

М.Е Кочергина, Д.Д Загорнов, Н.Г Филиппенко

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

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ БРАКОВКИ ЦИСТЕРН. МЕТОД ИСПЫТАНИЯ РЕЗИНОВЫХ УПЛОТНИТЕЛЕЙ

Аннотация. В статье авторами рассматривается и анализируется одна из основных причин отказов цистерн связанная с негерметичным соединением крышки сливной горловины из-за повреждений резиновых уплотнителей. На основе приведенных статистических данных количества отказов цистерн из-за резиновых уплотнителей авторами разработана методика нахождения аналитической зависимости количества произошедших аварий от времени.

На основе полученной зависимости была разработана и математическая модель браковки вагонов-цистерн по причине выхода из строя резиновых уплотнителей нижнего сливного прибора. Были определены ограничения и дополнения к разработанной математической модели, которые позволяют сделать дальнейший прогноз по годам количества отказов цистерн из-за уплотнителей. Также модель позволяет получить и архивные данные количества повреждений, произошедших в предыдущие периоды эксплуатации вагонов-цистерн.

Авторами, на основе разработанных ранее методиках, системах автоматизированного управления и оборудования, предложена к внедрению на производстве технология экспресс-испытаний резиновых и полимерных материалов. Также данная технология применима для контроля и диагностики не только герметизирующих материалов используемых на РЖД, она подходит к использованию с целью определения их совместимости с агрессивной средой хранящихся или перекачиваемых жидкостей, как для новых так и для определения остаточного ресурса уже эксплуатируемых изделий.

Ключевые слова: математическая модель, резиновые уплотнители, герметичность, диагностика, экспресс-анализ.

М.Е. Kochergina, D.D. Zagornov, N.G. Filippenko

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

MATHEMATICAL MODEL OF REJECTION OF TANKERS. TEST METHOD FOR RUBBER SEALS

Abstract. In the article, the authors consider and analyze one of the main causes of tank failures associated with a leaky connection of the drain cap due to damage to rubber seals. Based on the given statistical data on the number of tank car failures due to rubber seals, the authors developed a method for finding the analytical dependence of the number of accidents on time.

On the basis of the dependence obtained, a mathematical model was also developed for rejecting tank cars due to the failure of the rubber seals of the lower drain device. Limitations and additions to the developed mathematical model were identified, which allow us to make a further forecast over the years of the number of tank car failures due to seals. The model also allows obtaining archival data on the number of damages that occurred in previous periods of operation of tank cars.

The authors, on the basis of previously developed methods, automated control systems and equipment, proposed to introduce the technology of express testing of rubber and polymeric materials into production. Also, this technology is applicable for monitoring and diagnosing not only sealing materials used at Russian Railways, but it is also suitable for use in order to determine their compatibility with the aggressive environment of stored or pumped liquids, both for new and for determining the residual life of already operated products.

Keywords: mathematical model, rubber seals, tightness, diagnostics, express analysis.

Введение

На железнодорожном транспорте используются десятки тысяч вагонов-цистерн. И не смотря на то, что они являются весьма специфическим и востребованным видом подвижного состава, у них также как и у других типов вагонов есть ряд недостатков. Одним из дефектов

является нарушение герметичности сливного стакана. Причин нарушения герметичности большое количество. Особое положение среди неисправностей и поэтому основной из них является нарушение целостности уплотнительного кольца. Чтобы отследить динамику и выявить закономерность неисправностей резиновых уплотнителей необходимо производить работу по накоплению и сравнению, с последующим анализом, статистических данных по отказам резиновых уплотнителей.

Таким образом, актуальной задачей на сегодняшний день является методика определения необходимого планового количества резиновых герметизирующих уплотнений вагонов-цистерн, подлежащих замене и определения их остаточного ресурса.

