

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ФЕНОЛА С ФРАКЦИЕЙ ЖИДКОГО ПРОДУКТА ПИРОЛИЗА В ПРИСУТСТВИИ КАТАЛИЗАТОРА ЦЕОКАР-600 НА НЕПРЕРЫВНОДЕЙСТВУЮЩЕЙ УСТАНОВКЕ

Ч.К. Расулов¹, А.А. Гасанов², Г.З. Гейдарли¹, У.Р. Гурбанлы²

¹Институт Нефтехимических Процессов им. акад. Ю.Г. Мамедалиева Министерство Науки и Образования Азербайджана, пр. Ходжалы, 30, Баку, Азербайджан, AZ 1025

²Азербайджанский Государственный Университет нефти и промышленности, пр. Азадлыг, 34, Баку, Азербайджан, AZ 1020

E-mail: rchk49@mail.ru, alakbar48-48@mail.ru, heyderligunay6@gmail.com, gurbanli.ulviyya@gmail.com

В представленной работе рассматриваются результаты исследования каталитического арилалкилирования фенола с фракцией 130-190 °С (ФЖПП) пироконденсата, полученного в процессе пиролиза, в присутствии цеолитного катализатора Цеокар-600. Изучено влияние кинетических параметров реакции (температура реакции, мольное соотношение исходных компонентов, объемная скорость) на выход целевого продукта и селективность процесса. Температура реакции варьировалась в пределах 80 - 140 °С, мольное соотношение фенола к ФЖПП взято от 1:1 до 1:4 моль/моль, соответственно, объемная скорость от 0,2 до 1,0 ч⁻¹. Непредельные углеводороды, содержащиеся в жидких фракциях продуктов пиролиза, взятых в качестве арилалкилирующего агента – стирол 32,18%, α-метилстирол – 5,98%, винилтолуол – 7,37%, инден – 4,28% – взаимодействуют с фенолом. Анализ состава жидких фракций продуктов пиролиза после реакции арилалкилирования показывает, что количество стирола уменьшается до 3,42%, α-метилстирола – до 0,95%, винилтолуола – до 1,78% и индена – до 2,52%. Анализы показывают, что в реакции арилалкилирования фенол в основном реагирует со стиролом. В результате проведенных исследований были найдены эффективные условия для проведения процесса арилалкилирования фенола с ФЖПП на пилотной установке в присутствии катализатора Цеокар-600: температура 120 °С, мольное соотношение фенола и ФЖПП 1:3 моль/моль, объемная скорость 0,5 ч⁻¹. При данных условиях выход пара-(арилалкил)фенола составляет 65,4% от теории на взятый фенол, а селективность процесса 91,9% по целевому продукту.

Ключевые слова: фенол, жидкие продукты пиролиза, катализатор, арилалкилирование, пара-(арилалкил)фенол

REACTIONS OF PHENOL WITH FRACTION OF LIQUID PYROLYSIS PRODUCT IN A CONTINUOUSLY OPERATED SYSTEM IN THE PRESENCE OF THE SEOCAR-600 CATALYST

Ch.K. Rasulov¹, A.A. Hasanov², G.Z. Heydarli¹, U.R. Gurbanli²

¹Academician Y.H. Mammadaliyev Institute of Petrochemical Processes of the Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan, Khojaly Ave., 30, Baku, AZ 1025, Azerbaijan

²Azerbaijan State Oil and Industry University, Azadliq ave., 34, Baku, AZ 1020, Azerbaijan

E-mail: rchk49@mail.ru, alakbar48-48@mail.ru, heyderligunay6@gmail.com, gurbanli.ulviyya@gmail.com

The present study examines the results of catalytic arylalkylation of phenol using the 130–190 °C fraction (LFPP) of pyrocondensate derived from pyrolysis, in the presence of the zeolite Seocar-600 catalyst. The influence of kinetic parameters (reaction temperature, molar ratios of the initial components, volumetric flow rate) on the yield and selectivity of the desired product has been studied to find the optimal conditions for the arylalkylation process of phenol with LFPP in the continuous-flow system with Seocar-600 catalyst. The reaction temperature was investigated in the range of 80-140 °C, the molar ratio of phenol to LFPP was varied from 1:1 to 1:4 mol/mol, and the volumetric flow rate was tested from 0.2 to 1.0 h⁻¹. Unsaturated hydrocarbons contained in the

liquid fractions of pyrolysis products – used as arylalkylating agents – including styrene (32.18%), α -methylstyrene (5.98%), vinyltoluene (7.37%), and indene (4.28%) – undergo reaction with phenol. Post-reaction analysis of the liquid fractions indicates a significant reduction in the concentrations of these components: styrene decreases to 3.42%, α -methylstyrene to 0.95%, vinyltoluene to 1.78%, and indene to 2.52%. These analytical results suggest that, among the unsaturated hydrocarbons present, phenol predominantly reacts with styrene during the arylalkylation process. As a result of the studies, effective conditions for the arylalkylation process were found: temperature 120 °C, molar ratio of phenol to LFPP 1:3 mol/mol, and volumetric flow rate 0.5 h⁻¹. Under these conditions, the yield of para-(arylalkyl)phenol was 65.4% based on the consumed phenol, and the selectivity of the process toward the target product was 91.9%.

