

**АЦИЛИРОВАНИЕ *n*-(1-МЕТИЛЦИКЛОПЕНТИЛ)ФЕНОЛА АЦЕТИЛХЛОРИДОМ  
В ПРИСУТСТВИИ КАТАЛИЗАТОРА КУ-23****Ч.К. Расулов, Г.З. Гейдарли**

Чингиз Князь оглы Расулов (ORCID-0000-0003-4999-2955), Гюнай Заман гызы Гейдарли (ORCID-0000-0002-1358-1903)

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

E-mail: rchk49@mail.ru, heyderligunay6@gmail.com

*В представленной работе показаны результаты исследований в области ацилирования фенолов и их циклоалкилированных производных ацетилхлоридом в присутствии катализатора КУ-23. Показаны основные закономерности и механизм реакции ацилирования фенолов, факторы, оказывающие влияние на выход и селективность образующихся продуктов реакции. Отмечаются преимущества С- и О-ацилирования фенолов, а также факторы, влияющие на направление реакции ацилирования. Осуществлена реакция ацилирования 1-(метилциклопентил)фенола с использованием ацетилхлорида в качестве ацилирующего агента. Изучено влияние различных кинетических параметров реакции (температуры, мольного соотношения реагентов, продолжительности реакции и количества катализатора) на выход целевого продукта и селективность процесса. Температуру варьировали в пределах 120-160 °С, продолжительность реакции 4-8 ч, мольное соотношение *n*-(1-метилциклопентил)фенол : ацетилхлорид = (1:1)-(1:3), количество катализатора в интервале 5-15% (в расчете на взятый циклопентилфенол). Химическое строение синтезированного соединения подтверждено методами ИК и ЯМР спектроскопического анализа. Определены физико-химические показатели синтезированного 2-гидрокси-5(1-метилциклопентил)ацетофенона. Показано, что эффективными для реакции ацилирования пара-(1-метилциклопентил)фенола ацетилхлоридом в присутствии катализатора КУ-23 можно считать следующие условия: температура 145 °С, время реакции 6 ч, мольное соотношение пара-циклоалкилфенола к ацетилхлориду 1:2 моль, содержание катализатора 10%. В этих условиях выход целевого продукта составляет 70,3%, селективность по целевому продукту – 82,6%.*

**Ключевые слова:** пара-(1-метилциклопентил)фенол, ацетилхлорид, катализатор, КУ-23, ацилирование, циклопентилацетофенон

**ACYLATION OF *p*-(1-METHYLCYCLOPENTYL)PHENOL WITH ACETYL CHLORIDE  
IN THE PRESENCE OF KU-23 CATALYST****Ch.K. Rasulov, G.Z. Heydarli**

Chingiz K. Rasulov (ORCID-0000-0003-4999-2955), Gunay Zaman Haydarli (ORCID-0000-0002-1358-1903)

Institute of Petrochemical Processes named after academician Yu.G. Mamedaliyev Ministry of Science and Education of Azerbaijan, Khojaly Ave., 30, Baku, AZ 1025, Azerbaijan Republic

E-mail: rchk49@mail.ru, heyderligunay6@gmail.com

*The presented work deals with the results of acylation studies of phenols and their cycloalkylated derivatives with acetyl chloride in the presence of the KY-23 catalyst. The main regularities and mechanism of the acylation reaction of phenols, factors influencing the yield and selectivity of the reaction products are shown. The advantages of C- and O-acylation of phenols, as well as factors influencing the direction of the acylation reaction are noted. The acylation reaction of 1-(methylcyclopentyl)phenol was carried out using acetyl chloride as an acylating agent. The influence of various reaction kinetic parameters (temperature, molar ratio of reagents, reaction time*

and amount of catalyst) on the target product yield and the process selectivity was studied. The temperature was varied within the range of 120-160 °C, the reaction duration was 4-8 h, the molar ratio of *p*-(1-methylcyclopentyl)phenol : acetyl chloride = (1:1)-(1:3), the amount of catalyst was in the range of 5-15% (based on the cyclopentylphenol taken). The chemical structure of the synthesized compound was confirmed by IR and NMR spectroscopy. Physicochemical parameters of the synthesized 2-hydroxy-5(1-methylcyclopentyl)acetophenone were determined. It was shown that the following conditions can be considered effective for the acylation reaction of *para*-(1-methylcyclopentyl)phenol with acetyl chloride in the presence of the KY-23 catalyst: temperature 145 °C, reaction time 6 hours, molar ratio of *para*-cycloalkylphenol to acetyl chloride 1:2 mol, catalyst content 10%. Under these conditions, the yield of the target product is 70.3%, the selectivity for the target product is 82.6%.

