УДК 678.04: 621.315.616.7
DOI 10.31242/2618-9712-2022-27-2-316-326

Исследование изменения свойств уплотнительных резин в условиях воздействия углеводородной среды и температурного режима

А.Ф. Федорова*, М.Л. Давыдова, Н.В. Шадринов, А.А. Борисова, А.Л. Федоров, К.П. Антоев, А.Р. Халдеева, В.В. Павлова

Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск, Россия
**faitalina@yandex.ru*

Аннотация. *Повышение надежности и долговечности уплотнительных устройств техники, эксплуатирующихся в условиях холодного климата, главным образом зависит от качества уплотнительного материала. Благодаря высокой эластичности, проявляющейся в широком температурном интервале, хорошей амортизационной способности и другим важным свойствам резины являются самыми распространенными материалами для уплотнительных устройств. Как правило, резиновые уплотнения работают в контакте с рабочими средами углеводородного происхождения, что приводит к резкому изменению их состава и свойств. В связи с этим целью работы являлось исследование совместного действия углеводородных сред и температур окружающей среды на свойства бутадиен-нитрильных резин. Образцы серийно выпускаемой резины марки 98-1 и резины РП-5, полученной по патенту РФ № 2719809, выдерживали в углеводородных средах (индустриальном гидравлическом масле марки И-20А и всесезонном универсальном полусинтетическом моторном масле Gazpromneft Diesel Premium 10W-40), где основным фактором являлась температура окружающей среды, и определяли их стойкость к углеводородным средам по изменению характерных показателей. Экспозицию образцов проводили в январе 2022 г. при следующих условиях: под постоянным влиянием температуры окружающей среды на климатическом полигоне, расположенном в г. Якутск; в помещении при температуре 20–23 °С и при циклическом изменении температуры с целью имитации эксплуатации уплотнений в узлах техники, эксплуатируемой на Крайнем Севере в условиях гаражного хранения. Установлено, что при комнатной температуре и в условиях циклического изменения температуры происходят наибольшие изменения характеристических показателей. Это связано с интенсивным протеканием диффузионных процессов при контакте резин с углеводородными средами. При натурной экспозиции под действием низких температур изменение свойств минимальны. По сравнению с серийно выпускаемой резиной 98-1 резина РП-5 проявила более высокий уровень сохранения основных показателей.*

Ключевые слова: бутадиен-нитрильная резина, климатические испытания, вымывания пластификатора, морозостойкость резин

Благодарности. *Работа выполнена с использованием научного оборудования Центра коллективного пользования ФИЦ ЯНЦ СО РАН.*

Введение

Материалы, предназначенные для применения в условиях Севера, должны проходить климатические испытания, определяющие влияние внешних факторов на их свойства как в лабораторном, так и в натурном варианте [1–3]. Определение способности резин и резиновых изделий сопротивляться воздействию естественных климатических факторов различных климатических районов (солнечного излучения, температуры окружающей среды, влажности воздуха и атмосферных осадков, кислорода, озона и других) проводится в соответствии с ГОСТ 9.066 «Метод испытаний на стойкость к старению при воздействии естественных климатических факторов». Сущность метода заключается в том, что образцы резин подвергают старению на климатических станциях в условиях данного климатического района в режимах, близких к эксплуатационным и определяют один или несколько характерных показателей. Однако данный ГОСТ не позволяет оценить работоспособность маслобензостойких резин, предназначенных для изготовления уплотнений, контактирующих с

© Федорова А.Ф., Давыдова М.Л., Шадринов Н.В., Борисова А.А., Федоров А.Л., Антоев К.П., Халдеева А.Р., Павлова В.В., 2022

углеводородными средами в широком интервале температур. При разработке рецептур резин уплотнительного назначения необходимо проводить натурные испытания под действием рабочих сред и температур окружающей среды, где процесс старения существенно отличается от старения в воздушной среде, что позволит более детально оценить работоспособность резин на их основе.

В связи с этим целью работы являлось исследование совместного действия углеводородных сред и температур окружающей среды, в том числе термоциклирования, на свойства резин из маслобензостойкого бутадиен-нитрильного каучука, основная область применения которого – уплотнения.

Методы и материалы исследования

Стойкость образцов к углеводородным средам определяли путем анализа изменения характерных показателей после выдержки в углеводородных средах в широком интервале температур при различных условиях экспозиции. В качестве характерных показателей рассмотрены степень набухания (ГОСТ 9.030-74), условная прочность при растяжении (ГОСТ 270-75), условное напряжение при заданном удлинении (ГОСТ 270-75), относительное удлинение при разрыве (ГОСТ 270-75), твердость по Шору А (ГОСТ 263-75), плотность (ГОСТ 267-73), коэффициент морозостойкости при растяжении (ГОСТ 408-78) и температура хрупкости (ГОСТ 7912-74). Продолжительность экспозиции составляла 4 недели, периодичность определения значений характерных показателей – 7 дней.

Экспонирование образцов в среде масел проводили при следующих условиях:

«Помещение». Образцы выдерживались при температуре 20–23 °С;

«Улица – Помещение» (термоциклирование). Образцы ежедневно утром выносились на улицу и вечером заносились обратно в помещение. Продолжительность выдержки на улице – 8 ч (с 9:00 до 17:00). Основной целью данного режима является имитация температурного условия эксплуатации уплотнений в рабочих узлах техники, применяемой на Крайнем Севере в условиях гаражного хранения, т. е. утром – выезд техники из гаража, вечером – заезд обратно в гараж;

«Улица». Образцы выдерживались при низких температурах под постоянным влиянием температуры окружающей среды на климатическом полигоне, расположенном в г. Якутск.

Экспонирование образцов резин проводилось с 11 января по 8 февраля 2022 г. Температурные условия экспонирования образцов представлены на рис. 1. За период проведения эксперимента минимальная наружная температура окружающей среды составила –41 °С.

