

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЭЛАСТОМЕРОВ НА ОСНОВЕ КОМБИНАЦИИ ИЗОПРЕНОВОГО И БУТАДИЕН-НИТРИЛЬНОГО КАУЧУКОВ

А.А. Дьяконов^{1,2}, С.А. Тапыев¹, А.А. Охлопкова¹, С.А. Слепцова¹, Н.Н. Петрова¹, П.В. Винокуров¹, А.К. Кычкин², Н.Ф. Стручков²

¹Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, г. Якутск

²Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН, г. Якутск

Применение резинотехнических изделий в крайних условиях Севера ставит ряд научно-технических проблем, связанных с их надежностью и безотказностью. Основной причиной выхода из строя техники вовремя эксплуатации при низких отрицательных температурах является потеря работоспособности уплотнительных резин по причине низкой морозостойкости. Одним из способов решения данной проблемы является разработка резиновых смесей на основе двух или более каучуков, обладающих высокими значениями морозо- и агрессивно-стойкости. В работе приведены результаты исследования эластомеров на основе комбинации изопренового каучука марки СКИ-3 и бутадиен-нитрильного каучука марки БНКС-18. В результате проведенных исследований установлено, что при разных соотношениях каучуков СКИ-3 и БНКС-18 в резиновой смеси происходит изменение упруго-прочностных свойств эластомеров, стойкости к углеводородным средам, модуля упругости, твердости, плотности, остаточной деформации сжатия и износостойкости. При исследовании на дифференциально-сканирующем калориметре были выявлены две температуры стеклования у резин на основе комбинации каучуков. При помощи электронного микроскопа были получены снимки в объеме образцов, на которых наблюдается фазовая морфология резин, которая в зависимости от соотношения каучуков в смеси более характерна для бутадиен-нитрильного или изопренового каучуков. Также отмечено, что поверхность трения резины на основе БНКС-18 обладает наиболее шероховатой структурой по сравнению с резиной с большим содержанием каучука СКИ-3.

Ключевые слова: бутадиен-нитрильный каучук, изопреновый каучук, морозостойкость, агрессивностойкость, износостойкость.

ВВЕДЕНИЕ

Основными причинами выхода из строя техники в процессе эксплуатации в зимний период времени является полная либо частичная потеря работоспособности резинотехнических изделий по причине низкой морозостойкости. В условиях арктических регионов Российской Федерации температура воздуха в зимний период времени может опускаться ниже минус 50°C [1], что существенно снижает надежность техники во время работы.

Для резин уплотнительного назначения необходимо обеспечить сочетание высоких низкотемпературных характеристик и стойкости к углеводородным средам. Ряд эластомеров, обладающих высокой агрессивностойкостью к маслам и топливам имеют низкий диапазон эксплуатации при отрицательных температурах. Известно [2], что повышенной агрессивностойкостью обладают резиновые смеси на основе фторкаучуков, эпихлоргидринового, бутадиен-нитрильного и поливинилхлоридного каучуков. Повышенной морозостойкостью [3] обладают эластомеры на основе силоксановых, бутадиеновых и изопреновых каучуков, которые, в свою очередь, имеют низкую масло- и бензо-стойкость. Резиновые смеси на основе морозостойких каучуков общего назначения

обладают низкой стойкостью к воздействию углеводородных сред. Сочетание данных свойств в одном эластомере трудно достижимы.

Известны работы [4, 5], в которых проводятся исследования по подбору оптимальных рецептур резиновых смесей на основе комбинации масло-, бензо-стойких и морозостойких каучуков. Так, правильный подбор рецептуры резиновых смесей на основе разных каучуков позволяет получать изделия, способные эксплуатироваться при отрицательных температурах в контакте с углеводородными средами.

Целью работы является исследование влияния соотношения агрессивностойкого бутадиен-нитрильного каучука марки БНКС-18 АМН и морозостойкого изопренового каучука марки СКИ-3 в резиновой смеси на эксплуатационные свойства эластомеров.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве основы для эластомерной матрицы рассматривали бутадиен-нитрильный каучук с содержанием 17-20% акрилонитрильной кислоты марки БНКС-18 АМН («Красноярский завод СК», Россия) и цис-изопреновый каучук с содержанием 1,4-звеньев не менее 96% марки СКИ-3 («СИБУР», Россия). Рецептуры исследуемых резиновых смесей приведены в табл. 1.