Keywords: phenol, pyrolysis liquid products, catalyst, arylalkylation, para-(arylalkyl)phenol

Для цитирования:

Расулов Ч.К., Гасанов А.А., Гейдарли Г.З., Гурбанлы У.Р. Взаимодействие фенола с фракцией жидкого продукта пиролиза в присутствии катализатора Цеокар-600 на непрерывнодействующей установке. *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва)*. 2025. Т. LXIX. № 3. С. 86–92. DOI: 10.6060/rcj.2025693.9.

For citation:

Rasulov Ch.K., Hasanov A.A., Heydarli G.Z., Gurbanli U.R. Reactions of phenol with fraction of liquid pyrolysis product in a continuously operated system in the presence of the Seocar-600 catalyst. *Ros. Khim. Zh.* 2025. V. 69. N 3. P. 86–92. DOI: 10.6060/rcj.2025693.9.

ВВЕДЕНИЕ

Одними из самых широко используемых химических соединений в нефтехимии являются алкилфенолы. Их различные производные применяются в различных областях промышленности [1-7].

Алкилфенолы в основном получают в процессе алкилирования фенолов с использованием различных алкилирующих агентов при участии гомогенных и гетерогенных катализаторов [8-13]. В качестве гомогенных катализаторов используются фосфорные и уксусные кислоты, сульфаты, натриевый бисульфат, различные кислоты Льюиса, и другие соединения [14-17]. Гомогенные катализаторы имеют ряд недостатков: процессы многостадийные, существует проблема коррозии оборудования, наличие сточных вод, многоступенчатость процесса и т.д. [18-22]. В этом отношении гетерогенные катализаторы имеют значительно большее преимущество [22-28]. Среди гетерогенных катализаторов особое место занимают каталитические материалы на основе цеолита; они дешевле, легко доступны, экологически безопасны, процесс можно вести непрерывно, возможна регенерация, технологически и экономически они тоже выгодны и т.д. [29-33].

Другим важным и основным условием получения алкилфенолов является проблема алкилирующих агентов. Из-за нехватки алкилирующих агентов в процессах алкилирования фенола удовлетворяется только 75-80% потребности в алкилфенолах. Учитывая, что потребность в алкилфенолах

ежегодно увеличивается приблизительно на 2%, становится очевидной актуальность этой проблемы.

В представленной работе приводятся результаты исследования процесса алкилирования фенола с использованием цеолитсодержащего катализатора Цеокар-600 с фракцией 130-190 °C жидких побочных продуктов пиролиза бензина на непрерывно действующей установке.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Для проведения реакции арилалкилирования фенола с фракцией 130-190 °C жидких продуктов пиролиза (ФЖПП) в присутствии катализатора Цеокар-600 в качестве исходного сырья использовались фенол и ФЖПП.

Перед использованием фенол подвергали очищению путем перегонки и удаления примесей. ФЖПП получали из жидких продуктов пиролиза (пироконденсата, ПК), доставленных с завода "Этилен Полиэтилен" в г. Сумгайыт; после чего путем ректификации выделяли фракцию в интервале температур 130-190 °C.

Состав углеводородов жидких продуктов пиролиза (пироконденсата, ПК) и ФЖПП приведен в табл. 1.

Физико-химические характеристики ФЖПП следующие: температура кипения 130-190 °C; n_D^{20} – 1,5160; ρ_4^{20} – 0,8578; молекулярная масса – 120.

Для реакции использовали цеолитсодержащий катализатор Цеокар-600.

Реакция арилалкилирования фенола была проведена на непрерывнодействующей мини-установке. Схема установки представлена на рис. 1.

Таблица 1

Состав углеводородов ПК и ФЖПП

Table 1. Hydrocarbon Composition of PC and LFPP

№	Компоненты	ПК, % масса	ФЖПП, % масса
1	С ₄ -фракция	0,25	-
2	С ₅ -фракция	7,17	-
3	С ₆ -фракция	8,32	1,67
4	С ₇ -фракция	3,58	1,04
5	Бензол	22,75	6,21
6	С ₈ -фракция	4,76	2,05
7	Толуол	17,81	5,33
8	С ₉ -фракция	2,58	3,61
9	Этилбензол	2,60	3,17
10	m-Ксилол	3,25	7,73
11	p-Ксилол	1,63	5,28
12	o-Ксилол	3,56	6,53
13	Изопропилбензол	2,21	5,26
14	Стирол	10,83	32,18
15	α-метилстирол	1,87	5,96
16	Винилтолуол	4,60	7,37
17	Инден	0,59	4,78
18	Индан	1,14	2,41

