

Автоматизированное исследование процесса набухания уплотнений сливных приборов вагонов-цистерн

Н. Г. Филиппенко✉, А. А. Беломестных, Т. Т. Чумбадзе

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

✉ ifpi@mai.ru

Резюме

В статье представлены результаты физико-механических испытаний предварительно подготовленных резинотехнических образцов уплотнительного кольца клапана сливного прибора вагонов-цистерн марки МБС-С при атмосферном давлении. При проведении экспериментального исследования в качестве рабочих сред использовались наиболее агрессивная среда легких углеводородов (бензин марки АИ-95) и гидравлическая жидкость МГ-15-Б (нефтепродукт с высоким коэффициентом вязкости). За результат испытаний принималось среднеарифметическое значение массы пяти образцов, полученное в определенное время проведения исследования. Эксперимент показал, что наибольшая интенсивность изменения массы образцов в среде легких углеводородов наблюдается в первые 24 ч выдержки. При выдержке образцов в гидравлическом масле наибольшая интенсивность набухания наблюдается в первые 96 ч. Так как длительность экспериментальных исследований процесса набухания резинотехнических изделий будет неприемлемой для промышленных предприятий, было принято решение на основании опыта предыдущих исследований изготовить автоматизированную экспериментально-исследовательскую установку на базе промышленного оборудования термовакуумного наполнения. Для управления электронными устройствами, с целью контроля и регулирования температуры в камере установки использовался программируемый контроллер Atmega 328. Автоматизированный метод исследования показал, что каждые 5 мин. выдержки образцов в среде легких углеводородов приводят к незначительному росту набухания, в среднем масса изменяется на 3,1 %. Наибольшая интенсивность поглощения при испытании в среде гидравлического масла наблюдается в первые 5 мин. испытаний, масса образцов за это время увеличилась на 0,82 % от первоначальной.

Ключевые слова

клапан сливного прибора, сливной прибор, вагон-цистерна, резинотехнические изделия, бензин, гидравлическая жидкость, автоматизация, термовакуум

Для цитирования

Филиппенко Н.Г. Автоматизированное исследование процесса набухания уплотнений сливных приборов вагонов-цистерн / Н. Г. Филиппенко, А. А. Беломестных, Т. Т. Чумбадзе // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2021. – № 2 (70). – С. 62–68. – DOI: 10.26731/1813-9108.2021.2(70).62-68

Информация о статье

поступила в редакцию: 09.01.2021, поступила после рецензирования: 22.01.2021, принята к публикации: 07.02.2021

Automated research of the process of the swelling of sealings of draining devices in the tank railcars

N. G. Filippenko✉, A. A. Belomestnykh, T. T. Chumbadze

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

✉ ifpi@mai.ru

Abstract

The article presents the results of physical and mechanical tests of previously prepared industrial rubber samples of the sealing ring of the drain valve of the MBS-S tank railcars at atmospheric pressure. Gasoline AI-95 (the most aggressive medium among light hydrocarbons) and a hydraulic fluid MG-15-B (an oil product with a high viscosity coefficient) were used as working media for the experimental study. The arithmetic mean of the mass of five samples, obtained at a certain time of the study, was taken for the test result. Experimental studies have shown that the highest rate of change in the mass of the samples, in the medium of light hydrocarbons, is observed in the first 24 hours of exposure. When the samples are kept in hydraulic oil, the highest swelling rate is observed in the first 96 hours. Since the duration of experimental studies of the rubber products' swelling will be unacceptable for industrial enterprises, it was decided, following on from the experience of previous studies, to make an automated experimental research installation on the basis of industrial equipment for thermal vacuum filling. To control the electronic devices, in order to monitor and regulate the temperature in the chamber of the installation, the programmable controller Atmega 328 was used. The automated research method showed that every 5 minutes of exposure of the samples in the medium of light hydrocarbons, are accompanied by a slight increase

in swelling, the mass changes by 3,10% on average. The highest absorption intensity, when tested in a medium of hydraulic oil, is observed in the first five minutes of testing, the mass of the samples during this time increased by 0,82% from the initial one.

