

УДК 678.8

М.А. Илюхина<sup>1</sup>, Д.Н. Смирнов<sup>1</sup>, Я.А. Брык<sup>1</sup>

## СВОЙСТВА ВУЛКАНИЗАТОВ НА ОСНОВЕ СИЛОКСАНОВЫХ И ТИОКОЛОВЫХ КАУЧУКОВ, НАПОЛНЕННЫХ ДИАТОМИТОМ

DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-4-30-37

*Проведено исследование физико-механических и технологических свойств опытных композиций на основе кремнийорганических и полисульфидных низкомолекулярных каучуков холодной вулканизации, наполненных диатомитом в сравнении с серийными герметиками. Показана возможность применения диатомита разных марок в составе герметиков. Отмечены преимущества и недостатки данных композиций. Показана возможность расширения области применения герметиков, наполненных диатомитом. Приведены характеристики применяемых диатомитов.*

**Ключевые слова:** силоксановый каучук, тиоколовый каучук, компаунд, герметик, физико-механические свойства, диатомит, наполнитель, вулканизат.

M.A. Ilyukhina<sup>1</sup>, D.N. Smirnov<sup>1</sup>, Ya.A. Bryk<sup>1</sup>

## PROPERTIES OF CURED SILICONE AND POLYSULFIDE SEALANT FILLED WITH DIATOMITE

Research of mechanical and technological properties of skilled compositions on the basis of the silicone and polysulfide low-molecular rubbers of cold curing filled with diatomite in comparison with serial sealant. Possibility of application of diatomite of different brands as a part of sealant is shown. Positive tendencies and shortcomings of these compositions are noted. Possibility of expansion of scopes of sealant filled with diatomite is shown. Characteristics of applied diatomites are specified.

**Keywords:** siloxane rubber, thiokol rubber, compound, sealant, physical-mechanical properties, diatomite, filler, cured stock.

---

<sup>1</sup>Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации [Federal State Unitary Enterprise «All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials» State Research Center of the Russian Federation]; e-mail: admin@viam.ru

### Введение

Конструирование принципиально новых авиационных изделий возможно только после внедрения в производство функциональных материалов новых типов, в том числе полимерных. Важным классом полимерных функциональных материалов являются герметизирующие материалы (герметики). Они применяются в самых различных областях техники, во многом обеспечивая работоспособность конструктивных элементов и узлов самолетов, вертолетов, космической техники, топливных отсеков и кессон-баков, водонепроницаемых перегородок, трубопроводов, химических аппаратов и т. п. [1–4].

Известно, что улучшение технических характеристик полимерных материалов может быть достигнуто путем введения в полимерную матрицу добавок специального назначения – наполнителей. Однако, в случае введения активных наполнителей (т. е. ингредиентов, повышающих упругодеформационные свойства), могут возникнуть трудности при переработке полимеров. В этом случае следует добавлять в композицию

так называемые неактивные (инертные) наполнители. Они улучшают технологические характеристики, но в ряде случаев снижают прочностные показатели полимерных композиций. Поэтому для достижения оптимальных свойств наполненных полимеров необходимо грамотно применять наполнители различных типов. Это во многом справедливо и для герметизирующих материалов.

Применение природных минералов, во многом сочетающих свойства активных и инертных наполнителей, является перспективным для модификации полимеров специального назначения.

Для герметизирующих материалов, в том числе и на основе кремнийорганических и полисульфидных низкомолекулярных каучуков, получаемых методом холодной вулканизации, возможна модификация композиций наполнителями, в том числе полученными из природных минералов. Такой подход представляется весьма актуальным. Целью данной работы является проведение комплексных испытаний герметизирующих материалов на основе кремнийорганических и полисульфидных (тиоколовых) каучуков, содержащих функциональные наполнители, полученные из природных минералов, а также установление возможности модификации герметиков наполнителями указанных типов.

Работа выполнена в рамках реализации комплексной научной проблемы 15.2. «Эластомерные и уплотнительные материалы» («Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года») [1].

