

ИССЛЕДОВАНИЕ СТОЙКОСТИ РЕЗИН НА ОСНОВЕ БУТАДИЕН-НИТРИЛЬНЫХ КАУЧУКОВ И ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА В СРЕДЕ ШАХТНЫХ РАССОЛОВ ПОДЗЕМНЫХ КИМБЕРЛИТОВЫХ РУДНИКОВ

В.В. Портнягина¹, Н.Н. Петрова¹, А.А. Данилов¹

¹ Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск, Россия,
e-mail: alex.danilov.1993@mail.ru

Аннотация: Приведены результаты исследований, посвященных решению проблемы повышения эффективности эксплуатации высоконапорных секционных насосов, которые в настоящее время являются быстро развивающимся видом технологического оборудования на рудниках Российской Федерации. Одной из основных причин выхода из строя центробежных насосов является малая эффективность заводских уплотнительных резинотехнических изделий при работе на шахтной воде вследствие низких эксплуатационных свойств эластомерных материалов. Авторами данной статьи предложено создать резины уплотнительного назначения для экстремальных условий эксплуатации на основе бутадиен-нитрильных каучуков марок БНКС-18 и БНКС-26, содержащих от 0,5 до 50 мас. ч. ультрадисперсного политетрафторэтилена; изучить стойкость композитов к высоко агрессивным шахтным рассолам, отобраным с отм. –300, –400 и –480 м подземного кимберлитового рудника «Удачный», а также исследовать физико-механические свойства и износостойкость данных материалов. Показано, что наполнение резин фторполимером положительно влияет на эксплуатационные свойства материалов в дозировках 0,5 и 50 мас. ч. фторполимера. Резины на основе БНКС-26 по сравнению с композициями на основе БНКС-18 имеют на 30% более высокие значения условной прочности при растяжении, а БНКС-18 имеют на 14% более высокие показатели износостойкости резин.

Ключевые слова: эффективность эксплуатации технологического оборудования, высоконапорные секционные насосы, уплотнительные резины, бутадиен-нитрильный каучук, ультрадисперсный политетрафторэтилен, стойкость к шахтным рассолам, износостойкость, физико-механические свойства.

Для цитирования: Портнягина В. В., Петрова Н. Н., Данилов А. А. Исследование стойкости резин на основе бутадиен-нитрильных каучуков и политетрафторэтилена в среде шахтных рассолов подземных кимберлитовых рудников // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2024. – № 2. – С. 63–75. DOI: 10.25018/0236_1493_2024_2_0_63.

Immunity of nitrile butadiene rubber and polytetrafluoroethylene in brines in underground kimberlite mines

V.V. Portnyagina¹, N.N. Petrova¹, A.A. Danilov¹

¹ M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk,
Republic of Sakha, Russia, e-mail: alex.danilov.1993@mail.ru

Abstract: The article presents the studies into improvement of operation efficiency of high-pressure vertical split casing pumps which are the rapidly developing process equipment in Russian mines at the moment. One of the main causes of failure of centrifugal pumps is the low efficiency of artificial sealing rubbers used in operations with mine water due to the low service properties of elastomeric materials. The authors propose to create sealing rubbers for operation in the extreme environment using nitrile butadiene rubbers BNKS-18 and BNKS-26 which contain 0.5 to 50 ppm of ultra disperse polytetrafluoroethylene; to study resistance of the composites to the severely aggressive brines sampled on the levels of –300, –400 and –480 m in Udachny kimberlite mine; and to investigate the physical and mechanical properties, as well as the durability of the test materials. It is shown that filling rubbers with fluoropolymer improves operating ability of the test materials at shots of fluoropolymer at 0.5 and 50 ppm. The BNKS-26-based rubbers have nominal tensile strength higher by 30% as compared with the BNKS-18-based rubber, while the latter has durability higher by 14%.

Key words: process equipment effectiveness, high-pressure vertical split casing pump, sealing rubber, nitrile butadiene rubber, ultra disperse polytetrafluoroethylene, mine brine resistivity, durability, physical and mechanical properties.

For citation: Portnyagina V. V., Petrova N. N., Danilov A. A. Immunity of nitrile butadiene rubber and polytetrafluoroethylene in brines in underground kimberlite mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2024;(2):63-75. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2024_2_0_63.

Введение

В связи с углублением подземных горных работ в последнее время на рудниках Российской Федерации все чаще применяются высоконапорные секционные насосы, позволяющие поднимать откачиваемую воду по стволу на высоту от 1000 м и выше [1 – 4]. Основным достоинством применения высоконапорных секционных насосов в горном производстве является упрощение работы рудничного водоотлива, так как использование насосного оборудования автоматически приводит к минимизации числа рудничных водоотливных установок [5 – 7]. Однако, как показали многолетние статистические данные и исследования [8 – 11], основными причинами выхода из строя центробежных насосов подземных кимберлитовых рудников является отказ их подшипниковых узлов из-за разрушения подшипников в процессе перевозки в условиях низкого качества дорожного полотна и по причине

попадания шахтной воды в подшипниковые камеры. В условиях подземных кимберлитовых рудников к преждевременному ремонту насосного оборудования также могут привести попавшие в шахтные воды нефтепроявления, которые в процессе смешивания с водой образуют суспензию и закупоривают щелевые уплотнения [12, 13].

Если разрушение подшипника в процессе перевозки можно устранить жесткой фиксацией вала насоса при транспортировке с целью снижения вероятности возникновения его остаточной деформации, то попадание шахтной воды и нефтепроявлений в подшипниковые камеры предотвратить подобным способом невозможно, агрессивная среда, попав в корпус подшипника, практически полностью растворяет масляную пленку, что приводит к активизации абразивного изнашивания сегментов подшипника и преждевременному отказу всего элемента.

