

18. Boykov V.P., Belkovsky V.N. Shiny dlya traktorov i sel'skokhozyaystvennykh mashin [Tires for tractors and agricultural machines]. Moscow, Agropromizdat, 1988: 238. (In Rus.)

19. Self-propelled grain harvester RSM-181 "TORUM": Operation and maintenance manual. Version 7. (Access date 18.10.2020). (In Rus.)

20. Protocol No. 07-103-2016 (5060142) for periodic tests of the Torum-780 grain harvester. URL: http://kubmis.ru/images/2016/agreecultural_machines_2016/Combine_grain_PCM-181_TORUM_780.pdf (Access date 18.10.2020). (In Rus.)

Критерии авторства

Щиголов С.В., Ломакин С.Г. выполнили теоретические исследования, на основании полученных результатов провели обобщение и подготовили рукопись. Щиголов С.В., Ломакин С.Г. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 25.10.2020 г.

Одобрена после рецензирования 16.11.2020 г.

Принята к публикации 15.01.2021 г.

Contribution

S.V. Shchigolev, S.G. Lomakin performed theoretical studies, and based on the results obtained, generalized the results and wrote a manuscript. S.V. Shchigolev, S.G. Lomakin have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The paper was received 25.10.2020

Approved after reviewing 16.11.2020

Accepted for publication 15.01.2021

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК: 621.65.03

DOI: 10.26897/2687-1149-2020-6-52-57

ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДИАФРАГМ МЕМБРАННО-ПОРШНЕВЫХ НАСОСОВ В АГРЕССИВНЫХ СРЕДАХ

СВИРИДОВ АЛЕКСЕЙ СЕРГЕЕВИЧ, младший научный сотрудник

sviridov.vim@ya.ru

АЛЕХИНА РАЙСА АШОТОВНА✉, инженер

rioraya9@gmail.com✉

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; 109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, 5

Аннотация. Износ диафрагм мембранно-поршневого насоса может наступать вследствие воздействия различных факторов: уменьшения поперечного сечения всасывающего контура (трубы непригодного диаметра, загрязнения фильтра, накачивания жидкостей высокой вязкости и т.д.), использования весьма агрессивных химикатов, повышенной температуры эксплуатации, абразивности частиц, а также высокого давления в пневматической линии. В работе рассмотрены различные типы материалов, применяемых для изготовления диафрагм мембранно-поршневых насосов: каучуки, термопластичные эластомеры, термопласты и реактопласты. При анализе материалов учитывались физико-механические, технологические и эксплуатационные характеристики материалов и соответствующие требования по химической стойкости, температурному диапазону эксплуатации и абразивности на примере возделывания бобовых культур. Установлен оптимальный материал, которым является литьевой полиуретан, имеющий высокие физико-механические характеристики, широкий диапазон твердости (от 30 А до 90 Д по Шору), низкую усадку, что подразумевает длительное его использование. Полиуретановые изделия производятся методом свободного литья, в отличие от термопластов и эластомеров не требующего сложных и дорогостоящих литьевых оснасток. Литьевой полиуретан имеет достаточную химическую стойкость при контакте с рабочими жидкостями насоса и износостойкость при перекачке абразивных сред, подходит для работы в климатических условиях центрального региона России, а также отличается доступностью, технологичностью и меньшей стоимостью.

Ключевые слова: диафрагма, мембранно-поршневой насос, соя, полимеры, полиуретан, удобрения, химическая стойкость.

Формат цитирования: Свиридов А.С., Алехина Р.А. Выбор материалов, применяемых для изготовления диафрагм мембранно-поршневых насосов в агрессивных средах // Агроинженерия. 2021. № 1 (101). С. 52-57. DOI: 10.26897/2687-1149-2021-1-52-57.

