

DOI: 10.18721/JEST.25213  
УДК 678.8

*В.С. Ягубов, А.В. Щегольков*

Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Россия

## **ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ И МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ХЛОРОПРЕНОВОГО КАУЧУКА, МОДИФИЦИРОВАННОГО УГЛЕРОДНЫМИ НАНОМАТЕРИАЛАМИ**

В статье представлены результаты исследований электропроводности и механических характеристик клеевых слоев, образованных композитами на основе хлоропренового каучука, содержащими различные концентрации углеродных наноматериалов (УНМ). Представленная методика изготовления клеевых композитов на основе хлоропренового каучука, способствует значительному уменьшению крупных агрегатов УНМ. Установлено, что все наномодифицированные клеевые композиты имеют высокую адгезию к поверхности стеклянной пластины, кроме композитов содержащих 9 масс.% электропроводящих наполнителей. Проведенные исследования показали, что наиболее прочное клеевое соединение получено с помощью клеевого композита, модифицированного 3 масс. % УНМ «Таунит-М», в то время как самое низкое удельное объемное сопротивление  $1,43 \Omega \cdot \text{см}$  имеет клеевой композит, содержащий 6 масс.% сажи «PrinTex XE2B».

*Ключевые слова:* хлоропреновый каучук, углеродные наноматериалы, этилацетат, композит, электропроводность, адгезия, прочность

*Ссылка при цитировании:*

В.С. Ягубов, А.В. Щегольков. Электропроводность и механические характеристики композитов на основе хлоропренового каучука, модифицированного углеродными наноматериалами // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. 2019. Т. 25. № 2. С. 161–170. DOI: 10.18721/JEST.25213.

*V.S. Yagubov, A.V. Shchegolkov*

Tambov state technical university, Tambov, Russia

## **ELECTRICAL CONDUCTIVITY AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF COMPOSITES BASED ON CHLOROPRENE RUBBER MODIFIED WITH CARBON NANOMATERIALS**

The article presents the results of studies of electrical conductivity and mechanical characteristics of adhesive layers formed by chloroprene rubber-based composites containing various concentrations of carbon nanomaterials (CNM). The presented method of manufacturing adhesive composites based on chloroprene rubber contributes to significant reduction in large aggregates of CNM. It was established that all nano-modified adhesive composites have high adhesion to the surface of the glass plate, except for the composites containing 9 wt.% of electrically conductive fillers. Studies have shown that the most durable adhesive compound was obtained using the adhesive composite, modified with 3 wt.% of CNM Taunit-M,

while the adhesive composite containing 6 wt.% of carbon black PrinTex XE2B has the lowest specific volume resistance of  $1.43 \Omega \cdot \text{cm}$ .

*Keywords:* chloroprene rubber, carbon nano-compounds, ethyl acetate, composite, electrical conductivity, adhesion, strength

*Citation:*

V.S. Yagubov, A.V. Shchegolkov, Electrical conductivity and mechanical characteristics of composites based on chloroprene rubber modified with carbon nanomaterials, *St. Petersburg polytechnic university journal of engineering science and technology*, 25 (2) (2019) 161–170, DOI: 10.18721/JEST.25213.

**Введение.** Развитие науки о материалах базируется на новых междисциплинарных подходах. Особую важность представляют исследования, которые объединяют знания о полимерах и нанотехнологиях. Достижения в области разработки новых наноматериалов позволяют создавать наноструктуры, адаптированные под различные типы полимеров. В связи с этим применение подходов связанных с нанотехнологиями обеспечивает получение принципиально новых, как конструкционных, так и функциональных материалов. Получение и применение композитов на основе полимеров позволяет решить широкий круг прикладных задач и в этом отношении особое значение отводится, таким полимерам, как: полистирол [1], полиэтилентерефталат [2], этиленвинилацетат [3], каучуки [4, 5], силиконовые [6] и полиуретановые [7] компаунды и др.

Изменение функциональных свойств композитов происходит в результате их модификации различными видами наполнителей. В качестве наполнителей используют различные порошки металлов. Например, в [8] исследуют электропроводящие композиты на основе поливинилиденфторида, модифицированного медным (Cu) и оловянным (Sn) наполнителями.

Изготовление композита часто сопровождается проблемой связанной с агрегацией наполнителя. Некоторые исследователи моделируют процессы, связанные с данной проблемой [9]. В статье [10] представлены магнитные и электропроводящие композиты на основе эпоксидной смолы и оксида графена с

магнитным карбонильным железом. В результате исследований установлено, что модификация композитов графеновыми нанопластинами позволила предотвратить агрегацию частиц карбонильного железа.