В работах [14–18] показано, что основной причиной существующего положения является тот факт, что заводские уплотнительные резинотехнические изделия оказались малоэффективны при работе на шахтной воде из-за низких эксплуатационных свойств эластомерных материалов, которые должны обеспечивать наиболее высокую степень герметизации уплотнительного соединения, экономичность и эффективность применения вследствие уникального сочетания упругих и релаксационных свойств.

В представляемой работе предложено повысить эффективность эксплуатации и долговечность высоконапорных секционных насосов путем создания новых эластомерных материалов с высоким комплексом эксплуатационных свойств, а именно, с высокой износостойкостью, стойкостью к агрессивным шахтным рассолам, углеводородным средам, высоким уровнем физико-механических и релаксационных свойств. Кроме того, резины для технологического горного оборудования должны обладать стойкостью к воздействию низких температур, так как при понижении температуры заметно снижается эластичность материала, эластомеры переходят в стеклообразное состояние, при температурных перепадах происходит многократное замерзание–оттаивание влаги в микротрещинах, что приводит к появлению критических трещин и хрупкому разрушению материала при действии определенных нагрузок [19]. При разработке новых материалов в связи с необходимостью импортозамещения полимерных комплектов технических систем и агрегатов предложено использовать отечественные каучуки и ингредиенты резиновых смесей.

Для холодного климата РФ существует лишь несколько промышленно выпускаемых и общедоступных морозостойких каучуков. Это бутадиен-сти-

рольные, изопреновые, силоксановые, бутадиен-нитрильные каучуки и полихлоропрен [20, 21]. Агрессивостойкими из перечисленных каучуков являются только бутадиен-нитрильные каучуки, что предопределило выбор основного объекта настоящих исследований.

Бутадиен-нитрильные каучуки (БНКС) являются крупнотоннажным видом эластомеров и представляют собой продукты сополимеризации в водной эмульсии бутадиена и нитрила акриловой кислоты [22].

В России традиционно выпускаются БНКС с низким (17–20%), средним (27–30%), высоким (36–40%) и очень высоким (50%) содержанием акрилонитрила. С увеличением содержания в эластомере связанного акрилонитрила существенно увеличивается межмолекулярное взаимодействие между цепями полимера и его плотность, повышается температура стеклования (от –50 °С до –30 °С), уменьшается растворимость в ароматических растворителях и увеличивается стойкость каучуков к набуханию в алифатических углеводородах.

Бутадиен-нитрильные каучуки износостойки, имеют низкую газопроницаемость. Для создания резин, предназначенных для эксплуатации в технологическом горном оборудовании на рудниках РФ, представляют интерес БНКС с небольшим содержанием полярных групп [23, 24]. Для модификации свойств эластомеров, улучшения его технических свойств, износостойкости, стойкости к шахтным рассолам в представляемой работе использован порошкообразный наполнитель органического происхождения — ультрадисперсный политетрафторэтилен.

Ультрадисперсный политетрафторэтилен (УПТФЭ, ТУ 2229-004-02698192-2002) обладает низким коэффициентом трения, высокой адгезией к металлическим поверхностям, частичной растворимостью

полимера в спирте и ацетоне, является химически стойким, вследствие чего используется в устройствах в качестве добавки к машинным маслам и смазкам [25]. При введении в масла в качестве присадки частицы УПТФЭ обладают способностью прочно сцепляться с поверхностью металла, заполняя любые неровности непроницаемой пленкой, особенно в местах, подверженных воздействию интенсивного механического напряжения [26]. Эта пленка, нанесенная на металлические поверхности, приводит к резкому снижению коэффициента трения между ними и, следовательно, защищает их от износа и коррозии [27].

Такой же механизм поверхностного действия следует ожидать при введении УПТФЭ в резиновые смеси на основе бутадиен-нитрильного каучука.

Методы

На первом этапе работы была поставлена задача определения физико-химических свойств, количественного и качественного состава проб шахтных рассолов, отобранных с отм. –300, –400, –480 м подземного кимберлитового рудника «Удачный», расположенного на территории Республики Саха (Якутия).

С помощью стандартных методик определяли плотность (ГОСТ 18995.1-73 Продукты химические жидкие. Методы определения плотности), органолептические показатели (ГОСТ 3351-71 Вода питьевая. Методы определения вкуса, запаха, цветности и мутности) и рН рассолов (ПНД Ф 14.1: 2:4.121-97). Определение ионного состава рассолов проводили методом капиллярного электрофореза на приборе «КАПЕЛЬ-104Т» согласно ПНД Ф 14.1: 2:4.167-2000 «Методика выполнения измерений массовых концентраций катионов NH_4^+ , K^+ , Na^+ , Li^+ , Mg^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+} , Ca^{2+} в пробах питьевых природных, сточных вод». Содержание железа, кадмия, марганца, ме-

ди и свинца в пробах вод определяли по методике М 03-07-2003 «Методика выполнения измерений массовой доли меди, марганца, никеля, кобальта, свинца, кадмия в пробах почв и донных отложений атомно-абсорбционным методом с электротермической атомизацией» на атомно-абсорбционном спектрометре «МГА-915». Статистическую обработку полученных результатов проводили в соответствии с рекомендациями, изложенными в аттестованных методиках.

Эластомерные композиции готовили на основе бутадиен-нитрильного каучука марок БНКС-18 и БНКС-26, содержащих от 0,5 до 50 мас. ч. порошка УПТФЭ, по стандартному рецепту в пластикордере «BRABENDER» PL 2200 при температуре 35–70 °С. Смеси вулканизовали в электрическом прессе при температуре 150 °С в течение 30 мин. Основные технические характеристики резин исследовали с помощью стандартных методик: определение физико-механических свойств (ГОСТ 20-84), определение степени набухания резин (ГОСТ 9.030-74) и определение износостойкости резин (ГОСТ 426-77).