**Keywords:** *para*-(1-methylcyclopentyl)phenol, acetyl chloride, catalyst, KU-23, acylation, cyclopentylacetophenone

**Для цитирования:**

Расулов Ч.К., Гейдарли Г.З. Ацилирование *n*-(1-метилциклопентил)фенола ацетилхлоридом в присутствии катализатора КУ-23. *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва)*. 2025. Т. LXIX. № 2. С. 43–51. DOI: 10.6060/rcj.2025692.6.

**For citation:**

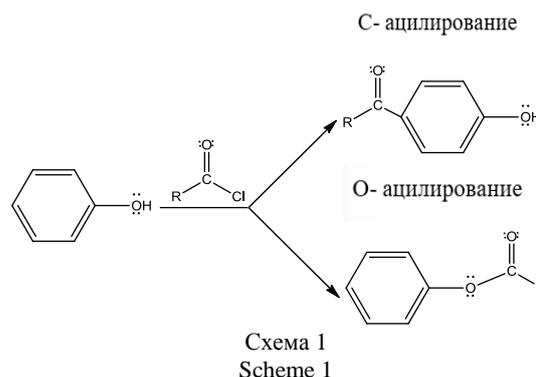
Rasulov Ch.K., Heydarli G.Z. Acylation of *p*-(1-methylcyclopentyl)phenol with acetyl chloride in the presence of KU-23 catalyst. *Ros. Khim. Zh.* 2025. V. 69. N 2. P. 43–51. DOI: 10.6060/rcj.2025692.6.

ВВЕДЕНИЕ

Фенолы и их алкилзамещенные гомологи относятся к нуклеофильным реагентам бидентантного характера, что позволяет им вступать в реакцию ацилирования по двум направлениям. В первом случае имеет место *C*-ацилирование и реакция протекает с участием ароматического кольца с образованием арилкетонов, во втором случае реакционным центром ацилирования является атом кислорода ОН-группы и реакция протекает через *O*-ацилирование с получением сложных эфиров фенола. С точки зрения термодинамического контроля более стабильным продуктом является продукт *C*-ацилирования. Однако с точки зрения кинетического контроля продукт *O*-ацилирования образуется быстрее и поэтому в таких условиях сложные эфиры фенола преобладают над другими продуктами.

Для смещения направления реакции в сторону *O*-ацилирования обычно проводят реакцию в условиях кислотного катализа, сопровождающегося протонированием ацильного агента, приводящего к увеличению его электрофильности. Другим способом преобладания продукта *O*-ацилирования является проведение реакции в условиях основного катализа, при котором происходит депротонирование фенола и увеличение его нуклеофильности.

Обобщая вышесказанное, можно привести общую схему ацилирования фенола и его гомологов (схема 1).



Таким образом, образование продукта реакции ацилирования фенола во многом обуславливается выбором условий реакции. В этом направлении проводятся широкие исследования, результаты которых позволяют осуществлять синтез целевых фенольных производных с заранее заданными свойствами [1-12]. Так, авторы работы [13] сообщают о селективном *O*-ацилировании фенольных соединений для получения фенольных эфиров, которые обладают разнообразными областями применения. В этой работе предложен эффективный, удобный однореакторный метод селективного *O*-ацилирования фенолов при комнатной температуре на воздухе. Впервые в качестве ацилирующих реагентов используются безопасные стабильные органические соли. Реакция была опосредована диэтиламиносульфотрифторидом, который одновременно действовал как активатор для фено-

лов и дезоксифторирующий реагент для органических солей. Фенольные эфиры были почти количественно получены из разнообразного спектра фенолов, включая субстраты, полученные из лигнина.

Синтез фенольных эфиров в реакциях с участием эквимолекулярных количеств фенолов и различных алканоилхлоридов в присутствии водного раствора гидроксида натрия в двухфазной системе (по 20 мл 10% NaOH и дихлорметана, соответственно) повторно исследовали в условиях применения катализаторов фазового перехода (10 ммоль хлорида тетрабутиламония) [14]. Показано, что этерификация завершилась в течение нескольких минут, и полученный эфир имел высокую чистоту. Этот процесс ацилирования протекает в условиях безводной среды. Бимолекулярная электрофильная атака алканоилхлорида против ионной пары в органической фазе, которая образовалась между катионом четвертичного аммония и феноксид-анионом, должна быть стадией, определяющей скорость, поскольку график логарифма относительных констант скорости различных зависимостей алканоилхлоридов от констант полярных заместителей Тафта (с учетом стерических констант  $E_s$ ) показал хорошую линейную зависимость.

