УДК 678. 019

# НАБУХАНИЕ ОБРАЗЦОВ АВТОМОБИЛЬНЫХ РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ В СТАНДАРТНОЙ ЖИДКОСТИ, МОТОРНОМ МАСЛЕ И ТРИБОТЕХНИЧЕСКОМ КОМПАУНДЕ

**Азанов А.В.**[1,3], к.т.н. **Бернацкий В.В.**[2], **Разуваев П.Е.**[1], **Хлопков С.В.**[3], к.х.н. **Ходяков А.А.**[3]
[1]Филиал федерального унитарного государственного предприятия «Центр эксплуатации объектов наземной космической инфраструктуры» – Конструкторское бюро «Мотор», Москва, Россия
[2]Московский политехнический университет, Москва, Россия
[3]Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов», Москва, Россия
vladislav_bern@mail.ru

*В работе исследовалось изменение свойств резинотехнических изделий автомобиля под влиянием температур и при работе в агрессивной среде. Испытаниям подвергались образцы протектора радиальной шины (Barum 155/70 R13 75T Brillantis 2) габаритами не более $2\cdot10^{-2}\times1,5^{-2}\times5\cdot10^{-3}$ [м], пробы уплотнителя (сальник; тип 2108-170342-01) в форме полукруга размером $2,7\cdot10^{-2}\times\times7\cdot10^{-3}\times2\cdot10^{-3}$ [мм], как исходные, так и состаренные образцы резины. Старение проводилось в потоке воздуха, прокачиваемого принудительно через реактор с помещенной в него резиной. Время тепловой обработки составляло 12–100 часов, температура – 70–150 °С. Изменение свойств резины оценивали по параметру изменения массы образцов (исходных и состаренных) после их контакта с жидкостью. Исследовалась стойкость резины к воздействию жидкостей, изучалась кинетика набухания резины. В качестве стандартной жидкости использовался изооктан (2,2,4-триметилпентан). Проводились также опыты с синтетическим моторным маслом (ММ) «GENESIS CLARITECH» 5W-30 и триботехническим составом (триботехническая композиция; ТС) «ACTIVE PLUS» («супротек»). Использование триботехнического состава в качестве испытательной жидкости для резин мотивировалось целью оценить химическую активность «супротека» при его применении в двигателях, работающих в условиях больших нагрузок. Кинематическая вязкость ММ и ТС определялась (в интервале температур от 20 °С до 100 °С) вискозиметрами ВПЖ-4, плотность (ρ) жидкостей измерялась нефтеденсиметрами. Твердость образцов резины оценивалась посредством измерения сопротивления резины погружению в нее индентора (подпружиненного стержня). В качестве измерителя использовали индикатор часового типа ИЧ-02 (класс точности 0).*

***Ключевые слова:*** *набухание резины, моторное масло, триботехнический компаунд, изооктан, автомобильная шина, сальники.*

## *Введение*

Такие изделия как автомобильная шина, а также содержащие резину манжетные уплотнения (сальники), маслосъемные колпачки (клапанные сальники) работают в условиях воздействия на указанный материал многократных циклических нагрузок и температур. Со временем в результате действия указанных нагрузок и тепла резина (относится к макросетчатым полимерам) стареет, теряет свою эластичность [1–4].

Циклические нагрузки оказывают негативное влияние на работоспособность полимеров (высокомолекулярных соединений) [3]. Полимер при циклических нагрузках быстро разогревается. Теплота из-за низкой теплопроводности полимера накапливается в его объеме и не рассеивается в окружающую среду. Повышение температуры полимера снижает прочностные свойства изделия в целом. Аналогичный эффект, связанный с воздействием на внутримолекулярные связи и связи между сегментами разных макромолекул, характерен и для самой механической нагрузки [3].

Для улучшения физико-механических свойств автомобильных шин и уплотнителей в них вводят различные вещества, которые оказывают влияние на упруго-прочностные показатели и износостойкость [5, 6]. Исследуют также надежность шин, контролируют герметичность манжетных уплотнений [7, 8].