Результаты и их обсуждение

Результаты определения физико-химических свойств рассолов, отобранных с отм. –300, –400 и –480 м, представлены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что чем ниже отметка рассола, тем плотность рассола снижается; рН проб по мере увеличения глубины рудника увеличивается: чем ниже отметка, тем меньше кислотность. Рассол с более низкой отметкой глубины рудника имеет более резкий интенсивный запах, более высокую мутность, при отстаивании данного рассола визуально зафиксированы два осадка, верхний осадок имеет темно-серый оттенок, а нижний, хлопьевидный, — черно-белый.

Таблица 1

Физико-химические свойства рассолов
Physical and chemical properties of brines

Образец рассола	Отм. –300 м	Отм. –400 м	Отм. –480 м
Плотность, кг/м ³	1260	1242	1230
pH	5,51	5,99	6,14
Запах при 20 °С, балл Интенсивность	3 заметная	4 отчетливая	5 очень сильная
Запах при 60 °С, балл Интенсивность	2 слабая	3 заметная	4 отчетливая
Цветность	70	60	40
Осадок	оранжевый, пылеобразный	темно-серый цвет, песочный	имеется 2 осадка: верхний осадок имеет темно-серый оттенок, ниж- ний — черно-белый, хлопьевидный

Методом капиллярного электрофореза установлено, что имеющиеся образцы рассолов подземного кимберлитового рудника «Удачный» имеют преимущественно хлоридно-кальциевый и хлоридно-натриевый состав. При этом в ряду отм. –300, –400 и –480 м рудника содержание хлоридов снижается (табл. 2).

Рассолы отличаются аномально высокой насыщенностью химическими элементами разного состава, среди которых преобладают Ca, Na, K, Mg, Cl. В табл. 3 и на рис. 1 приведены значения концентрации катионов в рассолах, отобранных с отм. –480 м. Эти элементы находятся в воде в виде растворенных солей различных кислот. По классификации подземных вод В.А. Сулина дан-

ные рассолы относятся к III типу подземных вод — хлоридно-кальциевому.

С помощью прибора «МГА-915» методом атомно-абсорбционной спектроскопии показано, что в рассолах присутствуют такие элементы, как Fe, Cd, Mn, Cu и Pb, при этом в преобладающем количестве присутствуют катионы Cu (табл. 4). С увеличением глубины рудника массовая концентрация катионов увеличивается.

Таким образом, полученные результаты по изучению состава и свойств шахтных рассолов, отобранных с отм. –300, –400 и –480 м рудника «Удачный», свидетельствуют об их аномально высокой агрессивности. Подобный состав шахтных вод объясняется разгрузкой

Таблица 2

Значения концентрации анионов в рассолах, г/л
Values of anion concentration in brines, g/l

Анионы	Отм. –300 м	Отм. –400 м	Отм. –480 м
Хлорид	280,200	198,800	190,800

Таблица 3

Значения концентрации катионов в рассолах, г/л
Values of cation concentration in brines, g/l

Ионы	NH ⁴⁺	K ⁺	Na ⁺	Li ⁺	Mg ²⁺	Ba ²⁺	Ca ²⁺
Рассол отм. –480 м	5,98	26,91	62,95	1,31	9,53	1,43	214,98

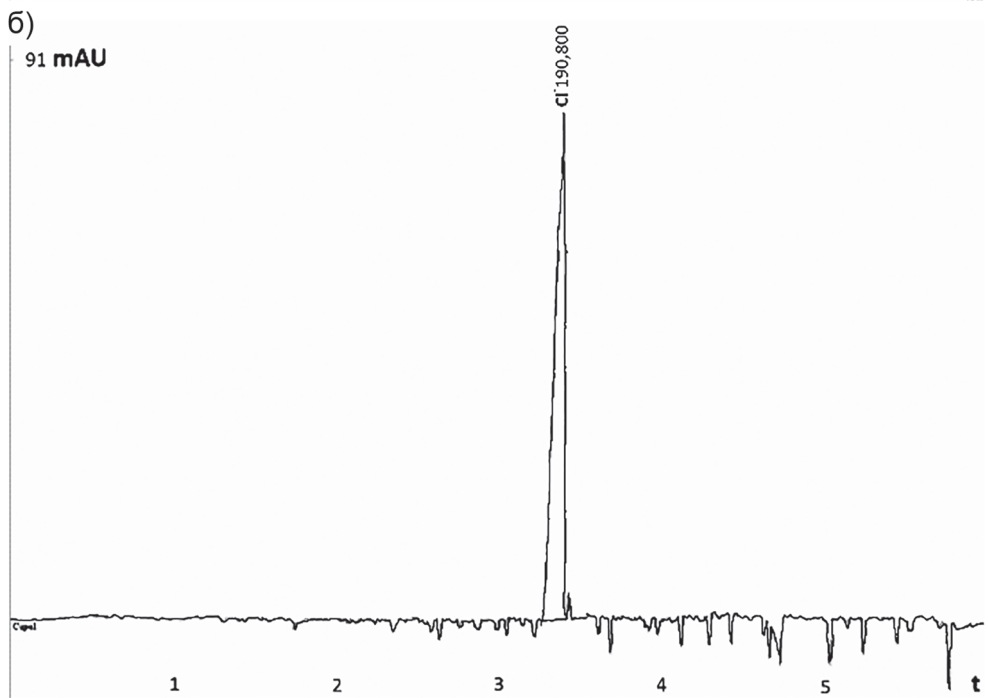
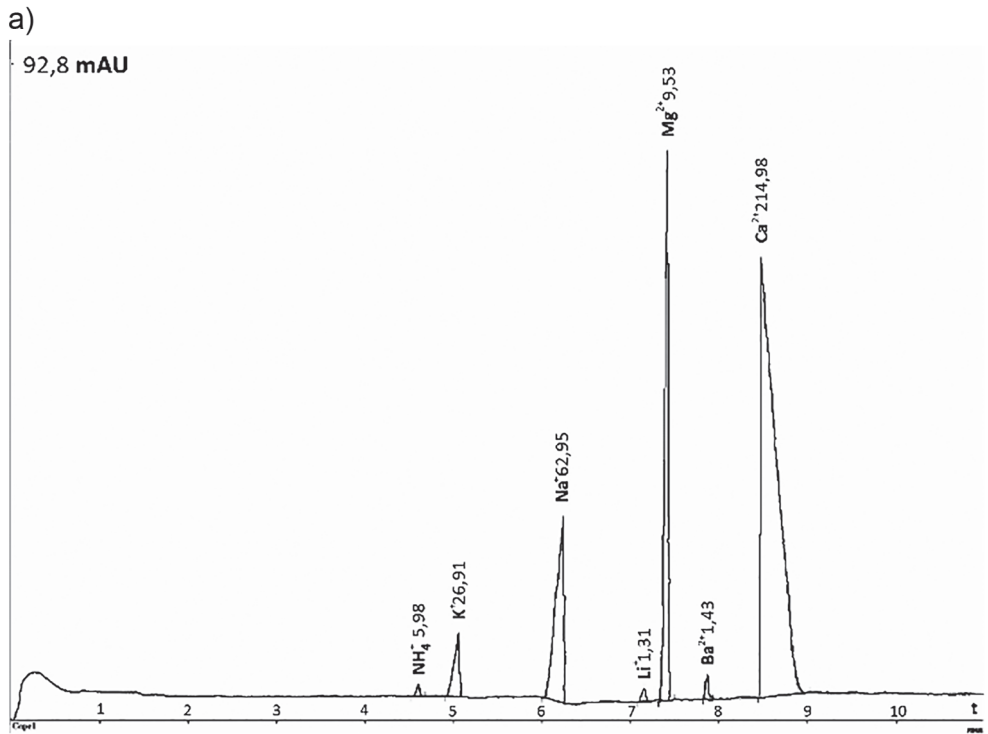