© Свиридов А.С., Алехина Р.А., 2021




ORIGINAL PAPER

SELECTION OF MATERIALS USED FOR MANUFACTURING DIAPHRAGMS OF DIAPHRAGM-PISTON PUMPS IN AGGRESSIVE ENVIRONMENT

ALEKSEI S. SVIRIDOV, Junior Research Engineer

sviridov.vim@ya.ru

RAISA A. ALEKHINA , Engineer

rioraya9@gmail.com 

Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 109428, Russian Federation Moscow, 1st Institutsky Proezd Str., 5

Abstract. Wear of the diaphragm-piston pump may occur due to a reduction in the cross-section of the suction circuit (caused by an unsuitable pipe diameter, a dirty filter, pumping of high-viscosity liquids, etc.), the use of very aggressive chemicals, high operating temperature, abrasive particles, and high pressure in the pneumatic line. The paper considers various types of materials used for the manufacture of diaphragm piston pumps: rubbers, thermoplastic elastomers, thermoplastics and thermoset materials. The physical and mechanical, technological and operational characteristics of materials and the corresponding requirements for chemical resistance, temperature range of operation and abrasiveness were taken into account using an example of soybean cultivation. It was found that the optimal material that meets the above criteria is cast polyurethane. It has high physical and mechanical characteristics, a wide range of hardness (from 30 A to 90 B by Shore), low shrinkage, which implies long-term use of the material. Polyurethane products are manufactured by free casting, in which the liquid polymer composition is cured in a form that does not require complex and expensive injection molding rigs, unlike thermoplastics and elastomers. Injection polyurethane has sufficient chemical resistance in contact with the pump's working fluids and features wear resistance when pumping abrasive media. Therefore it is suitable for working in the climatic conditions of the Central region of Russia, and is also affordable, cheap and technologically advanced.

Key words: diaphragm, piston diaphragm pump, soybeans, polymers, polyurethane, fertilizers, chemical resistance.

For citation: Sviridov A.S., Alekhina R.A. Selection of materials used for manufacturing diaphragms of diaphragm-piston pumps in aggressive environment // Agricultural Engineering, 2021; 1 (101): 52-57. (In Rus.). DOI: 10.26897/2687-1149-2021-1-52-57.

Введение. Адресное и точное внесение средств химической защиты, а также жидких минеральных удобрений с соблюдением всех агротехнических норм является неотъемлемой частью возделывания большинства сельскохозяйственных культур, особенно бобовых. Жидкие минеральные удобрения являются наиболее технологичной формой удобрений, позволяющей использовать их в качестве носителей пестицидов и регуляторов роста растений. В качестве рабочей жидкости используют различные удобрения (азотные, карбамидо-аммиачная смесь, удобрения марок NPS, NP, N, NS, NPK, NPKS) и средства химической защиты растений: пестициды, гербициды, фунгициды [1]. Так, при возделывании бобовых культур для удаления сорняков в междурядье и около растений в стадиях от развития листьев до цветения используют Гейзер 2,0...3,0 л/га, Хилер 1,0...1,5 л/га или Цензор 0,7...1,0 л/га. От болезней типа аскохитоз, антракноз, септориоз и т.д. используют Винтаж МЭ 0,6...0,8 л/га. При борьбе с вредителями применяют внесение Кинфос КЭ 0,3...0,5 л/га или Эсперо КС 0,15...0,2 л/га [2-5].

Для обрабатывания посевных площадей используют различные типы опрыскивателей: навесной, прицепной и самоходный. Сельскохозяйственные опрыскиватели – это технически сложные машины, состоящие из насоса, перемешивающего устройства, регулятора давления, распылительного устройства, резервуара с рабочей жидкостью и заправочного устройства. Как правило, на опрыскиватели устанавливают мембранно-поршневые насосы [6].

Мембранно-поршневой насос представляет собой вибрационный насос прямого вытеснения. К преимуществам данного типа насосов следует отнести низкую стоимость,

удобство использования, возможность перекачивания агрессивных и абразивных жидкостей, длительный срок эксплуатации, высокую точность подачи рабочих жидкостей, выдерживание приемлемых периодов сухого хода.

Химические средства защиты растений отрицательно влияют на срок службы диафрагмы мембранно-поршневого насоса, поскольку она находится в непосредственном контакте с рабочей жидкостью.

Диафрагма является главным рабочим органом насоса и представляет собой пластину (рис. 1), которая изгибается под действием рычажного механизма, изменения давления воздуха или через гидравлическую жидкость.



Рис. 1. Диафрагма, применяемая в мембранно-поршневом насосе

Fig. 1. Diaphragm used for a diaphragm piston pump

Диафрагма является расходным элементом в конструкции насоса и изнашивается под действием различных факторов, что является одним из основных недостатков мембранно-поршневых насосов, использующихся на опрыскивателях.

Цель исследования: анализ материалов, применяемых для изготовления диафрагм мембранно-поршневых насосов, с целью выбора оптимального материала с учетом физико-механических, технологических, эксплуатационных характеристик и стоимости.