Авторы работы [15] отмечают, что выбор растворителя для реакции имеет большое значение в катализе, поскольку он существенно влияет на каталитическую активность, селективность и стабильность. Однако дорогостоящее отделение растворителя от продуктов затрудняет применение растворителей в промышленности. В этом исследовании предложены жидкие металлы для регулирования каталитической эффективности неметаллических цеолитных катализаторов. Каталитические реакции ацилирования фенола на гетерогенном кислотном цеолите ВЕА проводились в присутствии жидких металлических сплавов выше их температур плавления. Присутствие жидких металлов в реакционной среде приводит к резкому изменению селективности в сторону образования эфиров в реакциях ацилирования фенола при высокой стабильности катализатора.

Отмечается [16], что реакции с участием производных фенола и ацилхлоридов протекают в двух направлениях: *O*-ацилирования и *C*-ацилирования (ацилирования Фриделя-Крафтса и перегруппировок Фриса) в кислой среде. Исследована степень протекания этих реакций в трифторметан-

сульфоновой кислоте (TfOH), которая используется в качестве катализатора и растворителя. Для эффективного *O*-ацилирования требовался разбавленный раствор TfOH, для эффективного *C*-ацилирования в мягких условиях – концентрированная TfOH.

В работе [17] коммерчески доступный алюмосиликат ZSM-5 был минимально обработан в качестве катализатора для селективного ацилирования фенолов. ZSM-5 был погружен в нитрат аммония, чтобы заполнить поры кислотой Бренстеда для концентрации каталитических реакций внутри пор. Реакции проводились в жидкой фазе при 383 К. В качестве ацильного субстрата были выбраны уксусная и пропионовая кислоты. Газовая хроматография выявляет два продукта, которые представляют собой фенилацетат и *para*-гидроксиацетофенон, что означает отсутствие *ortho*-продукта. Эта *para*-селективность может быть отнесена к порам ZSM-5, где реакция, как предполагается, происходит посредством межмолекулярного взаимодействия. Это относительно простой метод получения *para*-гидроксиацетофенона, который известен как предшественник парацетамола.

В течение последних лет нами проведены широкие исследования в области ацилирования фенолов ацетил- и бензоилхлоридами в присутствии различных катализаторов [18-29]. В представленной работе осуществлена реакция ацилирования *n*-(1-метилциклопентил)фенола ацетилхлоридом в присутствии катализатора КУ-23.

#### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В качестве исходных компонентов были взяты следующие соединения:

*n*-(1-Метилциклопентил)фенол, который получен алкилированием фенола 1-метилциклопентеном в присутствии катализаторов КУ-23, Цеокар-2 или Цеолит-У, обработанного ортофосфорной кислотой. Он имеет следующие физико-химические показатели: молярная масса 176, температура кипения 147-148 °С (10 мм рт.ст.), температура плавления 88 °С.

Ацетилхлорид имеет следующие физико-химические показатели: молярная масса 78, плотность 1,104 г/мл, температура кипения 52 °С, температура плавления (минус) 112 °С.

КУ-23 катализатор (модификация 10/60 (ГОСТ 20298)), имеющий радиус пор 250-600 Å, содержит до 55-70% воды, термически стабильный

до 170 °С. Поэтому катионит КУ-23 перед использованием нагревают до 110 °С для удаления воды. В процессе ацилирования под воздействием температуры из катализатора удаляются сульфогруппы и на поверхности катализатора собираются смолоподобные соединения; в результате активность катализатора снижается.

Реакцию ацилирования *para*-(1-метилциклопентил)фенола [*n*-(1-МЦПФ)] ацетилхлоридом (АХ) в присутствии катализатора КУ-23 проводили по следующей методике: 17,2 г (0,1 моль) *para*-(1-метилциклопентил)фенола и 10% катализатора КУ-23 (10% на взятый [*n*-(1-МЦПФ)]), помещают в четырехгорлую колбу и нагревают. Когда температура реакции достигает 100 °С, в колбу через капельную воронку добавляют 15,7 г (0,2 моль) АХ.