В качестве углеводородных сред выбраны наиболее распространенные рабочие среды, предназначенные для применения в узлах и механиз-

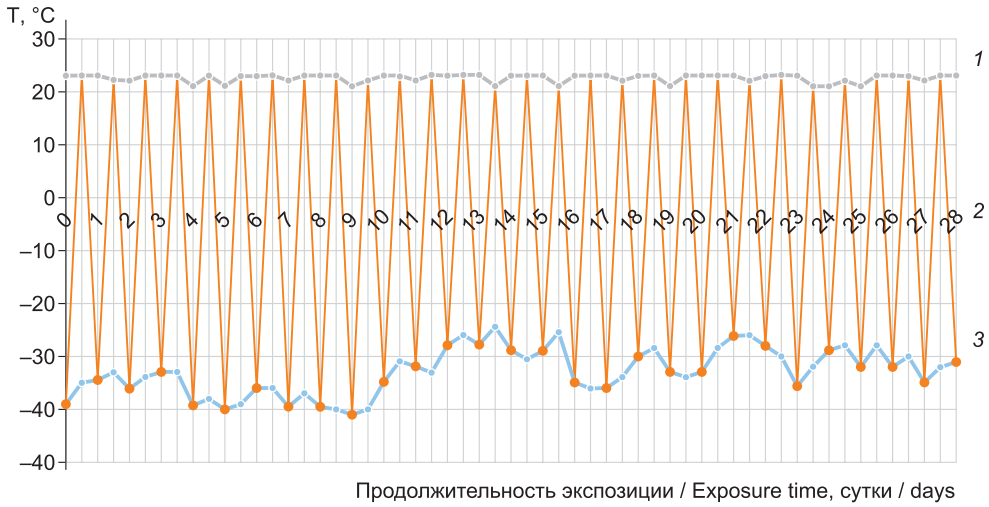

Рис. 1. Изменение температуры окружающей среды при разных условиях экспонирования образцов: *1* – «Помещение», *2* – «Термоциклирование», *3* – «Улица».

Fig. 1. Change in ambient temperature under different conditions of exposure of samples: *1* – «Indoors», *2* – «Thermal cycling», *3* – «Outdoors».

мах техники в условиях низких температур: индустриальное гидравлическое масло марки И-20А (ГОСТ 20799-88, производство ООО «ЛЛК-Интернешнл»), которое представляет собой очищенное дистиллятное или остаточное базовое масло либо их смесь без присадок, и всесезонное универсальное полусинтетическое моторное масло Gazpromneft Diesel Premium 10W-40 (СТО 84035624-061-2012, производство ООО «Газпромнефть–СМ) для смешанного транспортного парка.

В качестве объектов исследования выбраны следующие резины на основе морозостойкого бутадиен-нитрильного каучука с низким содержанием акрилонитрила (17–21 %) [4]:

1) РП-5 – резиновая смесь на основе бутадиен-нитрильного каучука БНКС-18АМН и сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ), включающая технический углерод марки N550, дибутилсебацинат, оксид цинка, 6PPD, 4010, антиоксидант D, стеариновую кислоту, альтакс, CZ, дикумилпероксид и серу (патент РФ на изобретение №2719809) [5];

2) 98-1 НТА – резиновая смесь на основе бутадиен-нитрильного каучука СКН-18 производства ООО «СК-Полимеры» (г. Красноярск), предназначенная для изготовления РТИ для авиационной техники, работоспособная в среде масел при температурах от –60 до +150 °С (ТУ 38.005.1166-98).

Таблица 1

Физико-механические свойства резин РП-5 и 98-1

Table 1

Physical and mechanical properties of RP-5 and 98-1 rubbers

Показатель Property	РП-5 RP-5	98-1 98-1
$f_р$, МПа	11,4	5,6
f_{100}, МПа	3,3	2,1
$\varepsilon_р$, %	326	249
ρ, г/см^3	1,181	1,146
Н, у.е.	59	46

Примечание. $f_р$ – условная прочность при растяжении, f_{100} – условное напряжение при 100%-м удлинении, $\varepsilon_р$ – относительное удлинение при разрыве, ρ – плотность; Н – твердость по Шору А.

Note. $f_р$ – conventional strength at tension, f_{100} – conventional stress at 100% elongation, $\varepsilon_р$ – percent elongation at failure, ρ – density; H – Shore A hardness.

Физико-механические свойства резин РП-5 и 98-1 представлены в табл.1.

Изменение показателей физико-механических свойств (ΔS) после экспонирования рассчитывали по формуле

$$\Delta S = \frac{A_1 - A_0}{A_0} \cdot 100,$$

где A_0 – значение показателя до экспозиции, A_1 – значение показателя после экспозиции.

Изменение твердости (ΔН) вычисляли по формуле

$$\Delta H = H_1 - H_0,$$

где H_0 – твердость до экспозиции, H_1 – твердость после экспозиции.

Результаты исследований и их обсуждение

Динамика изменения физико-механических свойств, плотности и твердости резин РП-5 и 98-1 при разных условиях экспонирования в среде моторного масла 10W-40 и гидравлического масла И-20А представлены в табл. 2 и 3 соответственно.

Обнаружено, что изменение показателей материалов в большей степени зависит от условий экспонирования, чем от типа рабочих сред. Максимальные изменения условной прочности при растяжении, относительного удлинения при разрыве и твердости в обеих средах наблюдаются в условиях выдержки в помещении и при термоциклировании. При экспонировании образцов в режиме «Улица» в условиях низких температур изменения свойств резин минимальны.