### Материалы и методы

В качестве перспективных наполнителей для герметизирующих материалов необходимо отметить специально подготовленные наполнители природного происхождения. В качестве такого материала особый интерес представляет диатомит, который используется в различных отраслях промышленности, в том числе химической. Несколько месторождений диатомита расположены на территории России, а это значит, что имеется устойчивая природная сырьевая база. Вместе с тем отсутствуют данные о его применении в рецептурах герметиков и компаундов [5–11].

Диатомит – это минерал природного происхождения из класса опалинов, получаемый путем многостадийного измельчения, фракционирования и сушки природной породы. Диатомит (кизельгур, горная мука, целит) представляет собой механическую смесь остатков водорослей и микроорганизмов. Структура диатомита состоит из рыхлых и слабо агломерированных частиц. Фракционный состав диатомита находится в интервале значений – от 3 до 1 мм. Он может содержать малые дозировки опала глобулярного типа, а также минеральные добавки. Цвет диатомита варьируется от белого до темно-серого или бурого. Темный и бурый цвет диатомита связан с наличием органических примесей, в том числе растительных. Такой большой разброс по цвету позволяет получать материалы различной цветовой гаммы, что немаловажно при разработке герметиков. Основными свойствами диатомита являются: низкая плотность, высокая теплопроводность, химическая стойкость, отсутствие склонности к слипанию и слеживаемости, легкая диспергируемость при обработке на любом смесительном оборудовании. Высушенный тонкомолотый диатомит применяется в качестве наполнителя в целях:

- снижения плотности готовых изделий;
- повышения деформационно-прочностных показателей;
- повышения теплопроводности и температуропроводности;
- снижения стоимости изделий.

В настоящее время диатомит широко применяется в таких отраслях народного хозяйства, как сельское хозяйство, животноводство (кормовая добавка) и агрохимия,

что подтверждает его нетоксичность. Диатомит, полученный на месторождениях Ульяновской области, применяется в качестве осушителей и катализаторов газообразования. Диатомит содержит порядка 80–85% аморфного оксида кремния. В случае преобладания мелкодисперсных частиц диатомит приобретает абразивные свойства. Это дает возможность применять его в полирующих пастах, чистящих и моющих средствах, а также для производства оптического волокна, жидкого стекла, изготовления красок, газобетона, теплоизоляционного кирпича, глазури, в производстве жидких силикатов, строительных тепло- и звукоизоляционных материалов, инсектицидов и других материалов [12, 13].

В данной работе исследованы характеристики композиций, в которых в качестве полимерной основы выбраны силоксановые и тиоколовые каучуки, наполненные диатомитом марок Ц-2, МЦ и NDP-D (производитель – ООО «ПК КВАНТ», который является ведущим производителем диатомита в России) с различными характеристиками. Эти марки диатомита выбраны из общего числа выпускаемых марок (Ц-1, Ц-2, МЦ, ФБ, ФМ, NDP-D и др.), как наиболее полно соответствующие по своим характеристикам, позволяющим получить вулканизаты с пониженной плотностью без снижения физико-механических характеристик, – для применения в составе силоксановых и тиоколовых герметиков [14–20].

Для исследования свойств вулканизатов на основе силоксановых и тиоколовых герметиков, наполненных диатомитом, использовали следующие методы испытаний для определения:

- внешнего вида и механических примесей;
- жизнеспособности многокомпонентных систем;
- условной прочности и относительного удлинения при разрыве;
- кажущейся плотности.

В табл. 1 представлены физико-химические характеристики диатомита марок Ц-2, МЦ и NDP-D.

Таблица 1

**Физико-химические характеристики диатомита**

| Свойства                                 | Значения свойств для диатомита марки |             |           |             |
|------------------------------------------|--------------------------------------|-------------|-----------|-------------|
|                                          | Ц-2                                  | МЦ          | NDP-D-700 | NDP-D-230   |
| Объемная масса, %                        | 290–310                              | 250–280     | 550–800   | 200–230     |
| Удельная поверхность, см <sup>2</sup> /г | 12000–15000                          | 25000–27000 | 2000–5000 | 30000–33000 |
| Истинная плотность, кг/м <sup>3</sup>    | 2020                                 | 2030        | 2160      | 2060        |

### Результаты

В данной работе исследовали композиции, аналогичные по составу серийным силоксановым компаундам и герметикам типа ВИКСИНТ и полисульфидным герметикам, в которых наполнитель в составе компаундов и герметиков полностью заменен на диатомит. Изучено несколько партий диатомита марок Ц-2, МЦ, NDP-D-700 и NDP-D-230, отличающихся по степени дисперсности, удельной поверхности, объемной массе, истинной плотности и другим характеристикам.