Материал и методы. Осуществлен сравнительный анализ материалов, используемых для изготовления диафрагм мембранно-поршневых насосов.

Результаты и обсуждение. Наиболее распространенными причинами повреждения диафрагм являются уменьшение поперечного сечения всасывающего контура (ввиду трубы непригодного диаметра, загрязнения фильтра, накачивания жидкостей высокой вязкости и т.д.), использование весьма агрессивных химикатов. Также на срок службы диафрагм влияют температура эксплуатации, абразивность частиц, находящихся в воде, давление в пневматической линии и т.д. Данные факторы необходимо учитывать при выборе материала для изготовления диафрагм.

Общие требования к материалу диафрагмы мембранно-поршневого насоса, работающего на установке при возделывании сельскохозяйственных культур:

1. Рабочее давление на мембрану – от 1 до 6 бар.
2. Твердость по Шору А – от 70 до 90.
3. Температура эксплуатации – от +10 до +45°C.
4. Истираемость – от 120 до 170 мм².
5. Устойчивость к воздействию моторных масел и смазки, силиконовых масел, гидравлических жидкостей, гербицидов (Бенито, ККР, Хилер, МКЭ), инсектицидов (Кинфос, КЭ), фунгицидов (Винтаж, МЭ), горячей воды (до +65...75°C).
6. Габариты диафрагмы:
 - внутренний диаметр – от 8,5 до 9,5 мм;
 - наружный диаметр – от 119,5 до 120,4 мм;
 - ширина – от 9,5 до 10,5 мм.
7. Интервал обслуживания: контроль, а при необходимости – замена мембран в конце сезона или ежегодно.

Материалы для изготовления диафрагм могут быть разделены на четыре основные группы: каучуки, термопластичные эластомеры, термопласты и реактопласты [7, 8]. В таблицах 1, 2 представлены основные механические, технологические и эксплуатационные характеристики материалов по данным группам.

Таблица 1

Основные механические и технологические характеристики материалов для изготовления мембран

Table 1

Main mechanical and technological characteristics of materials for the manufacture of membranes

Виды <i>Views</i>	Прочность при растяжении, МПа <i>Tensile strength, MPa</i>	Твердость по Шору (с указанием шкалы Анли D) <i>Hardness, Shore (ShA) (indicating the scale A or D)</i>	Относительное удлинение при разрыве, % <i>Elongation at break, %</i>	Модуль упругости при растяжении, МПа <i>Tensile modulus, MPa</i>	Остаточная деформация при сжатии, % <i>Compression set, %</i>	Температура плавления, °С <i>Melting point, °C</i>	Вязкость, сПз/ПТР г/10 мин <i>Viscosity, cP/MFR g/10 min</i>
Каучуки / Rubbers							
Неопрен <i>Neoprene</i>	28	30...90A	100...800	1,7...2,1	≤25	40	200...300/ -
Буна-Н <i>Buna-N</i>	6,9...24,1	40...90A	400...600	1,8...2,1	5	-	50...120 (Муни) / -
Висталон <i>Vistalon</i>	17	30...90A	600	0,7...1,7	≤40	31	130 (Муни) / -
Витон <i>Viton</i>	12,7	40...90A	222...230	5	≤20	82	- /15...20
Термопласты / Thermoplastics							
Тефлон <i>Teflon</i>	10...45	11...70D	40...650	0,4...2,3	-	135-340	- /4...30
Реактопласты / Thermoset materials							
Витафлекс <i>Vitaflex</i>	20...96	10...90A	10...86	2	-	240	2000/ -
ПМС <i>PMS</i>	35	70	750	1,72	-	-	3000/ -
Термоэластопласты / Thermoplastic elastomers							
Вил-флекс <i>Wheel-flex</i>	14	45A...50D	530	6,9	30	210	- /6
Санифлекс <i>Saniflex</i>	3...49	35A...82D	50...900	7	-	160	- /4,8
Геоласт <i>Geolast</i>	7,5	45A...50D	227	4,9	38	98-110	- /6