При многократных деформациях уплотнителей, сальников, соприкасающихся в процессе эксплуатации с маслами, из-за протекающего при таком контакте резины с жидкостью про-


© Азанов А.В., Бернацкий В.В., Разуваев П.Е., Хлопков С.В., Ходяков А.А., 2018

цесса набухания наблюдается не только увеличение массы и объема резинотехнического изделия (РТИ), изменение формы материала, но и снижаются его прочность, эластичность, износостойкость, твердость [6, 9]. Поэтому изучение процесса набухания резины, находящейся на разных стадиях деградации ее качества является актуальным. Актуально это и с точки зрения современной тенденции создания высококачественных резинотехнических изделий на основе различных наполнителей [6].

### Цель исследования

Анализ изменения свойств резинотехнических изделий автомобиля под влиянием температур и при работе в агрессивной среде.

### Экспериментальная часть

Испытанию подвергали образцы протектора радиальной шины (Barum 155/70 R13 75T Brillantis 2) габаритами не более $2 \cdot 10^{-2} \times \times 1{,}5^{-2} \times 5 \cdot 10^{-3}$ [м], пробы уплотнителя (сальник; тип 2108-170342-01) в форме полукруга размером $2{,}7 \cdot 10^{-2} \times 7 \cdot 10^{-3} \times 2 \cdot 10^{-3}$ [мм].

Изучали как исходные, так и состаренные образцы резины. Старение проводили в потоке воздуха, прокачиваемого принудительно через реактор с помещенной в него резиной. Время тепловой обработки составляло 12–100 часов, температура – 70–150 °С. Такая организация опытов связана с тем, что резина, отожженная, например, при 70 °С в течение 144 часов, по свойствам аналогична материалу, который подвергался естественному старению в течение 3 лет. Изменение свойств резины оценивали по параметру изменения массы образцов (исходных и состаренных) после их контакта с жидкостью. Резину, предварительно взвешенную на порционных весах ВЛТЭ-150, помещали в пробы жидкости, далее через определенные промежутки времени осуществляли контроль массы образцов после их контакта с жидкостями. Предел допускаемой погрешности весов составляет ± 0,003 г, среднеквадратическое отклонение – 0,0015 г. Опыты проводили при 20–80 °С, перемешивая магнитной мешалкой жидкость с помещенными в нее образцами резины. В представленном способе испытания учитывали особенности методов, используемых как для определения стойкости резины к воздействию жидкостей, так и для изучения кинетики набухания резины [5, 9–11]. В качестве стандартной жидкости использовали изооктан (2,2,4-триметилпентан). Проводили также опыты с синтетическим моторным маслом (ММ) «GENESIS CLARITECH» 5W-30 и триботехническим составом (триботехническая композиция; ТС) «ACTIVE PLUS» («супротек»).

Кинематическую вязкость ММ и ТС определяли (в интервале температур от 20 °С до 100 °С) вискозиметрами ВПЖ-4, плотность (ρ) жидкостей измеряли нефтеденсиметрами.

Расчет вязкости (ν, сСт) проводили по уравнению:

$$\nu = C \cdot \tau ,$$

где С – постоянная вискозиметра, $сСт \cdot с^{-1}$; τ – среднеарифметическое время истечения проб жидкостей, сек.

Расчет индекса вязкости (ИВ) моторного масла, триботехнической композиции проводили, используя интернет-калькулятор.

Твердость образцов резины оценивали посредством измерения сопротивления резины погружению в нее индентора (подпружиненного стержня). В качестве измерителя использовали индикатор часового типа ИЧ-02 (класс точности 0) [9].

### Обсуждение результатов

В результате проведенных исследований установлено, что масса исходных и состаренных образцов резины после их контакта с жидкостями возрастает. Такой рост массы материала связан с поглощением растворителя (молекул жидкостей) высокомолекулярным веществом, т.е. обусловлен набуханием макросетчатого полимера.

