

9. Recent Developments in Metal-Catalyzed Ring-Opening Polymerization of Lactides and Glycolides: Preparation of Poly(lactides), Polyglycolide, and Poly(lactide-co-glycolide) / S. Dutta, W. C. Hung, B. H. Huang, C. C. Lin // *Advances in Polymer Science*. 2012. P. 219–284.

10. А. А. Горбунова, Д. Ю. Герман. Ag-содержащие цеолитные катализаторы процессов поликонденсации гликолевой кислот и полимеризации гликолида // Сборник материалов XX Международной научно-практической конференции имени профессора Л. П. Кулёва. Теоретические и прикладные аспекты физической и аналитической химии. С. 237–237.

11. W. W. K. Koo, R. C. Tsang. Mineral Requirements Of Low-Birth-Weight Infants // *Journal of the American College of Nutrition*. 1991. № 10. P. 474–482.

12. Synthesis, Characterization, and Hydrolytic Degradation of PLA-PEO-PLA Triblock Copolymers with LongPoly(L-lactic acid)Blocks / S. M. Li, I. Rashkov, J. L. Espartero, N. Manolova, M. Vert // *Macromolecules*. 1996. № 29. P. 57–63.

УДК 661.741.11

А.Р. Валеева, канд. техн. наук, ассист.;

А.Н. Грачев, д-р техн. наук, доц.;

К.Т. Толибхонова (КНИТУ, Казань, Российская Федерация)

## **ОБРАБОТКА ЖИДКИХ ПРОДУКТОВ ПИРОЛИЗА ДРЕВЕСИНЫ С ЦЕЛЬЮ УДАЛЕНИЯ ВОДЫ И ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ПЛОТНОСТИ**

Термохимическая переработка растительной биомассы становится все более востребованной технологией. Одним из видов такой переработки является пиролиз. При условиях быстрого нагрева древесного сырья и быстрого отвода парогазовой смеси из зоны реакции, образуется жидкий продукт – пиролизная жидкость или бионефть. Данная жидкость тёмно-коричневого цвета с резким запахом копчения имеет сложный многокомпонентный состав [1]. Образованная в процессе термического разложения полимеров растительного происхождения смесь, может служить источником ценных компонентов [2]. Так же бионефть имеет большой потенциал использования его в качестве топливного сырья. Однако есть ряд существенных проблем, затрудняющих её использование. Первым недостатком является значительное содержание воды в ней, что приводит к расслоению жидкости в процессе хранения и уменьшению энергетической плотности. Вторым недостатком значительное содержание кислот что в может приво-

дить к коррозии оборудования. Учитывая вышесказанное для дальнейшего использования бионефти требуется предварительная подготовка, направленная на удаления воды и кислот [3].

Анализ химического состава бионефти методом газовой хроматографии-масс-спектрометрии (ГХ-МС) показал значительное содержание ароматических углеводородов кетонов и кислот (таблица 1). Основная кислота присутствующей в ней была уксусная кислота.

**Таблица 1 – Групповой состав суммарной пиролизной жидкости из древесины смешанных пород**

Группа соединений	Содержание, %
Альдегиды	9,8
Кетоны	16,4
Кислоты	8,2
Моносахариды	9,7
Полициклические углеводороды	0,1
Сложные эфиры	3,1
Спирты	1,3
Ароматические углеводороды	32,3
Фураны	0,5
Не идентифицировано	18,6

Для удаления воды и кислот предлагается использовать процесс перегонки. Для выделения уксусной кислоты из жидких продуктов пиролиза, стоит учитывать ее температуру кипения (118°C). Однако при нагреве бионефти при температуре выше 100°C существует опасность полимеризации органической части. В связи с этим одним из условий перегонки бионефти с целью выделения воды и уксусной кислоты является пониженное давление. Для данного исследования была использована бионефть, полученная в процессе пиролиза древесной щепы смешанных пород, на установке FPP 02 компании «Энерголес-пром». Данная установка работает в режиме быстрого абляционного пиролиза. При термической переработке древесной щепы образуется три продукта уголь газ и жидкость. Выход продуктов пиролиза представлен в таблице 2.

**Таблица 2 – Материальный баланс процесса пиролиза на производственном комплексе FPP02**

Продукт	Лесосечные отходы
Уголь	22%
Жидкие продукты	56%
в т.ч. смола	8,9%
Газ	22%

Полученный жидкий продукт пиролиза расслаивается и представляет собой двухфазную систему. Массовое соотношение верхней

(водной) и нижней (органической) фракций составляет 84,3:15,7. Согласно проведенному анализу свойства этих фракций различны.

Вакуумная отгонка происходила в лабораторных условиях на ротационном испарителе при температуре 80°C и давлении 1,9 кПа. Материальный баланс процесса представлен в таблице 3.

**Таблица 3 – Материальный баланс вакуумной разгонки ПЖ**

Продукт	Выход, % мас.
Кубовый остаток	42,12% $\pm 1,32\%$
Конденсат	54,42% $\pm 2,28\%$
Потери	3,46% $\pm 2,37\%$

В процессе перегонки получен высушенный остаток и конденсат представляющий собой водный раствор уксусной кислоты и других компонентов в незначительном количестве (древесный уксус) [4].

Полученные образцы вакуумной разгонки бионефти были проанализированы на содержание влаги: влажность остатка составила 1,85%, влажность древесного уксуса 84,56%.

Результаты исследования химического состава древесного уксуса методом ГХ-МС показали, что конденсат содержит большое количество уксусной кислоты (58,68% от летучей части). Помимо это установлено содержания в нем фурфурола и фенолов в виде гваякола и 2-метокси-4-метилфенола [5].

Потенциально древесный уксус может реализовываться как товарный продукт – раствор уксусной кислоты. Так же опубликованы исследования, доказывающие возможность использования древесного уксуса в качестве стимулятора роста для растений. Пиролизная жидкость после выделения воды и уксусной кислоты не разделяется на фазы, становится более стабильной. Так же возрастает её энергетическая плотность.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Исследование свойств жидких продуктов быстрого абляционного пиролиза древесины березы / Г. М. Бикбулатова, С. А. Забелкин, 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. – EDN YNJKKD.

2. Влияние времени прессования и продолжительности хранения на прочность фенолоформальдегидной смолы с 40%-ным замещением синтетического фенола жидкими продуктами пиролиза древесных отходов / А. Р. Валеева, А. И. Валиуллина, С. А. Забелкин [и др.]

// 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