

А. Н. Грачев [и др.] // Новые достижения в химии и химической технологии растительного сырья: материалы VII Всероссийской конференции с международным участием, Барнаул, 24–28 апреля 2017 года. – Барнаул: Алтайский государственный университет, 2017. – С. 83-85.

3. Использование биополиолов, полученных из жидких продуктов пиролиза березовых опилок, в качестве возобновляемого компонента в производстве жестких пенополиуретанов / А. И. Валиуллина, А. Н. Грачев, А. Р. Валеева [и др.] // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2021. – № 10. – С. 41-48. – DOI 10.31044/1994-6260-2021-0-10-41-48.

4. The Use of Biopolyols Obtained from Liquid Birch Sawdust Pyrolysis Products as a Renewable Component in the Production of Rigid Polyurethane Foams / A. I. Valiullina, A. N. Grachev, A. R. Valeeva [et al.] // Polymer Science, Series D. – 2022. – Vol. 15. – No 2. – P. 300-305. – DOI 10.1134/S1995421222020307.

5. Бикбулатова, Г. М. Получение химических продуктов из суммарных жидких продуктов быстрого пиролиза древесины / Г. М. Бикбулатова, А. Р. Валеева, А. И. Сабирзянова // Молодежь и XXI век - 2021 : Материалы XI Международной молодежной научной конференции. В 6-ти томах, Курск, 18–19 февраля 2021 года / Отв. редактор М.С. Разумов. Том 5. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2021. – С. 324-326.

УДК 678.049

Е.П. Усс, канд. техн. наук, доц.;

Н.Р. Прокопчук, д-р хим. наук, член-корр. НАН Беларуси, проф.;

Ж.С. Шашок, д-р. техн. наук, проф.;

О.А. Кротова, канд. техн. наук, доц.;

А.Ю. Ключев, д-р техн. наук, проф. (БГТУ, г. Минск)

## **ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ С КАНИФОЛЕСОДЕРЖАЩИМИ И НАНОРАЗМЕРНЫМИ ДОБАВКАМИ**

Канифолетерпеностирольномалеиновые аддукты (КТСМА), полученные путем высокотемпературной обработки смеси терпентина и стирола малеиновым ангидридом, представляют собой многокомпонентные сплавы из малеопимаровой кислоты, аддуктов терпеновых углеводородов с малеиновым ангидридом, стирольномалеинового аддукта и смоляных кислот, не реагирующих с малеиновым ангидридом. Такие аддукты могут применяться в составе эластомерных композиций для регулирования их пластоэластических и конфекционных

свойств [1–3]. Наноматериалы обладают рядом специфических свойств ввиду особенностей размеров их частиц, структуры, что позволяет использовать их в малых дозировках, при этом оказывая существенное влияние на технологические и эксплуатационные свойства эластомерных материалов [4]. Целью данной работы являлось исследование влияния КТСМА с различными физико-химическими характеристиками на изменение пластоэластических и вулканизационных свойств эластомерных композиций в присутствии наноразмерных модификаторов. Объектами исследования являлись наполненные эластомерные композиции на основе комбинации синтетических полиизопренового (СКИ-3) и полибутадиенового (СКД) каучуков, не содержащие промышленных пластифицирующих добавок. Для получения КТСМА использовался терпентин ОАО «Лесохимик» (г. Борисов, Республика Беларусь). Соотношение терпентина и стирола в реакционной смеси составляло 95/5 (КТСМА 95/5) и 80/20 (КТСМА 80/20) мас. %, а содержание малеинового ангидрида для обработки смеси соответственно 46 и 55 мас. %. По окончании реакции осуществлялась отгонка остатков непрореагировавших компонентов [2]. Дозировка КТСМА в исследуемых резиновых смесях составляла 2,0 мас. ч. на 100,0 мас. ч. каучука. В качестве образца сравнения использовали эластомерную композицию, содержащую промышленный мягчитель – канифоль сосновую, которая применялась в равнозначной дозировке с опытными аддуктами. В наполненные композиции также вводились наноразмерные компоненты в виде опытного образца модифицированной алмазосодержащей шихты, дозировка которой варьировалась в пределах 0,1 и 0,2 мас. ч. на 100,0 мас. ч. каучука. Исследование вязкости по Муни наполненных эластомерных композиций проводили на роторном вискозиметре MV 2000 в соответствии с ГОСТ Р 54552-2011. Кинетические параметры вулканизации смесей определяли при температуре испытания  $(143 \pm 1)^\circ\text{C}$  на реометре ODR 2000 фирмы Alpha Technologies по ГОСТ 12535-84.

Установлено, что равнозначная замена промышленного мягчителя канифоли на КТСМА с соотношением терпентина и стирола, равным 95/5 и 80/20, практически не влияет на значения вязкости по Муни эластомерных композиций на основе комбинации каучуков общего назначения. В данном случае для смесей с КТСМА показатель вязкости находится в пределах 57,9–61,7 усл. ед. Муни, а для образца сравнения – 59,6 усл. ед. Муни. Определено, что введение алмазосодержащей шихты в исследуемые композиции, содержащие канифоль, приводит к снижению их вязкости. Так, при дозировке наномодификатора, равной 0,1 мас. ч., показатель вязкости образца сравнения не изменяется по сравнению со смесью без шихты и составляет 59,6 усл. ед. Муни. В то же время с увеличением содержания нанодобавки до

0,2 мас. ч. вязкость композиции с канифолью уменьшается на 6,4%. При этом для композиций с опытными аддуктами выявлено, что количественное содержание наношихты оказывает незначительное влияние на значения вязкости по Муни. Установлено, что изменение вязкости резиновой смеси с КТСМА 95/5 при введении шихты независимо от ее дозировки составляет не более 1,9 усл. ед. Муни, а для смеси с КТСМА 80/20 – не более 2,2 усл. ед. Муни по сравнению с композициями, содержащими КТСМА и без наноматериала.