После добавления АХ температуру реакции повышают до 120-160 °С, и смесь перемешивают еще 4-8 ч. По окончании реакции смесь охлаждают до 60 °С, фильтруют и отделяют от катализатора, добавляют раствор гидроксида натрия и отделяют полученный осадок. Полученный осадок промывают 10% раствором HCl. Затем продукт перегоняют в вакууме, определяют его химическую структуру и физико-химические показатели.

Плотность ( $\rho$ ) синтезированных продуктов определяли методом ASTM D5002 на приборе «DMA 4500M» фирмы «Антон Паар», показатель преломления определяли рефрактометрическим методом на приборе «Аббемат 500» фирмы «Антон Паар».

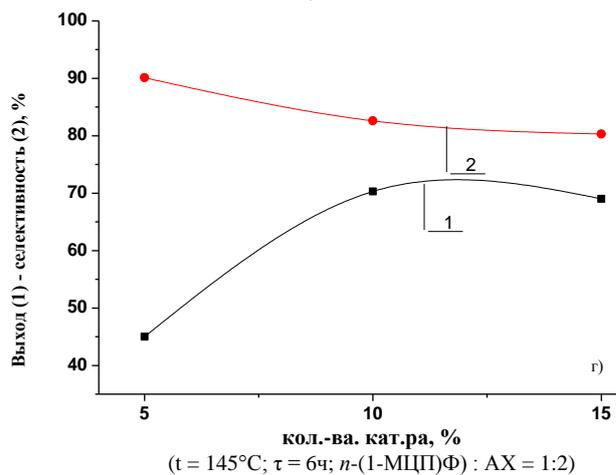
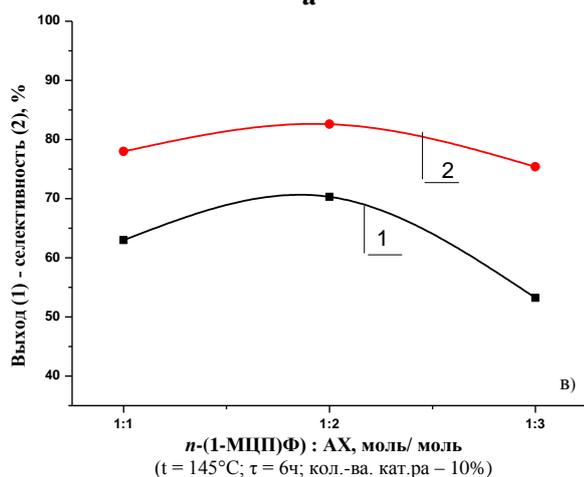
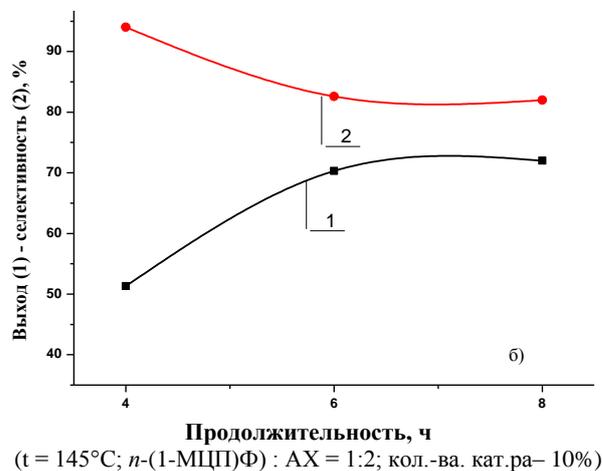
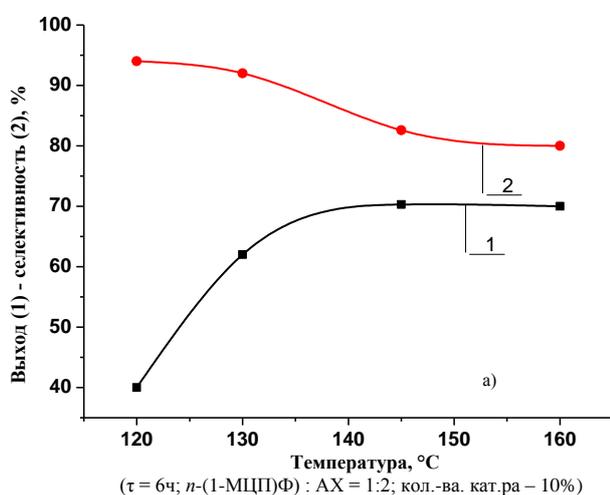