Изготовлены опытные композиции, наполненные диатомитом, всех перечисленных марок. Исследованы их технологические и механические характеристики как в исходном состоянии, так и после теплового старения, в сравнении с характеристиками серийных материалов. Отмечено, что диатомит хорошо вводится в полимерную матрицу с получением однородной консистенции без комков и сгустков, при этом опытные

герметизирующие пасты хранятся не менее 1 года без изменения текучести и свойств изготавливаемых из них вулканизатов.

По результатам проведенных исследований выбраны опытные композиции с наиболее высокими показателями, соответствующими уровню показателей серийных компаундов и герметиков, выпускаемых в настоящее время.

Сравнительные характеристики серийного силоксанового компаунда ВИКСИНТ К-68 и двух опытных композиций (на основе низкомолекулярного силоксанового каучука – СКТН), аналогичных ему по составу, наполненных диатомитом марки Ц-2 (образцы: №1 – без прокаливания, №2 – прокаленные), представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Физико-механические и технологические свойства композиций, наполненных диатомитом марки Ц-2, в исходном состоянии и после хранения герметизирующей пасты в течение 1 года**

| Свойства                                    | Значения свойств для                                                     |                                                                          |                   |                                                                          |                   |
|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------------------------------------------------------------|-------------------|
|                                             | компаунда<br>ВИКСИНТ К-68<br>в исходном<br>состоянии и после<br>хранения | опытной композиции                                                       |                   |                                                                          |                   |
|                                             |                                                                          | 1                                                                        |                   | 2                                                                        |                   |
|                                             |                                                                          | СКТН (100 мас. ч.)+<br>+диатомит Ц-2 №1 (60 мас. ч.)+<br>+катализатор 68 |                   | СКТН (100 мас. ч.)+<br>+диатомит Ц-2 №2 (60 мас. ч.)+<br>+катализатор 68 |                   |
|                                             |                                                                          | в исходном<br>состоянии                                                  | после<br>хранения | в исходном<br>состоянии                                                  | после<br>хранения |
| Внешний вид                                 | Вязкотекучая паста                                                       |                                                                          |                   | Густая тиксотропная паста                                                |                   |
| Жизнеспособность, ч                         | 0,5–6,0                                                                  | 1,0–2,0                                                                  | 1,0–2,0           | 1,0–2,0                                                                  | 1,0–2,0           |
| Условная прочность при разрыве, МПа         | ≥1,70                                                                    | 2,03–2,94                                                                | 2,1–3,2           | 2,28–3,50                                                                | 2,25–3,62         |
| Относительное удлинение в момент разрыва, % | ≥80                                                                      | 80–100                                                                   | 80–100            | 40–70                                                                    | 44–70             |
| Плотность вулканизата, г/см <sup>3</sup>    | 1,02–1,10                                                                | 0,87                                                                     | 0,85–0,87         | 0,8–0,9                                                                  | 0,82–0,9          |
| Твердость по Шору А, усл. ед.               | 45–65                                                                    | 60–65                                                                    | 60–67             | 60–65                                                                    | 62–67             |

Сравнительные характеристики серийного силоксанового герметика ВИКСИНТ У-10-80 и трех опытных композиций (аналогичных ему по составу), наполненных диатомитом марок Ц-2 и МЦ, представлены в табл. 3 и 4.