Сравнение динамики изменения показателей исследованных резин показало, что серийная резина 98-1 больше подвержена изменению свойств по сравнению с резиной РП-5. После 28 суток экспонирования резины 98-1 в помещении в маслах 10W-40 и И20-А прочность повышается на 47,4 и 52,4 % соответственно, а при циклическом изменении температур – на 45,5 и 35,4 %, что на 18,7–35,4 % больше, чем у резины РП-5. Высокий уровень сохранения свойств резины РП-5 при одновременном воздействии углеводородных сред и температуры окружающей среды может быть связан с образованием более плотной пространственной структуры вследствие использования комбинированной вулканизующей группы, содержащей серу и дикумил пероксид. При использовании комбинированной вулканизующей системы одновременно протекают два разных механизма вулканизации. Помимо сшивания резины по непредельным двойным связям через образо-

вание серных «мостиков», происходит сшивка путем формирования С–С-связей, путем образования свободных радикалов, появляющихся при распаде пероксида [4]. Кроме того, замедление процесса старения резины РП-5 может быть связано с содержанием в составе резины полимерного наполнителя СВМПЭ, который содержит меньшее количество ненасыщенных связей по сравнению с каучуком. Известно, что наличие двойных связей в макромолекулах БНКС является причиной протекания термоокислительных процессов резины на его основе [6–8]. Из всех показателей резины РП-5 максимальному изменению (20 %) подвергается условная прочность при растяжении в условиях экспозиции в режиме «Улица – помещение» в среде масла 10W-40.

Вследствие менее плотной пространственной структуры, обусловливающей более интенсивное протекание диффузионных процессов, плотность резин 98-1 также сильнее подвергается изменениям.

Известно [9, 10], что при взаимодействии резин и углеводородных сред протекает ряд одновременно идущих процессов: сорбция среды поверхностью и объемом резины, диффузия среды через резину и экстракция из резины растворимых средой ингредиентов. При взаимодействии исследованных резин с маслами, как с моторным, так и с гидравлическим, происходит уменьшение массы образцов, что связано с преобладанием процесса вымывания пластификаторов из резиновой матрицы. На рис. 2 видно, что потеря в

Таблица 2

Изменение физико-механических свойств резин после выдержки в моторном масле 10W-40

Table 2

Changes in the physical and mechanical properties of rubbers after exposure in engine oil 10W-40

Показатель Indicator	Продолж-ть экспонирования, сутки Duration of exposure	Режим экспонирования Exposure mode					
		Помещение Indoors		Улица-помещение Outdoors-indoors		Улица Outdoors	
		РП-5	98-1	РП-5	98-1	РП-5	98-1
$\Delta f_р$, %	7	+11,2	+37,6	+7,6	+20,3	+7,4	+10,3
	14	+17,7	+29,0	+12,7	+19,3	+2,5	+20,4
	21	+17,5	+44,7	+20,0	+41,4	+1,6	+19,1
	28	+17,7	+47,4	+20,0	+45,5	+1,1	+13,8
Δf_{100}, %	7	–6,7	+2,8	–6,4	–8,7	–12,3	–5,7
	14	+1,7	+5,3	–4,2	+15,7	–10,8	–4,0
	21	+2,8	+5,0	+4,8	+13,2	–14,8	–19,3
	28	+1,7	+6,0	–0,2	+15,2	–14,4	–8,3
$\Delta \varepsilon_р$, %	7	+15,1	+35,3	+9,6	+30,4	+11,6	+19,7
	14	+14,2	+24,6	+10,9	–3,8	+9,2	+24,3
	21	+9,7	+45,9	+11,4	+30,3	+7,4	+24,2
	28	+11,8	+42,1	+10,4	+43,0	+6,0	+20,7
$\Delta \rho$, %	7	+1,3	+2,6	+1,3	+2,0	+0,9	+1,0
	14	+1,8	+2,9	+1,7	+2,8	+0,4	+0,8
	21	+2,1	+4,2	+1,5	+2,9	+0,4	+0,3
	28	+1,5	+3,9	+1,8	+3,3	+0,4	+0,6
ΔH, усл. ед.	7	+1	+7	+1	+3	+1	+2
	14	+5	+6	+3	+5	0	+2
	21	+7	+9	+6	+9	1	+1
	28	+6	+8	+6	+6	2	+2

Таблица 3

Изменение физико-механических свойств резин после выдержки в масле И-20А

Table 3

Changes in the physical and mechanical properties of rubbers after exposure in oil I-20A

Показатель Indicator	Продолж-ть экспонирования, сутки Duration of exposure,	Режим экспонирования Exposure mode					
		Помещение Indoors		Улица-помещение Outdoors-indoors		Улица Outdoors	
		РП-5	98-1	РП-5	98-1	РП-5	98-1
Δf_p, %	7	+8,1	+35,1	+8,8	+8,7	+4,9	+22,1
	14	+14,6	+40,0	+15,5	+26,3	+2,5	+11,8
	21	+17,6	+49,3	+19,0	+49,0	+3,7	+9,5
	28	+17,0	+52,4	+16,7	+35,4	–3,1	+7,7
Δf_{100}, %	7	–7,0	–6,8	–3,9	+2,7	–10,9	–9,2
	14	+0,9	+0,6	+1,3	–3,5	–2,6	+2,6
	21	–3,7	–4,2	+1,8	–5,9	–10,6	–4,1
	28	–2,7	+6,8	–0,2	+9,0	–6,1	–11,1
$\Delta\varepsilon_p$, %	7	+10,3	+51,8	+9,3	+14,2	+10,1	+22,1
	14	+11,2	+46,4	+9,5	+36,4	+2,6	+12,2
	21	+15,9	+52,0	+12,8	+54,8	+7,4	+16,6
	28	+13,5	+46,5	+11,5	+33,2	–0,7	+17,1
$\Delta\rho$, %	7	+1,4	+2,3	+1,3	+1,8	+0,7	+1,0
	14	+1,7	+3,1	+1,5	+2,6	+0,5	+0,6
	21	+1,6	+3,4	+1,1	+2,5	+0,5	+0,8
	28	+1,4	+3,3	+1,5	+2,9	+0,5	+0,6
ΔH, усл. ед.	7	+3	+6	+3	+7	+1	+4
	14	+4	+4	+2	+4	+1	0
	21	+5	+8	+6	+6	+1	+3
	28	+6	+9	+6	+6	+2	+3

массе при выдержке в среде моторного и гидравлического масел у резины РП-5 по сравнению с серийной резиной 98-1 существенно меньше. Особенно отчетливо это заметно при выдержке в данных средах в помещении. При термоциклировании разница в маслостойкости проявляется менее существенно, а при низких температурах, когда замедляются диффузионные процессы, практически незаметна.