Рис. 1. Кривые зависимости выхода (1) и селективности (2) 2-гидрокси-5(1-метилциклопентил)ацетофенона от температуры (а), времени (б), мольных соотношений исходных компонентов (в) и количества катализатора (г)  
 Fig. 1. Curves of the yield (1) and selectivity (2) of 2-hydroxy-5(1-methylcyclopentyl)acetophenone on temperature (a), time (б), molar ratios of the initial components (в) and the amount of catalyst (г)

ИК спектры исходных и синтезированных соединений записывали с помощью ИК-Фурье-спектрометра АЛЬФА немецкой фирмы «BRUKER» на кристалле Se-Zn, в диапазоне длин волн 600-4000 см<sup>-1</sup>.

Спектры <sup>1</sup>H ЯМР сняты на Фурье-спектрометре немецкой фирмы "BRUKER". Они были записаны с использованием дейтерированного бензола при комнатной температуре и в рабочей частоте 300,18 МГц. Химические сдвиги фрагментов регистрировали относительно тетраметилсилана. Количество протонов фрагментов различного строения было определено путем интегрирования площадей пиков в соответствующих полосах спектров.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Реакция ацилирования *n*-(1-метилциклопентил)фенола ацетилхлоридом в присутствии катализатора КУ-23 протекает по схеме 2:

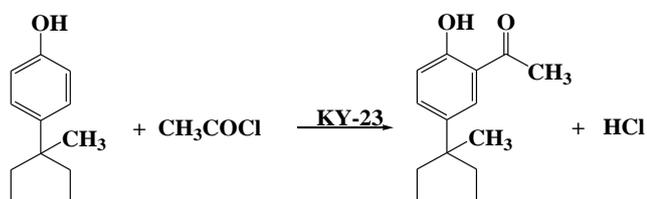


Схема 2  
Scheme 2

На рис. 1 показаны кривые зависимости выхода и селективности синтезированного в присутствии КУ-23 циклопентилацетофенона от некоторых кинетических параметров реакции. Температуру реакции варьируют в пределах 120-160 °С, продолжительность 4-8 ч, мольное соотношение [n-(1-МЦПФ)] : АХ в пределах (1:1)-(1:3) моль, количество катализатора в интервале 5-15% (в расчете на взятый циклопентилфенол).

Как видно из рис. 1(а), при температуре реакции ацилирования 145 °С выход целевого продукта составил 70,3 %. При указанной температуре селективность процесса по целевому продукту составляет 82,6%. Как видно из рис. 1(б), при увеличении времени реакции ацилирования с 4 до 6 ч выход целевого продукта увеличился с 51,3 до 70,3%. При увеличении времени реакции до 8 ч выход и селективность целевого продукта снижаются. Одним из основных кинетических факторов, влияющих на выход и селективность целевого продукта является мольное соотношение исходных веществ, используемых в реакциях ацилирования. Из рис. 1(в) видно, что выход целевого продукта при мольном

соотношении [n-(1-МЦПФ)] : АХ равным 1:2 составляет 70,3%, а селективность – 82,6%. При увеличении концентрации ацетилхлорида в реакционной смеси в 3 раза существенно снижаются выход и селективность целевого продукта: 53,2% и 75,4%, соответственно. Из рис. 1(г) видно, что эффективный выход и селективность по целевому продукту могут быть достигнуты при использовании катализатора КУ-23 в количестве 10%.

Таким образом, эффективными для реакции ацилирования *para*-(1-метилциклопентил)фенола ацетилхлоридом в присутствии катализатора КУ-23 можно считать следующие условия: температура 145 °С, время реакции 6 ч, мольное соотношение *para*-циклоалкилфенола к ацетилхлориду 1:2 моль, содержание катализатора 10%. В этих условиях выход целевого продукта составляет 70,3%, селективность по целевому продукту – 82,6%.

После ректификации и выделения 2-гидрокси-5(1-метилциклопентил)ацетофенона из продуктов ацилирования методами ИК и <sup>1</sup>H ЯМР спектроскопического анализа подтверждено их химическое строение.

На рис. 2 представлен <sup>1</sup>H ЯМР спектр 2-гидрокси-5(1-метилциклопентил)ацетофенона. Синглет в области 1,2 ppm соответствует протонам метильной группы (СН<sub>3</sub>), связанной с четвертичным углеродом. Интенсивный мультиплетный сигнал в области 1,4 ppm подтверждает наличие насыщенного углеводородного кольца циклопентила. Протон гидроксильной группы (ОН) проявляется синглетом в области 8,1 ppm.