Анализ данных и моделирование процесса выхода из строя резиновых уплотнений

Резиновые уплотнители (рис. 1) изготавливаются из резин стойких к нефтепродуктам (сырая нефть, бензин, дизельное топливо). Также, учитывая проводимые периодические промывки емкостей, к резинам предъявляются дополнительные требования стойкости к паровым средам и горячей воде. Они должны сохранять работоспособность в интервале температур от -50°C до $+130^{\circ}\text{C}$. Основные физико-механические показатели резин, применяемых для изготовления прокладок оговорены в нормативной документации [1-3]. Одним из наиболее важных показателей является условная прочность при растяжении, которая не должна быть менее 91-100 кгс/см. Коэффициент морозостойкости по эластичному восстановлению определяется после сжатия при -50°C - 0,27-0,34. Изменения относительного удлинения определяется после лабораторного старения материала проводимого на воздухе при $t=100^{\circ}\text{C}$ в течении 24 часов, при этом значения удлинения должно находится в пределах 10 – 28%. Изделия из маслостойких резин применяемых на ОАО РЖД по общим показателям должно соответствовать также ТУ 2500-295-00152106-93.



Рис. 1. Резиновое уплотнительное кольцо 40812-Н (1001-14)

Анализ причин выхода из строя герметизирующих колец в вагон-цистернах показал, что в процессе эксплуатации на них воздействуют различные неблагоприятные факторы. К

таким факторам можно отнести агрессивные среды перевозимого груза, динамические вертикальные и продольные нагрузки, интенсивную погрузку и выгрузку груза и др. [4-6]. Воздействия этих факторов приводит к порче резиновых уплотнителей, обеспечивающих герметичность сливного прибора в связи с потерей ими механической прочности, что можно считать основной причиной отказов вагонов-цистерн [7-10]. Аналогичные выводы приводятся в исследованиях, проводимых школой электротермии Иркутского государственного университета путей сообщения, опубликованных в работах [11-13].

Так, например, статистические данные по отказам цистерн из-за резиновых уплотнителей на примере ВСЖД показывают, что за 2020 год было 12 отказов, за 2021 год их количество возросло до 13, а за 2022 количество отказов составило 14. По графику, представленному на рис. 2, видно, что за последние годы проблема с резиновыми уплотнителями линейно возрастают.

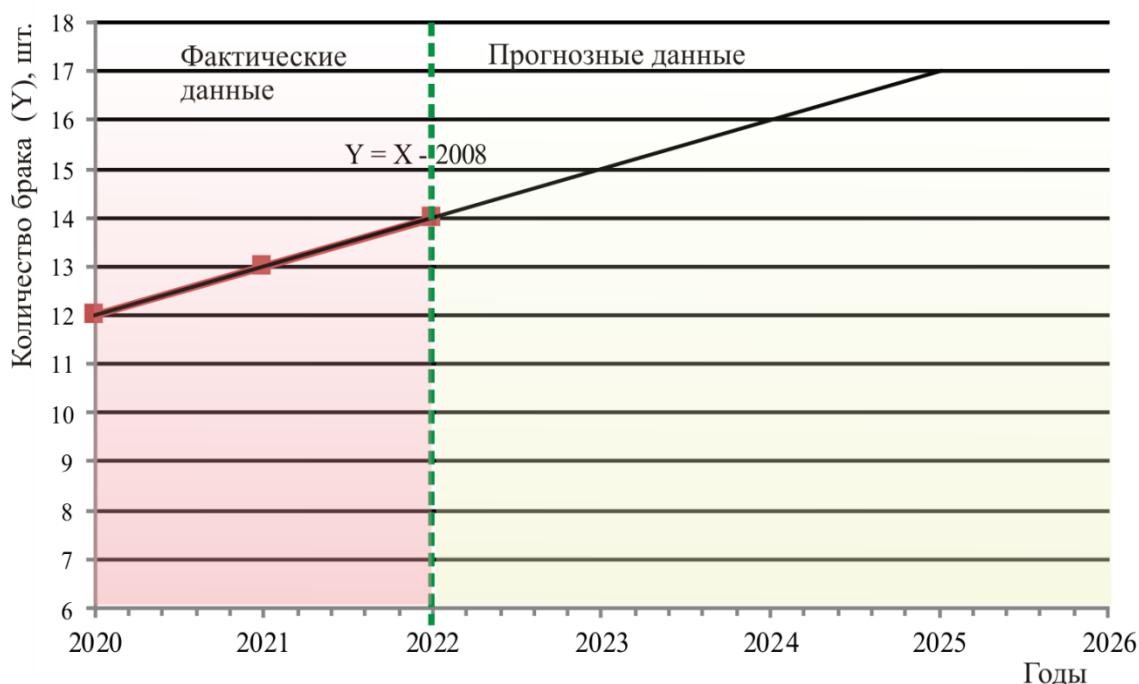


Рис. 2. График отказов цистерн из-за резиновых уплотнителей с прогнозированием по годам