Анализ полученных результатов показывает, что существенным недостатком влияния углеводородных сред является вымывание ингредиентов, особенно пластификатора, отвечающего за морозостойкость резин, что также было обнаружено в работах [11–15]. Для оценки потери морозостойкости определены коэффициент морозостойкости ($К_м$) резин при –45 °С до и после экспонирования, а также динамика изменения температуры хрупкости ($Т_{хр}$). $Т_{хр}$ является одним из показателей, характеризующих морозостойкость материала, и показывает температуру, при которой полимер разрушается в момент достижения предела вынужденной эластичности [16].

На рис. 3 видно, что при экспонировании в помещении и в условиях термоциклирования, когда наблюдалось наибольшее уменьшение массы образцов, $К_м$ при растяжении существенно уменьшается. $К_м$ резины РП-5 как до, так и после выдержки в обоих маслах имеет более высокие значения по сравнению с резиной 98-1. $К_м$ серийной резины 98-1, выдержанной в помещении, уменьшается на 97,0–97,5 %, в условиях термоциклирования – на 95,2–94,8 %, в условиях низких температур – на 24,9–34,6 %. $К_м$ резины РП-5, выдержанной в помещении, уменьшается на 82,4–83,9 %, в условиях термоцикли-

рования – на 75,1–77,7 %, в условиях низких температур – на 21,3–24,9 %.

Динамика изменения $T_{хр}$ резин в процессе экспонирования в маслах при разных условиях представлена на рис. 4. Значение $T_{хр}$ резины РП-5 до начала экспозиции в маслах на 7 градусов выше по сравнению с резиной 98-1 и составляет –54 °С. Скорее всего это объясняется особенностями механизма разрушения резины РП-5, в состав которой входит СВМПЭ. При ударном воздействии, путем которого определяется $T_{хр}$, происходит разрушение по межфазной границе каучука и СВМПЭ. Поэтому $T_{хр}$ у резины РП-5 определяется не только температурой стеклования каучука, но и структурными особенностями межфазной границы между резиной и СВМПЭ.

Видно, что при экспонировании образцов резин в помещении и в условиях термоциклирования $T_{хр}$ резин изменяется значительнее, чем $T_{хр}$ образцов, экспонированных на улице при низких температурах, что коррелирует с динамикой уменьшения объема резин. При экспонировании в помещении максимальное повышение $T_{хр}$ (на 16 градусов) зафиксировано у резины 98-1 в среде масла И20-А, в условиях термоциклирования – на 13 градусов также у резины 98-1 в среде масла И20-А. При действии отрицательных температур окружающей среды, вследствие замедления протекания диффузионных процессов, температура хрупкости после 4 недель экспозиции меняется незначительно, у резины 98-1 наблюдается повышение $T_{хр}$ на 4 градуса в обеих средах, у резины РП-5 – на 1 градус в среде И20-А и не изменяется в среде 10W-40.

Заключение

Сравнение результатов изменения свойств после экспонирования резин в моторном и гидравлическом маслах при различных температурных режимах показывает, что при комнатной температуре и в условиях циклического изменения температуры, имитирующих эксплуатацию уплотнений в узлах техники, используемой на Крайнем Севере в условиях гаражного хранения, происходят наибольшие изменения характерных показателей. Это связано с интенсивным протеканием диффузионных процессов при контакте резин с углеводородными средами.

В условиях воздействия углеводородной среды при разных температурных режимах экспонирования резина РП-5, полученная по патенту РФ № 2719809, по сравнению с серийно выпускаемой резиной 98-1, проявила более высокий уровень сохранения основных физико-механических показателей и низкотемпературных свойств.

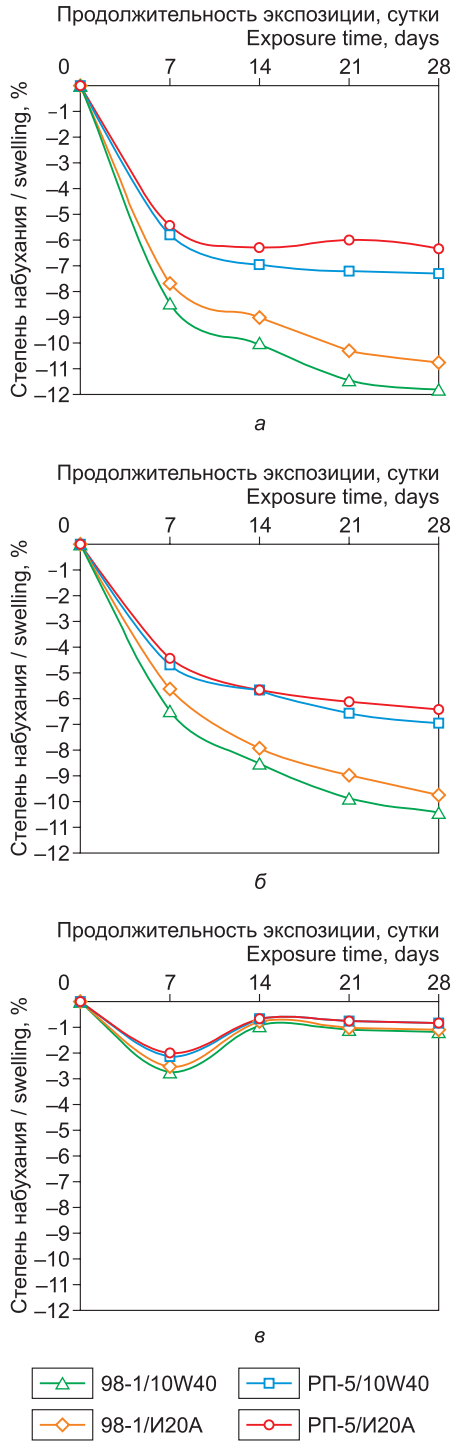

Рис. 2. Кинетика набухания резин в маслах в условиях выдержки резин в помещении (*а*), термоциклирования (*б*), на улице (*в*).