Широкой сферой применения обладают композиты модифицированные углеродными наноструктурами. Наномодификация может быть произведена углеродными нанотрубками (УНТ) [11], фуллеренами [12], графеном [13] и др. Одним из важных направлений модификации композитов является разработка электропроводящих клеевых составов, широко используемых в радиотехнике и др. отраслях промышленности. Зачастую, для модификации, в качестве основ клеевых составов используют различные эпоксидные смолы. Это обусловлено ее повышенной прочностью после полимеризации. В работе [14] ученые провели исследования по влиянию функционализированных многостенных УНТ на электропроводность и механические характеристики эпоксидных композитов. В качестве электропроводящего модификатора использовали нативные и функционализированные УНТ «Таунит-М» (ФУНТ), а в качестве основы эпоксидную смолу ЭД-20 с отвердителем триэтилентетраминном. Согласно экспериментальным данным работы большую электропроводность равную  $2 \times 10^{-3} \text{ См} \times \text{см}^{-1}$  обеспечивал композит, содержащий 1 масс.% ФУНТ.

В работе [15] проводили литературный обзор по исследованиям физико-механических характеристик полимеров модифицированных УНТ. В данной работе представлен широкий

спектр углеродных наноразмерных модификаторов и используемых в качестве основ полимерных матриц. Однако, клеи на основе эпоксидной смолы не позволяют получить эластичный клеевой слой. Следовательно, использование такого типа клеев в различных областях промышленности не возможно.

Использование в качестве основы клеевых композитов каучуков позволяет решить проблему, связанную с получением эластичного клеевого слоя между склеиваемыми поверхностями. Для изготовления композитов используют различные каучуки. В работе [16] использовали бутилкаучук марки БК-2055 и бутадиев-метилстирольный каучук, модифицированные техническим углеродом. В работе [17] исследовали композиты, изготовленные из натурального каучука модифицированного полианилином и додецилбензолсульфоновой кислотой. Порог перколяции по электропроводности, для данных композитов, заметен при концентрации модификатора, находящегося в диапазоне от 3 до 6 масс.%. В работе [18] исследовали прочностные характеристики клеевых соединений металла с резиной, изготовленных с использованием композиции на основе хлоропренового каучука. Помимо основы композиция содержала в своем составе сшивающий агент оксид цинка, оксид магния, необходимый для образования связей с выделяющимся хлором (акцептор), фенолформальдегидную смолу «101-К» и толуол в качестве растворителя всех компонент. В работе [18] провели исследования по изменению прочностных характеристик клеевых соединений в зависимости от концентрации фенолформальдегидной смолы марки «101-К».

Разнообразие подходов связанных с получением клеевых композитов не в полной мере раскрывает возможность применения электропроводящих добавок, которые с одной стороны позволяют повысить адгезию, а с другой стороны, улучшая электропроводность, позво-

ляют сохранить механические параметры на требуемом уровне.

Целью данной работы является проведение исследований влияния УНМ на электропроводность и механическую прочность клеевого шва.

Задачами данной работы являются:

1. Модификация клеевой композиции на основе хлоропренового каучука УНМ.

2. Исследование прочностных характеристик клеевых швов на разных склеиваемых материалах, выполненных с помощью наномодифицированных клеевых композитов с различным содержанием УНМ.

3. Исследование адгезии и удельных электрических сопротивлений клеевых слоев.

**Материалы.** Основой клеевых композитов являлся хлоропреновый каучук «Ваурген 611» от ООО «ВитаХим» (Казань, Россия). В качестве добавки для увеличения пленкообразования клеевого композита использовали бутилфенолформальдегидную смолу 101К купленную в ООО «КурскХимПром» (Россия). Вулканизирующими реагентами выступали оксид цинка и оксид магния, изготовленные ООО «Биохим-ТЛ» (Москва, Россия).

Этилацетат (ООО «Нижегородхим» (Дзержинск, Россия)) и ацетон (ООО «ВЕРШИНА» (Всеволожск, Россия)) использовались, как растворитель в соотношении 1/2.

Для придания электропроводящих свойств композитам использовали УНМ «Таунит-М», сажу «PrinTex XE2B» (Orion Engineered Carbons, Ханау-ам-Майн, Германия) и смесь «Таунит-М»+ «PrinTex XE2B». УНМ «Таунит-М» (ООО «НаноТехЦентр», Тамбов, Россия) представляет собой УНТ с внешним диаметром 10–30 нм, внутренним диаметром 5–15 нм и длиной 2 мкм [19].

#### Методика изготовления

Электропроводящие наномодифицированные клеевые композиты на основе хлоропренового каучука изготавливали в количестве 2 г., чего было достаточно для проведения

полного цикла исследований. На первом этапе с помощью универсальной мельницы «WF-20B» (Китай) проводили помол хлоропренового каучука при частоте вращения тел помола 25000 об/мин. Это было необходимо для предварительной пластификации каучука и ускорения его растворения. На втором этапе в пробирку объемом 20 мл. добавляли компоненты в следующем соотношении: хлоропреновый каучук (помол)- 100 масс.ч., бутилфенолформальдегидная смола 101К – 13 масс.ч, оксид цинка- 5 масс.ч., оксид магния- 8 масс.ч.. В полученную смесь заливали 70 масс.ч. смеси ацетона с этилацетатом в соотношении 1/2, закрывали пробирку резиновой пробкой и оставляли смесь на 12 ч. На третьем этапе растворенную смесь перемешивали по разработанной методике, которая заключалась в смешении всех составных частей клеевого композита в узком зазоре с помощью фторопластового гомогенизатора при частоте его вращения 1000 об/мин. (Рис.1) Зазор между фторопластовым гомогенизатором и внутренней стенкой пробирки составлял 1 мм.