Keywords

drain valve, draining device, tank railcar, industrial rubber goods, gasoline, hydraulic fluid, automation, thermal vacuum

For citation

Filippenko N. G., Belomestnykh A. A., Chumbadze T. T. Avtomatizirovannoe issledovanie protsessa nabukhaniya uplotnenii slivnykh priborov vagonov-tsistern [Automated research of the process of the swelling of sealings of draining devices in the tank railcars]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemy analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2021, No. 2 (70), pp. 62–68.– DOI: 10.26731/1813-9108.2021.2(70).62-68

Article info

Received: 09.01.2021, Revised: 22.01.2021, Accepted: 07.02.2021

Введение

Проблема протекания перевозимых в цистернах жидких углеводородов достаточно широко известна и ее решение является актуальной задачей современности. Одной из основных причин потерь перевозимых жидкостей является изменение конструктивных свойств материала уплотнений в процессе их эксплуатации.

Для исследования процесса изменения физических свойств резинотехнических изделий вследствие их набухания в агрессивной среде перевозимого груза были взяты образцы резины уплотнительного кольца клапана сливного вагона-цистерны марки МБС-С [1]. В качестве агрессивной среды использовались смесь легких углеводородов (бензин марки АИ-95) и гидравлическая жидкость марки МГ-15-Б.

Каждый образец исследования перед проведением эксперимента был осмотрен на предмет наличия пор и наружных повреждений. Для проведения эксперимента использовались стеклянные емкости с плотными крышками объемом 390 мл. В каждую емкость помещалось пять предварительно взвешенных образцов, после чего они заливались жидкостью при соотношении жидкости и образцов 20:1 [2, 3]. Образцы выдерживались в среде испытания в течение определенного времени.

За результат испытаний принималось среднее арифметическое значение суммарной массы образцов (г) в определенный промежуток времени \bar{M} , рассчитанное по формуле (1):

$$\bar{M} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N M_i, \quad (1)$$

где M_i – отдельное значение массы, изменяется от 1 до N , г; N – количество образцов, шт.

Результат полученных при проведении исследований представлен далее (табл. 1).

Таблица 1. Результаты исследования изменения массы образца

Table 1. The results of the study of changes in the mass of the sample

Время проведения исследования, ч	Среднее арифметическое значение массы образца при набухании в исследуемых средах, г	
	Бензин марки АИ-95	МГ-15-Б
Начальное значение	2,3351	2,4211
24	2,9818	2,4486
96	3,1275	2,4709
144	3,1517	2,4741
288	3,1684	2,4775

По результатам проведенных исследований были построены диаграммы зависимости изменения массы образцов в бензине (рис. 1) и гидравлическом масле (рис. 2), рассчитанные по формуле (2):

$$\Delta M = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где M_1 – масса предварительно взвешенных образцов, г; M_2 – масса образца, взвешенного в определенный момент времени выдержки, г.