Кинетические параметры вулканизации позволяют оценить влияние различных ингредиентов на изменение свойств эластомерных композиций в процессе формирования пространственной сетки вулканизата. Показано, что параметры вулканизации смесей с канифолесодержащими и наноразмерными добавками, несколько отличаются по сравнению со смесями без наноматериалов. Установлено, что значения минимального крутящего момента  $ML$  для эластомерных композиций с канифолесодержащими продуктами и без нанодобавок составляют 6,2–6,8 дН·м, а для этих же смесей с наношихтой в зависимости от дозировки последней  $6,6 \leq ML \leq 7,1$  дН·м. Определено, что значения максимального крутящего момента  $MH$  для композиций с канифолью и КТСМА и не содержащих наномодификаторы изменяются не более чем на 1 дН·м. Однако применение наношихты в резиновых смесях с канифолью приводит к небольшому повышению (до 1,9%) значения  $MH$ , а в смесях с КТСМА – к снижению данного показателя до 7,0%. Аналогичная зависимость выявлена и для показателя разницы максимального и минимального крутящих моментов, косвенно характеризующего плотность сшивки резин. Так, для смесей с канифолью данный показатель при введении нанодобавок изменяется до 2,9%. В случае композиций с КТСМА выявлено снижение плотности поперечного сшивания до 11,4%. Определено, что введение наномодификаторов во все исследуемые резиновые смеси приводит к увеличению до 15,5% времени начала процесса вулканизации по сравнению со смесями без нанодобавок. При этом время достижения оптимальной степени вулканизации для смесей со всеми канифолесодержащими добавками в присутствии наношихты повышается на 3,3–6,8%.

Таким образом, установлено, что при использовании модифицированной алмазосодержащей шихты вязкость по Муни наполненных резиновых смесей с опытными аддуктами КТСМА изменяется незначительно (до 2,2 усл. ед. Муни), при этом вязкость смесей с промышленным мягчителем уменьшается до 6,4%. Анализ кинетических параметров процесса вулканизации резиновых смесей, содержащих как канифоль, так и КТСМА, показал, что введение наношихты приводит к увеличению до 15,5% показателя, характеризующего время начала вулканизации, что позволит улучшить безопасность их переработки.

Определено, что применение опытных аддуктов в присутствии наномодификаторов, по-видимому, оказывает влияние на стадию формирования поперечных связей, определяющей природу и густоту сшивок, что подтверждается данными по определению плотности сшивки эластомерных композиций.

*Данная работа выполнялась по заданию Государственной программы научных исследований «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биоорхимия», подпрограммы «Создание новых наукоемких отечественных материалов различного функционального назначения на основе лесохимического и растительного сырья».*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Терпеноидномалеиновые аддукты и их производные: получение, свойства и применение / А.Ю. Ключев [и др.] // Химия и технология новых веществ и материалов: сб. науч. трудов. Минск: Белорусская наука, 2008. Вып. 2. С. 374–419.
2. Получение, изучение состава и свойств канифолетерпеностирольномалеиновых смол / А.Ю. Ключев [и др.] // Труды БГТУ. Сер. 2, Хим. технологии, биотехнологии, геоэкология. 2020. № 2. С. 5–12.
3. Пластоэластические и адгезионные свойства наполненных резиновых смесей с канифолесодержащими добавками / Е.П. Усс [и др.] // Труды БГТУ. Хим. технологии, биотехнология, геоэкология. 2022. № 1. С. 20–26.
4. Шашок Ж.С., Прокопчук Н.Р. Применение углеродных наноматериалов в полимерных композициях. Минск: БГТУ, 2014. 232 с.

УДК 678.04

Ж.С. Шашок, д-р техн. наук, проф.;  
Е.П. Усс, канд. техн. наук, доц.;  
О.А. Кротова, канд. техн. наук, доц.;  
А.В. Лешкевич, канд. техн. наук, ассист. (БГТУ, г. Минск);  
А.Ю. Люштык, нач. лаб. – гл. химик;  
С.Н. Каюшников, канд. техн. наук, нач. инж.-техн. центра  
(ОАО «Белшина», г. Бобруйск)

#### **ОСОБЕННОСТИ КИНЕТИКИ ВУЛКАНИЗАЦИИ ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ С КРЕМНЕКИСЛОТНЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ И КАПЛИНГ-АГЕНТОМ**

При использовании кремнезема как активного наполнителя и силана TESPT (бис(3-триэтокси-силилпропил)тетрасульфид) в качестве связующего агента возникает ряд дополнительных проблем, связанных с вулканизацией резиновых смесей [1]. Наличие в TESPT тет-