

**В.В. Боброва<sup>1</sup>, А.В. Касперович<sup>1</sup>, С.А. Ефремов<sup>2</sup>,  
С.В. Нечипуренко<sup>2</sup>, Ю.М. Казаков<sup>3</sup>, О.В. Стоянов<sup>3</sup>,  
К.Б. Вернигоров<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный технологический университет  
Минск, Беларусь

<sup>2</sup>Казахский национальный университет им. Аль-Фараби  
Алматы, Казахстан

<sup>3</sup>Казанский национальный исследовательский технологический университет  
Казань, Россия

<sup>4</sup>ООО «СибурПолилаб»  
Москва, Россия

## **УПРУГО-ГИСТЕРЕЗИСНЫЕ СВОЙСТВА ПРОТЕКТОРНЫХ РЕЗИН, СОДЕРЖАЩИХ ОТХОДЫ ПРОИЗВОДСТВА РИСА**

***Аннотация.** Целью данной работы являлось изучение упруго-гистерезисных свойств эластомерных композиций, предназначенные для изготовления протектор-беговой части летней легковой шины, при замене высокоусиливающего кремнекислотного наполнителя на углерод-кремнистый наполнитель, полученный путем карбонизации в пиролизной печи рисовый шелухи и стеблей при температуре 550–600 °C.*

**V.V. Bobrova<sup>1</sup>, A.V. Kasperovich<sup>1</sup> S.A. Efremov<sup>2</sup>,  
S.V. Nechipurenko<sup>2</sup>, Yu.M. Kazakov<sup>3</sup>, O.V. Stoyanov<sup>3</sup>,  
K.B. Vernigorov<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Belarusian State Technological University  
Minsk, Belarus

<sup>2</sup>Al-Farabi Kazakh National University  
Almaty, Kazakhstan

<sup>3</sup>Kazan National Research Technological University  
Kazan, Russia

<sup>4</sup>SiburPolilab LLC  
Moscow, Russia

## **ELASTIC-HYSTERESIS PROPERTIES OF TREAD RUBBERS CONTAINING RICE PRODUCTION WASTE**

***Abstract.** The aim of this work was to study the elastic-hysteresis properties of elastomer compositions intended for the manufacture of the tread-running part of a summer passenger tire, when replacing the high-reinforcing silica filler with a carbon-silic filler obtained by carbonization in a pyrolysis furnace of rice husks and stems at a temperature of 550–600 °C.*

Резины относятся к одному из основных материалов в современном индустриальном обществе. Традиционные наполнители,

используемые в резинах, такие как технический углерод (техуглерод) и осажденный диоксид кремния, имеют много недостатков. Техуглерод, получаемый из нефти, токсичен для окружающей среды, а осажденный диоксид кремния имеет высокую стоимость при производстве [1]. Поэтому поиски альтернативных наполнителей для эластомерных композиций являются актуальной задачей.

В данной работе представляло интерес изучение влияния частичной замены (до 20 мас. ч.) промышленного высокоусиливающего кремнекислотного наполнителя (Экстрасил 150ВД) на углерод-кремнистый наполнитель, полученный при карбонизации смеси рисовой шелухи и стеблей и содержащий в своем составе как углеродную, так и кремнеземную фракции, на упруго-гистерезисные свойства эластомерных композиций.

Для изготовления промышленных эластомерных композиций, применяемых в производстве протектор-беговой части легкой шины, использовали растворный синтетический бутадиен-стирольный каучук, предназначенный для изготовления всесезонных и летних шин, обладающих низкими потерями на качении, повышенным сцеплением с мокрой дорогой и износостойкостью ДССК-621В.

В качестве частичной замены промышленного высокоусиливающего кремнекислотного наполнителя (ККН) использовали углерод-кремнистый наполнитель (УКН), который производится в товариществе с ограниченной ответственностью «NeoCarbon» (г. Алматы, Республика Казахстан). Исходным сырьем является смесь рисовой шелухи и стебля, измельченная на роторно-ножевой мельнице с последующей карбонизацией в пиролизной печи, без доступа кислорода, при температуре 550–600 °С.