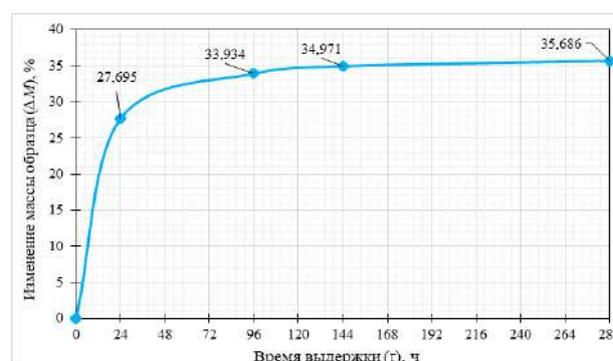


Рис. 1. Диаграмма набухания образцов при взаимодействии с бензином марки АИ-95

Fig. 1. Diagram of the swelling of samples when interacting with gasoline AI-95

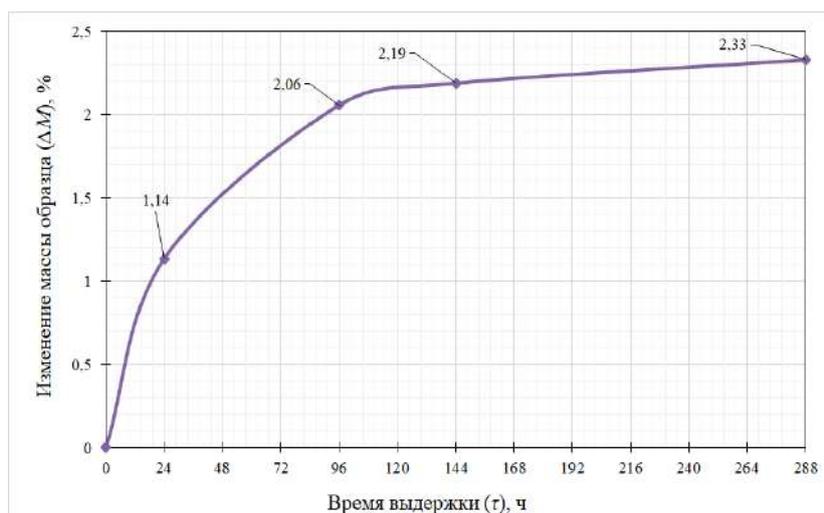


Рис. 2. Диаграмма изменения массы образцов при взаимодействии с гидравлической жидкостью МГ-15-Б
Fig. 2. Diagram of the change in the mass of samples when interacting with hydraulic fluid MG-15-B

Анализ диаграммы (см. рис. 1) показывает, что при контакте образцов со смесью легких углеводородов (бензином марки АИ-95) с течением времени наибольшая интенсивность поглощения наблюдается в первые 24 ч выдержки. Масса образца за первые сутки испытания при температуре 23 °С, увеличилась на 27,695 %. Полное насыщение образцов наблюдается уже через 96 ч выдержки. Общая же масса образца за полный период проведенных экспериментальных исследований (288 ч) изменилась на 35,686 %.

Анализ диаграммы (см. рис. 2) показывает, что при контакте образцов уплотнительного кольца сливного прибора со смесью рабочей жидкости МГ-15-Б с течением времени степень их набухания увеличивается менее значительно. Наибольшая интенсивность поглощения наблюдается в первые 96 ч исследования, масса образцов за это время увеличилась на 2,06 %. В период времени эксперимента от 96 до 288 ч масса образцов изменяется незначительно, полного насыщения не происходит.

Проведение автоматизированного метода испытаний резины в термовакууме

Проведенные исследования показали, что длительность экспериментальных исследований на предмет набухания резинотехнических изделий будет неприемлемой для промышленных предприятий, поэтому, взяв за основу работы по наполнению полимеров моторными маслами, проведенными на кафедре автоматизации производственных процессов Иркутского государственного университета путей сообщения, была изготовлена экспериментально-исследовательская установка на базе промышленного оборудования AZ pre-ink N2 для термовакуумного наполнения [4, 5].

Технология автоматизированного метода исследования заключается в погружении образцов в ванну термовакуумной камеры, которая заполнена агрессивной средой испытания (см. рис. 3). Контрольно-управляющими параметрами процесса исследования являются температура в ванне вакуумной камеры ($t = 23 \pm 2$ °С), давление в камере ($P = 10$ кПа) и вес образцов.

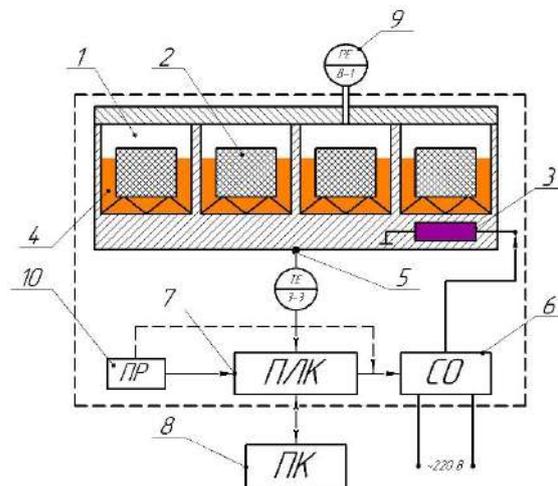


Рис. 3. Схема экспериментальной установки:

- 1 – вакуумная камера; 2 – образец;
- 3 – нагревательный элемент; 4 – агрессивная среда;
- 5 – терморезистор; 6 – симистор с оптопарой;
- 7 – микроконтроллер; 8 – персональный компьютер;
- 9 – манометр; 10 – переменный резистор