Табл. 1. Рецептuru резиновых смесей на основе БНКС-18 с СКИ-3

№	Ингредиенты	Мас.ч.					
		1	2	3	4	5	6
1	БНКС-18	100,0	80,0	60,0	40,0	20,0	-
2	СКИ-3	-	20,0	40,0	60,0	80,0	100,0
3	Стеариновая кислота	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
4	Каптакс	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
5	Дифенилгуанидин	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
6	Оксид цинка	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
7	Сера	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
8	Технический углерод N550	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0

Смешение ингредиентов производили в резиномесителе Plastograph EC Plus (Brabender, Германия) при начальной температуре 40°C в течении 15 минут. Вулканизацию резиновых смесей осуществляли при 155°C в течении 20 мин под давлением 10 МПа.

Определение упруго-прочностных свойств резин проводили на универсальной разрывной испытательной машине Autograph AGS-JSTD (Shimadzu, Япония) (ГОСТ 270-75); износостойкость - на машине трения МИ-2 («Полимермаш групп», Россия) (ГОСТ 426-77); агрессивностойкость резин определяли в среде масла ВМГЗ при температуре 100°C в течении 72 часов (ГОСТ 9.030-74); твердость по методу Шор А (ГОСТ 263-75); определение остаточной деформации сжатия (ОДС) (ГОСТ 9.029-74) и стойкости к термическому старению проводили при температуре 100°C в течении 72 часов (ГОСТ 9.024-74).

Температуру стеклования определяли на дифференциально-сканирующем калориметре DSC 204 F1 Phoenix (NETZSCH, Германия). Исследование микроструктуры поверхности трения и низкотемпературных сколов эластомеров проводили на сканирующем электронном микроскопе JSM-7800F (JEOL, Япония).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследований свойств эластомеров на основе комбинации каучуков приведены в табл. 2.

Табл. 2. Свойства эластомеров на основе БНКС-18 и СКИ-3

Свойства	1	2	3	4	5	6
$\epsilon_p, \%$	241	214	192	301	459	411
$f_p, \text{МПа}$	17,8	13,1	12,6	14,3	15,7	15,1
$f_{100\%}, \text{МПа}$	7,6	5,7	6,1	5,6	3,8	3,3
Н, Шор А	72	70	70	69,5	66,5	65,5
$\rho, \text{г/см}^3$	1,15	1,15	1,14	1,13	1,11	1,10
$\Delta Q, \%$	3,6	11,6	23,5	37,4	53,3	60,4
$\Delta V, \text{см}^3$	0,11	0,04	0,03	0,04	0,04	0,08
Термическое старение 72ч x 100°C						
$\epsilon_p, \%$	201	173	163	174	204	130
$f_p, \text{МПа}$	13,6	11,9	10,9	10,9	9,1	4,6
$f_{100\%}, \text{МПа}$	6,9	7,1	6,8	6,6	5,0	3,9
Н, Шор А	72,5	71,5	71,5	71,7	70,0	69,5
ОДС, %	58,4	51,8	55,5	61,6	64,24	62,3

$\epsilon_p, \%$ - относительное удлинение при разрыве; $f_p, \text{МПа}$ - условная прочность при разрыве; $f_{100\%}, \text{МПа}$ - модуль упругости; Н, Шор А - твердость по Шору А; $\rho, \text{г/см}^3$ - плотность; $\Delta Q, \%$ - степень набухания в среде масла ВМГЗ; $\Delta V, \text{см}^3$ - объемное истирание; ОДС, % - остаточное деформационное сжатие.