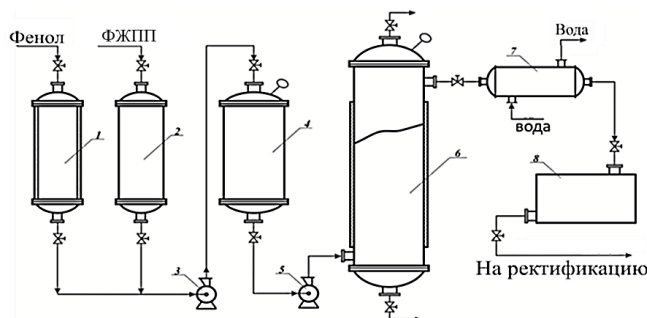


Рис. 1. Технологическая схема реакции арилалкилирования фенола с ФЖПП на непрерывнодействующей установке (1 – емкость для фенола; 2 – емкость для ФЖПП; 3, 5 – насосы; 4 – смеситель; 6 – реактор; 7 – холодильник; 8 – емкость для алкилата)

Fig. 1. Technological scheme of arylalkylation reaction of phenol with LFPP in continuous operating unit (1 – phenol tank; 2 – LFPP tank; 3, 5 – pumps; 4 – mixer; 6 – reactor; 7 – refrigerator; 8 – alkylate tank)

Описание процесса: фенол поступает в емкость 1, а ФЖПП – в емкость 2. Оба компонента передаются в смеситель 4 в заранее рассчитанном соотношении. В емкости 1 поддерживается температура 40 °С. Смесь фенола и ФЖПП из смесителя 4 поступает в нижнюю часть реактора 6, где компоненты проходят через слой катализатора и выходят в верхней части реактора 6, охлаждаются в холодильнике 7 и собираются в емкость для алкилата 8, откуда алкилаты отправляются на ректификацию. Во время ректификации сначала отделяется

непрореагировавший ФЖПП, затем в условиях вакуума (10 мм рт.ст.) отделяются фенол и целевые продукты реакции.

После завершения эксперимента подача сырья на установку прекращается, и продукты из реактора направляются в приемную емкость. После этого реактор переводится в режим регенерации (после 500 ч работы).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Для поиска эффективных условий процесса арилалкилирования фенола с ФЖПП на непрерывнодействующей установке с использованием катализатора Цеокар-600 было исследовано влияние кинетических параметров реакции на выход целевого продукта и селективность процесса. Температура реакции варьировалась от 80 до 140 °С, молярное соотношение фенол/ФЖПП исследовалось от 1:1 до 1:4, а объемная скорость в пределах 0,2-1,0 ч⁻¹.

Результаты исследования процесса арилалкилирования фенола с ФЖПП на непрерывнодействующей установке с использованием катализатора Цеокар-600 представлены на рис. 2.

Из рис. 2 а видно, что при температуре реакции в пределах 80-100 °С выход целевого продукта по отношению к взятому фенолу составляет 38,3-56,8%, а селективность по основному продукту – 95,6-92,3%. Низкий выход целевого продукта и высокая селективность при этих температурах указывают на неполное протекание реакции арилалкилирования фенола с ФЖПП. При повышении температуры реакции до 120 °С выход целевого продукта увеличивается до 65,4%, а селективность составляет 91,9%. При дальнейшем повышении температуры реакции (130-140 °С) выход целевого продукта снижается до 58,3-54,5%, а селективность процесса варьируется от 80,9 до 75,4%. Снижение выхода и селективности при высоких температурах объясняется тем, что с увеличением температуры реакции увеличивается кинетическая энергия исходных компонентов и наряду с целевым продуктом образуются и другие изомеры.

По результатам проведенных исследований можно сделать вывод, что для получения эффективного выхода и селективности основного продукта температура проведения реакции должна быть равна 120 °С. При этих условиях выход целевого продукта по отношению к взятому фенолу составляет 65,4%, а селективность по целевому продукту – 91,9%.

Из рис. 2 б видно, что при молярном соотношении фенола к ФЖПП в исходной смеси 1:1 и 1:2 выход целевого продукта составляет 57,0-

61,5%, а селективность 86,7-88,1%. Низкие значения выхода и селективности при этих соотношениях указывают на то, что содержание ненасыщенных углеводородов в ФЖПП недостаточно для эф-

фективной реакции арилалкилирования. Увеличение концентрации ФЖПП в исходной смеси в 3 раза (молярное соотношение фенола и ФЖПП 1:3), способствует увеличению выхода основного продукта до 65,4%, а селективность составляет 91,9%.

