

// Системы. Методы. Технологии. – 2021. – № 3(51). – С. 116–121. – DOI 10.18324/2077-5415-2021-3-116-121. – EDN DQUYSY.

3. Синтез и свойства фенолоформальдегидных смол из продуктов термической переработки древесины / А. И. Валиуллина, А. Н. Грачев, А. Р. Валеева [и др.] // Клеи. Герметики. Технологии. – 2022. – № 5. – С. 2–11. – DOI 10.31044/1813-7008-2022-0-5-2-111. – EDN MWDHDK.

4. Уменьшение массовой доли свободного формальдегида в фенолоформальдегидных смолах с замещением фенола жидкими продуктами пиролиза древесины / А. Р. Валеева, А. И. Валиуллина, Г. М. Бикбулатова, В. Н. Башкиров // Деревообрабатывающая промышленность. – 2021. – № 3. – С. 94–102. – EDN SHIGDF.

5. Разработка способа очистки сточной воды, образующейся при получении фенолзамещающей фракции из жидких продуктов быстрого пиролиза древесины / Г. М. Бикбулатова, А. Р. Валеева, А. И. Валиуллина [и др.] // Системы. Методы. Технологии. – 2022. – № 4(56). – С. 147–152.

УДК 678.074

А.Н. Гайдадин, канд. техн. наук, доц.;  
С.А. Ефремова, гл. специалист  
(ВолгГТУ, г. Волгоград, Российская Федерация);  
И.П. Петрюк, канд. техн. наук, доц.;  
А.Е. Курбатов, канд. техн. наук, доц.  
(Костромская ГСХА, г. Кострома, Российская Федерация)

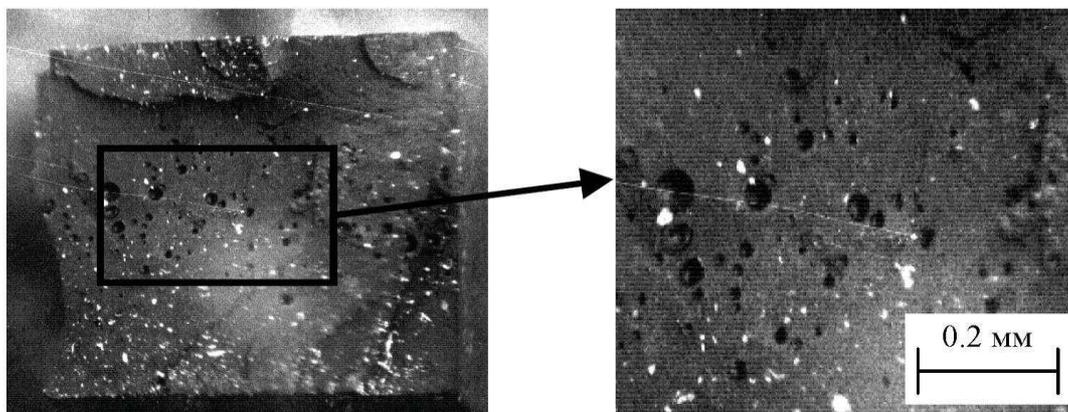
### **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЗИН, ПРЕТЕРПЕВАЮЩИХ ПОРООБРАЗОВАНИЕ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР**

Ранее было показано, что в низкомолекулярных резинах при воздействии высоких температур протекает процесс формирования новой газообразной фазы (рисунок 1) [1–3], что, в свою очередь, приводит к резкому снижению механических характеристик материала и возрастанию его деформируемости [2, 4, 5].

Целью настоящей работы являлся анализ влияния фазовых преобразований, протекающих в резинах при высокотемпературном воздействии, на прочностные характеристики эластомерного материала.

В качестве объекта исследования использовали резины на основе этиленпропиленового каучука СКЭПТ-40, содержащие серную вулканизирующую систему. В качестве наполнителя композиции содержали аэросил А-175. Время вулканизации составляло 60 минут при

температуре 150°C. Поведение образцов при высокотемпературном воздействии (до 300°C) исследовали на экспериментальной установке и по методике, описанной в [4].



**Рисунок 1 – Макроструктура наполненных этиленпропиленовых вулканизатов через 2 часа после старения при температуре 250 °С в условиях ограниченного доступа воздуха**

Изменения макроструктуры образцов оценивались на микроскопе МБС-9, оснащённом фотоадаптером.

Учитывая, что при испытании происходит одноосное расширение образца, то степень пористости материала можно оценить по следующей формуле:

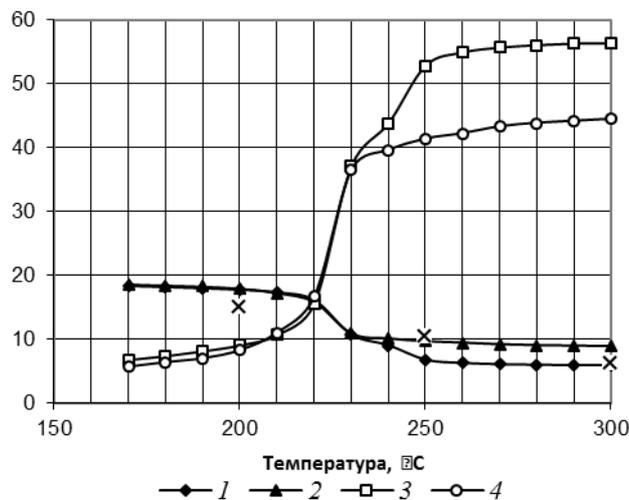
$$P = 1 - \frac{H_0}{H}, \quad (1)$$

где  $P$  – степень пористости материала;  $H_0$ ;  $H$  – высота образца до и после высокотемпературного воздействия, соответственно.