В табл. 1 представлена степень набухания образцов исходной шины (ИШ), образцов состаренного (в течение 90 часов при 150 °С; СУ) и исходного (ИУ) уплотнителя. Расчет степени набухания (α) приводили по уравнению [5]:

$$\alpha = \frac{m - m_0}{m_0} ,$$

где $m$ – масса набухшего полимера, г; $m_0$ – масса исходного образца до набухания, г.

Из сопоставления данных (табл. 1) следует, что параметр α для образца протектора шины выше степени набухания резинового уплотнителя. Полученные результаты вполне закономерны, т.к. резина протектора шины имеет несколько иной, чем уплотнитель, состав и структуру.

Состаренный образец уплотнителя набухает меньше, чем ИУ. Это объясняется тем, что СУ в отличие от исходной резины после воздействия на него тепла потерял свою эластичность полностью, превратился в твердый монолит. Несомненно, такой переход и как следствие существенное изменение структуры полимера и нашло отражение в способности состаренного уплотнителя набухать. Состаренный образец шины (аналогично уплотнителю) набухает в меньшей степени, чем исходный материал. Параметр α шины выше степени набухания уплотнителя (табл. 1).

Следовательно, образцы уплотнителя более стойки к воздействию стандартной жидкости (изооктан), чем протектор шины. Подтверждением стойкости уплотнителя к действию изооктана являются опыты по извлечению жидкости из образцов при их хранении на воздухе. Установлено, что из протектора шины при 20 °С в атмосферу за 135 мин хранения извлекается 85 % изооктана. Для уплотнителя время на извлечение 85 % жидкости при аналогичных условиях составило всего 30 мин. Малое время извлечения изооктана из уплотнителя по сравнению с протектором свидетельствует о более низком содержании в уплотнителе органической жидкости.

В табл. 2 представлены результаты испытания образцов исходной и состаренной (в течение 90 часов) шины. Среднее время контакта объектов исследования с жидкостью составило 426 минут. Опыты с моторным маслом и триботехническим составом проводили при 80 °С.

Из сопоставления данных (табл. 2) следует, что также как и в случае с изооктаном степень набухания исходных образцов протектора шины выше параметра α состаренного материала. Степень набухания протектора в моторном масле ниже α, полученного для образцов, контактирующих с триботехническим составом. В образцах уплотнителя эффект набухания после контакта материала с моторным маслом и супротеком не наблюдается в течение 426–900 мин.

Уплотнитель после отжига его в течение 90 часов в отличие от состаренного образца протектора шины потерял свою эластичность полностью. Однако, как это следует из данных (табл. 1), состаренная резина ведет себя по отношению к изооктану одинаково, т.е. набухает в меньшей степени, чем исходные образцы. Это свидетельствует о том, что изменения структуры уплотнителя и протектора шины под действием теплоты идентичны. Поэтому полученные для образцов протектора шины данные по набуханию можно распространить и на резину уплотнителя.

Использование триботехнического состава в качестве испытательной жидкости для резин мотивировалось целью оценить химическую активность супротека при его применении в двигателях, работающих в условиях больших нагрузок на цилиндро-поршневую группу, кри-

*Таблица 1*

**Степень набухания (α) образцов резины в изооктане при 20 °С**

| Время контакта, мин | α, отн. ед. | | | |
|---|---|---|---|---|
| | *ИШ | **СШ | ***СУ | ****ИУ |
| 200 | 0,11 | ---- | ---- | ---- |
| 300 | 0,17 | ---- | ---- | ---- |
| 500 | 0,21 | 0,09 | $8{,}6 \cdot 10^{-3}$ | 0,026 |

* – образец шины исходный; ** – состаренный образец шины; *** – состаренный образец уплотнителя; **** – образец уплотнителя исходный.

*Таблица 2*

**Степень набухания (α) образцов протектора шины в моторном масле (ММ), триботехническом составе (ТС) и ММ, содержащем 0,8 % ТС при 80 °С**

| Жидкость | α, отн. ед. | |
|---|---|---|
| | ИШ | СШ |
| ММ | 0,10 | 0,03 |
| ТС | 0,20 | 0,06 |
| ТС (0,8 % масс.) + ММ (99,2 % масс.) | ---- | 0,03 |

вошипно-шатунный механизм, на механизм газораспределения и систему смазки.