В ИК спектре полученного циклопентилацетофенона *para*-замещенному бензольному кольцу соответствуют полосы поглощения при 699, 815, 1505, 1593 см<sup>-1</sup>, а связанной с ним ОН-группе – при 654 и 3220 см<sup>-1</sup>. Пятичленному замещенному циклу соответствуют полосы поглощения 922, 1014, 1063 см<sup>-1</sup> (валентный сдвиг ОН-группы) и 1417, 1445 см<sup>-1</sup> (деформационный сдвиг СН<sub>2</sub>-группы). Полоса 1375 см<sup>-1</sup> относится к деформационным, полосы 2851, 2921 – к валентным колебаниям метильной группы, полоса 3063 см<sup>-1</sup> – метиленовой группе. Связь С=О группы С(О)СН<sub>3</sub> наблюдается в полосах поглощения 1204, 1236, 1268, 1680 см<sup>-1</sup>.

На рис. 3 представлен ИК спектр 2-гидрокси-5-(1-метилциклопентил)ацетофенона.

Полученный 2-гидрокси-5(1-метилциклопентил)ацетофенон испытан в качестве антиоксиданта для дизельного топлива.

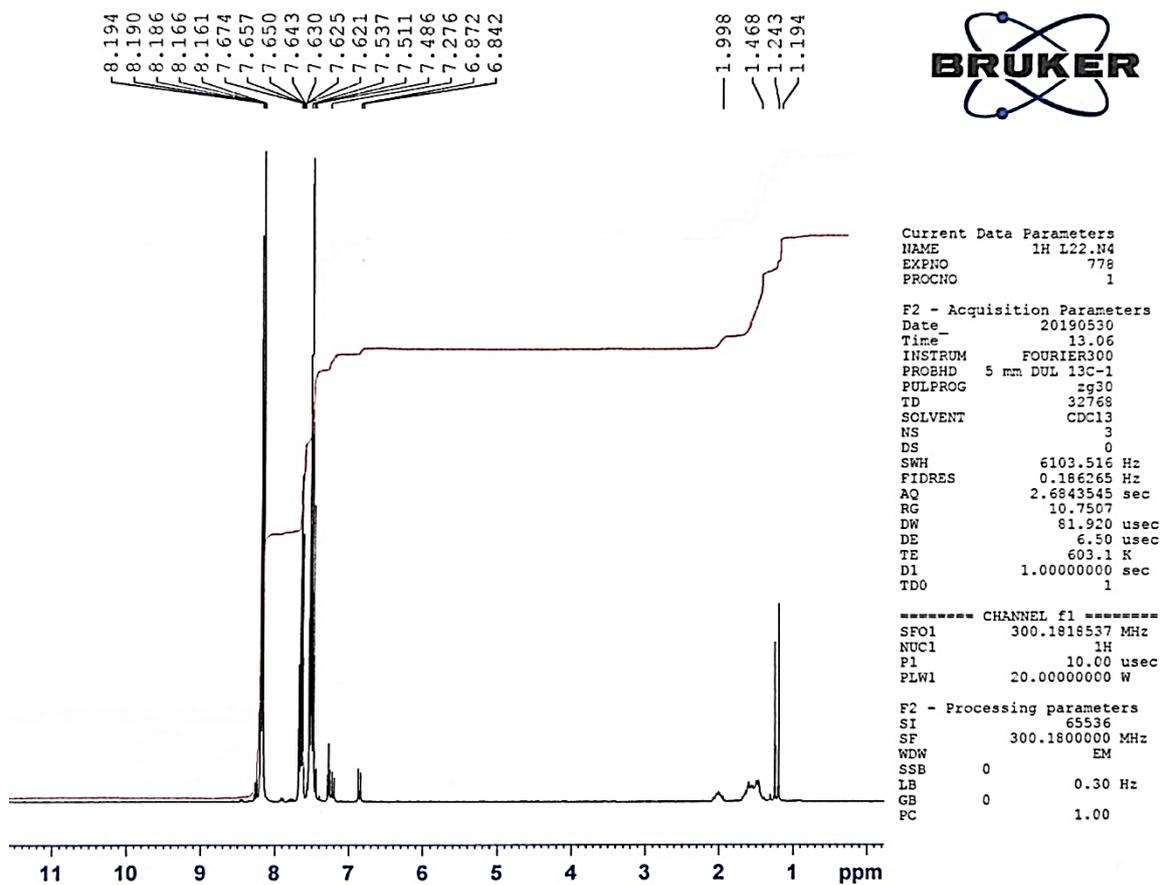


Рис. 2. <sup>1</sup>H ЯМР спектр 2-гидрокси-5(1-метилциклопентил)ацетофенона  
 Fig. 2. <sup>1</sup>H NMR spectrum of 2-hydroxy-5(1-methylcyclopentyl)acetophenone