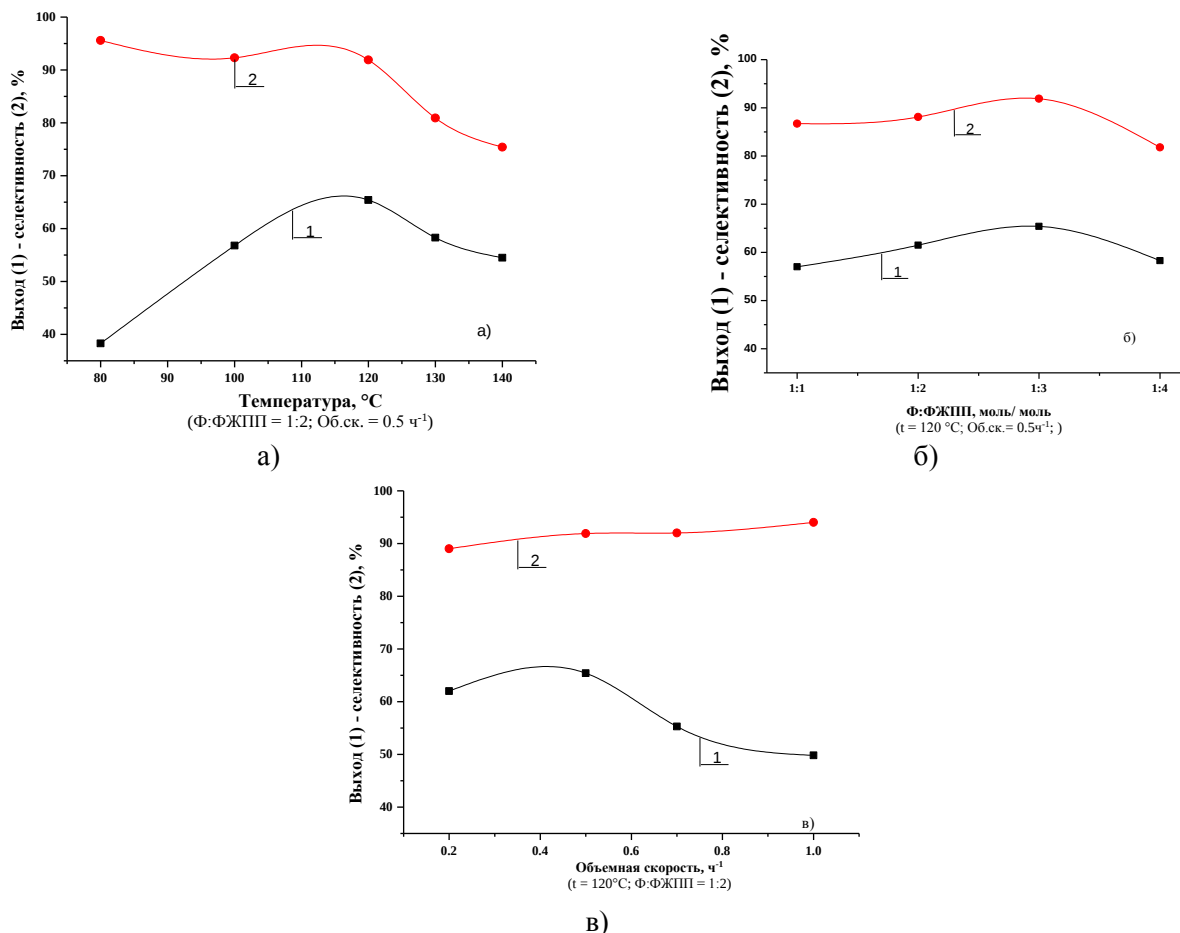


Рис. 2. Зависимость выхода (1) и селективности (2) арилалкилфенола от температуры (а), молярных соотношений исходных компонентов (б) и объемной скорости подачи сырья (в)
Fig. 2. Dependence of yield (1) and selectivity (2) of arylalkylphenol on temperature (a), molar ratios of initial components (b) and volumetric feed rate (c)

При увеличении содержания ФЖПП в смеси в 4 раза (молярное соотношение фенола к ФЖПП 1:4) выход целевого продукта снижается до 53,8%, а селективность – до 81,3%. Снижение выхода и селективности объясняется тем, что ненасыщенные соединения в ФЖПП вступают в реакцию с получаемым основным продуктом арилалкилфенолом, образуя 2,4-ди- и 2,4,6-тризамещенные соединения.

Результаты исследований показывают, что для получения целевого продукта с высоким выходом и селективностью целесообразно в исходной смеси брать молярное соотношение фенола к ФЖПП 1:3.

Из рис. 2 видно, что для получения эффективных результатов по выходу и селективности целевого продукта объемная скорость подачи сы-

рья должна составлять 0,5 ч⁻¹. При этой скорости выход основного продукта по отношению к взятому фенолу составляет 65,4%, а селективность – 91,9%. При других значениях объемной скорости (0,2, 0,7, 1,0 ч⁻¹) достижение высокого выхода основного продукта невозможно. При объемной скорости 0,7 и 1,0 ч⁻¹ селективность процесса составляет 92-94%, но выход основного продукта снижается до 55,3-49,8%. Это указывает на то, что время пребывания исходных компонентов в реакторе недостаточно.

Проведен расчет сводного материального баланса процесса арилалкилирования фенола с ФЖПП на непрерывнодействующей установке. Результаты приведены в табл. 2. Из таблицы следует,

что при оптимальных условиях процесса получается 70,0 г *пара*-арилалкилфенола, при этом выход составляет 65,4%; также образуется 3,8 г побочного продукта и 2,3 г остатка; селективность процесса по целевому продукту составляет 91,9%.