Представив данные в виде графического отображение несложно определить, что линейная функция количества отказов по годам будет выглядеть следующим образом:

$$Y = X - 2008 \quad (1)$$

где: Y – количество отказов; X – порядковый номер календарного года

Так, например, за 2023 год по на вагонах погрузки Иркутского региона дороги возможно будет допущено течей опасного груза из вагонов через уплотнительное кольцо нижнего сливного прибора следующее количество:

$$Y = 2023 - 2008 = 15 \text{ происшествий.}$$

Более того, данная функция (1) позволяет построить прогнозные данные отказов цистерн из-за выхода из строя резиновых уплотнителей по годам.

Таким образом, аппроксимирование статистических данных позволило построить математическую модель количества спрогнозированных выходов из строя уплотнений и как следствие определить количество аварийных утечек опасных жидкостей перевозимых в вагон-цистернах на РЖД на определенный календарный год.

Из выражения (1) несложно определить, что архивные данные выхода из строя резиновых уплотнителей также возможно получить на период до 2008 года включительно.

Ограничением данной математической модели является недостаточно полный перечень количества неисправностей. Ряд протечек могли не попасть в официальный перечень аварийных состояний, которыми пользовались авторы. Тем не менее, разработанная авторами методика построения математической модели вполне применима для использования региональными подразделениями, ремонтными предприятиями и перевозчиками РЖД.

Администрацией ОАО «РЖД» по Иркутскому региону в апреле 2023 года были опубликованы данные, в которых была отражена информация, что в 2022 году только на вагонах погрузки Иркутского региона дороги допущено 19 течей опасного груза из вагонов. Причем наибольшая часть течей опасного груза - 14 допущено через уплотнительное кольцо нижнего сливного прибора. Данные факты подтверждают адекватность полученной авторами математической модели.

Консультации со специалистами при проведении производственных исследований по станции Суховская (ППС-17) показали, что статистика браковки уплотнительных колец нижнего сливного прибора на данном предприятии в среднем составляют от 80 до 100 резиновых уплотнителей на 5000 вагон-цистерн, что в среднем составляет 2% от общего количества.

Проведенные же на основе математической модели расчеты показывают, что количество течей последние 3 года в среднем составляют 6,3%.

Анализ полученных результатов показывает на заниженные показатели (более чем в 3 раза) количества заменяемых резиновых уплотнений при проведении промывочно-пропарочных работ.

Такое состояние дел не может быть трактовано, как явное нарушение норм и правил ремонтными предприятиями браковки и замены уплотнительных колец нижнего сливного прибора, т.к. существующие методы диагностики уплотнений не позволяют точно определить их остаточный ресурс.

Исходя из экономической составляющей данного проекта, видно что ранее было определено, что с одной цистерны, которая эксплуатируется 1 денежные потери при разливе продукта будут составлять ≈ 26 тыс. руб. в год. А если принять парк, в котором среднее количество цистерн составляет 5000 единиц, то денежные потери будут исчисляться 130 млн. руб. Поэтому чтобы предотвратить такие большие потери, необходимо производить заводские испытания резиновых колец в различных агрессивных средах. По результатам испытаний в строгом соответствии подобрать наиболее оптимальный вид резинового уплотнителя. Данные исследования возможны с использованием разработанной авторами автоматизированной установки, в которой будет производиться экспресс-анализ воздействия агрессивной среды на испытуемый образец резинового уплотнителя (рис. 3).

Установка обеспечивает создание условий приближенных к эксплуатационным, а применение метода вакуум-наполнения позволяет уменьшить время испытаний с нескольких сот часов, до нескольких минут.



Рис. 3. Разработанная авторами автоматизированная установка экспресс-анализа резиновых и полимерных уплотнений

Заключение

Был проведен анализ отказов цистерн из-за неисправностей резиновых уплотнителей и определены причины выхода их из строя.

На основе статистических данных повреждений вагон-цистерн была построена математическая модель, с помощью которой можно спрогнозировать количество отказов на последующие временные интервалы.