Исследования, проведенные в Военно-морской академии им. Н.Г. Кузнецова, продемонстрировали позитивные изменения показателей работы двигателя внутреннего сгорания, работающего на смазке (моторное масло), содержащей супротек [12]. При этом сведений об изучении воздействия триботехнического состава на свойства резинотехнических изделий, находящихся в узлах двигателя в разных стадиях деградации качества, нет. В то же время известно, что степень набухания резин связана с химическим составом моторного масла. Поэтому и были проведены опыты с супротеком.

Из сопоставления данных (табл. 2) следует, что степень набухания состаренного протектора шины после контакта его с моторным маслом ниже параметра α, полученного для образца, контактирующего с ТС. В моторном масле, содержащем 0,8 % (масс.) супротека степень набухания идентична α образца, контактирующего с ММ. Следовательно, полученное значение α для образцов после контакта с супротеком не связано с присутствующими в ТС тонкодисперсными частицами слоистых силикатов, а определяется химическим составом дисперсионной среды (материалом основы триботехнической композиции), т.е. маслом. Действительно, как это следует из данных (табл. 3), показатели материала основы ТС – масла – отличаются от значений ν, ρ и ИВ моторного масла. Максимальные отличия наблюдаются в значениях вязкости при 100 °С и индексе вязкости. Так, ν моторного масла при указанной температуре выше вязкости ТС на ~30 %.

Для определения присутствия в ММ и ТС ароматических углеводородов использовали концентрированную серную кислоту [13, 14]. К объему 20 мл жидкостей добавляли 0,2 мл $H_2SO_{4конц}$. Процентное содержание кислоты (по объему) не превышало ~ 1 %.

В результате проведенных исследований установлено, что моторное масло после введения в него $H_2SO_{4конц}$ переходит в эмульсию, цвет которой не меняется на протяжении 15 часов опыта (перемешивание магнитной мешалкой при 80 °С). Триботехническая композиция в тех же условиях проведения эксперимента не образует с $H_2SO_{4конц}$ эмульсию, жидкость приобретает окрас, характерный для продуктов реакции взаимодействия ароматических углеводородов с серной кислотой. Следовательно, в ТС присутствуют ароматические углеводороды.

Установленные отличия показателей моторного масла и триботехнической композиции, свидетельствующие о разном компонентном составе, отражаются в значениях степени набухания. В масле, имеющем более низкую вязкость, образцы протектора шины набухают больше (табл. 2). Некоторый вклад в возрастание параметра α материала, контактирующего с ТС, могут вносить и присутствующие в супротеке арены, т.к. известно, что степень набухания резин существенно зависит от содержания в маслах этих углеводородов [15].

Независимо от состояния резины, т.е. находится ли она в исходном или состаренном состоянии, наблюдается поглощение образцами молекул жидкостей. При этом степень набухания состаренного материала ниже параметра α исходного протектора шины и уплотнителя. Твердость состаренных образцов возрастает на 60–120 %. Следовательно, частота поперечных связей увеличивается. Это приводит к падению гибкости цепей макромолекул и соответственно к снижению числа образующихся (в результате теплового движения), соизмеримых с размерами молекул жидкостей, небольших межмолекулярных пространств резины [9, 10, 16, 17].

Набухание резин связано с присутствием в изделиях полярных и неполярных каучуков. Так, неполярные каучуки не растворяются в жидкостях, молекулы которых имеют дипольный момент, полярные каучуки ограниченно набухают в неполярных растворителях [9]. Представленная закономерность вызывает необходимость в постановке опытов, позволяющих выявить полярные фрагменты структуры каучуков.