Таким образом, для реакции взаимодействия фенола с жидкими продуктами пиролиза фракцией 130-190 °С на непрерывнодействующей установке

в присутствии катализатора Цеокар-600 были найдены оптимальные условия: температура 120 °С, мольное соотношение фенола к ФЖПП – 1:3, объемная скорость – 0,5 ч⁻¹. При найденных оптимальных условиях выход целевого продукта составил 65,4% на взятый фенол, а селективность процесса – 91,9% по целевому продукту.

Таблица 2

Материальный баланс процесса арилалкилирования фенола с ФЖПП на непрерывнодействующей установке в присутствии катализатора Цеокар-600 при различных условиях

Table 2. Material balance of the phenol arylalkylation process of with LFPP on a continuously operating unit in the presence of Zeocar-600 catalyst under different conditions

Но- мер эк- с- пе- ри- мен- та	Взято, г		Условия реакции		Получено, г							Вы- ход, %	Селек- тив- ность, %
	Фе- нол	ФЖ ПП	t, °С	Объемная скорость, час ⁻¹	Воз- врат ФЖПП	Воз- врат фенола	ЦП	ПП	Оста- ток	Всего	По- тери		
1	47	180	80	0,5	158,6	23,6	41,0	1,1	0,6	225,0	2,0	38,3	95,6
2	47	180	100	0,5	143,6	14,5	60,8	3,5	1,8	224,2	2,8	56,8	92,3
3	47	180	120	0,5	137,5	9,8	70,0	3,8	2,3	223,4	3,6	65,4	91,9
4	47	180	130	0,5	137,2	8,4	62,4	9,6	5,2	222,8	4,2	58,3	80,9
5	47	180	140	0,5	136,8	8,0	58,3	11,8	7,7	222,6	4,4	54,5	75,4
6	47	60	120	0,5	44,4	36,7	20,4	1,8	1,2	104,5	2,5	57,0	86,7
7	47	120	120	0,5	87,3	29,3	41,5	3,1	2,6	163,8	3,2	61,5	88,1
8	47	180	120	0,5	137,5	9,8	70,0	3,8	2,3	223,4	3,6	65,4	91,9
9	47	240	120	0,5	203,2	8,7	57,6	8,3	5,2	283,0	4,0	53,8	81,3
10	47	180	120	0,2	158,2	9,5	53,1	2,1	1,3	224,2	2,8	49,6	93,5
11	47	180	120	0,5	137,5	9,8	70,0	3,8	2,3	223,4	3,6	65,4	91,9
12	47	180	120	0,7	142,7	18,3	59,2	2,3	1,5	224,0	3,0	55,3	94,0
13	47	180	120	1,0	167,3	17,1	53,3	2,8	1,2	224,6	2,4	49,8	92,3

Примечание: ЦП – целевой продукт, ПП – побочный продукт

В табл. 3 приведены углеводородный состав ФЖПП, взятый для реакции и возврат после реакции, при найденных оптимальных условиях.

Из табл. 3 видно, что после арилалкилирования фенола в присутствии катализатора Цеокар-600 углеводородный состав ФЖПП значительно изменился. Так, содержание ненасыщенных углеводородов в ФЖПП снизилось, в т.ч.: стирол – с 32,18 до 2,31%, α -метилстирол – с 5,95 до 1,08%, винилтолуол – с 7,37 до 1,26%, инден – с 4,28 до 0,71%. Из таблицы также видно, что реакция арилалкилирования фенола в основном протекает со стиролом. Анализ состава полученного алкилированного продукта также подтверждает это.

Результаты хроматографического анализа полученного *пара*-(арилалкил)фенола показывают,

что 95-96% продукта составляет *пара*-(α -метилбензил)фенол. Остальные 4-5% составляют другие *пара*-замещенные алкилфенолы.

Полученные результаты подтверждают эффективность процесса и правильность выбранных условий, обеспечивающих максимальный выход и высокую селективность в реакции арилалкилирования фенола с ФЖПП в присутствии цеолитсодержащего катализатора Цеокар-600.

ВЫВОДЫ

Исследованы реакции взаимодействия фенола с фракцией 130-190 °С жидкого продукта пиролиза в присутствии цеолитсодержащего катализатора Цеокар-600 на непрерывнодействующей установке.

Найдено, что при температуре реакции 120 °С, мольном соотношении фенола к ФЖПП 1:3, объемной скорости 0,5 ч⁻¹ выход *пара*-(ари-лалкил)фенола на взятый фенол составил 65,4%, а селективность – 91,9% по целевому продукту.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

The authors declare the absence of a conflict of interest warranting disclosure in this article.

Данная работа выполнена при финансовой поддержке Фонда Науки Азербайджана – Грант № AEF-MGC-2024-2(50) -16/11/4-M-11.