Fig. 3. Diagram of the experimental setup:

- 1 – vacuum chamber; 2 – sample;
- 3 – heating element; 4 – aggressive environment;
- 5 – thermal resistor; 6 – triac with an optical coupler;
- 7 – microcontroller; 8 – personal computer;
- 9 – manometer; 10 – variable resistor

Давление в камере установки контролируется с помощью манометра, установленного на верхней крышке. Регулировку температуры производим с помощью переменного резистора, через микроконтроллер и симистор с оптопарой [6, 7]. Контроль температуры осуществляем посредством снятия информации с терморезистора. Для управления электронными устройствами и передачи данных на ПК используем микроконтроллер Atmega 328, предварительно прошитый программным кодом, основанным на работах [8] и написанным в среде программирования Arduino IDE. Программный код представлен на рис. 4.

Результаты испытаний по термовакуумному наполнению образцов представлены далее (табл. 2).

По результатам проведенных исследований были построены диаграмма зависимости изменения массы образцов в бензине (рис. 5) и гидравлическом масле (рис. 6).

Таблица 2. Результаты автоматизированного испытания в термовакууме

Table 2. Results of automated testing in thermal vacuum

Продолжительность исследования, мин	Среднее арифметическое значение массы образца при набухании в исследуемых средах, г	
	Бензин АИ-95	МГ-15-Б
Предварительный	2,7313	2,6111
5	2,8593	2,6324
10	2,9105	2,6407
15	3,0132	2,6439
20	3,0883	2,6416
25	3,1529	2,6425
30	3,2076	–
35	3,2821	–
40	3,3567	–
45	3,4256	–
50	3,4657	–
55	3,4734	–
60	3,4824	–

```
#include <math.h>

float dim = 0; // переменная Диммер хранит данные с A0
float E; // коэффициент ошибки
float Up; //
float Ui;
//float Ud ПИД составляющая
float E0;
float U;
float Kp=2, Ki=5, Kd=0; // задаем коэффициенты ПИД-регулятора

float A=1.009249522e-03, B=2.378405444e-04, C=2.019202697e-07;
// задаем значения констант в уравнении Стейнхарта-Харта (из даташита на терморезистор)
float T, logRt, Tc; // переменные присутствующие в переводе в град.
float Vo;

void setup() {
  Serial.begin(250000); // открыть порт для связи
  pinMode(9, OUTPUT); // назначим нагревательный элемент heater как выход
  pinMode(A1, INPUT); // A1 считывает сигнал с терморезистора
}
void loop()
{
  Vo = analogRead(A1); // считывает значение с аналогового пина A1
  T = (1.0 / (A + B * logRt + C * logRt * logRt * logRt)); // расчет T в Кельвинах
  Tc = T - 273.15; // переводим из K в градусы

  dim = analogRead(A0) / 20.5; // считывает положения диммера с аналогового вывода A0

  E = dim - Vo; // коэффициент ошибки
  Up = E * Kp; // П-составляющая
  Ui = Ui + Ki * E; // И-составляющая
  U = Ui + Up; // ПИ регулятор
  if (U > 255) { U = 255; } // назначаем условие максимальной температуры
  if (U <= 0) { U = 0; } // условие минимальной температуры
  // E = dim - TR = диммер - температура
  analogWrite(9, U); // согласовываем нагревательный элемент и ПИД-регулятор
  Serial.println(Vo);
}
```

