

УДК 678.046.3

А.В. Касперович, канд. техн. наук, зав. кафедрой ПКМ;  
В.В. Боброва, асп.; А.А. Кадыко, асп. (БГТУ, г. Минск);  
С.А. Ефремов, д-р хим. наук, проф.;  
С.В. Нечипуренко, канд. техн. наук, доц.  
(КНУ, г. Алматы, Республика Казахстан)

## УГЛЕРОД-МИНЕРАЛЬНЫЙ НАПОЛНИТЕЛЬ ДЛЯ ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Технический углерод на нефтяной основе (ТУ) и синтетические кремнеземы являются высокоармирующими наполнителями. Они смешиваются с резиной для улучшения ее динамических и механических свойств. Однако ТУ токсичен, а кремнезем требует обработки силаном, таким как бифункциональный органосилан, известный как связующий агент, чтобы сделать его совместимым с углеводородными каучуками и повысить его эффективность при армировании каучуков [1]. Минеральные наполнители привлекли внимание в последние годы [2] в качестве возможной замены ТУ и кремнезема в каучуке.

Цель работы – изучить физико-химические характеристики углерод-минерального материала (УМН), являющегося побочным продуктом добычи углистых сланцев (рисунок 1).

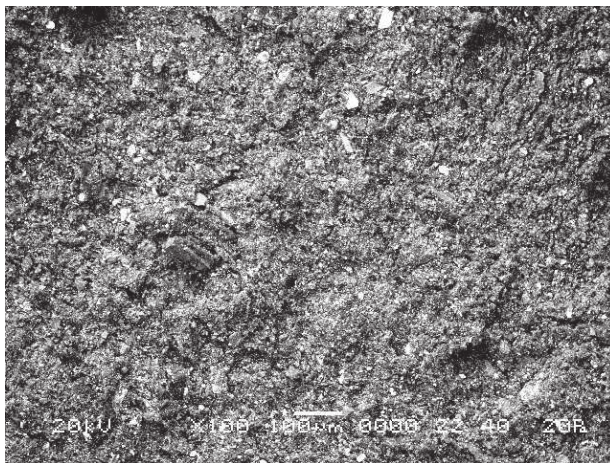


Рисунок 1 – SEM-изображение УМН при увеличении×100

По влиянию на прочностные характеристики резин наполнители делятся на две группы усилителей, увеличивающие прочность резины, и инертные наполнители, практически не меняющие ее прочность. Большое влияние на прочность полимерных материалов оказывают наполнители порошкообразные.

Активность порошкообразных наполнителей напрямую зависит их дисперсности и величины удельной поверхности. В этой связи,

важным этапом было определение дисперсности УМН и определение технологической возможности увеличения степени дисперсности. Значение дисперсности материала, напрямую зависит от показателя насыпной плотности материала. Это также важный фактор, который будет определять последующие характеристики самого материала и логистическую составляющую. Работы по диспергации материала проводили на лабораторной мельнице «Planetary Ball-XQM-4,4 А» (рисунок 2).



**Рисунок 2 – Лабораторная мельница «Planetary Ball - XQM-4,4 А»**

Режим помола циклический 10×3 мин. Результаты дисперсионного анализа и насыпной плотности УМН представлены в таблице 1.

**Таблица 1 – Результаты дисперсионного анализа продукта**

Образец	Дисперсность, мкм	Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>
УМН	110	450

Исследуемый УМН имеет фракционный состав более 100 мкм. Для использования, в качестве малоусиливающего наполнителя эластомеров, в частности, резинотехнических изделий, необходима дисперсность материала не более 20,0 мкм. В этой связи, необходимо дополнительно диспергировать полученный концентрат на центробежных или стержневых мельницах.

Одной из основных характеристик наполнителей резинотехнических изделий является удельная поверхность. Удельная поверхность – это величина, характеризующая поверхностную активность наполнителя, и является важнейшим фактором, влияющим на прочность структуры наполненных систем.

Только при определенном соотношении (удельная поверхность/дисперсная система) наполненная система имеет максимальное число контактов наполнителя со связующим, обеспечивающее максимальную прочность структуры (таблица 2).