Таблица 3

**Физико-механические и технологические свойства композиций в исходном состоянии и после воздействия температуры, наполненных диатомитом марок Ц-2 и МЦ**

| Свойства                                     |                                                   | Значения свойств для            |                                                                                      |                                                                                      |                                                                                  |
|----------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
|                                              |                                                   | герметика<br>ВИКСИНТ<br>У-10-80 | опытной композиции                                                                   |                                                                                      |                                                                                  |
|                                              |                                                   |                                 | 3                                                                                    | 4                                                                                    | 5                                                                                |
|                                              |                                                   |                                 | СКТН (100 мас. ч.)+<br>+диатомит Ц-2 №2<br>(60 мас. ч.)+<br>+вулканизующие<br>агенты | СКТН (100 мас. ч.)+<br>+диатомит Ц-2 №3<br>(60 мас. ч.)+<br>+вулканизующие<br>агенты | СКТН (100 мас. ч.)+<br>+диатомит МЦ<br>(60 мас. ч.)+<br>+вулканизующие<br>агенты |
| Внешний вид                                  |                                                   | Вязкотекучая паста              | Густая тиксотропная паста                                                            |                                                                                      | Вязкотекучая паста                                                               |
| Жизнеспособность, ч                          |                                                   | 2,0–8,0                         | 3,0–5,0                                                                              | 6,5–9,0                                                                              | 4,0–6,0                                                                          |
| Условная прочность при разрыве, МПа          |                                                   | ≥1,80                           | 1,92–2,38                                                                            | 2,60–2,71                                                                            | 2,46–2,63                                                                        |
| Относительное удлинение в момент разрыва, %  |                                                   | ≥160                            | 160–200                                                                              | 220–240                                                                              | 280–300                                                                          |
| Плотность вулканизата, г/см <sup>3</sup>     |                                                   | 1,97                            | 0,8–0,9                                                                              | 1,23                                                                                 | 1,28                                                                             |
| Твердость по Шору А, усл. ед. (эластичность) | в исходном состоянии                              | ≥35                             | 40–45                                                                                | 40–42                                                                                | 40–45                                                                            |
|                                              | после выдержи при 350°C в течение 3 ч без воздуха | ≥18<br>(эластичный)             | 25–30<br>(эластичный)                                                                | 28–30<br>(эластичный,<br>немного потрескался)                                        | 15–18<br>(эластичный)                                                            |

Таблица 4

**Физико-механические и технологические свойства композиций в исходном состоянии и после воздействия температуры, наполненных диатомитом марок Ц-2 и МЦ, после хранения герметизирующей пасты в течение 1 года**

| Свойства                                     |                                                   | Значения свойств для            |                                                                                        |                                                                                        |                                                                                    |
|----------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
|                                              |                                                   | герметика<br>ВИКСИНТ<br>У-10-80 | опытной композиции                                                                     |                                                                                        |                                                                                    |
|                                              |                                                   |                                 | 3                                                                                      | 4                                                                                      | 5                                                                                  |
|                                              |                                                   |                                 | СКТН (100 мас. ч.)+<br>+диатомит Ц-2 №2<br>(60 мас. ч.)+<br>+вулканизирующие<br>агенты | СКТН (100 мас. ч.)+<br>+диатомит Ц-2 №3<br>(60 мас. ч.)+<br>+вулканизирующие<br>агенты | СКТН (100 мас. ч.)+<br>+диатомит МЦ<br>(60 мас. ч.)+<br>+вулканизирующие<br>агенты |
| Внешний вид                                  |                                                   | Вязкотекучая паста              | Густая тиксотропная паста                                                              |                                                                                        | Вязкотекучая паста                                                                 |
| Жизнеспособность, ч                          |                                                   | 2,0–8,0                         | 2,5–5,0                                                                                | 6,0–8,0                                                                                | 3,5–6,0                                                                            |
| Условная прочность при разрыве, МПа          |                                                   | ≥1,80                           | 2,0–2,4                                                                                | 2,6–2,75                                                                               | 2,5–2,6                                                                            |
| Относительное удлинение в момент разрыва, %  |                                                   | ≥160                            | 160–200                                                                                | 220–240                                                                                | 280–300                                                                            |
| Плотность вулканизата, г/см <sup>3</sup>     |                                                   | 1,97                            | 0,8–0,9                                                                                | 1,2–1,25                                                                               | 1,25–1,28                                                                          |
| Твердость по Шору А, усл. ед. (эластичность) | в исходном состоянии                              | ≥35                             | 40–45                                                                                  | 40–45                                                                                  | 40–47                                                                              |
|                                              | после выдержи при 350°C в течение 3 ч без воздуха | ≥18<br>(эластичный)             | 25–30<br>(эластичный)                                                                  | 28–30<br>(эластичный, немного потрескался)                                             | 15–20<br>(эластичный)                                                              |