Рис. 4. Алгоритм программы регулирования и контроля температуры

Fig. 4. Algorithm of the temperature regulation and control program

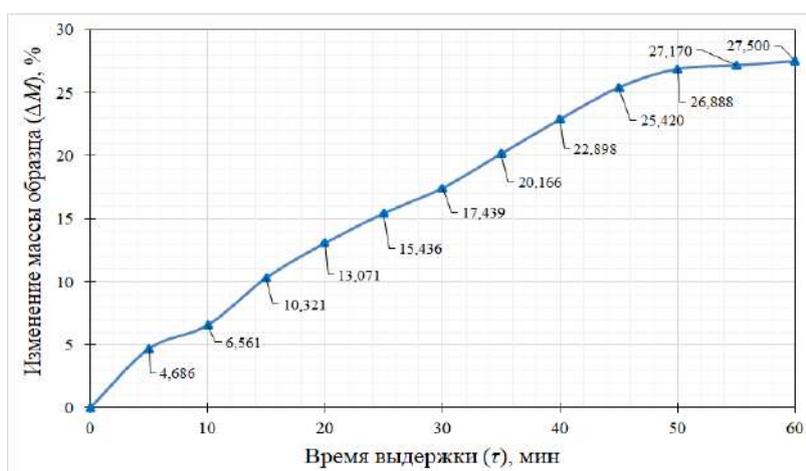


Рис. 5. Диаграмма набухания образцов в термовакуумной камере при взаимодействии с бензином марки АИ-95

Fig. 5. Diagram of the swelling of samples in a thermal vacuum chamber when interacting with gasoline AI-95

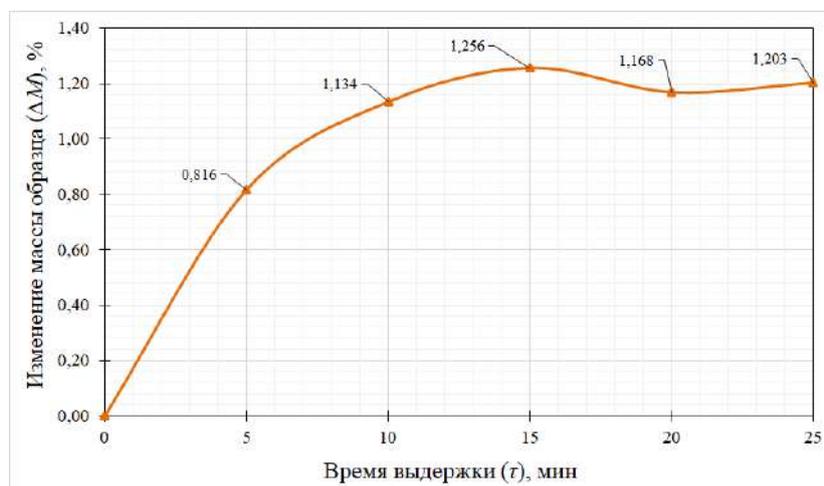


Рис. 6. Диаграмма набухания образцов в термовакуумной камере при взаимодействии с гидравлическим маслом марки МГ-15-Б

Fig. 6. Diagram of the swelling of samples in a thermal vacuum chamber when interacting with hydraulic oil brand MG-15-B

При взаимодействии исследуемых образцов в термовакуумной камере с бензином (см. рис. 5) при температуре 23 °С в течение 25 мин. имеет место изменение массы от первоначальной на 27,5 %. Каждые 5 мин. выдержки происходит незначительный рост набухания, в среднем масса изменяется на 3,1 %.

При проведении экспериментальных исследований в термовакуумной камере с гидравлической жидкостью марки МГ-15-Б (см. рис. 6) при температуре 23 °С в течение 25 мин. имеет место максимальное изменение массы образцов на 1,256 %. Наибольшая интенсивность поглощения наблюдается в первые 5 мин. испытаний, масса образцов за это время увеличилась на 0,82 % от первоначальной.

Заключение

На основании проведенных физико-механических испытаний с образцами уплотнительного кольца клапана сливного прибора можно сделать вывод, что в условиях промышленного предприятия наиболее эффективным будет проведение автоматизированного ускоренного испытания резинотехнических изделий, так как это позволит сэкономить время.

Предварительно можно сказать, что 24 ч выдержки образцов в бензине (марка АИ-95) при атмосферном давлении соответствуют 50–55 мин. выдержки испытуемых образцов в термовакуумной камере.

При проведении автоматизированного испытания образцов в среде гидравлического масла МГ-15-Б

невозможно провести соответствие с результатами испытаний, проведенных при атмосферном давлении, ввиду получения отличных друг от друга результатов. Это дает перспективу для проведения дальнейших исследований процесса набухания резинотехнических изделий в среде вязких нефтепродуктов.

Результаты проведенного эксперимента указывают на необходимость замены материала уплотнительного кольца клапана сливного прибора вагонов-цистерн для перевозки светлых нефтепродуктов в связи с потерей его физико-механических свойств при перевозке легких углеводородов более 96 ч.