Таблица 3

Углеводородный состав ФЖПП, использованных в процессе арилалкилирования фенолом, до и после реакции

Table 3. Hydrocarbon composition of LFPP in the arylalkylation process of phenol, before and after the reaction

№	Углеводороды	ФЖПП, %	
		до	после
1	$\sum C_6$	1,67	3,46
2	$\sum C_7$	1,04	2,61
3	Бензол	6,21	11,24
4	$\sum C_8$	2,05	4,38
5	Толуол	5,33	10,43
6	$\sum C_9$	3,61	6,22
7	Этилбензол	3,17	5,85
8	<i>м</i> -ксилол	7,73	12,13
9	<i>п</i> -ксилол	5,20	9,42
10	<i>о</i> -ксилол	6,53	11,27
11	Изопропилбензол	5,26	11,52
12	Стирол	32,18	2,31
13	α -метилстирол	5,95	1,08
14	Винилтолуол	7,37	1,26
15	Фенол	-	1,35
16	Инден	4,28	0,71
17	Индан	2,41	4,76

ЛИТЕРАТУРА REFERENCES

1. Thangalipalli S., Bandalla S., Gayinolla V., Kairoju S. Highly Practical Aqueous Phase Acylation of Phenols, Amines and Alcohols Employing New Green Acylation Reagents Derived from DBU. *Chemistry Select.* 2024. V. 9. N 8. P. 5070–5074. DOI: 10.1002/slct.202305070.
2. Shanmugapriya K., Saravanamurugan S., Palanichamy M., Arab B. Alkylation and acylation of phenol with methyl acetate. *Journal of Molecular Catalysis A. Chemical.* 2004. V. 223. N 1-2. P. 177–183. DOI: 10.1016/j.molcata.2004.03.061.
3. Tian J-Sh., He Y., Gao Zh., Liu X. Water-Tolerant ortho-Acylation of Phenols. *Org. Lett.* 2021. Vol. 23. N 16. P. 6594–6598. DOI: 10.1021/acs.orglett.1c02583.
4. Massah A.R., Toghyani M., Hojati B. Green and efficient method for the acylation of amines and phenols in the presence of hydrotalcite in water. *Journal of Chemical Research.* 2012. N 10. P. 603–605. DOI: 10.3184/174751912X13460810792101.
5. Kawasaki T., Ishida N., Murakami M. Photoinduced Specific Acylation of Phenolic Hydroxy Groups with Aldehydes. *Angewandte Chemie. International Edition.* 2020. V. 59. N 41. P. 18267–18271. DOI: 10.1002/anie.202008897.
6. Simion A.M., Hashimoto I., Mitoma Y., Egashira N. O-Acylation of Substituted Phenols with Various Alkanoyl Chlorides Under Phase-Transfer Catalyst Conditions. *Synthetic Communications.* 2012. V. 42. N 6. P. 921–931. DOI: 10.1080/00397911.2011.584007.
7. Bensan A., Zaveri N. Titanium(IV) Chloride-Mediated Ortho-Acylation of Phenols and Naphthols. *Synthesis.* 2003. N 2. P. 267–271. DOI: 10.1055/s-2003-36822.
8. Haddadin M., Higuchi T., Stella V. Acylation of phenol by cyclic and acyclic anhydrides in anhydrous acetic acid. *J. Pharm. Sci.* 1995. V. 64. N 11. P. 66–70. DOI: 10.1002/jps.2600641106.
9. Rahmani P., Habibi D., Akbaripناه Z. Acetylation of Phenols, Anilines, and Thiols Using Silica Sulfuric Acid under Solvent-Free Conditions. *Journal of Chemistry.* 2013. N 7. P. 132–138. DOI: 10.1155/2013/268654.
10. Reddi K., Sirigireddy R., Kim I. Acylation of Phenols, Alcohols, Thiols, Amines and Aldehydes Using Sulfonic Acid Functionalized Hyper-Cross-Linked Poly(2-naphthol) as a Solid Acid Catalyst. *Catalysis Letters.* 2019. V. 149. P. 2696–2705. DOI: 10.1007/s10562-019-02811-w.
11. Восмериков А.А., Восмерикова Л.Н., Восмериков А.В. Исследование влияния щелочной обработки и модифицирования цеолита на его физико-химические и каталитические свойства в процессе превращения пропана в олефиновые углеводороды. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2024. Т. 67. Вып. 8. С. 50–58. DOI: 10.6060/ivkkt.20246708.11t. Vosmerikov A.A., Vosmerikova L.N., Vosmerikov A.V. Studying the influence of alkaline treatment and modification of zeolite on its physical-chemical and catalytic properties in the process of propane conversion to olefin hydrocarbons. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2024. V. 67. N 8. P. 50–58. DOI: 10.6060/ivkkt.20246708.11t.
12. Коробицына Л.Л., Величкина Л.М., Будаев Ж.Б., Шолитодов М.Р. Исследование влияния способа получения цеолита структурного типа MFI на его каталитическую активность в процессах переработки углеводородного сырья. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2023. Т. 66. Вып. 11. С. 50–57. DOI: 10.6060/ivkkt.20236611.4t. Korobitsyna L.L., Velichkina L.M., Budaev Zh.B., Sholododov M.R. Investigation of the influence of the method for obtaining zeolite of the structural type MFI on its catalytic activity in the processing of hydrocarbon raw materials. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2023. V. 66. N 11. P. 50–57. DOI: 10.6060/ivkkt.20236611.4t.
13. Zhang Z., Zhao Z., Liu M., Huizhen L., Qian L., Xiang J. Acylation of phenols to phenolic esters with organic salts. *Green Chemistry.* 2022. V. 24. P. 9763–9771. DOI: 10.1039/D2GC03807B.
14. Hashimoto I., Takatoshi K., Mitoma Y., Simion A., Ishimoto K. O-Acylation mechanism of p-substituted phenols with various alkanoyl chlorides under phase transfer catalysis conditions. *Revue Roumaine de Chimie.* 2004. V. 49. N 2. P. 149–155.
15. Yong Zh., Fang G., Peron D., Marinova M. Liquid Metal-Assisted Acylation of Phenols over Zeolite Catalysts. *ACS Catalysis.* 2024. V. 14. N 10. P. 7806–7813. DOI: 10.1021/acscatal.4c00104.
16. Murashige R., Hayashi Y., Ohmon S., Tori A., Yasuyuki M. Comparisons of O-acylation and Friedel–Crafts acylation of phenols and acyl chlorides and Fries rearrangement of phenyl esters in trifluoromethanesulfonic acid: effective synthesis