Проведенные исследования показали, что жизнеспособность, механические и технологические свойства опытных композиций, наполненных диатомитом, находятся на требуемом для компаундов и силиконовых герметиков уровне. Прочностные показатели опытных силиконовых композиций превышают требования Технических условий на серийные компаунды и герметики типа ВИКСИНТ – в 1,5–2 раза. Наблюдается также значительное снижение плотности (с 40 до 65%) полученных вулканизатов по сравнению с серийными материалами при той же степени наполнения, что немаловажно при применении данных материалов в составе различных летательных конструкций.

Использование диатомита в составе полисульфидных герметиков выбрано по нескольким причинам: во-первых, он обладает диэлектрическими свойствами, во-вторых, низкой стоимостью, в-третьих, диатомит имеет низкую насыпную плотность – его плотность в среднем составляет 0,5–0,7 г/см<sup>3</sup>, что может привести к снижению плотности герметика.

В данной работе исследованы три экспериментальные композиции полисульфидных герметиков, наполненных диатомитом с разной удельной поверхностью, – это марки NDP-D-230 и NDP-D-700.

Составы герметизирующих паст приведены в табл. 5.

Таблица 5

Состав герметизирующих паст

| Компонент                          | Содержание опытной композиции, мас. ч. |       |       |
|------------------------------------|----------------------------------------|-------|-------|
|                                    | 6                                      | 7     | 8     |
| Тиокол II-НТ                       | 100,0                                  | 100,0 | 100,0 |
| Диатомит NDP-D-230                 | 30,0                                   | –     | 30,0  |
| Диатомит NDP-D-700                 | –                                      | 30,0  | 20,0  |
| Раствор фенолформальдегидной смолы | 5,2                                    | 5,2   | 7,5   |

В качестве вулканизирующей системы использована вулканизирующая паста, содержащая бихромат натрия промышленного производства и ускоритель вулканизации – дифенилгуанидин.

Соотношение компонентов для всех трех опытных композиций герметизирующих паст при изготовлении полисульфидного герметика приведено в табл. 6.

Таблица 6

**Соотношение компонентов опытных композиций полисульфидных герметиков  
для изготовления образцов**

| Компонент                                             | Содержание компонента, мас. ч. |
|-------------------------------------------------------|--------------------------------|
| Герметизирующая паста<br>(опытные композиции 6, 7, 8) | 100,0                          |
| Вулканизирующая паста                                 | 12,0                           |
| Дифенилгуанидин                                       | 0,4                            |

Из полученных опытных композиций полисульфидных герметиков изготовлены образцы для определения механических и диэлектрических свойств. Кроме того, приведено сравнение с серийными полисульфидными герметиками ВИТЭФ-1НТ (ТУ1-595-28-708–2003) и УТ-32НТ (ТУ1-595-28-912–2000). Полученные результаты приведены в табл. 7.