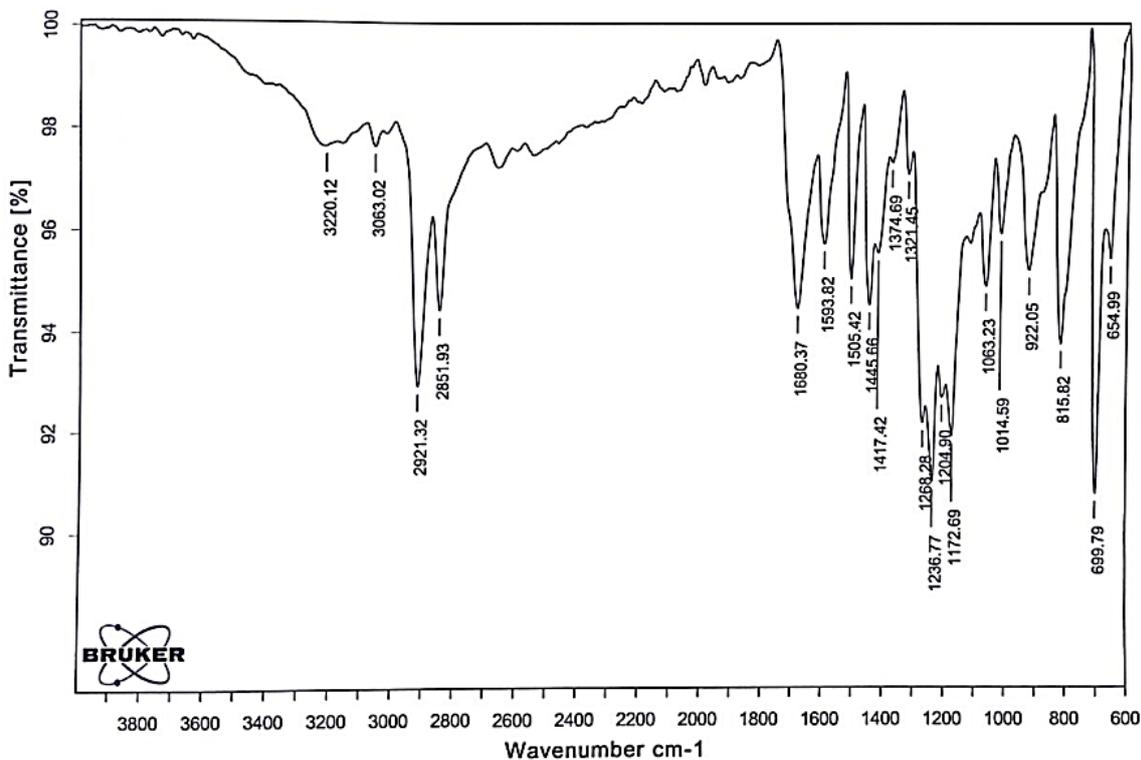
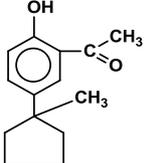


Рис. 3. ИК спектр 2-гидрокси-5(1-метилциклопентил)ацетофенона  
 Fig. 3. IR spectrum of 2-hydroxy-5(1-methylcyclopentyl)acetophenone

Таблица 1

Физико-химические свойства и элементный состав 2-гидрокси-5(1-метилциклопентил) ацетофенона  
Table 1. Physicochemical properties and elemental composition of 2-hydroxy-5(1-methylcyclopentyl)acetophenone

Структурная формула	Эмпирическая формула	Темп. кип., °C/10 мм рт. ст.	Темп. плавл., °C	Молекулярная масса	Элементный состав, %	
					Вычислено	
					С	Н
	C <sub>14</sub> H <sub>18</sub> O <sub>2</sub>	150–152	113,3	218	77,1 76,6	8,2 7,8

## ВЫВОДЫ

1. Осуществлена реакция ацилирования *para*-(1-метилциклопентил)фенола ацетилхлоридом в присутствии катализатора КУ-23. Изучено влияние различных кинетических параметров реакции (температура, мольное соотношение исходных компонентов, время реакции и количество катализатора) на выход целевого продукта и селективность процесса.