*Таблица 3*

**Значения вязкости, плотности, индекса вязкости, энергии активации вязкого течения исходного моторного масла (ММ) и триботехнического состава (ТС)**

| Параметр | ТС | ММ |
|---|---|---|
| ν при 40 °С, сСт | 62,2 | 68,65* |
| ν при 100 °С, сСт | 7,7 | 11,23** |
| ИВ | 84 | 169** |
| $\rho_{15}$, кг·м$^{-3}$ | 890,4 | 847,2** |

* – результаты лабораторного анализа [Oil-club.ru];
** – нормативные значения плотности (при 15 °С), вязкости и индекса вязкости моторного масла GENESIS CLARITECH 5W-30.

Для решения поставленной задачи исходный и состаренный протектор шины подвергали поляризации (на воздухе) во внешнем постоянном электрическом поле напряженностью $2{,}0 \cdot 10^6$ В·м$^{-1}$ (блокирующие электроды) при температуре не выше 70 °С в течение 0,3 часа. Далее объекты исследования охлаждали, не снимая поля, до комнатной температуры. Контроль наличия в образцах эффекта поляризации проводили, измеряя термостимулированные токи короткого замыкания в режиме линейного нагревания (от 20 до ~250 °С) резины со скоростью ~5–6 град·мин$^{-1}$ [18].

Установлено, что независимо от состояния резины (состаренный, несостаренный протектор шины) при линейном нагревании образцов во внешней цепи электрометрической ячейки регистрируется ток короткого замыкания (ТКЗ). Появление ТКЗ связано с присутствием в объеме материала диполей, которые, ориентируясь по направлению внешнего электрического поля, формируют объемный заряд [19]. Следовательно, в структуре резины протектора шины присутствуют полярные фрагменты. Однако, как это следует из сопоставления данных (табл. 4), наличие последних никак не связано со степенью набухания исходного и состаренного протектора. Имея одинаковую плотность заряда, образцы поглощают разное количество жидкости.

*Таблица 4*

**Значения плотности заряда (q) образцов протектора шины и их степень набухания (α) в изооктане при 20 °С**

| Параметр | Образец | |
|---|---|---|
| | исходный | состаренный |
| q, Кл·см$^{-2}$ | $4{,}9 \cdot 10^{-9}$ | $4{,}9 \cdot 10^{-9}$ |
| α, отн. ед. | 0,21 | 0,09 |

## Заключение

Таким образом, из представленных результатов опытов и их обсуждения следует, что степень набухания (α) состаренной резины ниже параметра α исходных образцов. Твердость состаренного материала, по сравнению с твердостью исходной резины, возрастает. Это связано с увеличением частоты поперечных связей, которая снижает гибкость цепей макромолекул и соответственно число образующихся (в результате теплового движения), соизмеримых с размерами молекул жидкостей, небольших межмолекулярных пространств.

Различия в степени набухания протектора, контактирующего с моторным маслом и триботехнической композицией, связано не только с разным по составу маслом, но с присутствием в супротеке ароматических углеводородов. Более низкие, чем для протектора шины, параметры α уплотнителя при контакте резин с изооктаном объясняются стойким к воздействию масла и бензина составом резины сальника. Показано, что в структуре резины протектора шины присутствуют полярные фрагменты. Однако наличие этих структурных мотивов в объеме материала никак не отражается в параметрах α. Имея одинаковую плотность заряда, образцы исходного и состаренного протектора поглощают разное количество органической жидкости.