Таблица 7

**Механические и диэлектрические свойства полисульфидных герметиков  
в исходном состоянии**

| Свойства                                                                                     | Значения свойств* для                            |                       |                                                     |                       |                       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
|                                                                                              | герметика                                        |                       | опытной композиции                                  |                       |                       |
|                                                                                              | ВИТЭФ-1НТ                                        | УТ-32НТ               | 6                                                   | 7                     | 8                     |
| Условная прочность в момент разрыва, МПа                                                     | <u>2,6–2,8</u><br>2,7                            | <u>2,3–2,5</u><br>2,4 | <u>1,4–1,8</u><br>1,6                               | <u>1,5–1,9</u><br>1,7 | <u>1,8–2,1</u><br>2   |
| Относительное удлинение в момент разрыва, %                                                  | <u>210–300</u><br>255                            | <u>380–420</u><br>400 | <u>180–210</u><br>195                               | <u>130–150</u><br>140 | <u>80–110</u><br>95   |
| Относительная остаточная деформация после разрыва, %                                         | 0                                                | 0                     | <u>2–10</u><br>6                                    | <u>2–7</u><br>5       | 0                     |
| Прочность связи при отслаивании герметика от алюминиевого анодированного сплава Д16-АТ, кН/м | <u>3,4–3,6</u><br>3,5                            | <u>3,7–3,9</u><br>3,8 | <u>2,0–2,2</u><br>2,1                               | <u>1,9–2,0</u><br>2,0 | <u>2,2–2,4</u><br>2,3 |
| Характер отслаивания герметика от алюминиевого анодированного сплава Д16-АТ по ГОСТ 21981–76 | Отслаивание по поверхности «сетка–герметик» (СГ) |                       | Отслаивание по поверхности «герметик–подложка» (ГМ) |                       |                       |
| Твердость герметика по Шору А, усл. ед. (не менее)                                           | <u>40–45</u><br>43                               | <u>41–47</u><br>44    | <u>48–53</u><br>51                                  | <u>56–63</u><br>60    | <u>52–58</u><br>55    |
| Удельное объемное электросопротивление $\rho_v$ , Ом·см                                      | $8,9 \cdot 10^{10}$                              | $1,3 \cdot 10^{10}$   | $0,9 \cdot 10^{11}$                                 | $1,0 \cdot 10^{11}$   | $1,1 \cdot 10^{11}$   |
| Удельное электросопротивление $\rho_s$ , Ом·см                                               | $1,5 \cdot 10^{12}$                              | $2,9 \cdot 10^{12}$   | $2,1 \cdot 10^{12}$                                 | $2,3 \cdot 10^{12}$   | $2,9 \cdot 10^{12}$   |

\* В числителе – минимальные и максимальные значения, в знаменателе – средние.

Проведенные исследования показали, что благодаря введению большого количества диатомита удается на один порядок повысить удельное объемное электросопротивление герметика, однако при этом механические и адгезионные свойства ухудшаются.

### Обсуждение и заключения

Проведено опробование диатомита в составе герметизирующих материалов. Показана возможность применения диатомита в качестве наполнителя в рецептурах силиконовых компаундов и герметиков.

Показано, что время жизнеспособности опытных композиций силиконовых герметиков, наполненных диатомитом, соответствует требованиям работы с компаундами и герметиками; однако следует отметить, что серийные материалы имеют больший разброс по времени жизнеспособности, что немаловажно при нанесении этих материалов на поверхности с большой площадью.

Механические свойства вулканизатов опытных образцов, наполненных диатомитом, в исходном состоянии находятся на высоком уровне и соответствуют требованиям по уровню условной прочности, относительному удлинению, твердости и плотности, предъявляемым к компаундам и герметикам типа ВИКСИНТ.

Отмечено снижение плотности вулканизатов опытных образцов, наполненных диатомитом, в 1,15–1,35 раза по сравнению с серийными компаундами и в 1,5–2,5 раза по сравнению с серийными герметиками типа ВИКСИНТ.

Герметизирующие пасты опытных композиций на основе силиконовых каучуков обладают консистенцией от вязкотекучей до тиксотропной, что позволяет расширять границы их применения и использовать данные материалы как для заливки зазоров, так и для обволакивания различных поверхностей.