2. Найлены оптимальные условия для реакции ацилирования *para*-(1-метилциклопентил)фенола ацетилхлоридом в присутствии катализатора

КУ-23: температура 145 °C, продолжительность реакции 6 ч, мольное соотношение *para*-(1-метилциклопентил)фенола к ацетилхлориду 1:2 моль/моль, количество катализатора 10%. В этих условиях выход целевого продукта составляет 70,3%, селективность по целевому продукту – 82,6%.

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

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.

## ЛИТЕРАТУРА

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. *ChemistrySelect*. 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. V. 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.*

## 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. *ChemistrySelect*. 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. V. 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.

- 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.
  12. **Коробицына Л.Л., Величкина Л.М., Будаев Ж.Б., Шоллидодов 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.
  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
  19. **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.
  20. **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.
  21. **Gurbanly U.R., Haydarli G.Z., Hasanov A.A., Rasulov Ch.K.** Obtaining arylalkylaceto(benzo)phenones on the basis of
  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. **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. **Korobitsyna L.L., Velichkina L.M., Budaev Zh.B., Sholidodov 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. **Haydarli 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. **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.
  20. **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.

- 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.
22. **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. *Российский химический журнал*. 2022. Т. 66. № 4. С. 42-48. DOI: 10.6060/rcj.2022664.6.
  23. **Гейдарли Г.З., Мовсумова А.Х., Расулов Ч.К., Гасанова Г.Д.** Циклоалкилирование орто-хлорфенола с 1-метилциклоалкенами в присутствии фосфорсодержащего цеолита. *Российский химический журнал*. 2022. Т. 68. № (3). С. 62-67. DOI: 10.6060/rcj.2024683.10.
  24. **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.
  25. **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 °C продуктов пиролиза. *Нефтехимия*. 2009. Т. 49. № (5). С. 397-400.
  26. **Расулов Ч.К., Азизов А.Г., Зейналова Л.Б.** Синтез 2-гидрокси (циклоалкил) бензилфениламинов. *Процессы нефтехимии и нефтепереработки*. 2019. Т. 2. № 29. С. 11-15.
  27. **Расулов Ч.К., Азизов А.Г., Салманова Ч.К., Ахмедбекова С.Ф., Зейналова Л.Б., Мамедова Ф.М.** Синтез парилфеноламинной смолы и исследование ее действия в качестве антиокислительной добавки к нефтяным люминофорам. *Нефтехимия*. 2006. Т. 46. № 4. С. 306-309.
  28. **Abbasov V.M., Rasulov Ch.K., Nazarov I.G., Rzayeva N.Sh., Naghiyeva M.V.** Synthesis of sterically hindered methyl-cycloalkylphenols 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.
  29. **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.
  21. **Gurbanly U.R., Haydarli 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.
  22. **Gasanov A.A., Kurbanli U.R., Rasulov Ch.K., Heydarli G.Z., Nagieva M.V.** Synthesis and properties of 2-hydroxy-3[3(4)-methylcyclohexen-3-yl-isopropyl]-5-arylalkylacetophenone. *Russian Chemical Journal*. 2022. V. 66. N 4. P. 42-48. DOI: 10.6060/rcj.2022664.6.
  23. **Heydarli G.Z., Movsumova A.Kh., Rasulov Ch.K., Gasanova G.D.** Cycloalkylation of ortho-chlorophenol with 1-methylcycloalkenes in the presence of phosphorus-containing zeolite. *Russian Chemical Journal*. 2022. V. 68. N 3. P. 62-67. DOI: 10.6060/rcj.2024683.10.
  24. **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.
  25. **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.
  26. **Rasulov Ch.K., Azizov A.G., Zeynalova L.B.** Synthesis of 2-hydroxy (cycloalkyl) benzylphenylamines. *Petrochemistry and Oil Refining Processes*. 2019. V. 2. N 29. P. 11-15.
  27. **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.
  28. **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.
  13. **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.

Поступила в редакцию 03.02.2025  
Принята к опубликованию 11.03.2025

Received 03.02.2025  
Accepted 11.03.2025