- of optically active homotyrosines. *Tetrahedron*. 2011. V. 67. N 3. P. 641–649. DOI: 10.1016/j.tet.2010.11.047.
17. Roswanda R., Sirampun A.D., Rakhmata R., Mujahidin D. A Straightforward Selective Acylation of Phenols over ZSM-5 towards Making Paracetamol Precursors. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*. 2018. V. 13. N 3. P. 573–587. DOI: 10.9767/bcrec.13.3.2856.573-587.
18. Гейдарли Г.З., Нагиева М.В., Агамалиев З.З., Салманова Ч.К., Расулов Ч.К. Синтез 2-гидрокси-3-[3(4)-метилциклогексен-3-ил-изопропил]-5-метилацетофенонов. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2022. Т. 65. Вып. 3. С. 100–106. DOI: 10.6060/ivkkt.20226503.6512.
- Heydarli G.Z., Naghiyeva M.V., Aghamaliyev Z.Z., Salmanova Ch.K., Rasulov Ch.K. Synthesis of 2-hydroxy-3-[3(4)-methylcyclohexen-3-yl-isopropyl]-5-methylacetophenones. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2022. V. 65. N 3. P. 100–106. DOI: 10.6060/ivkkt.20226503.6512.
19. Hesenov A.A., Qurbanli U.R., Rasulov Ch.K., Heydarli G.Z., Naghiyeva M.V. Synthesis and properties of 2-hydroxy-3-[3(4)-methyl cyclohexen-3-yl-isopropyl]-5-arylalkylacetophenones. *Russian Journal of General Chemistry*. 2023. V. 93. N 3. P. 754–759. DOI: 10.1134/S1070363223030337.
20. Rasulov Ch.K., Hasanov A.A., Hasanova G.J., Heydarli G.Z., Rustamov S.T. Polyphenols: general concepts and biological activity. *PPOR*. 2024. V. 25. N 4. P. 3–20. DOI: 10.62972/1726-4685.2024.4.1090.
21. Rasulov Ch.K., Rustamov S.T., Naghiyeva M.V., Gasanova G.J., Heydarli G.Z. Alkylation of phenol and its homologues by cyclic olefins. *Processes of Petrochemistry and Oil Refining*. 2025. V. 26. N 1. P. 264–277. DOI: 10.62972/1726-4685.2025.1.264.
22. Gurbanly U.R., Heydarli G.Z., Hasanov A.A., Rasulov Ch.K. Obtaining arylalkylaceto(benzo)phenones on the basis of arylalkylation products of phenol and 130–190°C fraction of pyrolysis in the presence of KH-30M catalyst. *Processes of petrochemistry and oil refining*. 2023. V. 24. N 3. P. 381–389. DOI: 10.36719/1726-4685/95/381-389.
23. Гасанов А.А., Курбанлы У.Р., Расулов Ч.К., Гейдарли Г.З., Нагиева М.В. Синтез и свойства 2-гидрокси-3-[3(4)-метилциклогексен-3-ил-изопропил]-5-арилалкилацетофенона. *Рос. хим. жс. (Ж. Рос. хим. об-ва)*. 2022. Т. LXVI. № 4. С. 42–48. DOI: 10.6060/rcj.2022664.6.
- Hesenov A.A., Qurbanli U.R., Rasulov Ch.K., Heydarli G.Z., Naghiyeva M.V. Synthesis and properties of 2-hydroxy-3-[3(4)-methylcyclohexen-3-yl-isopropyl]-5-arylalkylacetophenone. *Ros. Khim. Zh.* 2022. V. 66. N 4. P. 42–48. DOI: 10.6060/rcj.2022664.6.
24. Мовсумова А.Х., Расулов Ч.К., Гейдарли Г.З., Гасанова Г.Д. Циклоалкилирование орто-хлорфенола с 1-метилциклоалкенами в присутствии фосфорсодержащего цеолита. *Рос. хим. жс. (Ж. Рос. хим. об-ва)*. 2024. Т. LXVIII. № 3. С. 62–67. DOI: 10.6060/rcj.2024683.10.
- Movsumova A.Kh., Rasulov Ch.K., Heydarli G.Z., Hasanova G.J. Cycloalkylation of orthochlorophenol with 1-methylcycloalkenes in the presence of phosphorus-containing zeolite. *Ros. Khim. Zh.* 2024. V. 68. N 3. P. 62–67. DOI: 10.6060/rcj.2024683.10.
25. Alekperova I.I., Agamaliyev Z.Z., Veliyeva F.M., Rasulov Ch.K. Optimization of phenol cycloalkylation process with cyclohexene in the presence of catalyst KU-23. *Processes of petrochemistry and oil refining*. 2019. V. 24. N 4. P. 424–432.