Таблица 2

Эксплуатационные свойства материалов для изготовления мембран

Table 2

Performance properties of membrane materials

Материал <i>Material</i>	Температурные границы эксплуатации, °С <i>Operating temperature range, °C</i>	Стойкость к различным средам <i>Resistance to various environments</i>	Абразивная стойкость <i>Abrasion resistance</i>
Неопрен <i>Neoprene</i>	–18...+93	Для умеренно агрессивных и неагрессивных сред <i>For moderately aggressive and non-aggressive environments</i>	Средняя износостойкость к абразивному истиранию <i>Medium abrasion resistance</i>
Буна-Н <i>Buna-N</i>	–12...+82	Для перекачки топлива и масел <i>For pumping fuel and oils</i>	Перекачка абразивных сред <i>Pumping abrasive environments</i>
Висталон <i>Vistalon</i>	–51...+138	Для агрессивных и умеренно-агрессивных сред <i>For aggressive and moderately aggressive environments</i>	Удовлетворительная стойкость к истиранию <i>Satisfactory abrasion resistance</i>
Витон <i>Viton</i>	–40...+177	Для перекачки высокоагрессивных сред <i>For pumping highly aggressive environments</i>	Хорошая стойкость к истиранию <i>Good abrasion resistance</i>
Тефлон <i>Teflon</i>	–4...+104	Для агрессивных сред <i>For aggressive environments</i>	Хорошая стойкость к истиранию <i>Good abrasion resistance</i>
Витафлекс <i>Vytaflex</i>	–12...+66	Для перекачки масел, гидравлических жидкостей, агрессивных сред <i>For pumping oils, hydraulic fluids, aggressive environments</i>	Отличная стойкость к истиранию <i>Excellent abrasion resistance</i>
Вил-флекс <i>Wil-Flex</i>	–40...+107	Для перекачки химических веществ: кислоты, щелочи <i>For pumping chemicals: acids, alkalis</i>	Отличная стойкость к истиранию <i>Excellent abrasion resistance</i>
Санифлекс <i>Saniflex</i>	–29...+107	Перекачка неагрессивных и умеренно агрессивных сред <i>Pumping non-aggressive and moderately aggressive environments</i>	Отличная стойкость к истиранию <i>Excellent abrasion resistance</i>
Геоласт <i>Geolast</i>	–40...+82	Перекачка любых жидкостей <i>Pumping any liquid</i>	Износостойкость при перекачке абразивных сред <i>Wear resistance when pumping abrasive environments</i>

Неопрен представляет собой каучук общего назначения. Этот полимер имеет тенденцию медленно кристаллизоваться и затвердевать при температуре ниже 10°C. Он также кристаллизуется при растяжении. Эластомер не набухает в углеводородных маслах, имеет большую стойкость к окислению и воздействию озона и обладает огнестойкостью. Не подходит для использования с ароматическими углеводородами, минеральными маслами, органическими растворителями и эфирами. Неопреновые диафрагмы используются в неагрессивных средах, обладают превосходным сроком службы в условиях изгиба и низкой стоимостью [9].

Buna-N представляет собой бутадиен-нитрильный каучук. Полимер характеризуется низким сжатием, высокой износостойкостью и прочностью на разрыв, но низкой гибкостью. Имеет отличную стойкость к нефтяным маслам и топливу, силиконовым смазкам, гидравлическим жидкостям, воде и спиртам.

Висталон, или этилен-пропиленовый каучук, может противостоять истиранию, ультрафиолетовому излучению, озону, старению и погодным условиям, химически устойчив,

в том числе к полярным жидкостям – таким, как вода, кислоты, щелочи, сложные эфиры фосфатов и многие кетоны и спирты. Однако этилен-пропиленовый каучук несовместим с минеральными и синтетическими диэфирными смазками, с углеводородным топливом и растворителями, а также имеет плохую огнестойкость. Мембраны из этого материала хорошо подходят для работы при низкой температуре – до –50°C [10].

Витон представляет собой фторкаучук, имеет стойкость при работе с повышенными температурами (+140...177°C), и в вакууме происходит минимальная потеря веса. Подходит для перекачивания агрессивных жидкостей, но не является стойким к воздействию безводного аммиака, аминов, кетонов, сложных эфиров, горячей воды и низкомолекулярных органических кислот.

Мембраны из тефлона подходят для очень агрессивных сред – таких, как ароматические и хлорированные углеводороды, кислоты, каустики, ацетаты и кетоны. Работают они в условиях изгиба лучше, чем фторкаучук.