Fig. 2. Kinetics of rubber swelling in oils under conditions of rubber exposure (*а*) indoors, (*б*) thermal cycling and (*в*) outdoors.

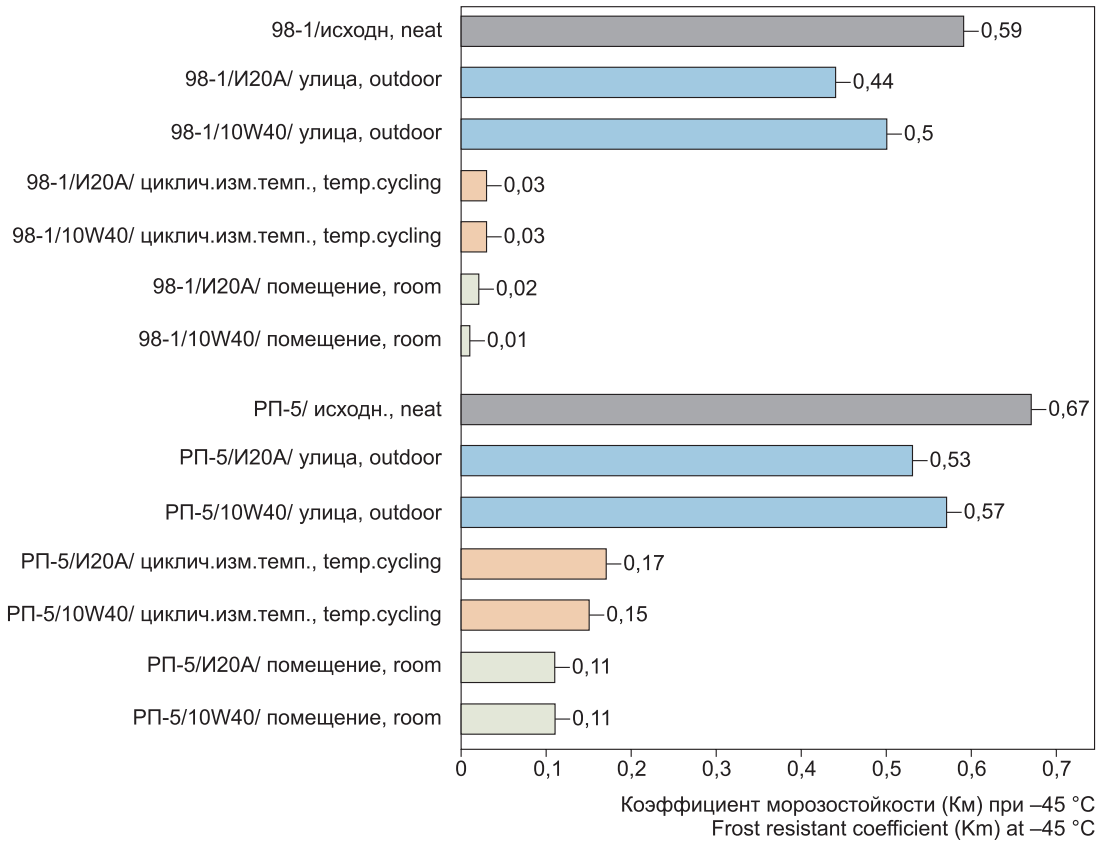

Рис. 3. Коэффициент морозостойкости резин при –45 °С.

Fig. 3. Coefficient of rubbers frost resistance at –45 °С.

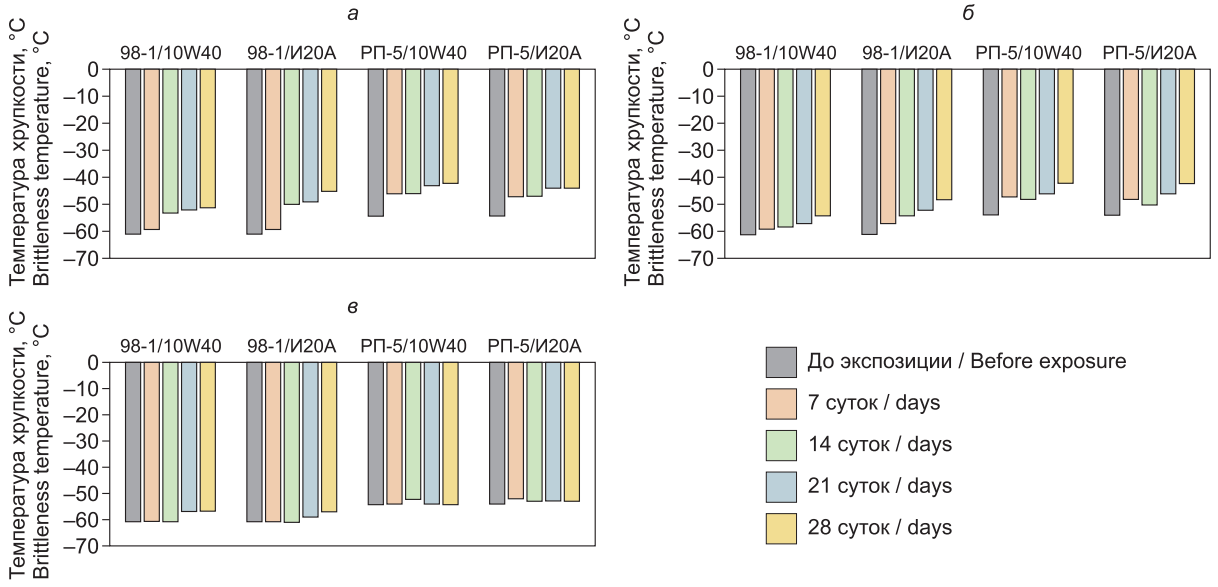

Рис. 4. Изменение температуры хрупкости резин при экспонировании в маслах в помещении (*а*), термоциклирования (*б*), на улице (*в*).