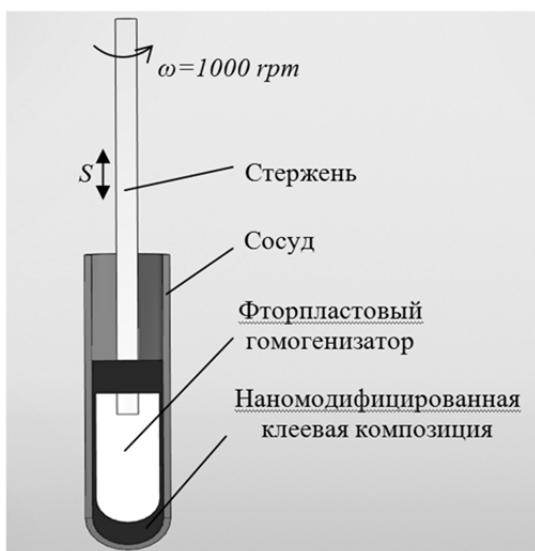


Рис. 1. Перемешивание клеевой композиции с помощью фторопластового гомогенизатора  
 Fig. 1. Mixing the adhesive composition using a fluoroplastic homogenizer

На четвертом этапе была приготовлена суспензия из УНМ и смеси растворителей. Для этого в емкость объемом 100 мл вливали 10 мл смеси этилацетата с ацетоном и добавляли навеску УНМ. Суспензию механически перемешивали, с помощью стеклянной палочки вручную, в течение 2 мин. После ручного перемешивания суспензию подвергали обработке в ультразвуковой (УЗ) ванне «VBS-20» (Москва, Россия), при мощности УЗ излучателя 480 Вт в течение 15 мин. Обработанную УЗ суспензию, вливали в пробирку с клеевым композитом, изготовленным ранее, и перемешивали по методике, использованной на третьей стадии. В результате получили наномодифицированные клеевые композиты, содержащие 1,3,6 и 9 масс.% «Таунит-М» или «PrinTex XE2B» или смеси «Таунит-М» с «PrinTex XE2B» в соотношении 1/1.

Таким образом, в четыре этапа был получен клеевой композит, который содержит равномерно распределённые электропроводящие частицы с различной концентрацией.

### Методы исследования

С целью исследования электропроводящих свойств, композиты наносили на фторопластовые подложки и оставляли в вытяжном шкафу при температуре 25 °С до полного удаления растворителя. Таким образом, получили образцы прямоугольной формы с размерами 40×40 мм (рис. 2).

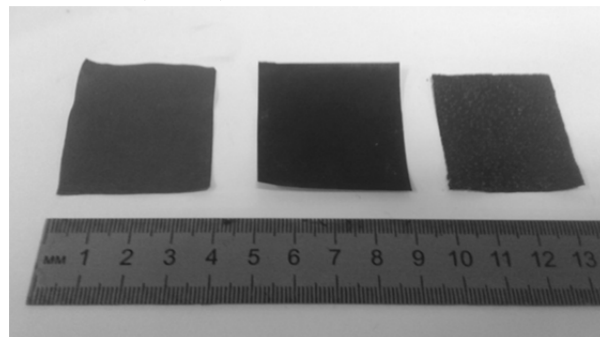


Рис. 2. Образцы наномодифицированного клеевого композита на основе хлоропренового каучука  
 Fig. 2. Samples of nanomodified adhesive composite based on chloroprene rubber

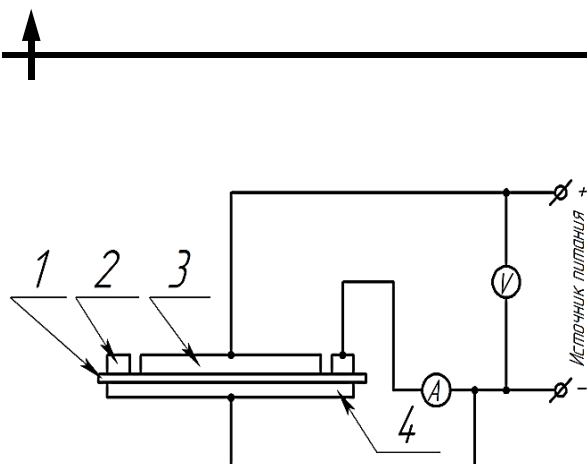


Рис. 3. Схема измерения удельных объемного и поверхностного электрических сопротивлений: 1 – исследуемый образец; 2 – охранный электрод; 3, 4 – измерительные электроды

Fig. 3. The scheme of measurement of specific volume and surface electrical resistance: 1 – test sample; 2 – guard electrode; 3, 4 – measuring electrodes

Измерение и расчет удельных поверхностного и объемного сопротивлений наномодифицированных композитов производили в соответствии со стандартом ASTM D 257. ASTM D 257 предполагает проведение исследований электрофизических параметров образцов с применением измерительной ячейки (рис.3). Измерительную ячейку подключали к тераомметру Е6-13А.