Рис. 1. Электрофореграмма ионов в рассоле отм. -480 м: катионы (а); анионы (б)
 Fig. 1. Electropherogram of ions in brine elev. -480 m: cations (a); anions (b)

Таблица 4

Значения массовой концентрации катионов в рассолах, мг/дм³
Values of mass concentration of cations in brines, mg/dm³

Элемент	Fe	Cd	Mn	Cu	Pb
Рассол отм. –480м	< 0,005	< 0,0001	< 0,002	1,424	< 0,0025

подземных вод в приповерхностные горизонты геологического разреза. Внедрение кимберлитовых трубок по зонам глубинных разломов обуславливает образование гидрогеологического режима с подпиткой с глубины. Поднимаясь к поверхности, подземные воды вследствие процессов диффузии и миграции обогащаются ионами, что и обуславливает их природную аномальность химического состава [28]. Полученные значения состава шахтных вод схожи с исследованиями других авторов [1, 29], однако сопоставление абсолютных значений показателей невозможно вследствие отбора проб с разной глубины забора и из различных скважин.

На следующем этапе работы была изучена стойкость резин на основе бутадиен-нитрильного каучука марок БНКС-18

и БНКС-26 к исследованным рассолам, рассмотрено влияние фторполимерной добавки УПТФЭ на изменение показателей степени набухания, объемного износа и физико-механических свойств эластомерных композитов. Полученные результаты приведены в табл. 5 и на рис. 2, 3. Полученные результаты показали, что по мере увеличения содержания УПТФЭ до 50 мас. ч. в композициях значения условной прочности при растяжении снижаются до 40%, но при этом показатели не выходят за рамки нормативных значений для резин уплотнительного назначения. Наилучшую условную прочность при растяжении по сравнению с БНКС-18 имеют композиции на основе БНКС-26.

Исследование значений объемного износа резин свидетельствуют о том, что

Таблица 5

Физико-механические свойства резин
Physical and mechanical properties of rubbers*

Наименование	f_p , МПа	ϵ_p , %	f_{100} , МПа
БНКС-18 исх.	7,4	439,8	1,76
БНКС-18+0,5 м.ч. УПТФЭ	7,2	421,7	1,90
БНКС-18+5 м.ч. УПТФЭ	7,3	467,1	1,81
БНКС-18+20 м.ч. УПТФЭ	7,0	502,7	1,65
БНКС-18+50 м.ч. УПТФЭ	5,3	366,7	1,84
БНКС-26 исх.	10,4	788,2	1,48
БНКС-26+0,5 м.ч. УПТФЭ	8,8	758,9	1,32
БНКС-26+5 м.ч. УПТФЭ	9,9	759,3	1,45
БНКС-26+20 м.ч. УПТФЭ	7,8	699,8	1,35
БНКС-26+50 м.ч. УПТФЭ	6,1	668,0	1,38

* f_p – условная прочность при растяжении, МПа; ϵ_p – относительное удлинение при растяжении, %;
 f_{100} – модуль при 100%-м удлинении, МПа.

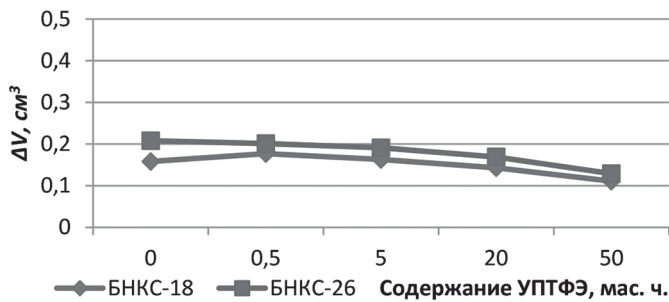


Рис. 2. Зависимость значений объемного износа резин (ΔV , см^3) на основе БНКС-18 и БНКС-26 с разным содержанием УПТФЭ

Fig. 2. Dependence of values of volumetric wear of rubbers based on BNKS-18 and BNKS-26 with different content of UPTFE

композиции на основе бутадиен-нитрильного каучука марки БНКС-18 имеют на 14% более низкие значения показателя, чем на основе БНКС-26. Следует отметить, что при увеличении содержания УПТФЭ до 50 мас. ч. значения объемного износа снижаются на 40% по сравнению с исходным значением (рис. 2).