Fig. 4. Change in the temperature of the brittleness of rubbers when exposed in oils indoors (*а*), under thermal cycling conditions (*б*) and outdoors (*в*).

Литература

1. *Бузник В.М., Василевич Н.И.* Материалы для освоения арктических территорий – вызовы и решения // Лаборатория и производство. 2020. № 1 (11). С. 98–107.

2. *Бузник В.М., Каблов Е.Н.* Состояние и перспективы арктического материаловедения // Вестник Российской академии наук. 2017. № 9 (87). С. 827–839.

3. *Каблов Е.Н., Старцев В.О.* Системный анализ влияния климата на механические свойства полимерных композиционных материалов по данным отечественных и зарубежных источников (обзор) // Авиационные материалы и технологии. 2018. № 2(51). С. 47–58.

4. *Корнев А.Е., Буканов А.М., Шевердяев О.Н.* Технология эластомерных материалов. Учебник для вузов. Изд. 3-е, перераб. и доп. М.: НППА «Истек», 2009. 504 с.

5. *Шадринов Н.В., Борисова А.А., Халдеева А.Р., Павлова В.В., Антоев К.П., Соколова М.Д.* Маслобензостойкая морозостойкая резиновая смесь с повышенной термостойкостью. Патент РФ 2719809, бюл. № 12 от 23.04.2020.

6. *Shadrinov N.V., Borisova A.A.* Thermophysical and Dynamic Properties of Nitrile Butadiene Rubber Filled with Ultra-High Molecular Weight Polyethylene // Inorganic Materials. Applied Research. 2021. Vol. 12. P. 1112–1119. https://doi.org/10.1134/S2075113321040389

7. *Вольфсон С.И., Охотина Н.А., Нигматуллина А.И., Сабиров Р.К.* Исследование упруго-гистерезисных характеристик динамических термоэластопластов // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15, № 11 С. 100–101.

8. *Заикин А.Е., Бобров Г.Б.* Влияние содержания акрилонитрила в бутадиен-нитрильном каучуке на свойства динамических термоэластопластов на его основе // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17, № 16. С. 105–109.

3. *Зуев Ю.С.* Разрушение полимеров под действием агрессивных сред. М.: Химия, 1972. 232 с.

10. *Рейтлингер С.А.* Проницаемость полимерных материалов. М.: Химия, 1974. 270 с.

11. *Федорова А.Ф.* Влияние низких температур и нефтяной среды на свойства морозостойких уплотнительных резин: дис. ... канд. техн. наук. Якутск, 2003. 169 с.

12. *Петрова Н.Н., Попова А.Ф., Федотова Е.С.* Исследование влияния низких температур и углеводородных сред на свойства резин на основе пропиленоксидного и бутадиеннитрильного каучуков // Каучук и резина. 2002. № 3. С. 6–9.

13. *Khalaf A.I., Yehia Abbas., Ismail M.N. et al.* High performance oil resistant rubber // Kaut gummi kuns rubberpoint. 2013. Vol. 66, No. 9. P. 28–32.

14. *Zielinska M., Seyger R., Dierrkes W.K. et al.* Swelling of EPDM rubbers for oil-well applications as influenced by medium composition and temperature. Part I. Literature and theoretical background // Elastomery. 2016. Vol. 20, No. 2. P. 6–17.

15. *Fedorova A.F., Davydova M.L., Sokolova M.D., Pavlova V.V.* Influence of phenolic antioxidants on strength of butadiene-nitrile rubbers during natural exposure // Polymer Science, Series D. 2021. Vol. 14, No. 2. P. 312–317.

16. *Резниченко С.В., Морозов Ю.Л.* Большой справочник резинщика. Ч. 2. Резины и резинотехнические изделия. М.: ООО «Издательский центр «Техинформ» МАИ», 2012. 648 с.

Поступила в редакцию 19.04.2022
Поступила после рецензирования 12.05.2022
Принята к публикации 17.05.2022

Об авторах

ФЕДОРОВА Айталина Федоровна, ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук, Институт проблем нефти и газа, Сибирское отделение Российской академии наук, 677007, Якутск, ул. Автодорожная, д. 20, Россия,
Researcher ID F-8834-2017, http://orcid.org/0000-0001-6763-5746, e-mail: faitalina@yandex.ru

ДАВЫДОВА Мария Ларионовна, ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук, Институт проблем нефти и газа, Сибирское отделение Российской академии наук, 677007, Якутск, ул. Автодорожная, д. 20, Россия,
Researcher ID A-5434-2014, http://orcid.org/0000-0003-2252-2515, e-mail: davmlar@mail.ru

ШАДРИНОВ Николай Викторович, ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук, Институт проблем нефти и газа, Сибирское отделение Российской академии наук, 677007, Якутск, ул. Автодорожная, д. 20, Россия,
Researcher ID A-6417-2014, http://orcid.org/0000-0002-2694-9615, e-mail: nshadrinov@gmail.com