Из табл.2 видно, что при совмещении каучуков БНКС-18 с СКИ-3 в соотношении 80:20; 60:40 происходит снижение упруго-прочностных свойств. Это связано с тем, что бутадиен-нитрильный и изопреновый каучуки являются термодинамически несовместимы [6]. Наибольшей прочностью обладает резина на основе каучука БНКС-18 – 17,8 МПа. В комбинированных образцах прочность и относительное удлинение повышаются при малом содержании БНКС-18, предположительно, за счет образования гетерогенной структуры смеси. Наибольшим относительным удлинением обладает резина с соотношением - 20 мас.ч. (БНКС-18):80 мас.ч. (СКИ-3). По мере увеличения содержания каучука СКИ-3 наблюдается повышение относительного удлинения, т.к. изопреновый каучук обладает более высокой эластичностью [7].

С уменьшением содержания БНКС-18 в эластомерах наблюдается улучшение износостойкости. По результатам испытания видно, что резина на основе каучука БНКС-18 обладает низким сопротивлением к истиранию в сравнении с эластомером на основе СКИ-3. Наибольшую износостойкость имеет эластомер на основе 60 мас.ч. (БНКС-18):40 мас.ч. (СКИ-3), которое составляет 0,03 см³.

По мере увеличения концентрации изопренового каучука происходит снижение модуля при 100% деформации и твердости по Шору А. Также с увеличением содержания СКИ-3 в резиновой смеси происходит снижение плотности эластомеров, т.к. плотность БНКС-18 составляет 0,95 г/см³[8], а плотность СКИ-3 0,91 г/см³[9].

С уменьшением содержания бутадиен-нитрильного каучука в резиновой смеси наблюдается снижение агрессивностойкости эластомеров. Известно [10], что каучук БНКС-18 являются более стойким к воздействию углеводородных сред в отличие от СКИ-3.

Значение ОДС по мере увеличения содержания каучука СКИ-3 в резиновой смеси ухудшается. Лучшее значение ОДС наблюдается у резины с содержанием 80 мас.ч. каучука БНКС-18 и 20 мас.ч. каучука СКИ-3, что свидетельствует о лучших релаксационных свойствах эластомера после старения в сжатом состоянии.

После термического старения в термошкафу при температуре 100°C в течении 72 часов наблюдается снижение упруго-прочностных свойств, повышение показателей твердости по Шор А. В работе [11] сказано, что в процессе термического старения происходит довулканизация или разрушение

пространственной сетки, что сказывается на упруго-прочностных свойствах и твердости вулканизатов. Наибольшее уменьшение прочности наблюдается у образца на основе каучука СКИ-3, которое составляет 70%.

В табл. 3 приведены результаты исследования температуры стеклования эластомеров методом дифференциальной сканирующей калориметрии.

Табл. 3. Температура стеклования эластомеров на основе БНКС-18 и СКИ-3

Свойства	1	2	3	4	5	6
$T_{1\text{стек}}, ^\circ\text{C}$	-36,0	-33,1	-33,1	-29,1	-31,6	-
$T_{2\text{стек}}, ^\circ\text{C}$	-	-67,2	-67,9	-67,6	-66,4	-64,2

Из табл. 3 видно, что образцы № 2, 3, 4, 5 характеризуются наличием двух температур стеклования, что обусловлено термодинамической несовместимостью бутадиен-нитрильного и изопренового каучуков. Наименьшим значением температуры стеклования ($-67,9^\circ\text{C}$) обладает резиновая смесь под №3. В полученных композициях температура стеклования БНКС-18 находится в температурном диапазоне от $-29,1^\circ\text{C}$ до -36°C , а для СКИ-3 от $-64,2^\circ\text{C}$ до $-67,9^\circ\text{C}$, т.е. происходит некоторое смещение данного показателя от значений, полученных для резин на основе индивидуальных каучуков.

На рис.1 представлены электронные микрофотографии структуры эластомеров на основе комбинации каучуков СКИ-3 и БНКС-18 в объеме образцов.