Показана принципиальная возможность применения диатомита в рецептуре тиоколовых герметиков. Применение диатомита в качестве наполнителя тиоколов, позволяет повысить диэлектрические свойства вулканизатов, однако такие герметики обладают слишком высокой вязкостью и не технологичны при нанесении. Тиоколовые герметики, наполненные диатомитом, обладают низкой адгезией к алюминиевому сплаву Д16-АТ в сравнении с серийными герметиками.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года // *Авиационные материалы и технологии*. 2012. №S. С. 7–17.
2. Каблов Е.Н. Химия в авиационном материаловедении // *Российский химический журнал*. 2010. Т. LIV. №1. С. 3–4.
3. Каблов Е.Н. Материалы нового поколения – основа инноваций, технологического лидерства и национальной безопасности России // *Интеллект и технологии*. 2016. №2 (14). С. 16–21.
4. Каблов Е.Н. Материалы для изделия «Буран» – инновационные решения формирования шестого технологического уклада // *Авиационные материалы и технологии*. 2013. №S1. С. 3–9.
5. Шарова И.А., Петрова А.П. Обзор по материалам международной конференции по клеям и герметикам (WAC-2012, Франция) // *Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журнал*. 2013. №8. Ст. 06. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 25.11.2018).
6. Низковязкая силиконовая композиция: патент 2356117 Рос. Федерация; заяв. 20.06.07; опубл. 20.05.09.
7. Каблов Е.Н., Старцев О.В., Деев И.С., Никишин Е.Ф. Свойства полимерных композиционных материалов после воздействия открытого космоса на околоземных орбитах // *Все материалы. Энциклопедический справочник*. 2012. №11. С. 2–16.
8. Ефимов В.А., Шведкова А.К., Коренькова Т.Г., Кириллов В.Н. Исследование полимерных конструкционных материалов при воздействии климатических факторов и нагрузок в лабораторных и натуральных условиях // *Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журнал*. 2013. №1. Ст. 05. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 25.11.2018).
9. Каблов Е.Н. Материалы и химические технологии для авиационной техники // *Вестник Российской академии наук*. 2012. №6. Т. 82. С. 520–530.
10. Гладков С.А. Состояние сырьевой базы и возможное будущее отрасли производства герметиков и клеев // *Тез. докл. Междунар. науч.-технич. конф. «Современные достижения в области клеев и герметиков. Материалы, сырье, технологии»*. 2013. Дзержинск. С. 6.
11. Велиев М.Г., Шатинова М.И., Ибрагимова А.И. Получение термостойких и адгезионных композиционных материалов на основе кремнийорганических оксидов // *Тез. докл.*

- Междунар. науч.-технич. конф. «Современные достижения в области клеев и герметиков. Материалы, сырье, технологии». 2013. Дзержинск. С. 14.
12. Логанина В.И. Теплоизоляционные сухие строительные смеси с применением модифицированного диатомита // Современные научные исследования и инновации. 2014. №10. С. 2.
  13. Митрошин И.А. Теплоизоляционные материалы на основе диатомита: автореф. ... канд. техн. наук. Саранск, 2007. С. 2–4.
  14. Кравченко И.Н., Мясников А.В., Клименко А.А. и др. Обоснование выбора герметиков для изоляции неподвижных фланцевых соединений // Клеи. Герметики. Технологии. 2013. №8. С. 7–12.
  15. Нефедов Н.И., Семенова Л.В. Тенденции развития в области конформных покрытий для влагозащиты и электроизоляции плат печатного монтажа и элементов радиоэлектронной аппаратуры // Авиационные материалы и технологии. 2013. №1. С. 50–52.
  16. Чайкун А.М., Наумов И.С., Елисеев О.А. Фторсилоксановые резины: некоторые аспекты применения // Авиационные материалы и технологии. 2013. №2. С. 35–36.
  17. Елисеев О.А., Наумов И.С., Смирнов Д.Н., Брык Я.А. Резины, герметики и огне-теплозащитные материалы // Авиационные материалы и технологии. 2017. №S. С. 437–451. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-437-451.
  18. Думанский А.М., Неповинных В.И., Русин М.Ю., Терехин А.В. Оценка предельного состояния герметиков в конструкциях летательных аппаратов // Клеи. Герметики. Технологии. 2014. №2. С. 31–38.
  19. Дементьева Л.А., Серезенков А.А., Лукина Н.Ф., Куцевич К.Е. Свойства и назначение композиционных материалов на основе клеевых препрегов // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журнал. 2014. №8. Ст. 06. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 25.11.2018). DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-8-6-6.
  20. Романов С.В., Панов К.А., Тимакова К.А. Полимочевины – новый перспективный класс связующих для клеев, герметиков, покрытий // Клеи. Герметики. Технологии. 2013. №1. С. 2–8.