Витафлекс и ПМС представляют собой литевой полиуретан, имеющий высокую износостойкость, высокую

прочность и эластичность, большую долговечность по сравнению с эластомерами. Полиуретановые изделия выдерживают работу при низкой температуре (до -80°C) и при циклических нагрузках. Полиуретан устойчив к горячей воде, растворам солей, минеральным маслам и смазкам, алифатическим углеводородам, но не подходит для перекачивания агрессивных кислот и ароматических углеводородов и т.д. [11, 12].

По составу основных компонентов термоэластопласты представляют собой сочетание каучука с термопластом. Такие материалы сочетают деформационные свойства резин при эксплуатации со способностью переработки в изделия, как у термопластов. По сравнению с резинами термоэластопласты имеют более низкую плотность (на 20...30%), обладают высокой озоно- и атмосферостойкостью, морозостойкостью, устойчивы к набуханию в агрессивных средах. Преимущество использования термопластичных эластомеров заключается в их способности возвращаться к своей исходной форме, что предполагает более длительный срок службы [12].

Вил-флекс (полиуретан + этилен-пропиленовый каучук) и Геоласт (полиуретан + бутадие-нитрильный каучук) представляют собой термопластичные вулканизаты – системы, состоящие из двух фаз: мягкой и жесткой. Мягкая фаза определяет эластичность, а жесткая обеспечивает устойчивость к температурному воздействию, прочность и обрабатываемость. Одними из преимуществ термопластичных вулканизатов являются высокие рабочие температуры (от -60 до $+135^{\circ}\text{C}$), стойкость к агрессивным жидкостям и к компрессионному проседанию. Санифлекс представляет собой уретановый каучук на основе

сложных полиэфиров, имеет отличную абразивную стойкость и длительный срок службы в условиях изгиба.

При выборе материала для изготовления диафрагмы учитывались доступность и цена материала, стойкость к различным типам жидкостей, показатели твердости и истираемости, температура эксплуатации. С учетом этих факторов в качестве основного материала для изготовления диафрагмы был выбран витафлекс – литевой полиуретан, имеющий аналог среди российских марок – таких, как адваформ, силагерм и т.д.

Литьевые полиуретаны имеют высокие физико-механические характеристики, широкий диапазон твердости (от 30 до 90 Д по Шору), низкую усадку, что подразумевает длительное использование материала. Полиуретановые изделия производятся методом свободного литья, при котором происходит отверждение жидкой полимерной композиции в форме, в отличие от термопластов и эластомеров не требующей сложных и дорогостоящих литьевых форм. Способ свободного литья отличается низкой стоимостью оборудования и технологической оснастки, а также позволяет отливать детали различного диапазона твердости.

Выводы

Наиболее подходящим материалом для изготовления диафрагм является полиуретан, который обладает достаточной химической стойкостью при контакте с рабочими жидкостями насоса и износостойкостью при перекачке абразивных сред, подходит для работы в климатических условиях Центрального региона России, а также отличается доступностью, технологичностью и меньшей стоимостью.

Библиографический список

1. Ягодин Б.А., Жуков Ю.П., Кобзаренко В.И. Агрохимия: Монография. М.: Колос, 2002. 584 с.
2. Лукомец В.М. Соя в России – действительность и возможность / В.М. Лукомец, А.В. Кочегура, В.Ф. Баранов и др. Краснодар: ФНЦ ВНИИМК им. В.С. Пустовойта, 2013. 99 с.
3. Афанасьев А.И. Практикум по химической защите растений / А.И. Афанасьев, Г.С. Груздев, Л.Б. Дмитриев и др. М.: Колос, 1983. 272 с.
4. Deshpande S.D., Bal S., Ojha T.P. Physical properties of soybean // *Journal of Agricultural Engineering Research*. 1993. Vol. 56. № 2. P. 89-98.
5. Захаренко В.А. Тенденции и перспективы химической и биологической защиты растений // *Защита и карантин растений*. 2011. № 3. С. 6-10.
6. Милюткин В.А., Буксман В.Э. Повышение эффективности опрыскивателей для внесения жидких минеральных удобрений // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2018. № 1. С. 119-122.
7. Абдуллин И.Ш., Ибрагимов Р.Г., Парошин В.В. и др. Композиционные мембраны // *Вестник Казанского технологического университета*. 2012. Т. 15. № 15. С. 67-75.
8. Волков В.В., Бильдюкевич А.В., Филиппов А.Н. и др. Композиционные полволоконные мембраны с диффузионными слоями из политриметилсилилпропина // *Труды НГТУ им. П.Е. Алексеева*. 2012. № 4 (97). С. 280-286.