## Литература


1. Пиотровский К.Б., Тарасов З.Н. Старение и стабилизация синтетических каучуков. М.: Химия, 1980. – 264 с.
2. Черезова Е.Н., Мукменева Н.А., Архиреев В.П. Старение и стабилизация полимеров. Часть 1: учебное пособие. Казань: Изд-во Казан. национального исслед. технол. ун-та, 2012. – 150 с.
3. Бобович Б.Б. Неметаллические конструкционные материалы (структура, свойства, применение): учебное пособие. М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2014. – 400 с.
4. Дорофеев А.Н. Стабилизирующая система полифункционального действия на основе полиоксипропилированных ароматических аминов и диаминов в шинных резинах: дис. канд. тех. наук. Нижнекамск, 2017. – 135 с.
5. Котенко Н.П. Каучук и резина: учебно-методическое пособие к практическим занятиям и лабораторным работам для студентов магистратуры по направлению подготовки «Химическая технология» / Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова. Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ), 2017. – 40 с.
6. Игуменова Т.И., Клейменова Н.Л., Савченко Н.О. Исследование и анализ степени набухания манжет резиновых армированных с добавлением фуллеренсодержащего наполнителя после воздействия стандартной жидкости // Электронный научно-технический журнал «Молодежный научный вестник». 2016. № 1. С. 42–51.
7. Дамзен В.А., Елистратов С.В. Исследование надежности автомобильных шин // Научно-технический журнал «Надежность». 2014. № 2. С. 33–42.
8. Иванов И.В. Повышение надежности автомобильных двигателей путем контроля герметично-

сти манжетных уплотнителей коленчатого вала при капитальном ремонте: автореферат диссертации. Волгоград, 2011. – 16 с.
9. Бергштейн Л.А. Лабораторный практикум по технологии резины: Учеб. пособие для техникумов. 2-е изд., перераб. Л.: Химия, 1989. – 248 с.
10. Авакумова Н.И., Бударина Л.А., Дивгун С.М. Практикум по химии и физике полимеров. Под ред. В. Ф. Куренкова. М.: Химия, 1990. – 304 с.
11. ГОСТ Р ИСО 1817-2009. Резина. Определение стойкости к воздействию жидкостей. М.: Стандартинформ, 2011. – 20 с.
12. Половинкин В.Н., Горшков В.Ф., Лавров Ю.Г., Румянцева О.М., Семенова Н.А., Куссай Аль Даюб, Волков Ю.В., Виноградова Т.С. Исследование влияния триботехнического состава «Супротек» на показатели работы ДВС. Санкт-Петербург, 2004. – 57 с.
13. Дерябина Г.И., Нечаева О.Н., Потапова И.А. Практикум по органической химии. Часть II. Реакции органических соединений [Текст]: в 2 частях. Самара: Издательство «Универсгрупп», 2007. – 171 с.
14. Джильберт Э.Е. Сульфирование органических соединений. М.: Химия, 1969. – 415 с.
15. Нефтепродукты (справочник). М.: Изд-во «Химия», 1966. – 776 с.
16. Лукьянов А.Б. Физическая и коллоидная химия: Учебник для техникумов. 2-е изд. перераб. и доп. М.: Химия, 1988. – 288 с.
17. Черезова Е.Н., Мукменева Н.А., Архиреев В.П. Старение и стабилизация полимеров. Казань: Изд-во «Казан», 2012. – 150 с.
18. Ходяков А.А., Бендик М.М., Антипенко В.С. Поляризация образцов резины протектора шины // Материалы международной конференции и российской научной школы «Системные проблемы качества, математического моделирования, информационных и электронных технологий». М.: МГТУ «МАМИ», 2010. – 140 с.
19. Гороховатский Ю.А., Бордовский Г.А. Термоактивационная токовая спектроскопия высокоомных полупроводников и диэлектриков. М.: Наука, 1991. – 248 с.

