

ацетонитрила. Соединения идентифицировали сопоставлением полученных спектров поглощения и масс-спектров с литературными данными и характеристиками стандартных веществ.

По полученным зависимостям (рис. 1) установили, что с повышением температуры экстракции до 120 °С увеличивается эффективность извлечения аналитов. Дальнейший подъем температуры приводил к снижению выхода ФС, что, по-видимому, связано с их деградацией или снижением их растворимости [3]. По результатам проведенных исследований установили,

что оптимальная температура извлечения ФС из экстрактов цветов ромашки аптечной составляет 120 °С. Помимо возможности извлечения некоторых ФС из экстракта процесс протекает с меньшим расходом растворителя, субкритический водный экстракт не токсичен, экологически безопасен, доступен и экспрессен.

Исследования проводили при финансовой поддержке проекта Госзадания Минобрнауки РФ № FZEN-2023-0006 с использованием научного оборудования ЦКП “Эколого-аналитический центр” Кубанского государственного университета.

### Список литературы

1. Sibul F., Orcic D., Berezni S., Anackov G., Mimica-Dukic N. // *Acta Chromatogr*, 2020. – Vol. 32. – № 2. – P. 86–94.
2. Kronholm J., Hartonen K., Riekkola M.-L. // *TrAC Trends Anal. Chem.*, 2007. – Vol. 26. – № 5. – P. 396–412.
3. Cvetanovic A., Svarc-Gajic J., Zekovic Z., Jerkovic J., Zengin G., Gasic U., Tesic Z., Maskovic P, Soares C., Barroso M.F., Delerue-Matos C., Durovic S. // *Food Chem.*, 2019. – Vol. 271. – P. 328–337.
4. Государственная Фармакопея Российской Федерации. Изд. 14. – Москва, 2018. – Т. 4. – С. 6020–6028.
5. Mulinacci N., Romani A., Pinelli P., Vincieri F. F., Prucher D. // *Chromatographia*, 2000. – Vol. 51. – № 5–6. – P. 301–307.

## СЕЛЕКТИВНОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ ЦИКЛОПЕНТАДИЕНОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ ПОБОЧНОЙ ФРАКЦИИ ПИРОЛИЗА C<sub>5</sub>

У. Ю. Шабанова

Научные руководители – к.х.н., доцент Л. С. Сорока; к.х.н., доцент А. А. Ляпков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
г. Томск, проспект Ленина, 43, uys1@tpu.ru

Пиролиз – термическое разложение органических веществ в недостатке воздуха, основной метод получения самых востребованных олефинов – этилена и пропилена. Вместе с данными олефинами в процессе пиролиза образуются диеновые, парафиновые, ароматические и другие углеводороды. Вместе они составляют жидкие продукты пиролиза (ЖПП) – многотонажный побочный продукт пиролиза, доля которого может достигать 20–25 %.

Количество пиролизных установок с ростом потребности в низших олефинах будет увеличиваться, а значит будет расти и спрос на экономически выгодную и безопасную переработку ЖПП. Данный процесс во многом определяет экономическую целесообразность пиролизной установки.

Сложность переработки заключается в необходимости предварительного разделения многокомпонентной смеси на вещества с последу-

ющей очисткой. Это долго, дорого и поэтому не выгодно. Следовательно, существует потребность в разработке способов селективного вовлечения в реакцию соединений из сложно смеси без их предварительного выделения и очистки, чтобы ЖПП могли стать источником сырья для получения более дорогостоящих веществ.

Одним из возможных вариантов использования циклопентадиена (ЦПД), содержащегося во фракции C<sub>5</sub> ЖПП, является получение экзо,экзо-2,3-диизопропил-5-норборнен-2,3-дикарбоксилата, применяемого в качестве нетоксичного нефталатного пластификатора ПВХ. Данное соединение предоставляет возможность заменить основной на сегодняшний день пластификатор ди(2-этилгексил)фталат (диоктилфталат, ДОФ), признанный токсичным.