Список литературы

1. ГОСТ 7338-90. Пластины резиновые и резинотканевые. Технические условия. Введ. 1991-07-01. М.: Межгосударственный стандарт: Изд-во стандартов, 1991. 43 с.
2. ГОСТ 269-66. Резина. Общие требования к проведению физико-механических испытаний. Введ. 01.07.66. М.: Межгосударственный стандарт: Изд-во стандартов, 1966. 18 с.
3. ГОСТ 9.030-74. Резины. Методы испытаний на стойкость в ненапряженном состоянии к воздействию жидких агрессивных сред. Введ. 01.07.75. М.: Межгосударственный стандарт: Стандартиформ, 2008. 13 с.
4. Буторин Д.В., Чукай И.В., Филиппенко Н.Г. Технология маслоснаполнения 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.
5. Морчиладзе И.Г., Никодимов А.П., Соколов М.М., Третьяков А.В. Железнодорожные цистерны: учеб. пособ. для работников железнодорожного транспорта. М.: ИБС-Холдинг, 2006. 516 с.
6. Филиппенко Н.Г. Определение фазовых и релаксационных переходов в полимерных материалах / Н.Г. Филиппенко, Д.В. Буторин, А.В. Лившиц // Автоматизация. Современные технологии. 2017. Т. 71. № 4. С. 171–175.
7. Патент на полезную модель RU 132209 U1 Устройство диагностики деталей из полиамидных материалов А.Г. Ларченко, А.В. Лившиц, Н.Г. Филиппенко, С.И. Попов, 10.09.2013. Заявка № 2013115531/28 от 05.04.2013.
8. Филиппенко Н.Г. Автоматизация измерения температуры полимерного материала при высокочастотном электротермическом нагреве / Н.Г. Филиппенко, Д.В. Буторин, А.В. Лившиц, М.С. Попов, В.Е. Гозбенко // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2017. № 1 (53). С. 96–103.
9. Беломестных А.А. Анализ конструкции сливного прибора вагонов-цистерн и наличие автоматизированных систем контроля его работоспособности [Электронный ресурс] / А.А. Беломестных, И.В. Матвеев, Н.А. Чипизубов, Т.Т. Чумбадзе // Молодая наука Сибири: электрон. науч. Журн. 2021. № 1(11). URL: <https://mnv.irgups.ru/toma/111-2021>. Загл. с экрана.
10. Губенко В.К., Никодимов А.П., Жилин Г.К. и др. Цистерны (устройство, эксплуатация, ремонт): справочное пособие. М.: Транспорт. 1990. 151 с.
11. Ворон О.А., Челохьян А.В., Криворудченко В.Ф., Довгаль Е.А., Риполь-Сарагоси Л.Ф., Стрельченко Г.В., Шаповалов В.В. Особенности конструкции современных грузовых вагонов: учеб. пособие для вузов железнодорожного транспорта. Ростов: РГУПС, 2010. 403 с.
12. Григорьев А.Н., Асламазов Г.М., Кузьмин С.П. Железнодорожные цистерны: Устройство, эксплуатация и ремонт. Москва: Трансжелдориздат, 1959. 215 с.
13. Филиппов В.Н., Козлов И.В., Курыкина Т.Г., Подлесников Я.Д. Сливно-наливная и предохранительная арматура цистерн для опасных грузов 2-го и 3-го классов опасности: Методические указания. М.: МГУПС (МИИТ), 2015. 41 с.
14. Резниченко С.В., Морозова Ю.Л. Большой справочник резинщика. Ч. 2. Резины и резинотехнические изделия. М.: ООО «Издательский центр «Техинформ» МАИ», 2012. 648 с.
15. Медведев В.И., Тесленко И.О. Перевозка опасных грузов железнодорожным транспортом: учеб. пособие. М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2015. 151 с.
16. Быков Б.В. Конструкция, техническое обслуживание и текущий ремонт грузовых вагонов / М.: Желдориздат, Трансинфо, 2005. 416 с.
17. Лукин В.В., Анисимов П.С., Федосеев Ю.П. Вагоны. Общий курс: Учебник для вузов ж.-д. трансп. / под ред. В.В. Лукина. М.: Маршрут, 2004. 424 с.
18. Пастухов И.Ф. Конструкция вагонов: учебник для колледжей и техникумов ж.-д. транспорта / И.Ф. Пастухов, В.В. Пигунов, Р.О. Кошкалда. Изд. 2-е. М.: Маршрут, 2004. 504 с.
19. Андросюк В.Н. и др. Опасные грузы. Классификация. Знаки опасности. Идентификация. Справочник. М.: Маршрут, 2004. 231 с.