### *References*

1. Piotrovskij K.B., Tarasov Z.N. *Starenie i stabilizaciya sinteticheskih kauchukov* [Aging and stabilization of synthetic rubbers]. Moscow: Himiya Publ., 1980. 264 p.
2. CHerezova E.N., Mukmeneva N.A., Arhireev V.P. *Starenie i stabilizaciya polimerov. CHast' 1: uchebnoe posobie* [Aging and stabilization of polymers. Part 1: textbook]. Kazan': Izd-vo Kazan. nacional'nogo issled. tekhnol. un-ta Publ., 2012. 150 p.
3. Bobovich B.B. *Nemetallicheskie konstrukcionnye materialy (struktura, svojstva, primenenie): uchebnoe posobie* [Nonmetallic constructional materials (structure, properties, application): textbook]. Moscow: FORUM: INFRA-M Publ., 2014. 400 p.
4. Dorofeev A.N. *Stabiliziruyushchaya sistema polifunkcional'nogo dejstviya na osnove polioksipropilirovannyh aromaticheskih aminov i diaminov v shinnyh rezinah*: dis. kand. tekh. nauk [Stabilizing system of polyfunctional action based on polyoxypropylated aromatic amines and diamines in tire rubbers: dissertation for Degree of Candidate of Technical Sciences]. Nizhnekamsk, 2017. 135 p.
5. Kotenko N.P. *Kauchuk i rezina: uchebno-metodicheskoe posobie k prakticheskim zanyatiyam i laboratornym rabotam dlya studentov magistratury po napravleniyu podgotovki «Himicheskaya tekhnologiya»* [Gum elastic and rubber: an educational and methodical manual for practical studies and laboratory works for students of the Master's course in the field of "Chemical technology"]. YUzhno-Rossijskij gosudarstvennyj politekhnicheskij universitet (NPI) im. M.I. Platova. Novocherkassk: YURGPU (NPI) Publ., 2017. 40 p.
6. Igumenova T.I., Klejmenova N.L., Savchenko N.O. Research and analysis of the degree of swelling of rubber cuffs reinforced with the addition of fullerene filler after exposure to standard liquid. *EHlektronnyj nauchno-tekhnicheskij zhurnal «Molodezhnyj nauchnyj vestnik»*. 2016. No 1, pp. 42–51 (in Russ.).
7. Damzen V.A., Elistratov S.V. Investigation of the reliability of automobile tires. *Nauchno-tekhnicheskij zhurnal «Nadezhnost'»*. 2014. No 2, pp. 33–42 (in Russ.).
8. Ivanov I.V. *Povyshenie nadezhnosti avtomobil'nyh dvigatelej putem kontrolya germetichnosti manzhetnyh uplotnitelej kolenchatogo vala pri kapital'nom remonte.* Avtoreferat dissertacii [Improving the reliability of automobile engines by checking the tightness of the crankshaft cuff seals during major repair]. Volgograd, 2011. 16 p.
9. Bergshtejn L.A. *Laboratornyj praktikum po tekhnologii reziny: Ucheb. posobie dlya tekhnikumov* [Laboratory course on rubber technology: textbook for technical schools]. 2-e izd., pererab. Leningrad: Himiya Publ., 1989. 248 p.
10. Avakumova N.I., Budarina L.A., Divgun S.M. i dr. *Praktikum po himii i fizike polimerov* [Laboratory course on the chemistry and physics of polymers].