Изучение стойкости к рассолам резин на основе БНКС-18 и БНКС-26, наполненных от 0,5 до 50 мас. ч. УПТФЭ проводили в среде шахтной воды подземных кимберлитовых рудников, отобранных с отм. -300, -400, -480 м. Ввиду разных физико-химических свойств и химического состава сред, природы кау-

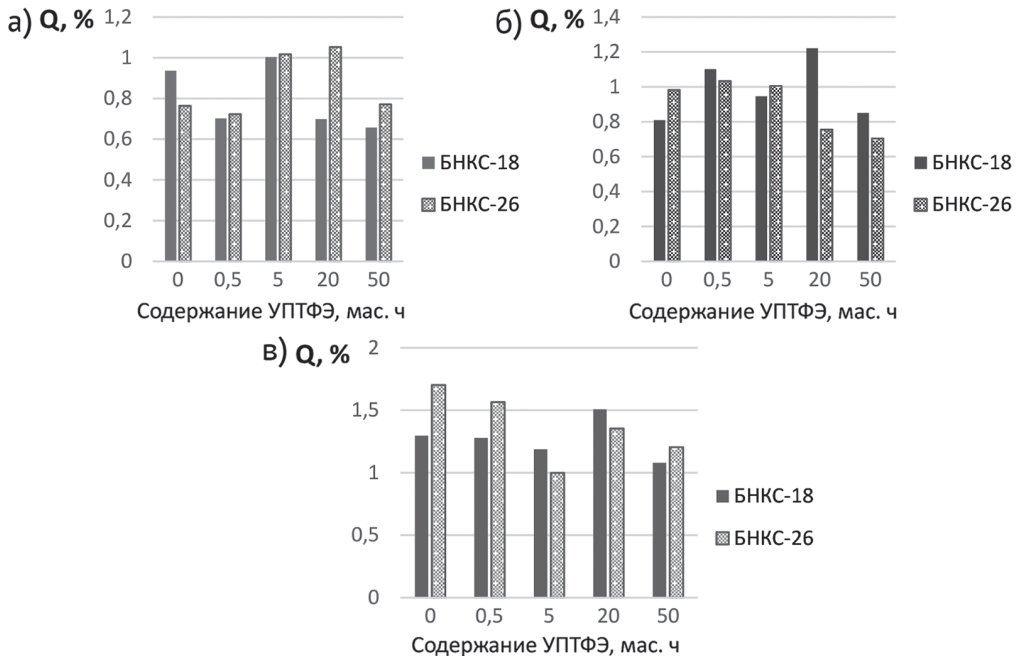


Рис. 3. Зависимость значений степени набухания резин (Q , %) в рассолах от содержания УПТФЭ: отм. -300 м (а), -400 м (б), -480 м (в)

Fig. 3. Dependence of the values of the degree of swelling of rubber in brines elev. -300 m (a), -400 m (b), -480 m (v) with different content of UPTFE

чуков и количества введенного УПТФЭ наблюдается немонокотное изменение показателя степени набухания Q (рис. 3).

Изменение массы и размеров резин во время испытаний обусловлено тем, что происходят процессы вымывания компонентов резины (пластификаторов и др.) в рабочую среду и диффузии компонентов среды, т.е. в случае шахтных вод — солей в материал. Исходные каучуки — БНКС-18 и БНКС-26 — различаются по полярности, каучук с большим содержанием нитрила акриловой кислоты больше набухает в сильно минерализованных растворах. По мере увеличения содержания УПТФЭ во всех рассмотренных случаях показатель степени набухания меняется неоднозначно; так, при 0,5 мас. ч. в композициях на основе бутадиен-нитрильного каучука Q снижается на 25% по сравнению с исходным значением, затем увеличивается и при содержании 50 мас. ч. снова снижается до 28% по сравнению с исходным значением. По мере увеличения содержания в композиции УПТФЭ, который инертен по отношению к солям, его доля в единице массы или объема растёт, что приводит к снижению набухания. Это происходит вследствие меньшей скорости диффузии компонентов рассола в эластомерный материал при большом содержании УПТФЭ (50 мас. ч.), т.е. основной вклад в процесс набухания вносит более жесткий полимерный компонент, стойкий к большинству агрессивных сред. При малых содержаниях УПТФЭ работает тонкий поверхностный слой, образующийся вследствие преимущественного перераспределения фторполимера между поверхностью и объемом, которое было выявлено в работе [30].

Следует отметить, что, в целом, максимальное значение степени набухания во всех рассмотренных вариантах не превышает 1,7 %.

Более высокие показатели степени набухания имеют резины в рассоле, отобранном с более низкой отм. –480 м (рис. 3, в). При этом полученные данные коррелируют с результатами по исследованию физико-химических свойств рассолов.

Заключение

На основании проведенных исследований установлено, что бутадиен-нитрильные каучуки марок БНКС-18 и БНКС-26 являются перспективными эластомерами для применения в качестве материалов уплотнительного назначения с высокой стойкостью к агрессивным шахтным рассолам подземных кимберлитовых рудников Республики Саха (Якутия). Резины на основе БНКС-26 по сравнению с композициями на основе БНКС-18 имеют на 30% более высокие значения условной прочности при растяжении, но на 14% более низкие показатели износостойкости резин.

