstva i remonta vagonov [Technology of production and re-pair of cars] *Moscow: Marshrut Publ*, 2013.
9. Sukhoguzov A. P., Kosyakov A. A. Issledovaniye chastichnykh razryadov v izolyatsii elektricheskikh [Study of partial discharges in electrical insulation] *Vestnik UGTU–UPI. [Bulletin of USTU-UPI]* 2003. No. 5(25). Part 1. pp. 363–371.
10. Larchenko A.G., Filippenko N.G., Livshits A.V. Vysokochastotnaya elektrotermicheskaya avtomatizirovannaya tekhnologiya povysheniya kachestva polimernykh izdeliy slozhnoy konfiguratsii [High-frequency electrothermal automated technology for improving the quality of polymer products of complex configuration] *Sovremennyye tekhnologii. Sistemnyy analiz. Modelirovaniye [Modern technologies. System analysis. Modeling]* 2019. No. 1 (61). pp. 8-13.
11. Babushkin A. A. Chastichnyye razryady v izolyatsii [Partial discharges in insulation] *"DATOS LTD"*.
12. Kaniskin V., Tadzhibayev A. Opredeleniye ostatochnogo resursa silovykh kabeley nerazrushayushchaya diagnostika [Determination of the residual life of power cables using non-destructive diagnostics] *Novosti elektrotehniki. [Electrical Engineering News]* No. 2(20) 2003.
13. Filippenko N.G., Larchenko A.G. Automated experiment systems for studying the properties of transport polymer materials in high-frequency electrothermia. *Siberian Journal of Science and Technology*. 2020. T. 21. № 2. C. 279-288.
14. Filippenko N.G., Livshits A.V., Larchenko A.G. Thermal-electric self-healing of construction thermoplastics. *Innovation and Sustainability of Modern Railway*. 2014. № 2. C. 263-267.
15. Rukovodyashchiy dokument po remontu i tekhnicheskomu obsluzhivaniyu kolesnykh par s buksovymi uzlamy gruzovykh vagonov magistral'nykh zheleznykh dorog kolei 1520. OAO

«VNIIZHT» [Guidelines for the repair and maintenance of wheel sets with axleboxes for freight cars on 1520 gauge mainline railways. OJSC VNIIZhT].

#### **Информация об авторах**

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

*Морозов Сергей Максимович* – студент группы ПСЖ4-19-1, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: sereha2233@mail.ru

*Тирских Евгений Юрьевич* - студент группы ПСЖ4-19-1, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: tirskih.evgeni@yandex.ru

#### **Information about the authors**

*Larchenko Anastasia Gennadievna* – Candidate of Technical Sciences, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: larchenkoa@inbox.ru

*Morozov Sergey Maksimovich* – student of the PSG 4-19-1 group, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: sereha2233@mail.ru

*Tirskikh Evgeny Yurievich* – student of the PSG 4-19-1 group, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: tirskih.evgeni@yandex.ru