Pod red. V.F. Kurenkova. Moscow: Himiya Publ., 1990. 304 p.
11. *GOST R ISO 1817-2009*. Rubber. Determination of resistance to liquids. Moscow: Standartinform Publ., 2011. 20 p.
12. Polovinkin V.N., Gorshkov V.F., Lavrov YU.G., Rumyanceva O.M., Semenova N.A., Kussaj Al' Dayub, Volkov YU.V., Vinogradova T.S. *Issledovanie vliyaniya tribotekhnicheskogo sostava «Suprotek» na pokazateli raboty DVS* [Investigation of the influence of tribotechnical composition "Suprotec" on the performance of ICE]. Sankt-Peterburg, 2004. 57 p.
13. Deryabina G.I., Nechaeva O.N., Potapova I.A. *Praktikum po organicheskoj himii. CHast' II. Reakcii organicheskih soedinenij* [Laboratory course on organic chemistry. Part II. Reactions of organic compounds]. V 2 chastyah. Samara: Izdatel'stvo «Universgrupp» Publ., 2007. 171 p.
14. Dzhil'bert EH.E. *Sul'firovanie organicheskih soedinenij* [Sulfonation of organic compounds]. Moscow: Himiya Publ., 1969. 415 p.
15. *Nefteprodukty (spravochnik)* [Petroleum products (reference book)]. Moscow: Izd-vo «Himiya» Publ., 1966. 776 p.
16. Luk'yanov A.B. *Fizicheskaya i kolloidnaya himiya: Uchebnik dlya tekhnikumov* [Physical and colloid chemistry: Textbook for technical schools]. 2-e izd. pererab. i dop. Moscow: Himiya Publ., 1988. 288 p.
17. CHerezova E.N., Mukmeneva N.A., Arhireev V.P. *Starenie i stabilizaciya polimerov* [Aging and stabilization of polymers]. Kazan': Izd-vo «Kazan» Publ., 2012. 150 p.
18. Hodyakov A.A., Bendik M.M., Antipenko V.S. Polarization of rubber tire protector patterns. *Materialy mezhdunarodnoj konferencii i rossijskoj nauchnoj shkoly «Sistemnye problemy kachestva, matematicheskogo modelirovaniya, informacionnyh i ehlektronnyh tekhnologij»* [Materials of the international conference and the Russian scientific school "Systemic problems of quality, mathematical modeling, information and electronic technologies"]. Moscow: MGTU «MAMI» Publ., 2010. 140 p. (in Russ.).
19. Gorohovatskij YU.A., Bordovskij G.A. *Termoaktivacionnaya tokovaya spektroskopiya vysokoomnyh poluprovodnikov i diehlektrikov* [Thermal activation spectroscopy of high-resistance semiconductors and dielectrics]. Moscow: Nauka Publ., 1991. 248 p.

# SWELLING OF SAMPLES OF AUTOMOTIVE RUBBER PRODUCTS IN STANDARD FLUID, ENGINE OIL AND TRIBOTECHNICAL COMPOUND

**A.V. Azanov**[1,3], Ph.D. **V.V. Bernackij**[2], **P.E. Razuvaev**[1], **S.V. Hlopkov**[3], Ph.D. **A.A. Hodyakov**[3]
[1]Branch of the federal unitary state enterprise "Center for the Operation of Ground-Based Space Infrastructure Facilities" – "Design Bureau "Motor", Moscow, Russia
[2]Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia
[3]Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia
vladislav_bern@mail.ru

*In this paper the change in the properties of rubber products of automobile under the influence of temperatures and when working in an aggressive environment was studied by authors. The radial tire protector samples (Barum 155/70 R13 75T Brillantis 2) with dimensions not exceeding $2\cdot10^{-2}\times1,5^{-2}\times5\cdot10^{-3}$ [m], seal samples (of 2108-170342-01 type) in the form of a semicircle of $2,7\cdot10^{-2}\times7\cdot10^{-3}\times2\cdot10^{-3}$ [mm] size, both original and aged rubber samples were tested. Aging was carried out in a stream of air, forcibly pumped through the reactor with the rubber placed in it. The heat treatment time was 12–100 hours, the temperature was 70–150 °C. The change in the properties of rubber was evaluated by the parameter of the change in the mass of the samples (original and aged) after their contact with the liquid. The resistance of rubber to the action of liquids was studied, the kinetics of rubber swelling was studied. As the standard liquid the isooctane (2,2,4-trimethylpentane) was used. The experiments were carried with synthetic engine oil (SEO) "GENESIS CLARITECH" 5W-30 and tribotechnical composition (tribotechnical compounds; TC) "ACTIVE PLUS" ("suprotec"). The use of tribotechnical composition as a test fluid for rubbers was motivated by the purpose of assessing the chemical activity of the "suprotec", when used in engines operating under conditions of high loads. The kinematic viscosity of SEO and TC was determined (in the temperature range from 20 °C to 100 °C) by the HPLC-4 viscometers, the density (ρ) of the liquids was measured with oil-meters. The hardness of the rubber samples was evaluated by measuring the resistance of the rubber by immersion of the indenter (a spring-loaded rod) into it. The indicator of the hour type ICh-02 (accuracy class 0) was used as a gauge.*

***Keywords:*** *rubber swelling, engine oil, tribotechnical compound, isooctane, automobile tire, seals.*