В работе [6] показано, что прочностные характеристики пористого эластомерного материала пропорциональны эффективной площади поперечного сечения монолитной части образца и могут быть оценены по формуле:

$$f_P = f_0 \cdot (1 - \beta P), \quad (2)$$

где  $f_P$ ,  $f_0$  – условная прочность при растяжении вспененного и монолитного материала, соответственно;  $\beta = 1/K_{ЭФ}$  – коэффициент, учитывающий неравномерность разрушения напряженных элементов (тяжей) пористого материала и связанное с этим уменьшение площади поперечного сечения эластомерной основы, воспринимающей нагрузку при растяжении и разрыве;  $K_{ЭФ}$  – эффективный коэффициент использования площади поперечного сечения напряженных элементов пористого материала при разрыве ( $K_{ЭФ} = 0,78-0,86$ ).



**Рисунок 2 – Зависимость прочностных характеристик образцов от температуры (1, 2 – теоретическая условная прочность при растяжении пористого материала ( $f_p$ , МПа), соответственно 1 и 2 образца (при  $f_0 = 20$  МПа); 3, 4 – степень пористости ( $P$ , %), соответственно 1 и 2 образца; × – экспериментальные данные)**

На рисунке 2 представлена зависимость изменения прочностных характеристик исследуемых образцов от их степени пористости. Как видно из представленных данных, предлагаемая методика описывает основную тенденцию изменения прочностных свойств резин, вспучивающихся при высокотемпературном воздействии, и результаты расчета можно считать удовлетворительными.

Таким образом, представленные данные показывают, что при разработке новых резин, предназначенных для эксплуатации в условиях воздействия высоких температур (например, тепло- и огнестойкие материалы), можно прогнозировать уровень их прочностных характеристик, зная параметры макроструктуры пористого эластомерного композита, а также зависимость этих параметров от рецептурных и технологических факторов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гайдадин, А. Н. Порообразование в вулканизатах с пластификаторами и наполнителями различной природы при термических воздействиях / А. Н. Гайдадин, В. Ф. Каблов, С. Ю. Малышев, А. М. Огрель // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. – 1997. – Т. 40, № 2. – С. 71–74.
2. Гайдадин, А. Н. Особенности поведения эластомеров при высокотемпературном воздействии / А. Н. Гайдадин, И. П. Петрюк, Ж. Н. Малышева, В. Ф. Каблов // Каучук и резина. – 2002. – № 4. – С. 2–3.
3. Гайдадин, А. Н. Порообразование в пространственно сшитых эластомерах, подвергающихся высокотемпературному воздействию /

А. Н. Гайдадин, И. П. Петрюк, В. Ф. Каблов // Каучук и резина. – 2008. – № 1. – С. 7–10.

4. Каблов, В. Ф. Исследование процессов порообразования и вспучивания эластомерных ТЗМ при температурах ниже температуры начала их термического разложения / В. Ф. Каблов, А. Н. Гаращенко, А. Н. Гайдадин, В. Л. Страхов, В. С. Кулямин // Вопросы оборонной техники. Композиционные неметаллические материалы в машиностроении. – 2000. – № 1 (122). – С. 31–35.

5. Гайдадин, А. Н. Особенности термомеханического поведения сшитых эластомеров в области высоких температур / А. Н. Гайдадин, И. П. Петрюк // Вестник технологического университета. – 2022. – Т. 25, № 9. – С. 46–49.

6. Петрюк, И. П. Моделирование прочностных характеристик пенопластов // Пластические массы. – 2020. – № 5–6. – С. 36–37.

УДК: 678.073

А.В. Сиразетдинов; Д.Р. Хисамиева, асп.;  
Р.Ю. Галимзянова, канд. техн. наук, доц.;  
А.А. Никифоров, канд. техн. наук, доц.;  
Ю.Н. Хакимуллин, д-р техн. наук, проф.;  
С.И. Вольфсон, д-р техн. наук, проф.  
(КНИТУ, г. Казань, Российская Федерация)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ КУКУРУЗНОГО И КАРТОФЕЛЬНОГО КРАХМАЛА**

Крахмал возобновляемый, широкодоступный и недорогой материал. Благодаря биосовместимости и нецитотоксичности в последние годы широко изучаются композиционные полимерные материалы с добавлением крахмала для тканевой инженерии. Материалы на основе крахмала позволяют адаптировать механические свойства и скорость разложения, что является преимуществом костных имплантатов на основе крахмала. Тесты *in vitro* показывают высокую биосовместимость полимеров на основе крахмала с клетками остеобластов и эндотелиальными клетками, что подтверждается тестами на цитотоксичность, клеточную пролиферацию и клеточную адгезию [1].

Пластифицированный крахмал, или термопластичный крахмал (ТПК), производится путем структурного разрушения крахмала в присутствии пластификатора. В качестве нетоксичных пластификаторов, пригодных для применения в биомедицине выступают глицерин и сорбит [2].