Размеры частиц электропроводящей фазы, в составе наномодифицированных клеевых композитов, оценивали с помощью фотографий полученных с помощью бинокулярного микроскопа «Микромед-1».

Адгезию наномодифицированных электропроводящих композитов исследовали с помощью метода решетчатых надрезов по ГОСТ 31149-2014 (ISO 2409:2013). Для этого на стеклянную поверхность (предметное стекло) наносили наномодифицированный композит и отвердевали в течение 24 часов. Прodelывали 6 надрезов лезвием («VIRA SK5», Москва, Россия) по вертикали и 6 надрезов по горизонтали, расстояние между надрезами 2 мм. После чего на полученную решетку наклеивали липкую ленту «3M Scotch Classic Hot Melt» («Компания 3M», Санкт-Петербург, Россия), изготовлен-

ную по ГОСТ 20477-86, на которую сверху устанавливали груз массой 3 кг и оставляли на 12 часов. Полученный рисунок из остатков квадратов клеевой композиции в решетке сравнивали с таблицей, приведенной в стандарте.

Исследования прочностных характеристик клеевых соединений, модифицированными различными концентрациями электропроводящих модификаторов определяли по ГОСТ 14759-69 «Клеи. Метод определения прочности при сдвиге».

Исследование прочности клеевого соединения осуществляли для стеклотекстолита и металла (Сталь Ст3), поверхность которых, перед склейкой, обезжировали с помощью ацетона и кондиционировали. Размеры склеиваемых пластин представлены на рис. 4.

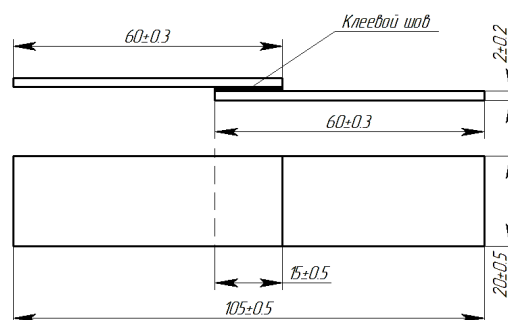


Рис. 4. Чертеж сборки для испытания клеевых соединений на сдвиг

Fig. 4. Assembly drawing for testing adhesive joints for shear

Для склейки на одну из поверхностей пластин наносили наномодифицированный клеевой композит так, чтобы клеевой слой занимал  $\frac{1}{4}$  длины каждой пластины, и оставляли при температуре 25 °С на 15 мин в вытяжном шкафу при относительной влажности 50 %. Далее склеиваемые пластины прижимали друг к другу с помощью прессы при давлении 5 кН на 2 мин. После этого склеенные образцы выдерживали в течение 24 ч при температуре 25 °С.

Испытания проводили на разрывной машине «Testometric M350-5AT» по схеме, представленной на рис. 5.

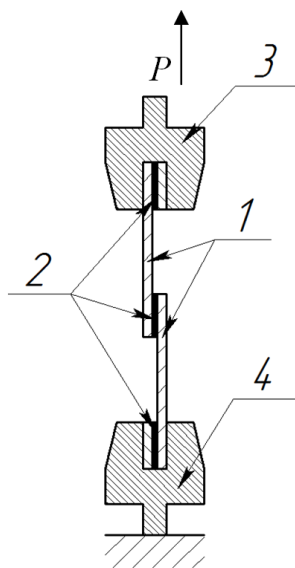


Рис. 5. Схема испытания прочности клеевого слоя при действии сдвиговой разрушающей силы:  
1 – склеиваемые пластины; 2 – клеевой слой;  
3, 4 – зажимные устройства

Fig. 5. Scheme of testing the strength of the adhesive layer under the action of shear destructive force:  
1 – adhesive plates; 2 – adhesive layer;  
3, 4 – clamping devices

### Результаты и их обсуждения

На рис. 6 представлены микрофотографии наномодифицированного клеевого композита.

На рис. 6, *a, b, c* представлены микрофотографии композитов после предварительного смешивания, содержащих 3 масс.% «Таунит-М», 3 масс.% «PrinTex XE2B» и 3 масс.% смеси «Таунит-М» + «PrinTex XE2B» соответственно.