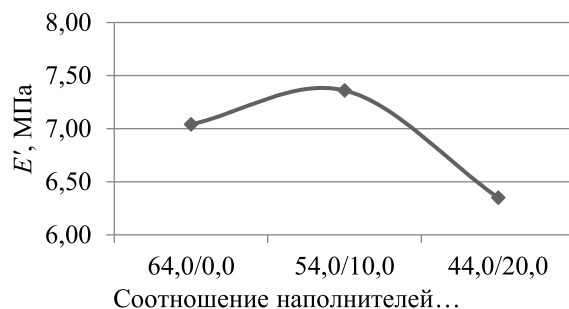
Ввиду наличия силанольных групп на поверхности углерод-кремнистого наполнителя, представляло интерес произвести частичную замену промышленного ККН на УКН и оценить влияние данной замены на упруго-гистерезисные показатели протекторных резин (таблица 1).

**Таблица 1 – Соотношение наполнителей в рецептурах промышленных эластомерных композиций для протектор-беговой части летней шины**

| Соотношение наполнителей ККН / УКН, мас.ч. |
|--------------------------------------------|
| 64,0 / 0,0 (промышленная смесь)            |
| 54,0 / 10,0                                |
| 44,0 / 20,0                                |

Для количественной оценки упруго-гистерезисных свойств резины в условиях гармонического динамического нагружения широко используются модуль упругости ( $E'$ ) и модуль потерь ( $E''$ ).

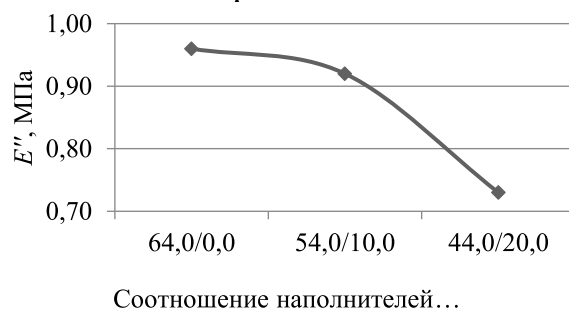
Зависимость модуля упругости  $E'$  при 60°C исследуемых резин от соотношения наполнителей представлена на рис. 1.



**Рис. 1 – Зависимость модуля упругости от соотношения наполнителей**

Из полученных данных видно, что при замене 10 мас. ч. ККН на углерод-кремнистый наполнитель увеличивается модуль упругости резин на 4,5%, что может привести к некоторому улучшению сопротивления протектора механическим повреждениям. В случае увеличения дозировки УКН до 20 мас. ч. данный показатель снижается на 9,8%, а, следовательно, повышается эластичность материала, что может оказывать влияние на сцепление шины с дорогой.

Результаты исследования модуля потерь  $E''$  исследуемых вулканизатов представлены на рис. 2.

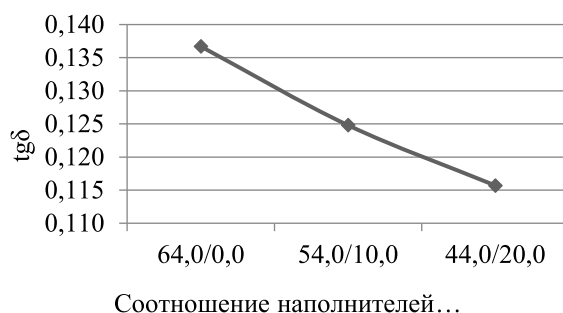


**Рис. 2 – Зависимость модуля потерь от соотношения наполнителей**

Установлено, что применение УКН в композициях для протектор-беговой части шины в качестве частичной замены высокоусиливающего ККН в дозировках 10,0 и 20,0 мас. ч. приводит к уменьшению модуля потерь на 4,2 и 24,0%, соответственно. Следовательно, применение в исследуемой эластомерной композиции УКН позволяет снизить теплообразование, что позволит снизить расход топлива.