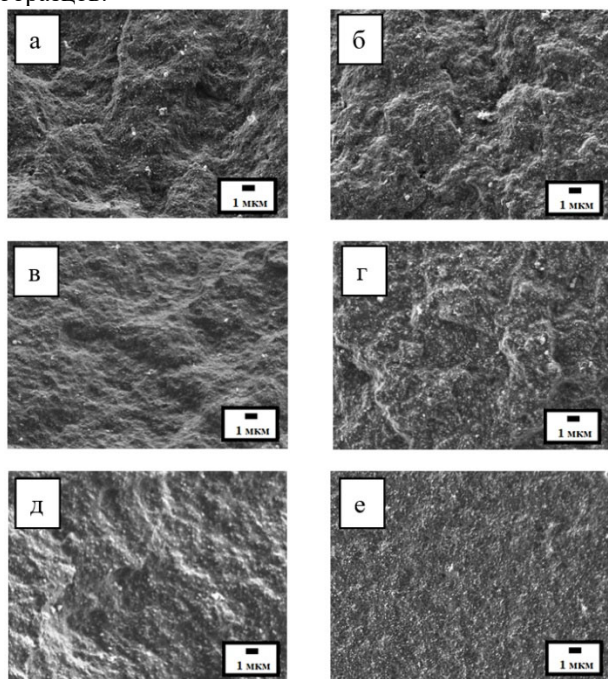


Рис. 1. Микроструктура в объеме эластомера: а) БНКС-18 100 мас.ч.; б) БНКС-18 80 мас.ч. и СКИ-3 20 мас.ч.; в) БНКС-18 60 мас.ч. и СКИ-3 40 мас.ч.; г) БНКС-18 40 мас.ч. и СКИ-3 60 мас.ч.; д) БНКС-18 20 мас.ч. и СКИ-3 80 мас.ч.; е) СКИ-3 100 мас.ч.

На микрофотографиях образцов видно, что с увеличением содержания каучука СКИ-3 структура становится более однородной, характерной для полиизопренового каучука. У образцов с большим содержанием БНКС-18 наблюдается фазовая морфология, характерная для бутадиен-нитрильного каучука. Т.е. при преобладании в смеси БНКС-18 он составляет дисперсионную среду, а СКИ-3 дисперсную фазу и наоборот. Обращение фаз происходит, по-видимому, при соотношении БНКС-18:СКИ-3= 40:60.

На рис.2 представлены снимки микроструктуры поверхности эластомеров на основе комбинации каучуков СКИ-3 и БНКС-18 после трения.

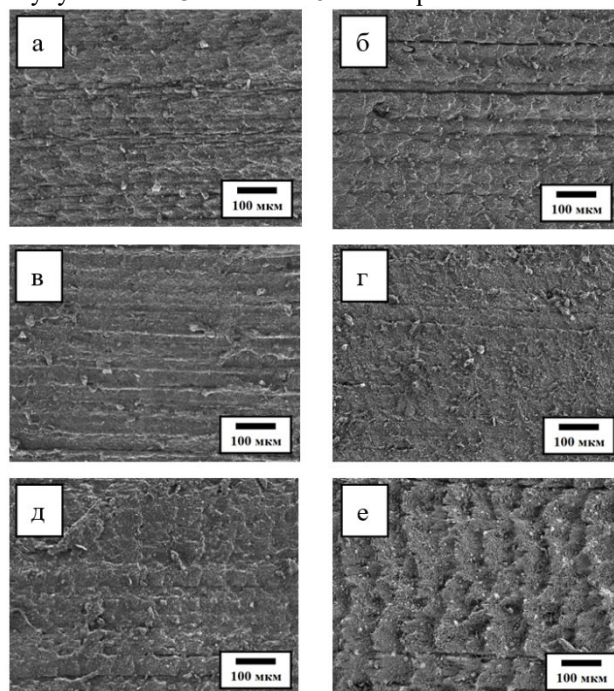


Рис. 2. Микроструктура поверхности эластомеров после трения: а) БНКС-18 100 мас.ч.; б) БНКС-18 80 мас.ч. и СКИ-3 20 мас.ч.; в) БНКС-18 60 мас.ч. и СКИ-3 40 мас.ч.; г) БНКС-18 40 мас.ч. и СКИ-3 60 мас.ч.; д) БНКС-18 20 мас.ч. и СКИ-3 80 мас.ч.; е) СКИ-3 100 мас.ч.