Наполнение резин ультрадисперсным политетрафторэтиленом положительно повлияло на эксплуатационные свойства материалов при дозировках 0,5 и 50 мас. ч. фторполимера на 100 мас. ч. каучука, что, по-видимому, связано с высокой активностью частиц УПТФЭ, их наноструктурной организацией, равномерным распределением в объеме эластомерной матрицы и взаимодействием частиц модифицирующей добавки с компонентами эластомерной композиции. Подобный характер изменения свойств свидетельствует о наличии более плотной сетки химических связей в композитах при малых дозировках фторполимера, а при большом содержании УПТФЭ — о значительном влиянии на свойства смеси полимеров более жесткого полимерного компонента, обладающего низким коэффициентом трения и стойкостью к агрессивным средам, а также преимущественной локализа-

цией его частиц на поверхности материала вследствие разности значений поверхностного натяжения и поверхностной энергии с эластомерной матрицей. Вследствие данного эффекта улучшаются свойства, которые определяются строением и составом поверхностных слоев — стойкость в агрессивных средах и износостойкость материалов; это

способствует повышению надежности и эффективности эксплуатации высоконапорных секционных насосов, что в свою очередь благоприятно скажется на промышленной безопасности при ведении горных работ в подземных кимберлитовых рудниках в случае незапланированного повышения водопритока в их горные выработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Овчинников Н. П., Зырянов И. В. Комплексная оценка последствий влияния загрязненных шахтных вод на эффективность системы водоотведения из рудника «Удачный» // Горный журнал. — 2022. — № 7. — С. 95–99. DOI: 10.17580/gzh.2022.07.16.

2. Овчинников Н. П., Зырянов И. В. Оценка долговечности секционных насосов подземных рудников АК «АЛРОСА» // Горный журнал. — 2017. — № 10. — С. 44–48. DOI: 10.17580/gzh.2017.10.08.

3. Vikulov M. A., Ovchinnikov N. P., Makhno D. E. Measurements of section pump rotor axial position at Udachny mine // Advances in Engineering Research. 2017, vol. 133, pp. 884–891. DOI: 10.2991/aime-17.2017.143.

4. Kesler R. Considerations is selecting a positive displacement slurry pump // Mining World. 2016, vol. 13, no. 4, pp. 34–37.

5. Овчинников Н. П. Один из путей повышения долговечности гидравлической пяты секционного насоса // Записки Горного института. — 2021. — Т. 248. — С. 312–318. DOI: 10.31897/PMI.2021.2.15.

6. Овчинников Н. П. Обоснование величины подачи секционного насоса на момент вывода в капитальный ремонт // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 7. — С. 79–90. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_7_0_79.

7. Stan M. On the durability of centrifugal pumps // Fiability and Durability. 2018, vol. 1, pp. 193–198.

8. Долганов А. В. Влияние гидроабразивного износа элементов проточной части на эксплуатационные качества центробежных насосов медно-колчеданных рудников // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2015. — № 8. — С. 181–186.

9. Меньшиков С. С., Васильева М. А. Коэффициент технического состояния грунтового насоса в системах гидротранспорта хвостовых пульп // Записки Горного института. — 2014. — Т. 209. — С. 193–196.

10. Долганов А. В., Еслентьев А. О., Чериков Е. О., Торопов Э. Ю. Анализ эффективности разгрузочных устройств шахтных центробежных секционных насосов // Известия Уральского государственного горного университета. — 2014. — № 2(34). — С. 31–35.

11. Косьмин В. Г., Пацера С. Т., Процив В. В. Анализ причин недостаточной износостойкости деталей насосов для гидроабразивных смесей // Современные инновационные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта. — 2015. — № 1(2). — С. 83–89.

12. Овчинников Н. П. Влияние состояния проточных каналов рабочего колеса на работоспособность электронасосного агрегата // Вестник Кузбасского государственного технического университета. — 2017. — № 3. — С. 162–169.

13. Островский В. Г., Пещеренко С. Н. Расчет скорости гидроабразивного износа межступенчатых уплотнений нефтяного насоса // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. — 2012. — № 5. — С. 70–75.

14. Овчинников Н. П. Анализ уровня надежности секционных насосов главной водоотливной установки подземного рудника «Удачный» // Горное оборудование и электромеханика. — 2022. — № 5 (163). — С. 23–28. DOI: 10.26730/1816-4528-2022-5-23-28.