References

1. Yagodin B.A., Zhukov Yu.P., Kobzarenko V.I. *Agrokimiya: monografiya* [Agrochemistry: monograph]. Moscow, Kolos, 2002: 584. (In Rus.)
2. Lukomets V.M., Kochegura A.V., Baranov V.F. et al. *Soya v Rossii – deystvitel'nost' i vozmozhnost'* [Soybeans in Russia – real facts and opportunities]. Krasnodar, FNTS VNIIMK im. V.S. Pustovoyta, 2013: 99. (In Rus.)
3. Afanasyev A.I., Gruzdev G.S., Dmitriev L.B. et al. *Praktikum po khimicheskoy zashchite rasteniy* [Practical training guide on chemical plant protection]. Moscow, Kolos, 1983: 272. (In Rus.)
4. Deshpande S.D., Bal S., Oyha T.P. Physical properties of soybean. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 1993; 56(2): 89-98.
5. Zakharenko V.A. *Tendentsii i perspektivy khimicheskoy i biologicheskoy zashchity rasteniy* [Trends and prospects of chemical and biological plant protection]. *Zashchita i karantin rasteniy*, 2011; 3: 6-10. (In Rus.)
6. Milyutkin V.A., Buksman V.E. *Povyshenie effektivnosti opryskivatelye dlya vnesheniya zhidkikh mineral'nykh udobreniy* [Increasing the efficiency of sprayers for applying liquid mineral fertilizers]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2018; 1: 119-122. (In Rus.)
7. Abdullin I.Sh., Ibragimov R.G., Paroshin V.V. et al. *Kompozitsionnye membrany* [Composite membranes]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2012. 15 (15): 67-75. (In Rus.)

9. Celina M., Wisea J., Ottesenb D.K. et al. Correlation of chemical and mechanical property changes during oxidative degradation of neoprene // *Polymer Degradation and Stability*. 2000. Vol. 68. № 2. P. 171-184. DOI: 10.1016/S0141-3910(99)00183-4.

10. Clemitson I.R. Castable polyurethane elastomers. New York: CRC Press, 2008. 300 p.

11. Song B., Chen W. One-dimensional dynamic compressive behavior of EPDM rubber // *Journal of engineering materials and technology*. 2003. Vol. 125. № 3. P. 294-301. DOI: 10.1115/1.1584492.

12. Blackwell J., Gardner K.H. Structure of the hard segments in polyurethane elastomers // *Polymer*. 1970. Vol. 20. № 1. P. 13-17. DOI: 10.1016/0032-3861(79)90035-1.

8. Volkov V.V., Bildyukevich A.V., Filippov A.N. et al. Kompozitsionnye polovolokonnnye membrany s diffuzionnymi sloyami iz politrimetilsililpropina [Composite hollow fiber membranes with diffusion layers made of polytrimethylsilylpropine]. *Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva*, 2012; 4 (97): 280-286. (In Rus.)

9. Celina M., Wisea J., Ottesenb D.K. et al. Correlation of chemical and mechanical property changes during oxidative degradation of neoprene. *Polymer Degradation and Stability*, 2000; 68(2): 171-184. DOI: 10.1016/S0141-3910(99)00183-4.

10. Clemitson I.R. Castable polyurethane elastomers. New York, CRC Press, 2008: 300.

11. Song B., Chen W. One-dimensional dynamic compressive behavior of EPDM rubber. *Journal of engineering materials and technology*, 2003; 125 (3): 294-301. DOI: 10.1115/1.1584492.

12. Blackwell J., Gardner K.H. Structure of the hard segments in polyurethane elastomers. *Polymer*, 1970; 20(1): 13-17. DOI: 10.1016/0032-3861(79)90035-1

Критерии авторства

Свиридов А.С., Алехина Р.А. выполнили теоретические исследования, на основании полученных результатов провели обобщение и подготовили рукопись. Свиридов А.С., Алехина Р.А. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 10.09.2020 г

Одобрена после рецензирования 02.10.2020

Принята к публикации 01.12.2020 г.

Contribution

A.S. Sviridov, R.A. Alekhina performed theoretical studies, and based on the results obtained, generalized the results and wrote a manuscript. A.S. Sviridov, R.A. Alekhina have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The paper was received 10.09.2020

Approved after reviewing 02.10.2020

Accepted for publication 01.12.2020