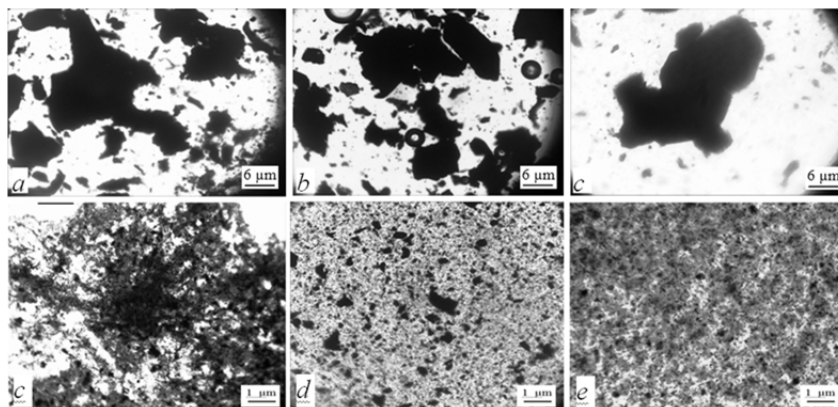


Рис. 6. Микрофотографии композитов модифицированных УНМ до и после гомогенизации  
Fig. 6. Micrographs of composites of modified CNM before and after homogenization

Из визуального анализа (рис. 6) следует, что УНМ в составе клеевых композитов образует агрегаты с размерами более 6 мкм. После перемешивания клеевых композитов с использованием фторопластового гомогенизатора крупные агрегаты УНМ разбивались на мелкие, имеющие размеры менее 1 мкм, что следует из рис. 6, *c, d, e*. Такое распределение УНМ в матрице клеевого композита способствует образованию более равномерных электропроводящих сетей.

Рис. 7 содержит данные об удельном поверхностном сопротивлении композитов, на основе хлоропренового каучука (ХК) модифицированного УНМ.

Из анализа данных представленных на рис. 7 следует, что при увеличении концентрации модификатора в клеевом композите происходит снижение удельного поверхностного электрического сопротивления. В клеевых композитах с концентрацией 6 и 9 масс.% смеси УНМ «Таунит-М»+«PrinTex XE2B» (1/1) наблюдается незначительное увеличение электропроводности, что может быть связано с особенностями распределения этих материалов в полимерной матрице клеевого композита за счет отличий в значениях удельной площади поверхности и морфологическими особенностями. Однако, для концентрации 3 масс.% в композите модификаторы УНМ «Таунит-М» и «PrinTex XE2B» дают лучший результат при отдельном их использовании.

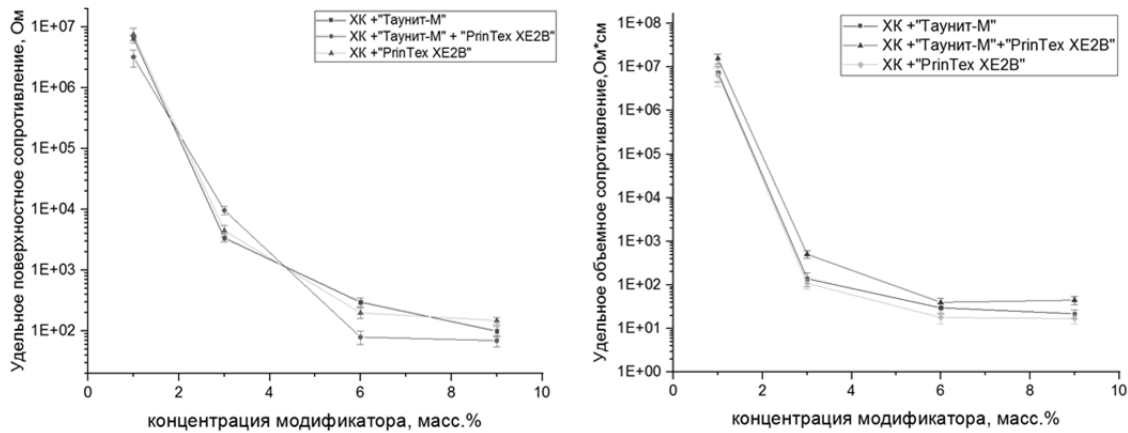


Рис. 7. Удельное поверхностное и объемное электрическое сопротивление наномодифицированных композитов

Fig. 7. Specific surface electrical resistance of nano-modified composites

Совершенно иную ситуацию демонстрируют результаты исследований по измерению удельного объемного сопротивления наномодифицированных клеевых композитов (Рис.6). Для всех концентраций наполнения композитов лучшую электропроводность демонстрируют клеи модифицированные «PrinTex XE2B». В этом случае, каких либо улучшений по электропроводности от использования двух разнородных модификаторов не выявлено.

Адгезия клеевых наномодифицированных композитов к стеклу не зависит от концентрации электропроводящих добавок в диапазоне от 1 до 6 масс.% и составляет 0 баллов, что является самой высокой оценкой адгезии при использовании метода решетчатых надрезов. Однако, при увеличении концентрации в композите до 9 масс.% наблюдалась потеря адгезии к стеклянной поверхности и для данного случая оценка адгезии составляла 5 баллов. В связи с этим прочность клеевых швов изготовленных с помощью композитов с 9 масс.% электропроводящих модификаторов не исследовали.

Модификация клеевых композитов с помощью УНМ и «PrinTex XE2B» приводила к упрочнению при склеивании металлических пластин (табл. 1) и пластин из стеклотекстолита (табл. 2)

Исходя из анализа данных, представленных в табл. 1 и 2, следует, что самым прочным клеевым соединением, как на металлической, так и на стеклотекстолитовой поверхности яв-

ляется соединение, полученное при использовании электропроводящего композита, модифицированного 3 масс.% УНМ «Таунит-М».