Из микрофотографий видно, что с увеличением содержания каучука СКИ-3 в резиновой смеси происходит изменение структуры поверхности истирания. Резиновая смесь на основе каучука БНКС-18 обладает низким значением износостойкости, добавление каучука СКИ-3 в резиновую смесь приводит к повышению износостойкости резины. На микроснимках видно, что поверхность резины на основе БНКС-18 после трения наиболее шероховата, по сравнению с поверхностью эластомеров на основе комбинации БНКС-18 и СКИ-3. С увеличением концентрации СКИ-3 более чем на 20 мас.ч., происходит повышение сопротивления истиранию.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С повышением содержания СКИ-3 в резиновой смеси на основе комбинации каучуков происходит увеличение относительного удлинения, но понижается твердость, прочность, плотность, стойкость к воздействию масла ВМГЗ;

Остаточная деформация сжатия снижается при содержании 20-40 мас.ч. СКИ-3 в резиновой смеси на основе комбинации каучуков, что следует признать, как положительный факт. С дальнейшим увеличением содержания изопренового каучука наблюдается ухудшение данного показателя;

У эластомерных образцов на основе комбинации изопренового и бутадиен-нитрильного каучуков происходит существенное повышение сопротивления истиранию, относительно образцов на основе индивидуальных каучуков;

После испытания эластомеров на термическое старение происходит уменьшение упруго-прочностных свойств, повышение показателей твердости по Шор А и модули упругости;

У образцов на основе комбинации каучуков СКИ-3 и БНКС-18 имеются две температуры стеклования и наблюдается некоторое ее смещения от значений, полученных для резин на основе индивидуальных каучуков.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена при поддержке МОН РФ по Государственному заданию № FSRG -2020-0017

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гаврилова, М.К. Климат Центральной Якутии [Текст] / М.К. Гаврилова. – 2-ое изд., исправ. и дораб. – Я.: Якутское книжное издательство, 1973. – 119 с.
2. Петрова, Н.Н. Морозостойкие и маслобензостойкие материалы на основе смесей эластомеров [Текст]: дис. канд. хим. наук: 05.17.12: защищена 27.03.95; утв. 01.07.1995 / Петрова Наталья Николаевна. – М., 1995. – 188 с. – Библиогр.: с. 155-165.
3. Особенности построения рецептур для морозостойких резин / А.М. Чайкун [и др.] // *Авиационные материалы и технологии*. – 2013. – №3 (28). – С. 53-55.
4. Разработка ограниченно разбухающей в нефти резины для паверов / Н.Ф. Ушмарин [и др.] // *Каучук и резина*. – 2019. – №. 4 (78). – С. 214-219.
5. Долинская, Р.М. Использование каучуков специального назначения для создания термостойких резинотехнических изделий / Р.М. Долинская, Е.И. Щербина, Т.Д. Свицерская // *Труды БГТУ. Серия 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология*. – 2009. – №4. – С. 143-145.
6. Разработка стойких к авиационным синтетическим маслам резин на основе смесей нитрильных и диеновых каучуков / В.В. Мухин [и др.] // *Вестник СВФУ*. – 2016. – №6 (56). – С. 41-50.
7. Ромашкина, Л.В. Модификация изопреновых каучуков / Л.В. Ромашкина, И.В. Павлинов, В.В. Павлинов // *Наука и инновации в XXI веке: актуальные вопросы, открытия и достижения*. – 2020. – С. 73-76.
8. Бобров, Г.Б. Маслобензостойкий динамически вулканизированный термоэластопласт на основе смеси полипропилена с полярным эластомером [Текст]: дис. канд. тех.

наук: 05.17.06: защищена 21.12.2016; утв. 23.01.2017 / Бобров Глеб Борисович. – Казань, 2016. – 135 с. – Библиогр.: с. 115-123.

9. Шашок, Ж.С. Химическая технология органических веществ, материалов и изделий: учеб. пособие [Текст] / Ж.С. Шашок, К.В. Вишневский. – Минск: БГТУ, 2014. – 99 с.

10. Корнев, А.Е. Технология эластомерных материалов [Текст] / А.Е. Корнев, А.М. Буканов, О.Н. Шевердяев. – М: МГОУ, 2001. – 472 с.