Тангенс угла механических потерь (фактор потерь) представляет собой отношение модуля потерь к модулю накопления. Чем больше значение тангенса угла механических потерь ( $\text{tg}\delta$ ), тем в большей мере в данном вязкоупругом материале проявляются свойства вязкой жидкости и в меньшей мере – свойства упругого тела [2].

Зависимость тангенса угла механических потерь  $\text{tg}\delta$  от соотношения наполнителей представлена на рис. 3.



**Рис. 3 – Зависимость тангенса угла механических потерь от соотношения наполнителей**

Из полученных данных видно, с увеличением дозировки УКН снижается тангенс угла механических потерь на 7,1–14,3%, по сравнению с композицией, наполненной только ККН. Из этого следует, что эластомерные композиции, содержащие в своем составе УКН, обладают более низкими гистерезисными потерями. Снижение модуля эластичности, модуля потерь и тангенса угла механических потерь резин, содержащих УКН, обусловлено меньшей удельной поверхностью натурального наполнителя по сравнению с высокоусиливающим ККН.

Результаты исследования влияния дозировки УКН на упруго-гистерезисные свойства протекторных резин эластомерных композиций представлены в таблице 2. Выявлено, что введение в протекторные резиновые смеси УКН во всех исследуемых дозировках приводит к незначительному увеличению эластичности по отскоку резин до 6,3%. При меньшей удельной площади поверхности можно ожидать уменьшения взаимодействия «наполнитель-наполнитель», с уменьшением потери энергии и меньшим гистерезисом, связанным с более эластичным материалом. Результаты определения теплообразования по Гудричу показали, что введение УКН в протекторные резины в качестве частичной замены кремнекислотного наполнителя в дозировках 10,0 и 20,0 мас. ч. способствует снижению температуры внутри образца на 2°C и 7°C, соответственно. Также, при

замене промышленного наполнителя на УКН уменьшается теплообразование до 8°C.

**Таблица 2 – Упруго-гистерезисные свойства эластомерных композиций для протектор-беговой части шины**

| Наименование показателя                                       | Соотношение наполнителей ККН / УКН, мас. ч. |             |             |
|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------|-------------|
|                                                               | 64,0 / 0,0,<br>(промышленная смесь)         | 54,0 / 10,0 | 44,0 / 20,0 |
| Эластичность по отскоку при 23±2 °С, %                        | 32                                          | 33          | 34          |
| Эластичность по отскоку при 100±1 °С, %                       | 57                                          | 57          | 59          |
| Теплообразование по Гудричу:                                  |                                             |             |             |
| – температура внутри образца, °С                              | 148                                         | 146         | 141         |
| – теплообразование, °С                                        | 100                                         | 94          | 92          |
| – усталостная выносливость, циклов до разрушения, тыс. циклов | 21,6                                        | 22,5        | 24,3        |
| Гистерезисные потери, К/Е                                     | 0,26                                        | 0,25        | 0,26        |

Стоит отметить, что протекторные резины, содержащие в своем составе УКН, обладают лучшей усталостной выносливостью (22,5 и 24,3 тыс. циклов) по сравнению с промышленной смесью (21,6 тыс. циклов). Выявленный характер изменения свойств, вероятно, обусловлен тем, что на поверхности ККН присутствует большое количество водородных связей между поверхностными силанольными группами, которые с повышением температуры разрушаются, что в свою очередь, приводит к увеличению потерь на внутреннее трение, снижению эластичности, повышению теплообразования.

#### **Список использованных источников**

1. Singh M., Zulkifli M. Special issue on current progresses in rubber technology // Journal of Rubber Research – 2022. – Vol. 24, No. 4. – P. 1–2.
2. Кротова О.А., Шашок Ж.С., Усс Е.П., Люштык А.Ю., Карманова О.В. Исследование упруго-гистерезисных свойств протекторных шинных резин с кремнекислотными наполнителями // Вестник ВГУИТ. – 2021. – Т. 83. – № 1. – С. 330–335.