Таблица 1

**Прочность клеевых соединений металлических пластин при сдвиге**

**The strength of adhesive joints of metal plates under shear**

| Концентрация модификатора, масс. % | Прочность клеевого соединения, МПа |                                 |                |
|------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|----------------|
|                                    | «Таунит-М»                         | «Таунит-М» + PrinTex XE2B (1/1) | «PrinTex XE2B» |
| 0                                  | 0,53±5%                            |                                 |                |
| 1                                  | 0,78±5%                            | 0,99±5%                         | 0,78±5%        |
| 3                                  | 1,47±5%                            | 0,72±5%                         | 1,33±5%        |
| 6                                  | 0,56±5%                            | 0,83±5%                         | 1,12±5%        |

Таблица 2

**Прочность клеевых соединений пластин из стеклотекстолита при сдвиге**

**The strength of adhesive joints of fiberglass plates under shear**

| Концентрация модификатора, масс. % | Прочность клеевого соединения, МПа |                                 |                |
|------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|----------------|
|                                    | «Таунит-М»                         | «Таунит-М» + PrinTex XE2B (1/1) | «PrinTex XE2B» |
| 0                                  | 0,66±5%                            |                                 |                |
| 1                                  | 0,91±5%                            | 0,78±5%                         | 0,7±5%         |
| 3                                  | 2,15±5%                            | 1,82±5%                         | 1,44±5%        |
| 6                                  | 0,9±5%                             | 0,81±5%                         | 1,33±5%        |

### Заключение

С целью исследования электрических свойств и механической прочности клеевых композитов на основе хлоропренового каучука, модифицированного углеродными наноструктурами, и композитами на их основе, были изготовлены образцы, содержащие 1, 3, 6 и 9 масс.% «Таунит-М» или «PrinTex XE2B» или смеси «Таунит-М» с «PrinTex XE2B» в соотношении 1/1. Разработана методика модифицирования клеевых композитов на основе хлоропренового каучука УНМ, которая заключалась в смешивании нескольких компонент композита в узком зазоре (1 мм) с помощью фторопластового гомогенизатора.

Установлено, что применение фторопластового гомогенизатора для диспергирования УНМ в объеме клеевой композиции позволяет уменьшить размеры агрегатов частиц УНМ, что приводит к наилучшему распределению УНМ в клеевом композите.

Проведенные исследования показали, что самое низкое удельное электрическое сопротивление -  $1,43 \Omega \times \text{см}$  имеет клеевой композит, содержащий 6 масс.% «PrinTex XE2B».

Из анализа экспериментальных данных следует, что клеевое соединение на основе намодифицированного хлоропренового каучука с 3 масс. % УНМ «Таунит-М» с удельным объемным сопротивлением  $140 \Omega \times \text{см}$  обладает наибольшей прочностью, которая составляет 2,15 МПа.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Серенко О.А., Луцейкин Г.А., Гетманова Е.В., Гриценко О.Т., Музафаров А.М. Электрические свойства композитов на основе полистирола и гибридных наноразмерных частиц диоксида кремния // Журнал технической физики. 2011. Т. 81, вып. 9. С. 63–66.
- [2] Ваганов В.Е., Ломакин С.М., Нефедова Е.В., Орлов В.Ю., Решетняк В.В. Исследование влияния углеродных нанотрубок на горючесть композитов на основе полиэтилентерефталата // Научно-технический журнал Ивановского государственного химико-технологического университета. Известия высших учебных заведений: «Химия и химическая технология». 2013. Т. 56, № 7. С. 94–98
- [3] Хлесткин В.К., Козлова Д.К., Карабанов П.С. Влияние керамического наномодификатора на свойства обувных композиций на основе ЭВА // Инновационные технологии в науке и образовании: матер. IX Междунар. науч.-практ. конф. (г. Чебоксары, 15 янв. 2017 г.). В 2 т. Т. 1 / ред. кол. О.Н. Широков [и др.]. Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2017. С. 15–17.
- [4] Кабальян Ю.К., Григорян С.Л., Малхасян Р.Т. Наноаморфная добавка как модификатор качества адгезивов хлоропреновых каучуков // Химический журнал Армении. 2012. Т. 65, № 2. С. 239–245.
- [5] Aliyeva S., Alosmanov R.M., Buniyad-Zadeh I.A., Eyyazova G. Гибридный композит на основе поверхностно-модифицированного графита и бутадиенового каучука. // Физико-химический анализ в образовании, науке и технике : матер. V Междунар. Бергмановской конф., 2017. С. 94–96.
- [6] Шашкеев К.А., Нагорная В.С., Волков И.А., Кондрашов С.В., Дьячкова Т.П., Кондаков А.И., Борисов К.М., Юрков Г.Ю. Супергидрофобные электропроводящие покрытия на основе силиконовой матрицы и углеродных нанотрубок // Журнал прикладной химии. 2017. Т. 90. Вып. 7. С. 896–906.
- [7] Verma M., Chauhan S.S., Dhawan S.K., Choudhary V. Graphene nanoplatelets/carbon nanotubes/polyurethane composites as efficient shield against electromagnetic polluting radiations // Composites. Part B 120. 2017. P. 118–127.
- [8] Yang Q., Beers M.H., Mehta V., Gao T., Parkinson D. Effect of thermal annealing on the electrical conductivity of copper–tin polymer composites // ACS Appl. Mater. Interfaces. 2017. No. 9. P. 958–964. DOI: 10.1021/acsami.6b13956
- [9] Минакова Н.Н., Шаталов М.Ю. Моделирование топологии макроструктуры полимеров при агломерированном наполнителе // Известия Алтайского государственного университета. 2014. №. 1–2.
- [10] Chen Y. [et al.]. Magnetic and electrically conductive epoxy/graphene/carbonyl iron nanocomposites for efficient electromagnetic interference shielding