Предложено решение по использованию автоматизированной установки для проведения омасления и экспресс-анализа резиновых уплотнителей приводящих к аварийному выходу из строя вагон-цистерн за счет разгерметизации нижнего сливного прибора.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Железнодорожные цистерны: Устройство, эксплуатация и ремонт / А.Н. Григорьев, Г.М. Асламазов, С.П. Кузьмин. – Москва: Трансжелдориздат, 1959. – 215 с
2. Котуранов В.Н., Филиппов В.Н. и др. «Специализированные цистерны для перевозки опасных грузов». МПС РФ. М.: Издательство стандартов, 1993 г.
3. Губенко В.К. Цистерны. (Устройство, эксплуатация, ремонт): Справочное пособие / В.К. Губенко, А.П. Никодимов, Г.К. Жилин и др. – М.: Транспорт. 1990. – 151 с.
4. ГОСТ 269-66. Резина. Общие требования к проведению физико-механических испытаний. – Введ. 01.07.66. – М.: Межгосударственный стандарт: Изд-во стандартов, 1966. – 18 с.
5. Гефан Г.Д., Ширяева Н.К. Основы теории эксперимента: учеб. пособие / Г.Д. Гефан, Н.К. Ширяева. – Иркутск: ИрГУПС, 2017. – 136 с.

6. Мойзес Б.Б. Статистические методы контроля качества и обработка экспериментальных данных: учебное пособие / Б.Б. Мойзес, И.В. Плотникова, Л.А. Редько; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2016. – 119 с.
7. ГОСТ 9.030-74. Резины. Методы испытаний на стойкость в ненапряженном состоянии к воздействию жидких агрессивных сред. – Введ. 01.07.75. – М.: Межгосударственный стандарт: Стандартинформ, 2008. – 13 с.
8. Большой справочник резинщика. Ч.2. Резины и резинотехнические изделия / Под ред. С.В. Резниченко, Ю.Л. Морозова. – М.: ООО «Издательский центр «Техинформ» МАИ», 2012. – 648 с.
9. ГОСТ 7338-90. Пластины резиновые и резинотканевые. Технические условия. – Введ. 1991-07-01 – М.: Межгосударственный стандарт: Изд-во стандартов, 1991. – 43 с.: ил.
10. Буторин Д.В., Чукай И.В., Филиппенко Н.Г. Технология маслonaполнения полимерных и композитных антифрикционных материалов // Транспортная инфраструктура Сибирского региона: материалы Седьмой международной научно-практической конференции, посвященной 355-летию со дня основания города Иркутска, 29 марта – 01 апреля 2016 г. Иркутск: в 2 т., Т.2. – Иркутск: ИРГУПС, 2016. С. 490-495.
11. Буторин Д.В., Филатова С.Н., Лившиц А.В., Каргапольцев С.К. Разработка методики определения структурных превращений в полимерных материалах Современные технологии. // Системный анализ. Моделирование. 2015. № 4 (48). С. 80-86
12. Думчев И.С., Ларченко А.Г., Попов С.И., Филиппенко Н.Г., Лившиц А.В. Восстановление полиамидных сепараторов подшипников буксового узла подвижного состава ОАО РЖД // Молодой ученый. 2012. № 12. С. 48-51.
13. Kargapol'tsev S.K., Shastin V.I., Gozbenko V.E., Livshits A.V., Filippenko N.G. Laser alloying of wear surfaces with metal components // International Journal of Applied Engineering Research. 2017. Т. 12. № 17. С. 6499-6503.

REFERENCES

1. Grigoriev A.N., Aslamazov G.M., Kuzmin S.P. Zheleznodorozhnyye tsisterny: Ustroystvo, ekspluatatsiya i remont [Railway tanks: Installation, operation and repair] - Moscow: *Transzheldorizdat*, 1959. - 215 s
2. Koturanov V.N., Filippov V.N. et al. Spetsializirovannyye tsisterny dlya perevozki opasnykh грузов [Specialized tanks for the transport of dangerous goods. Ministry of railways of the russian federation.] M.: *Publishing House of Standards*, 1993
3. Gubenko V.K., Nikodimov A.P., Zhilin G.K. Tsisterny. Ustroystvo, ekspluatatsiya, remont Spravochnoye posobiye [Cisterns. Arrangement, operation, repair: Reference manual] - M.: *Transport*. 1990. - 151 s.
4. GOST 269-66. Rezina. Obshchiye trebovaniya k provedeniyu fiziko-mekhanicheskikh ispytaniy [Rubber. General requirements for physical and mechanical tests.] - Anavar. 01.07.66. - M.: *Interstate Standard: Publishing House of Standards*, 1966. - 18 s.
5. Gefan G.D., Shiryayeva N.K. Osnovy teorii eksperimenta: ucheb. posobiye [Fundamentals of the theory of experiment: textbook]. - *Irkutsk: IrGUPS*, 2017. - 136 s.
6. Plotnikova. I.V., Redko L.A. Moises BB Statisticheskiye metody kontrolya kachestva i obrabotka eksperimental'nykh dannykh: uchebnoye posobiye [Statistical Methods of Quality Control and Experimental Data Processing: Tutorial/BB Moises], *Tomsk Polytechnic University*. - Tomsk: *Publishing House of Tomsk Polytechnic University*, 2016. - 119 s.
7. GOST 9.030-74. Reziny. Metody ispytaniy na stoykost' v nenapryazhennom sostoyanii k vozdeystviyu zhidkikh agressivnykh sred [Rubber. Methods of testing for resistance to liquid aggressive media in an unstressed state.] - Anavar. 01.07.75. - M.: *Between the state standard: Standardinform*, 2008. - 13 s.