Получение экзо,экзо-2,3-диизопропил-5-норборнен-2,3-дикарбоксилата на данный момент проводится либо с чистым ЦПД, с ис-

пользованием растворителей и катализаторов, что удорожает процесс и затрудняет очистку продуктов, либо с использованием фракции C<sub>5</sub> и малеинового ангидрида. В последнем случае процесс не является селективным, а также используется токсичное и дорогостоящее вещество – малеиновый ангидрид. Способом, исключая недостатки вышеперечисленных методов, является селективное получение диэфиров норборнен-2,3-дикарбоновой кислоты путем взаимодействия ЦПД, содержащегося во фракции C<sub>5</sub>, с диэфирами фумаровой кислоты.

Первым этапом данной работы является получение диизопропилового эфира фумаровой кислоты. Для этого в круглодонную колбу, снабженную мешалкой, загружаем фумаровую кислоту, изопропиловый спирт, серную кислоту в качестве катализатора и помещаем смесь на водяную баню. Колбу с обратным холодильником, сверху которого размещена хлоркальциевая трубка, нагреваем в течение трех часов при температуре кипения спирта.

После окончания реакции смесь охлаждаем в течение 48 часов при температуре –18 °С и от-

деляем фильтрованием осадок – непрореагировавшую фумаровую кислоту. Отставшую смесь нейтрализуем насыщенным раствором соды до нейтральной реакции (рН = 7). Из органической фазы удаляем избыток спирта простой перегонкой и после чего проводим идентификацию полученного продукта с использованием ИК-спектроскопии.

Следующий этап – получение экзо,экзо-2,3-диизопропил-5-норборнен-2,3-дикарбоксилата. Для этого в круглодонную колбу, снабженную обратным холодильником, помещаем на водяную баню и загружаем 2 г (0,01 моль) диизопропилфумарата. К нему постепенно прикапываем 0,823 мл (0,01 моль) ЦПД. После прекращения прикапывания и выделение тепла (15 минут) реакционную массу выдерживаем 30 минут при комнатной температуре и нагреваем до 31–32 °С в течение 40 минут. После охлаждения до комнатной температуры выливаем массу в чашку Петри для испарения непрореагировавшего вещества. Полученную реакционную смесь исследовали с использованием ИК-спектроскопии.

### Список литературы

1. Лакеев С. Н., Ишалина О. В., Ганеев А. Э., Майданова И. О. // *Башкирский химический журнал*, 2018. – Т. 25. – № 4. – С. 95.
2. Норборнендикарбоксилатный пластификатор на основе C5-фракции, выделенной из жидких продуктов пиролиза // *Экологичная нефтехимия* URL: <https://lakeevsn.ru/tekhnologii/plastifikatory/norbornendikarboksilatnyy-plastifikator-na-osnove-s5-fraktsii-vydelennoy-iz-zhidkikh-produktov-pirol/> (дата обращения: 26.02.2023).
3. Мухина Т. Н., Барабанов Л. Н., Бабаиш С. Е., Меньщиков В. А., Аврех Г. Л. *Пиролиз углеводородного сырья*. – М.: Химия, 1987. – 240 с.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВТОРИЧНЫХ ПРОДУКТОВ ПИРОЛИЗА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЦЕННЫХ МОНОМЕРОВ

В. А. Шведов

Научные руководители – к.х.н., доцент Л. С. Сорока; к.х.н., доцент А. А. Ляпков

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
г. Томск, проспект Ленина, 43, vas109@tpu.ru*

Утилизация и переработка вторичных продуктов процессов органического синтеза – одна из важнейших экологических проблем современных предприятий. При этом развитие технологии синтеза как органических, так и неорганических веществ постоянно развиваются в сторону снижения образования побочных продуктов, сточных вод и других отходов, негативных влияющих на окружающую среду.

Пиролизные установки занимают лидирующую позицию при получении ценных мономеров: этилена и пропилена. При этом в ходе термического разложения органических веществ происходит образования целого ряда вторичных продуктов. Некоторые из них, с увеличением мощности пиролизных установок, стали выделять как высоко маржинальные продукты или использовать как промежуточное сырье в дру-