// Composites Science and Technology. 2015. Т. 118. С. 178–185.

[11] **Парфимович И.Д., Гринченко М.В., Комаров Ф.Ф., Мильчанин О.В., Григорчук Е.С., Ткачев А.Г.** Электрофизические и оптические свойства эпоксидного полимера с добавками многостенных углеродных нанотрубок // Прикладные проблемы оптики, информатики, радиофизики и физики конденсированного состояния : матер. четвертой Международ. науч.-практ. конф., 2017. С. 114–116.

[12] **Hernández-Moreno G. [et al.]**. Electrochemical Synthesis of Films Based on Polybithiophene and Fullerene Derivatives with Potential Use in Bulk Heterojunction Photovoltaic Devices // ECS Transactions. 2017. Т. 76, №. 1. С. 37–51.

[13] **Kim S.Y., Noh Y.J., Yu J.** Thermal conductivity of graphene nanoplatelets filled composites fabricated by solvent-free processing for the excellent filler dispersion and a theoretical approach for the composites containing the geometrized fillers // Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. 2015. Т. 69. С. 219–225.

[14] **Яковлев Е.А. [и др.]**. Исследование влияния функционализированных многостенных угле-

родных нанотрубок на электропроводность и механические характеристики эпоксидных композитов // Вестник Томского государственного университета. Химия. 2016. №. 3 (5). С. 15–23.

[15] **Кондрашов С.В. [и др.]**. Физико-механические свойства нанокompозитов с УНТ (обзор) // Труды ВИАМ. 2016. №. 5 (41). С. 61–83.

[16] **Минакова Н.Н., Силютин А.С.** Нелинейные свойства резистивных полимерных композиционных материалов с агломерированным наполнителем // Известия Алтайского государственного университета. – 2016. – №. 1 (89).

[17] **Silva M.J. [et al.]**. Electrical, mechanical, and thermal analysis of natural rubber/polyaniline-DBSA composite // Materials Research. 2014. Т. 17. С. 59–63.

[18] **Кузнецова С.В., Хусаинов А.Д., Вольфсон С.И.** Оптимизация адгезионных характеристик клеевых композиций на основе хлорсодержащих полимеров // Вестник Казанского технологического университета. – 2006. – №. 2.

[19] УНТ серии «Таунит» // НаноТЦ. URL: <http://nanotc.ru/productions/87-cnm-taunit> (дата обращения: 15.01.2019).

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**ЯГУБОВ Виктор Сахибович** – аспирант Тамбовского государственного технического университета

E-mail: vitya-y@mail.ru

**ЩЕГОЛЬКОВ Александр Викторович** – кандидат технических наук доцент Тамбовского государственного технического университета

E-mail: energynano@yandex.ru

Дата поступления статьи в редакцию: 31.01.2019

#### REFERENCES

[1] **O.A. Serenko, G.A. Lushcheykin, Ye.V. Getmanova, O.T. Gritsenko, A.M. Muzafarov,** Elektricheskiye svoystva kompozitov na osnove polistirola i gibridnykh nanorazmernykh chastits dioksida kremniya, Zhurnal tekhnicheskoy fiziki, 81 (9) (2011) 63–66.

[2] **V.Ye. Vaganov, S.M. Lomakin, Ye.V. Nefedova, V.Yu. Orlov, V.V. Re-shetnyak,** Issledovaniye vliyaniya uglerodnikh nanotrubok na goryuchest kompozitov na osnove polietilenterefalata, Nauchno-tekhnicheskyy zhurnal Ivanovskogo gosudarstvennogo khimiko-tekhnologicheskogo universiteta. Izvestiya vysshikh

uchebnykh zavedeniy: «khimiya i khimicheskaya tekhnologiya», 56 (7) (2013) 94–98.

[3] **V.K. Khlestkin, D.K. Kozlova, P.S. Karabanov,** Vliyaniye keramicheskogo nanomodifikatora na svoystva obuvnykh kompozitsiy na osnove EVA, Innovatsionnyye tekhnologii v nauke i obrazovanii : materialy IX Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (Cheboksary, 15 yanv. 2017 g.). V 2 t. Т. 1 / red. kol. O.N. Shirokov [i dr.]. Cheboksary: TsNS «Interaktiv plus», (2017) 15–17.