БОРИСОВА Александра Афанасьевна, старший научный сотрудник, кандидат технических наук, Институт проблем нефти и газа, Сибирское отделение Российской академии наук, 677007, Якутск, ул. Автодорожная, 20, Россия,
Researcher ID A-5802-2014, http://orcid.org/0000-0001-7564-4407, e-mail: xarax@mail.ru

ФЕДОРОВ Андрей Леонидович, старший научный сотрудник, кандидат технических наук, Институт проблем нефти и газа, Сибирское отделение Российской академии наук, 677007, Якутск, ул. Автодорожная, 20, Россия,
Researcher ID A-5442-2014, http://orcid.org/0000-0002-1718-2643, e-mail: gervirb@mail.ru

АНТОЕВ Карл Петрович, младший научный сотрудник, Институт проблем нефти и газа, Сибирское отделение Российской академии наук, 677007, Якутск, ул. Автодорожная, 20, Россия,
Researcher ID AAS-1395-2020, http://orcid.org/0000-0001-7988-3480, e-mail: antoevkp@mail.ru

ХАЛДЕЕВА Анна Романовна, младший научный сотрудник, Институт проблем нефти и газа, Сибирское отделение Российской академии наук, 677007, Якутск, ул. Автодорожная, 20, Россия,
Researcher ID F-3304-2017, http://orcid.org/0000-0001-5639-3817. e-mail: haldeeva-anna@mail.ru

ПАВЛОВА Валерия Валериевна, младший научный сотрудник, Институт проблем нефти и газа, Сибирское отделение Российской академии наук, 677007, Якутск, ул. Автодорожная, 20, Россия,
Researcher ID-G-1242-2017, http://orcid.org/0000-0001-5380-5186, e-mail: pavvaleriya@mail.ru

Для цитирования

Федорова А.Ф., Давыдова М.Л., Шадринов Н.В., Борисова А.А., Федоров А.Л., Антоев К.П., Халдеева А.Р., Павлова В.В. Исследование изменения свойств уплотнительных резин в условиях воздействия углеводородной среды и температурного режима // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2022, Т. 27, № 2. С. 316–326. https://doi.org/10.31242/2618-9712-2022-27-2-316-326

DOI 10.31242/2618-9712-2022-27-2-316-326

Investigation of changes in the properties of sealing rubbers under the influence of a hydrocarbon environment and temperature conditions

A.F. Fedorova*, M.L. Davydova, N.V. Shadrinov, A.A. Borisova, A.L. Fedorov, K.P. Antoev, A.R. Haldeeva, V.V. Pavlova

Institute of Oil and Gas Problems SB RAS, Yakutsk, Russia
**faitalina@yandex.ru*

Abstract. *Increasing the reliability and durability of sealing devices operating in cold climates mainly depends on the quality of the sealing material. Rubbers are the most common materials for sealing devices due to their high elasticity, which manifests itself in a wide temperature range, good damping ability and other important properties. As a rule, rubber seals work in contact with working hydrocarbon media, which leads to a sharp change in their composition and properties. The aim of the work was to study the combined effect of hydrocarbon media and ambient temperatures on the properties of butadiene-nitrile rubbers. Samples of commercially available rubber 98-1 and rubber RP-5, obtained under RF patent No. 2719809, were kept in hydrocarbon media (industrial hydraulic oil grade I-20A and all-season universal semi-synthetic motor oil Gazpromneft Diesel Premium 10W-40), where the main factor was the ambient temperature. We determined their resistance to hydrocarbon environments by changing characteristic indicators. The exposure of the samples was carried out in January 2022 under the following conditions: under the constant influence of ambient temperature at the climatic test site located in Yakutsk; indoors at a temperature of 20–23 °C and with a cyclic change in temperature in order to simulate the operation of seals in the units of equipment operated in the Far North in garage storage conditions. It has been established that the greatest change in indicators occurs at indoors temperature and under conditions of cyclic temperature changes.*

The change is associated with intense diffusion processes when rubber comes into contact with hydrocarbon media. At low-temperature exposure, the change in properties is minimal. The RP-5 rubber showed a higher level of preservation of the main indicators compared to the mass-produced rubber 98-1.

Keywords: butadiene-nitrile rubber, climatic tests, washing out plasticizers, frost resistance of rubber

Acknowledgements. *The research was carried out using shared core facilities of the Federal Research Center Yakutsk Science Centre SB RAS.*

References

1. *Buznik V.M., Vasilevich N.I.* Materialy' dlya osvoeniya arkticheskix territorij - vy'zovy' i resheniya // Laboratoriya i proizvodstvo. 2020. No. 1 (11). P. 98–107.

2. *Buznik V.M., Kablov E.N.* Sostoyanie i perspektivy' arkticheskogo materialovedeniya // Vestnik Rossijskoj akademii nauk. 2017. No. 9 (87). P. 827–839.

3. *Kablov E.N., Starcev V.O.* Sistemny'j analiz vliyaniya klimata na mexanicheskie svojstva polimerny'x kompozicionny'x materialov po danny'm otechestvenny'x i zarubezhny'x istochnikov (obzor) // Aviacionny'e materialy' i texnologii. 2018. No. 2(51). P. 47–58.

4. *Kornev A.E., Bukanov A.M., Sheverdyaev O.N.* Texnologiya e'lastomerny'x materialov. Uchebnik dlya vuzov. Izd. 3-e, pererab. i dop. M.: NPPA «Istek», 2009. 504 p.