8. Reznichenko S.V., Morozova Yu.L.. Bol'shoy spravochnik rezinshchika. CH.2. Reziny i rezinotekhnicheskiye izdeliya [Big Rubber Maker's Handbook. Ch.2. Rubber and rubber products] Ed. - M.: LLC "Publishing Center" Tekhinform "MAI," 2012. - 648 s.

9. GOST 7338-90. Bol'shoy spravochnik rezinshchika. CH.2. Reziny i rezinotekhnicheskiye izdeliya [Rubber and rubber-fabric plates. Specifications.] - Anavar. 1991-07-01 - M.: Interstate Standard: Publishing House of Standards, 1991. - 43 p.: silt.

10. Butorin D.V., Chuklai I.V., Filippenko N.G. Tekhnologiya maslonapolneniya poli-mernykh i kompozitnykh antifriktsionnykh materialov [Oil filling technology for limer and compo-site antifriction materials] *Transport in the structure of the Siberian region: materials of the Sev-enth International Scientific and Practical Conference dedicated to the 355th anniversary of the founding of the city of Irkutsk, March 29 - April 01, 2016. Irkutsk: in 2 vol., T.2. - Irkutsk: IrGUPS, 2016. S. 490-495.*

11. Butorin D.V., Filatova S.N., Livshits A.V., Kargapol'tsev S.K. Razrabotka metodiki opre-deleniya strukturnykh prevrashcheniy v polimernykh materialakh Sovremennyye tekhnologii [De-velopment of a Method for Determining Structural Transformations in Polymeric] *Materials Mod-ern technologies. System analysis. Modeling.* 2015. No. 4 (48). pp. 80-86

12. Dumchev I.S., Larchenko A.G., Popov S.I., Filippenko N.G., Livshits A.V. osstanovleni-ye poliamidnykh separatorov podshipnikov buksovogo uzla podvizhnogo sostava OAO RZHD [Restoration of polyamide separators for bearings of the axlebox unit of the rolling stock of Russian Railways] *Molodoy ucheny.* 2012. No. 12. S. 48-51.

13. Kargapol'tsev S.K., Shastin V.I., Gozbenko V.E., Livshits A.V., Filippenko N.G. Laser al-loying of wear surfaces with metal components *International Journal of Applied Engineering Re-search.* 2017. V. 12. No. 17. S. 6499-6503.

Информация об авторах

Кочергина Мария Евгеньевна – студент гр. ПСЖ.4-18-1, кафедры «Автоматизация про-изводственных процессов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: mashakohergina19@mail.ru

Загорнов Даниил Денисович – студент гр. ПСЖ.3-18-2, кафедры «Электроподвижной со-став», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: zagor-nov.danya@mail.ru

Филиппенко Николай Григорьевич – к. т. н., доцент кафедры «Автоматизация произво-дственных процессов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Ир-кутск, e-mail: ifpi@mail.ru

Information about the authors

Kohergina Maria Evgenievna – Student, Department of Automation of Production Process-es, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: mashakohergina19@mail.ru

Zagornov Daniil Denisovich – Student, Department of Electric rolling stock, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: zagornov.danya@mail.ru

Filippenko Nikolai Grigorievich – Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor of the department «Automation of Production Processes», Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: ifpi@mail.ru