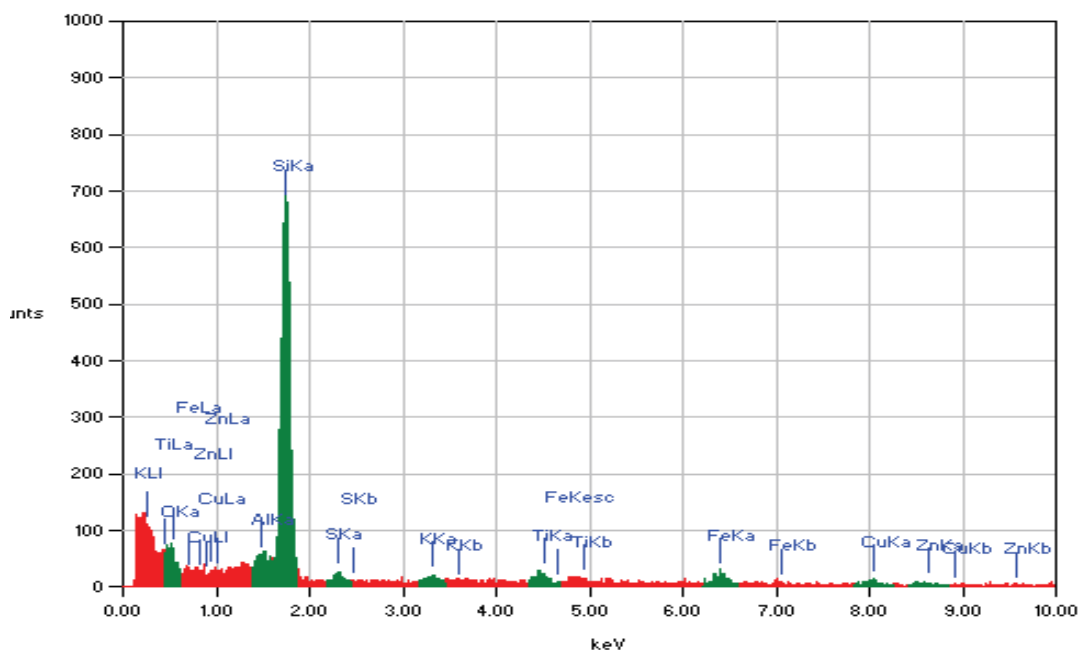
**Таблица 2 – Удельная адсорбционная поверхность наполнителей**

Образец	Удельная адсорбционная поверхность, м <sup>2</sup> /г
УМН	79,9
Технический углерод П705	23,0
Технический углерод П803	16,0

Из таблицы следует, по величине удельной адсорбционной поверхности, УМН превосходит по значениям промышленные марки сажи с низкими показателями адсорбционной поверхности.

При исследовании многокомпонентных углеродных систем в последнее время особую роль приобретают такие прямые методы как, например, сканирующая электронная микроскопия с элементным анализом, рентгенографический количественный фазовый анализ, рентгеноструктурный анализ.

С применением сканирующего электронного микроскопа Jeol JSM-5610 LV микроскопа с элементным энергодисперсионный анализом был снят EDX-спектр от образца УМН (рисунок 3).



**Рисунок 3 – Рентгенограмма образца УМН**

Наличие углерода с различной структурной упорядоченностью в одном микрообъеме УМН связано, по-видимому, с воздействием кристаллов минеральной основы на структуру контактирующего с ним углерода. Зависимость общей упорядоченности углерода от его процентного содержания в образце, т.е. от площади контакта с минералами, определяется, вероятно, тем, что зона каталитического воздействия имеет ограниченные размеры и прилегает непосредственно к кристаллу.

Каталитическое воздействие минерала на структурные преобразования углерода в руде может быть обусловлено, по крайней мере, двумя основными характеристиками кристалла – его составом в пересчете на оксиды (таблица 3) и структурой.

**Таблица 3 – Состав УМН в пересчете на оксиды**

Элементный состав	Содержание, %
Углерод	64,31
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,41
SiO <sub>2</sub>	29,73
SO <sub>3</sub>	1,55
K <sub>2</sub> O	0,23
TiO <sub>2</sub>	0,45
FeO	1,22
CuO	0,77
ZnO	0,33

Другим регламентируемым свойством промышленных марок технического углерода является его структурность.

На практике структурность технического углерода определяется по абсорбции дибутилфталата (таблица 4).

Несмотря на субъективность и плохую воспроизводимость, данный метод на сегодня является наиболее объективным показателем структурности сажи и углеродсодержащих наполнителей.

**Таблица 4 – Абсорбция ДБФ**

Образец	Абсорбция ДБФ, см <sup>3</sup> /100г
УМН	92
Технический углерод П705	110
Технический углерод П803	83

Из полученных данных следует, что исследуемый образец УМН соответствует низкоструктурным маркам технического углерода и может использоваться в эластомерных композициях в качестве малоусиливающего наполнителя.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Mineral kaolin for rubber reinforcement / A. Ansarifar [et al.] // Mineral filler. 2021. Vol. 16, no. 4. P. 182–186.
2. Wu U., Tian L. Formulation and morphology of kaolin-filled rubber composites // Applied clay science. 2013. Vol. 81. P. 16–19.