References

1. GOST 7338-90. Plastiny rezinovyie i rezinotkanevyye. Tekhnicheskie usloviya. Vved. 1991-07-01. [GOST 7338-90. Rubber and rubber-fabric plates. Technical conditions. Introduced 1991-07-01]. Moscow: Interstate standard: Izd-vo standartov Publ., 1991. 43 p.
2. GOST 269-66. Rezina. Obshchie trebovaniya k provedeniyu fiziko-mekhanicheskikh ispytaniy. Vved. 01.07.66 [GOST 269-66. Rubber. General requirements for physical and mechanical tests. - Introduction. 01.07.66]. Moscow: Interstate standard: Izd-vo standartov Publ., 1966. 18 p.
3. GOST 9.030-74. Reziny. Metody ispytaniy na stoikost' v nenapryazhyennom sostoyanii k vozdeystviyu zhidkikh agresivnykh sred. Vved. 01.07.75 [GOST 9.030-74. Rubber. Test methods for resistance in unstressed state to the effects of aggressive liquid media. Introduction. 07/01/75]. Moscow: Interstate standard: Standartinform Publ., 2008. 13 p.

4. Butorin D.V., Chuklai I.V., Filippenko N.G. Tekhnologiya maslonapleneniya polimernykh i kompozitnykh antifriktsionnykh materialov [Technology of oil filling of polymer and composite antifriction materials]. *Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona: materialy Sed'moi mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi 355-letiyu so dnya osnovaniya goroda Irkutsk, 29 marta – 01 aprelya 2016 g.* [Transport infrastructure of the Siberian region: materials of the Seventh 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 vols. Vol. 2]. Irkutsk: IrGUPS Publ., 2016. Pp. 490–495.

5. Morchiladze I.G., Nikodimov A.P., Sokolov M.M., Tret'yakov A.V. Zheleznodorozhnye tsisterny: ucheb. posob. dlya rabotnikov zheleznodorozhnogo transporta [Railway tanks: A textbook for railway workers]. Moscow: IBS-Holding Publ., 2006. 516 p.

6. Filippenko N.G., Butorin D.V., Livshits A.V. Opredelenie fazovykh i relaksatsionnykh perekhodov v polimernykh materialakh [Determination of phase and relaxation transitions in polymeric materials]. *Avtomatizatsiya. Sovremennye tekhnologii [Automation. Modern technologies]*, 2017. Vol. 71. No. 4. Pp. 171–175.

7. Larchenko A.G., Livshits A.V., Filippenko N.G., Popov S.I. *Ustroistvo diagnostiki detalei iz poliamidnykh materialov [A device for diagnostics of parts made of polyamide materials]*. Utility model patent RU 132209 U1, 10.09.2013. Application No. 2013115531/28 dated April 05, 2013.

8. Filippenko N.G., Butorin D.V., Livshits A.V., Popov M.S., Gozbenko V.E. Avtomatizatsiya izmereniya temperatury polimernogo materiala pri vysokochastotnom elektrotermicheskom nagreve [Automation of measuring the temperature of a polymer material during high-frequency electrothermal heating]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemy analiz. Modelirovanie [Modern technologies. System analysis. Modeling]*, 2017. No. 1 (53). Pp. 96–103.

9. Belomestnykh A.A., Matveev I.V., Chipizubov N.A., Chumbadze T.T. Analiz konstruksii slivnogo pribora vagonov-tsitern i nalichie avtomatizirovannykh sistem kontrolya ego rabotosposobnosti [Analysis of the design of the drain device for tank cars and the availability of automated control systems for its performance [Electronic media]]. *Molodaya nauka Sibiri: elektron. nauch. zhurn. [Young Science of Siberia: an electronic scientific journal]*, 2021. No. 1(11). URL: <https://mnv.irgups.ru/toma/111-2021>.