5. *Shadrinov N.V., Borisova A.A., Xaldeeva A.R., Pavlova V.V., Antoev K.P., Sokolova M.D.* Maslobenzostojkaya morozostojkaya rezinovaya smes' s povy'shennoj termostojkost'yu. Patent RF 2719809, byul. No 12 ot 23.04.2020

6. *Shadrinov N.V., Borisova A.A.* Thermophysical and Dynamic Properties of Nitrile Butadiene Rubber Filled with Ultra-High Molecular Weight Polyethylene // Inorganic Materials. Applied Research. 2021. Vol. 12. P. 1112–1119. https://doi.org/10.1134/S2075113321040389

7. *Vol'fson C.I., Oxotina N.A., Nigmatullina A.I., Sabirov R.K.* Issledovanie uprugo-gisterezisny'x xarakteristik dinamicheskix termoe'lastoplastov // Vestnik Kazanskogo texnologicheskogo universiteta. 2012. Vol. 15, No. 11. P. 100–101.

8. *Zaikin A.E., Bobrov G.B.* Vliyanie soderzhaniya akrilonitrila v butadien-nitril'nom kauchuke na svojstva dinamicheskix termoe'lastoplastov na ego osnove // Vestnik Kazanskogo texnologicheskogo universiteta. 2014. Vol. 17, No. 16. P. 105–109.

9. *Zuev Yu.P.* Razrushenie polimerov pod dejstviem agressivny'x sred. M.: Ximiya, 1972. 232 p.

10. *Rejtlinger P.A.* Proniczaemost' polimerny'x materialov. M.: Ximiya, 1974. 270 p.

11. *Fedorova A.F.* Vliyanie nizkix temperatur i neftyanoj sredy' na svojstva morozostojkix uplotnitel'ny'x rezin: diP. ... kand. texn. nauk. Yakutsk, 2003. 169 p.

12. *Petrova N.N., Popova A.F., Fedotova E.P.* Issledovanie vliyaniya nizkix temperatur i uglevodorodny'x sred na svojstva rezin na osnove propilenoksidnogo i butadiennitril'nogo kauchukov // Kauchuk i rezina. 2002. No. 3. P. 6–9.

13. *Khalaf A.I., Yehia Abbas, Ismail M.N. et al.* High performance oil resistant rubber // Kaut gummi kuns rubberpoint. 2013. Vol. 66, No. 9. P. 28–32.

14. *Zielinska M., Seyger R., Dierrkes W.K. et al.* Swelling of EPDM rubbers for oil-well applications as influenced by medium composition and temperature. Part I. Literature and theoretical background // Elastomery. 2016. Vol. 20, No. 2. P. 6–17.

15. *Fedorova A.F., Davydova M.L., Sokolova M.D., Pavlova V.V.* Influence of phenolic antioxidants on strength of butadiene-nitrile rubbers during natural exposure // Polymer Science, Series D. 2021. Vol. 14, No. 2. P. 312–317.

16. *Reznichenko P.V., Morozov Yu.L.* Bol'shoj spravochnik rezinshhika. Ch.2. Reziny' i rezinotexnicheskie izdeliya. M.: OOO «Izdatel'skij centr «Texinform» MAI», 2012. 648 p.

Submitted 19.04.2022
Revised 12.05.2022
Accepted 17.05.2022

About the authors

FEDOROVA, Aitalina Fedorovna, leading researcher, Cand Sci. (Eng.), Institute of Oil and Gas Problems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 20 Avtodorojnaya st., Yakutsk 677007, Russia, Researcher ID F-8834-2017, http://orcid.org/0000-0001-6763-5746. e-mail: faitalina@yandex.ru

DAVYDOVA, Maria Larionovna, leading researcher, Cand Sci. (Eng.), Institute of Oil and Gas Problems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 20 Avtodorojnaya st., Yakutsk 677007, Russia, Researcher ID A-5434-2014, http://orcid.org/0000-0003-2252-2515. e-mail: davmlar@mail.ru

SHADRINOV, Nikolay Viktorovich, leading researcher, Cand Sci. (Eng.), Institute of Oil and Gas Problems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 20 Avtodorojnaya st., Yakutsk 677007, Russia, WOS Researcher ID A-6417-2014. http://orcid.org/0000-0002-2694-9615. e-mail: nshadrinov@gmail.com

BORISOVA, Aleksandra Afanasyevna, senior researcher, Cand Sci. (Eng.), Institute of Oil and Gas Problems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 20 Avtodorojnaya st., Yakutsk 677007, Russia, Researcher ID A-5802-2014. http://orcid.org/0000-0001-7564-4407. e-mail: xarax@mail.ru

FEDOROV, Andrey Leonodovich, senior researcher, Cand Sci. (Eng.), Institute of Oil and Gas Problems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 20 Avtodorojnaya st., Yakutsk 677007, Russia, Researcher ID A-5442-2014. http://orcid.org/0000-0002-1718-2643. e-mail: gervirb@mail.ru

ANTOEV, Karl Petrovich, junior researcher, Institute of Oil and Gas Problems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 20 Avtodorojnaya st., Yakutsk 677007, Russia,
Research ID- AAS-1395-2020. ORCID - 0000-0001-7988-3480. e-mail: antoevkp@mail.ru

HALDEEVA, Anna Romanovna, junior researcher, Institute of Oil and Gas Problems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 20 Avtodorojnaya st., Yakutsk 677007, Russia,
Research ID-F-3304-2017. ORCID - 0000-0001-5639-3817. e-mail: haldeeva-anna@mail.ru

PAVLOVA, Valeriya Valeriyevna, junior researcher, Institute of Oil and Gas Problems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 20 Avtodorojnaya st., Yakutsk 677007, Russia,
Research ID-G-1242-2017. ORCID - 0000-0001-5380-5186. e-mail: pavvaleriya@mail.ru

For citation

Fedorova A.F., Davydova M.L., Shadrinov N.V., Borisova A.A., Fedorov A.L., Antoev K.P., Haldeeva A.R., Pavlova V.V. Investigation of changes in the properties of sealing rubbers under the influence of a hydrocarbon environment and temperature conditions // Arctic and Subarctic Natural Resources. 2022, Vol. 27, No. 2. P. 316–326. (In Russ.) https://doi.org/10.31242/2618-9712-2022-27-2-316-326