11. Каблов, В.Ф. Исследование влияния корундовых микросфер на свойства эластомерных материалов / В.Ф. Каблов, О.М. Новопольцева, В.Г. Кочетков // *Каучук и резина*. – 2020. – №. 1 (79). – С. 22-27.

Дьяконов Афанасий Алексеевич – к.т.н., старший научный сотрудник УНТЛ «Технологии полимерных нанокомпозитов» Института естественных наук ФГАОУ ВО «СВФУ им. М.К. Аммосова»; научный сотрудник ФГБУН «Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН», e-mail: afonya71185@mail.ru

Тапыев Сергей Александрович – студент 4 курса химического отделения Института естественных наук ФГАОУ ВО «СВФУ им. М.К. Аммосова», e-mail: tapuev97@mail.ru

Охлопова Айталиа Алексеевна – д.т.н., профессор химического отделения Института естественных наук ФГАОУ ВО «СВФУ им. М.К. Аммосова», e-mail: okhlopkova@yandex.ru

Слепцова Сардана Афанасьевна – к.т.н., зав. УНТЛ «Технологии полимерных нанокомпозитов», доцент химического отделения Института естественных наук ФГАОУ ВО «СВФУ им. М.К. Аммосова», e-mail: ssard@yandex.ru

Петрова Наталья Николаевна – д.х.н., профессор химического отделения Института естественных наук ФГАОУ ВО «СВФУ им. М.К. Аммосова», e-mail: pnn2002@mail.com

Винокуров Павел Васильевич – ведущий инженер УНТЛ «Графеновые нанотехнологии» кафедры "Радиофизика и электронные системы" Физико-технического института ФГАОУ ВО «СВФУ им. М.К. Аммосова», e-mail: pv.vinokurov@s-vfu.ru

Кычкин Анатолий Константинович – к.т.н., ведущий научный сотрудник ФГБУН «Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН», e-mail: kychkinplasma@mail.ru

Стручков Николай Федорович – к.т.н., старший научный сотрудник ФГБУН «Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН», e-mail: struchkov_n@rambler.ru

RESEARCH OF ELASTOMERS PROPERTIES BASED ON COMBINATION OF ISOPRENE AND NITRILE BUTADIENE RUBBERS

A.A. Dyakonov^{1,2}, S.A. Tapyev¹, A.A. Okhlopkova¹, S.A. Sleptsova¹, N.N. Petrova¹, P.V. Vinokurov¹, A.K. Kychkin², N.F. Struckov²

¹M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk

²P.V. Larionov Institute of the Physical-Technical Problems of the North, Yakutsk

The use of rubber products in the extreme conditions of the North creates a number of scientific and technical problems associated with their trustworthiness and reliability. The main reason of equipment failure during operation at low negative temperatures is the performance loss of sealing rubbers due to low frost resistance. One of the ways to solve this problem is the development of rubber compounds based on two or more types of rubber with high values of frost and aggression resistance. This article presents research results of elastomers based on a combination of isoprene rubber IR and nitrile butadiene rubber NBR. As a result, it was discovered that at different ratios of IR and NBR rubbers in a rubber compound, there is a change in the elastic-strength properties of elastomers, resistance to hydrocarbon media, elastic modulus, hardness, density, residual compression deformation and wear resistance. In the research of differential scanning calorimeter, two glass transition temperatures were identified as rubbers based on a combination of rubber. Using electronic microscope, images were obtained in the volume of samples, which is the phase morphology of rubbers is observed, which is depending on ratio of rubber in the mixture is more specific for nitrile butadiene or isoprene rubber. It was also noted that the friction surface of rubber based on NBR has the roughest structure compared to rubber with a high content of IR rubber.