15. Adam A., Adam H., Mariusz L. Resonance of torsional vibrations of centrifugal pump shafts due cavitation erosion of pump impellers // *Engineering Failure Analysis*. 2016, vol. 70. pp. 56–72. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2016.07.011.
16. Patsera S., Protsiv V., Kosmin V. Feasible ways to improve the durability of the pumps' parts operating with hydroabrasive mixtures // *Mechanics, Materials Science and Engineering*. 2015, vol. 1, pp. 133–137.
17. Dauletbikey O., Bayjumanov K. D. Methods of increase of wear resistance and resource of operation of soil pumps // *International Journal of Mathematics and Physics*. 2015, vol. 1. pp. 4–7.
18. Брусова О. М. К вопросу повышения срока службы грунтовых насосов // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело*. — 2014. — № 10. — С. 98–106. DOI: 10.15593/2224-9923/2014.10.10.
19. Mamazhonov M., Shakirov B., Matyakubov B., Makhmudov A. Polymer materials used to reduce waterjet wear of pump parts // *Journal of Physics: Conference Series*. 2022, vol. 2176, no. 1, article 012048. DOI: 10.1088/1742-6596/2176/1/012048.
20. Резниченко С. В., Морозова Ю. Л. Большой справочник резинщика. Ч. 1. Каучуки и ингредиенты. — М.: ООО «Издательский центр «Теинформ» МАИ», 2012. — 744 с.
21. Корнев А. Е., Буканов А. М., Швердяев О. Н. Технология эластомерных материалов. — М.: НППА «Истек», 2009. — 504 с.
22. Jie Liu, Xiangbo Li, Likun Xu, Zhang Peiqing Investigation of aging behavior and mechanism of butadiene-nitrile rubber (NBR) in the accelerated thermal aging environment // *Polymer Testing*. 2016, vol. 54, pp. 59–66. DOI: 10.1016/j.polymertesting.2016.06.010.
23. Лжова Г. А., Овьянникова М. А., Морозов Ю. Л. Новые бутадиен-нитрильные каучуки Нитриласт. Свойства и перспективы их освоения в производстве РТИ // *Каучук и резина*. — 2000. — № 4. — С. 35.
24. Полоник В. Д., Прокопчук Н. Р., Шашок Ж. С. Технические свойства эластомерных композиций на основе бутадиен-нитрильного каучука, модифицированных политетрафторэтиленом // *Труды БГТУ*. — 2012. — № 4. — С. 102–105.
25. Володарский А. Л., Бакеев Н. Ф. Структурная самоорганизация аморфных полимеров. — М.: Физматлит, 2005. — 232 с.
26. Бузник В. М., Фомин В. М., Алхимов А. П. Металлополимерные наноккомпозиты. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. — 260 с.
27. Petrova N. N., Mukhin V. V., Portnyagina V. V., Shim E. L., Cho J. H. Preparation and improved physical characteristics of propylene oxide rubber composites // *Molecules*. 2018, vol. 23, no. 9, pp. 2150–2159. DOI: 10.3390/molecules23092150.
28. Ягнышев Б. С., Ягнышева Т. А., Зинчук М. Н., Легостаева Я. Б. Экология Западной Якутии (геохимии геозкосистем: состояние и проблемы). — Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН. 2005. — 432 с.
29. Легостаева Я. Б., Попов В. Ф., Ксенофонтова М. И. Гидрогеологические условия и геологическая ситуация на территории подземных техногенных хранилищ при утилизации дренажных рассолов Удачнинского горно-обогатительного комбината // *Отечественная геология*. — 2018. — № 5. — С. 93–102. DOI: 10.24411/0869-7175-2018-10021.
30. Портнягина В. В. Разработка уплотнительных резин на основе морозостойких каучуков и ультрадисперсных наполнителей для техники Севера: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — М.: МИТХТ им. М.В. Ломоносова. 2015. — 24 с. **ГИАС**

REFERENCES

1. Ovchinnikov N. P., Zyryanov I. V. Integrated assessment of mine water pollution influence on water removal efficiency in Udachny Mine. *Gornyi Zhurnal*. 2022, no. 7, pp. 95–99. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2022.07.16.
2. Ovchinnikov N. P., Zyryanov I. V. Evaluation of the durability of sectional pumps of underground mines of AK ALROSA. *Gornyi Zhurnal*. 2017, no. 10, pp. 44–48. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2017.10.08.
3. Vikulov M. A., Ovchinnikov N. P., Makhno D. E. Measurements of section pump rotor axial position at Udachny mine. *Advances in Engineering Research*. 2017, vol. 133, pp. 884–891. DOI: 10.2991/aime-17.2017.143.

4. Kesler R. Considerations is selecting a positive displacement slurry pump. *Mining World*. 2016, vol. 13, no. 4, pp. 34–37.
5. Ovchinnikov N. P. One of the ways to increase the durability of the sectional pump balancing ring. *Journal of Mining Institute*. 2021, vol. 248, pp. 312–318. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2021.2.15.
6. Ovchinnikov N. P. Justification of vertical split casing pump delivery at withdrawal for basic repair. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 7, pp. 79–90. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_7_0_79.
7. Stan M. On the durability of centrifugal pumps. *Fiability and Durability*. 2018, vol. 1, pp. 193–198.
8. Dolganov A. V. Influence of hydroabrasive wear of the elements of the flow part on the performance of centrifugal pumps of copper pyrite mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2015, no. 8, pp. 181–186. [In Russ].
9. Menshikov S. S., Vasilyeva M. A. The coefficient of the technical condition of the soil pump in the systems of hydrotransport of tailing slurries. *Journal of Mining Institute*. 2014, vol. 209, pp. 193–196. [In Russ].
10. Dolganov A. V., Esentiev A. O., Cherakov E. O., Toropov E. Yu. Analysis of the efficiency of unloading devices for mine centrifugal sectional pumps. *News of the Ural State Mining University*. 2014, no. 2(34), pp. 31–35. [In Russ].
11. Kosmin V. G., Patsera S. T., Protsiv V. V. Analysis of the causes of insufficient wear resistance of pump parts for hydroabrasive mixtures. *Sovremennyye innovatsionnyye tekhnologii podgotovki inzhenernykh kadrov dlya gornoy promyshlennosti i transporta*. 2015, no. 1(2), pp. 83–89. [In Russ].
12. Ovchinnikov N. P. Influence of the state of the flow channels of the impeller on the performance of the electric pump unit. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2017, no. 3, pp. 162–169. [In Russ].
13. Ostrovsky V. G., Peshcherenko S. N. Calculation of the rate of hydroabrasive wear of interstage seals of an oil pump. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Geologiya. Neftgazovoye i gornoye delo*. 2012, no. 5, pp. 70–75. [In Russ].
14. Ovchinnikov N. P. Analysis of the level of reliability of sectional pumps of the main dewatering plant of the underground mine «Udachny». *Mining Equipment and Electromechanics*. 2022, no. 5 (163), pp. 23–28. [In Russ]. DOI: 10.26730/1816-4528-2022-5-23-28.
15. Adam A., Adam H., Mariusz L. Resonance of torsional vibrations of centrifugal pump shafts due cavitation erosion of pump impellers. *Engineering Failure Analysis*. 2016, vol. 70, pp. 56–72. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2016.07.011.
16. Patsera S., Protsiv V., Kosmin V. Feasible ways to improve the durability of the pumps' parts operating with hydroabrasive mixtures. *Mechanics, Materials Science and Engineering*. 2015, vol. 1, pp. 133–137.
17. Daulet bikuly O., Bayjumanov K. D. Methods of increase of wear resistance and resource of operation of soil pumps. *International Journal of Mathematics and Physics*. 2015, vol. 1, pp. 4–7.
18. Brusova O. M. On the issue of increasing the service life of soil pumps. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Geologiya. Neftgazovoye i gornoye delo*. 2014, no. 10, pp. 98–106. [In Russ]. DOI: 10.15593/2224-9923/2014.10.10.
19. Mamazhonov M., Shakirov B., Matyakubov B., Makhmudov A. Polymer materials used to reduce waterjet wear of pump parts. *Journal of Physics: Conference Series*. 2022, vol. 2176, no. 1, article 012048. DOI: 10.1088/1742-6596/2176/1/012048.
20. Reznichenko S. V., Morozova Yu. L. *Bol'shoy spravochnik rezinshchika*. Ch. 1. Kauchuki i ingredienty [Big guide of rubber band worker. Part 1. Rubbers and ingredients], Moscow, OOO «Izdatel'skiy tsentr «Teinform» MAI», 2012, 744 p.
21. Kornev A. E., Bukanov A. M., Sheverdyayev O. N. *Tekhnologiya elastomernykh materialov* [Technology of elastomeric materials], Moscow, НППА «Истек», 2009, 504 p.
22. Jie Liu, Xiangbo Li, Likun Xu, Zhang Peiqing Investigation of aging behavior and mechanism of butadiene-nitrile rubber (NBR) in the accelerated thermal aging environment. *Polymer Testing*. 2016, vol. 54, pp. 59–66. DOI: 10.1016/j.polymertesting.2016.06.010.
23. Lzhova G. A., Ovyannikova M. A., Morozov Yu. L. New butadiene-nitrile rubbers Nitrilast. Properties and prospects of their development in the production of rubber goods. *Kauchuk i rezina*. 2000, no. 4, pp. 35. [In Russ].