10. Gubenko V.K., Nikodimov A.P., Zhilin G.K. et al. Tsisterny (ustroistvo, ekspluatatsiya, remont): spravochnoe posobie [Tanks (device, operation, repair); a reference manual]. Moscow: Transport Publ., 1990. 151 p.

11. Voron O.A., Chelokhyan A.V., Krivorudchenko V.F., Dovgal' E.A., Ripol'-Saragossi L.F., Strel'chenko G.V., Shapovalov V.V. Osobennosti konstruksii sovremennykh gruzovykh vagonov: ucheb. posobie dlya vuzov zheleznodorozhnogo transporta [Features of the design of modern freight cars: a textbook for railway transport universities]. Rostov: RGUPS Publ., 2010. 403 p.

12. Grigor'ev A.N., Aslamazov G.M., Kuz'min S.P. Zheleznodorozhnye tsisterny: Ustroistvo, ekspluatatsiya i remont [Railway tanks: Device, operation and repair]. Moscow: Transzheldorizdat Publ., 1959. 215 p.

13. Filippov V.N., Kozlov I.V., Kurykina T.G., Podlesnikov Ya.D. Slivo-nalivnaya i predokhranitel'naya armatura tsistern dlya opasnykh gruzov 2-go i 3-go klassov opasnosti: Metodicheskie ukazaniya [Unloading and filling and safety valves of tanks for dangerous goods of the 2nd and 3rd hazard classes: Methodical instructions]. Moscow: MGUPS (MIIT) Publ., 2015. 41 p.

14. Reznichenko S.V., Morozova Yu.L. Bol'shoi spravochnik rezinshchika. Ch. 2. Reziny i rezinotekhnicheskie izdeliya [A comprehensive reference book of the rubber-maker. Part 2. Rubber and general mechanical rubber goods]. Moscow: OOO "Publishing Center" Tekhinform "MAI" Publ., 2012. 648 p.

15. Medvedev V.I., Teslenko I.O. Perevozka opasnykh gruzov zheleznodorozhnym transportom: ucheb. posobie [Transportation of dangerous goods by rail: a textbook]. Moscow: FGBOU "Educational and methodological center for education on railway transport" Publ., 2015. 151 p.

16. Bykov B.V. Konstruksiya, tekhnicheskoe obsluzhivanie i tekushchii remont gruzovykh vagonov [Construction, maintenance and current repair of freight cars]. Moscow: Zheldorizdat, Transinfo Publ., 2005. 416 p.

17. Lukin V.V., Anisimov P.S., Fedoseev Yu.P. Vagony. Obshchii kurs: Uchebnik dlya vuzov zh.-d. transp. [Wagons. The general course: A textbook for higher educational institutions of railway transport]. In Lukin V.V. (ed) Moscow: Marshrut Publ., 2004. 424 p.

18. Pastukhov I.F., Piguinov V.V., Koshkalda R.O. Konstruksiya vagonov: uchebnik dlya kolledzhei i tekhnikumov zh.-d. transporta [The construction of cars: a textbook for colleges and technical schools of the railway transport]. 2nd ed. Moscow: Marshrut Publ., 2004. 504 p.

19. Androsyuk V.N. et al. Opasnye gruzy. Klassifikatsiya. Znaki opasnosti. Identifikatsiya. Spravochnik [Dangerous goods. Classification. Danger signs. Identification. A reference book]. Moscow: Marshrut Publ., 2004. 231 p.

Информация об авторах

Филиппенко Николай Григорьевич – канд. техн. наук, доцент кафедры автоматизации производственных процессов, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: ifpi@mai.ru

Беломестных Артем Александрович – кафедра автоматизации производственных процессов, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: artiom.belomestnyh@yandex.ru.

Чумбадзе Тамара Темуриевна – кафедра автоматизации производственных процессов, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: tamriko98@yandex.ru

Information about the authors

Nikolai G. Filippenko – Associate Professor of the Subdepartment of Automation of Production Processes, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: ifpi@mai.ru

Artyom A. Belomestnykh – Subdepartment of Automation of Production Processes, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: artiom.belomestnyh@yandex.ru

Tamara T. Chumbadze – Subdepartment of Automation of Production Processes, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: tamriko98@yandex.ru