Index terms: nitrile butadiene rubber, isoprene rubber, frost resistance, aggression resistance, wear resistance

REFERENCES

1. Gavrilova, M. K., *Klimat Centralnoj Yakutii*, Ed. Yakutsk: Yakutskoe knizhnoe izdatelstvo, 1973.
2. Petrova, N. N., "Morozostojkie i maslobenzostojkie materialy na osnove smesej elastomerov," Ph.D. dissertation, Dept. Chem. Science, MITHT im. M.V. Lomonosova, 1995.
3. Chajkun, A. M., et al, "Osobennosti postroeniya receptur dlya morozostojkih rezin," *Aviacionnye materialy i tekhnologii*, vol. 28, Issue 3, pp. 53-55. 2013.
4. Ushmarin, N. F., et al, "Razrabotka ogranichenno razbuhayushchej v nefiti reziny dlya pakerov," *Kauchuk i rezina*, vol. 78, Issue 4, pp. 214-219. 2019.
5. Dolinskaya, R. M., E. I. Shcherbina, and T. D. Sviderskaya, "Ispolzovanie kauchukov specialnogo naznacheniya dlya sozdaniya termostojkih rezinotekhnicheskikh izdelij," *Trudy BGTU. Seriya 2: Himicheskie tekhnologii, biotekhnologiya, geoekologiya*, Issue 4, pp. 143-145, 2009.
6. Muhin, V. V., et al, "Razrabotka stojkih k aviacionnym sinteticheskim maslam rezin na osnove smesej nitrilnyh i dienovyh kauchukov," *Vestnik SVFU*, vol. 56, Issue 6, pp 41-50. 2016.
7. Romashkina, L. V., I. V. Pavlinov, and V. V. Pavlinov, "Modifikaciya Izoprenovyh Kauchukov," *Nauka i innovacii v XXI veke: aktualnye voprosy, otkrytiya i dostizheniya*, pp. 73-76, 2020.
8. Bobrov, G. B., "Maslobenzostojkij dinamicheski vulkanizovannyj termoelastoplast na osnove smesi polipropilena s polyarnym elastomerom," Ph.D. dissertation, Dept. Tech. Science, Kazan National Research Technological University, 2016.
9. Shashok, Zh. S. and K. V. Vishnevskij, *Himicheskaya tekhnologiya organicheskikh veshchestv, materialov i izdelij*, Minsk: BGTU, 2014.
10. Kornev, A. E., A. M. Bukanov, and O. N. Sheverdyayev, *Tekhnologiya elastomernyh materialov*, ed. Moscow: MGU, 2001.
11. Kablov, V. F., O. M. Novopolceva, and V. G. Kochetkov, "Issledovanie vliyaniya korundovyh mikrosfer na svojstva elastomernyh materialov," *Kauchuk i rezina*, vol. 79, Issue 1, pp. 22-27, 2020.

Dyakonov Afanasii Alekseevich – Ph.D., researcher, scientific and technological laboratory "Technology of polymer nanocomposites", Institute of Natural Sciences, NEFU; researcher of the Larionov Institute of Physical and Technical Problems of the North, e-mail: afonya71185@mail.ru

Tapyev Sergej Aleksandrovich – 4th year student of the Chemical Department, Institute of Natural Sciences, NEFU, e-mail: tapyev97@mail.ru

Okhlopkova Aitalina Alekseevna – Ph.D., professor of the Chemical Department, Institute of Natural Sciences, NEFU, e-mail: okhlopkova@yandex.ru

Sleptsova Sardana Afanaseevna – Ph.D., Head of the educational, scientific and technological laboratory "Technologies of polymer nanocomposites", associate professor of the Chemical Department, Institute of Natural Sciences, NEFU, e-mail: ssard@yandex.ru

Petrova Nataliya Nikolaevna – Ph.D., professor of the Chemical Department, Institute of Natural Sciences, NEFU, e-mail: pnn2002@mail.com

Vinokurov Pavel Vasilyevich – leading engineer of the educational, scientific and technological laboratory «Graphene nanotechnologies», Department of Radiophysics and Electronic systems, Institute of Physics and Technologies, NEFU, e-mail: pv.vinokurov@s-vfu.ru

Kychkin Anatolij Konstantinovich – Ph.D., leading researcher of the Larionov Institute of Physical and Technical Problems of the North, e-mail: kychkin-plasma@mail.ru

Strukov Nikolaj Fedorovich – Ph.D., researcher of the Larionov Institute of Physical and Technical Problems of the North, e-mail: struckov_n@rambler.ru