[4] **Yu.K. Kabalyan, C.L. Grigoryan, R.T. Malkhasyan,** Nanoamorfnyaya dobavka kak modifikator kachestva

adgezivov khloroprenovykh kauchukov, *Khimicheskii zhurnal Armenii*, 65 (2) (2012) 239–245.

[5] **S. Aliyeva, R.M. Alosmanov, I.A. Buniyad-Zadeh, G. Eyvazova**,. Gibridnyy kompozit na osnove poverkhnostno-modifitsirovannogo grafita i butadiyenovogo kauchuka, *Fiziko-khimicheskii analiz v obrazovanii, nauke i tekhnike: mater. V Mezhdunar. Bergmanovskoy konf.*, (2017) 94–96.

[6] **K.A. Shashkeyev, V.S. Nagornaya, I.A. Volkov, S.V. Kondrashov, T.P. Dyachkova, A.I. Kondakov, K.M. Borisov, G.Yu. Yurkov**, Supergidrofobnyye elektroprovodyashchiye pokrytiya na osnove silikonovoy matritsy i uglerodnykh nanotrubok, *Zhurnal prikladnoy khimii*, 90 (7) (2017) 896–906.

[7] **M. Verma, S.S. Chauhan, S.K. Dhawan, V. Choudhary**, Graphene nanoplatelets/carbon nanotubes/polyurethane composites as efficient shield against electromagnetic polluting radiations, *Composites Part B* 120, (2017) 118–127.

[8] **Q. Yang, M.H. Beers, V. Mehta, T. Gao, D. Parkinson**, Effect of thermal annealing on the electrical conductivity of copper–tin polymer composites, *ACS Appl. Mater. Interfaces* 9, (2017) 958–964. DOI: 10.1021/acsami.6b13956.

[9] **N.N. Minakova, M.Yu. Shatalov**, Modelirovaniye topologii makrostruktury polimerov pri aglomerirovannom napolnitele, *Izvestiya Altayskogo gosudarstvennogo universiteta*, 1–2 (2014).

[10] **Y. Chen [et al.]**, Magnetic and electrically conductive epoxy/graphene/carbonyl iron nanocomposites for efficient electromagnetic interference shielding, *Composites Science and Technology*, 118 (2015) 178–185.

[11] **I.D. Parfimovich, M.V. Grinchenko, F.F. Komarov, O.V. Milchanin, Ye.S. Grigorchuk, A.G. Tkachev**, Elektrofizicheskiye i opticheskiye svoystva epoksidnogo polimera s dobavkami mnogostennykh uglerodnykh nanotrubok, *Prikladnyye problemy optiki, informatiki, radiofiziki i fiziki kondensirovannogo*

*sostoyaniya* : mater. chetvertoy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., (2017) 114–116.

[12] **G. Hernández-Moreno [et al.]**, Electrochemical Synthesis of Films Based on Polybithiophene and Fullerene Derivatives with Potential Use in Bulk Heterojunction Photovoltaic Devices, *ECS Transactions*, 76 (1) (2017) 37–51.

[13] **S.Y. Kim, Y.J. Noh, J. Yu**, Thermal conductivity of graphene nanoplatelets filled composites fabricated by solvent-free processing for the excellent filler dispersion and a theoretical approach for the composites containing the geometrized fillers, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 69 (2015) 219–225.

[14] **Ye.A. Yakovlev [i dr.]**, Issledovaniye vliyaniya funktsionalizirovannykh mnogostennykh uglerodnykh nanotrubok na elektroprovodnost i mekhanicheskiye kharakteristiki epoksidnykh kompozitov, *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Khimiya*, 3 (5) (2016) 15–23.

[15] **S.V. Kondrashov [i dr.]**, Fiziko-mekhanicheskiye svoystva nanokompozitov s UNT (obzor), *Trudy VIAM*, 5 (41) (2016) 61–83.

[16] **N.N. Minakova, A.S. Silyutin**, Nelineynyye svoystva rezistivnykh polimernykh kompozitsionnykh materialov s aglomerirovannym napolnitelem, *Izvestiya Altayskogo gosudarstvennogo universiteta*, 1 (89) (2016).

[17] **M.J. Silva [et al.]**, Electrical, mechanical, and thermal analysis of natural rubber/polyaniline-DBSA composite, *Materials Research*, 17 (2014) 59–63.

[18] **S.V. Kuznetsova, A.D. Khusainov, S.I. Volfson**, Optimizatsiya adgezionnykh kharakteristik kleyevykh kompozitsiy na osnove khlorosoderzhashchikh polimerov, *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2 (2006).

[19] UNT serii «Taunit», NanoTTs. URL: <http://nanotc.ru/productions/87-cnm-taunit> (accessed January 15, 2019).

## THE AUTHORS

**YAGUBOV Viktor S.** – *Tambov state technical university*

E-mail: vitya-y@mail.ru

**SHCHEGOLKOV Aleksandr V.** – *Tambov state technical university*

E-mail: energynano@yandex.ru

Received: 31.01.2019