24. Polonik V. D., Prokopchuk N. R., Shashok Zh. S. Technical properties of elastomer compositions based on nitrile rubber modified with polytetrafluoroethylene. *Proceedings of BSTU*. 2012, no. 4, pp. 102 – 105. [In Russ].

25. Volodarskiy A. L., Bakeev N. F. *Strukturnaya samoorganizatsiya amorfnykh polimerov* [Structural self-organization of amorphous polymers], Moscow, Fizmatlit, 2005, 232 p.

26. Buznik V. M., Fomin V. M., Alkhimov A. P. *Metallopolimernye nanokompozity* [Metal-polymer nanocomposites], Novosibirsk, Izd-vo SO RAN, 2005, 260 p.

27. Petrova N. N., Mukhin V. V., Portnyagina V. V., Shim E. L., Cho J. H. Preparation and improved physical characteristics of propylene oxide rubber composites. *Molecules*. 2018, vol. 23, no. 9, pp. 2150 – 2159. DOI: 10.3390/molecules23092150.

28. Yagnyshev B. S., Yagnysheva T. A., Zinchuk M. N., Legostaeva Ya. B. *Ekologiya Zapadnoy Yakutii (geokhimiya geokosistem: sostoyanie i problema)* [Ecology of Western Yakutia (geochemistry of geosystems: state and problems)], Yakutsk, Izd-vo YANTS SO RAN. 2005, 432 p.

29. Legostaeva Ya. B., Popov V. F., Ksenofontova M. I. Hydrogeological conditions and geoeological situation in the territory of underground technogenic storage facilities during the disposal of drainage brines of the Udachny mining and processing plant. *Otechestvennaya Geologiya*. 2018, no. 5, pp. 93 – 102. [In Russ]. DOI: 10.24411/0869-7175-2018-10021.

30. Portnyagina V. V. *Razrabotka uplotnitel'nykh rezin na osnove morozostoykikh kauchukov i ul'tradispersnykh napolniteley dlya tekhniki Severa* [Development of sealing rubbers based on frost-resistant rubbers and ultrafine fillers for the technology of the North], Candidate's thesis, Moscow, MITKhT im. M.V. Lomonosova. 2015, 24 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Портнягина Виктория Витальевна¹ — канд. техн. наук,
доцент, e-mail: vick_i@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0001-9562-7663,

Петрова Наталия Николаевна¹ — д-р хим. наук,
профессор, e-mail: pnn2002@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0001-7699-7511,

Данилов Александр Александрович¹ — аспирант,
инженер-исследователь,
e-mail: alex.danilov.1993@mail.ru,
ORCID ID: 0009-0004-2378-962X,

¹ Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова.

Для контактов: Данилов А.А., e-mail: alex.danilov.1993@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

V.V. Portnyagina¹, Cand. Sci. (Eng.),
Assistant Professor, e-mail: vick_i@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0001-9562-7663,

N.N. Petrova¹, Dr. Sci. (Chem.),
Professor, e-mail: pnn2002@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0001-7699-7511,

A.A. Danilov¹, Graduate Student,
Research Engineer, e-mail: alex.danilov.1993@mail.ru,
ORCID ID: 0009-0004-2378-962X,

¹ M.K. Ammosov North-Eastern Federal University,
677000, Yakutsk, Republic of Sakha, Russia.

Corresponding author: A.A. Danilov, e-mail: alex.danilov.1993@mail.ru.

Получена редакцией 22.05.2023; получена после рецензии 07.07.2023; принята к печати 10.01.2024.

Received by the editors 22.05.2023; received after the review 07.07.2023; accepted for printing 10.01.2024.