26. Расулов Ч.К., Азизов А.Г., Мирзоев В.Г., Азимова Р.К., Абасов С.И., Алиева С.З. Каталитическое арилирование и алкилирование фенола компонентами фракции 130 170° С продуктов пиролиза. *Нефтехимия*. 2009. Т. 49. Вып. 5. С. 397–400.
- Rasulov Ch.K., Azizov A.G., Mirzoev V.G., Azimova R.K., Abasov S.I., Alieva S.Z. Catalytic arylation and alkylation of phenol by components of the 130 170° C fraction of pyrolysis products. *Petrochemistry*. 2009. V. 49. N 5. P. 397–400.
27. Расулов Ч.К., Азизов А.Г., Зейналова Л.Б. Синтез 2-гидрокси(циклоалкил)бензилфениламинов. *Процессы нефтехимии и нефтепереработки*. 2019. Т. 29. Вып. 2. С. 11–15.
- Rasulov Ch.K., Azizov A.G., Zeynalova L.B. Synthesis of 2-hydroxy (cycloalkyl)benzylphenylamines. *Petrochemistry and Oil Refining Processes*. 2019. V. 29. N 2. P. 11–15.
28. Расулов Ч.К., Азизов А.Г., Салманова Ч.К., Ахмедбекова С.Ф., Зейналова Л.Б., Мамедова Ф.М. Синтез п-арилфеноламинной смолы и исследование ее действия в качестве антиокислительной добавки к нефтяным люминофорам. *Нефтехимия*. 2006. Т. 46. Вып. 4. С. 306–309.
- Rasulov Ch.K., Azizov A.G., Salmanova Ch.K., Akhmedbekova S.F., Zeynalova L.B., Mamedova F.M. Synthesis of n-arylphenolamine resin and study of its action as an antioxidant additive to petroleum phosphors. *Petrochemistry*. 2006. V. 46. N 4. P. 306–309.
29. Агамалиев З.З., Аббасов В.М., Расулов Ч.К., Назаров И.Г., Рзаева Н.Ш., Нагиева М.В. Синтез пространственно-затрудненных метилциклоалкилфенолов и некоторые особенности реакции аминометилирования их аминоэтилнилимидазолином. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2019. Т. 62. Вып. 2. С. 17–24. DOI: 10.6060/ivkkt.20196202.5786.
- Abbasov V.M., Rasulov Ch.K., Nazarov I.G., Rzayeva N.Sh., Naghiyeva M.V. Synthesis of sterically hindered methylcycloalkylphenols and some features of their aminomethylation reaction with aminoethylnonylimidazoline. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2019. V. 62. N 2. P. 17–24. DOI: 10.6060/ivkkt.20196202.5786.
30. Расулов Ч.К., Агамалиев З.З., Нагиева М.В., Гасанова Г.Д., Гасимова Ф.И. Синтез и свойства 2-гидрокси-5-[1(3)-метилциклоалкил]-бензиламиноэтилнилимидазолинов. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2021. Т. 64. Вып. 4. С. 79–84. DOI: 10.6060/ivkkt.20216404.6265.
- Rasulov Ch.K., Agamaliyev Z.Z., Nagieva M.V., Gasanova G.D., Gasimova F.I. Synthesis and properties of 2-hydroxy-5-[1(3)-methylcycloalkyl]-benzylaminoethylnonylimidazolines. News of higher educational institutions. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2021. V. 64. N 4. P. 79–84. DOI: 10.6060/ivkkt.20216404.6265.
31. Yolchuyeva U.J., Jafarova R.A., Khamiyev M.J., Vakhshouri A.R., Kamiyev G.N. Investigation of photochemical conversion processes in aromatic hydrocarbons of Balakhani oil. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 2021. V. 196. N 1. P. 108089. DOI: 10.1016/j.petrol.2020.108089.
32. Yolchuyeva U.J., Jafarova R.A., Khamiyev M.J., Alimardanova F.N. Investigation of Surakhani light crude oil compounds as a case study using modern spectroscopic techniques. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*. 2024. V. 14. N 1. P. 289–302. DOI:10.1007/s13202-023-01702-6.
33. Akhmedov V.M., Ahmadov I.D., Nurullayev H.G., Ahmadov V.M. Metal-free heterogeneous catalyst for selective hydrogenation of phenylacetylene. *Azerbaijan Chemical Journal*. 2014. N 4. P. 116–118.

Поступила в редакцию (Received) 05.04.2025

Принята к опубликованию (Accepted) 05.08.2025