

СИНТЕЗ И АНТИКОРРОЗИОННЫЕ СВОЙСТВА АЛКИЛАРИЛОВЫХ МОНОЭФИРОВ**Ю.Г. Борисова, В.А. Войнов, Р.М. Султанова, Г.З. Раскильдина, С.С. Злотский**

Юлианна Геннадьевна Борисова (ORCID 0000-0001-6452-9454), Виктор Алексеевич Войнов (ORCID 0009-0005-9749-4338), Римма Марсельевна Султанова (ORCID 0000-0001-6719-2359), Семен Соломонович Злотский ORCID 0000-0001-6365-5010)

Уфимский государственный нефтяной технический университет, ул. Космонавтов, 1, Уфа, Российская Федерация, 450064

E-mail: yulianna_borisova@mail.ru*, viktor-voinov777@mail.ru, rimmams@yandex.ru, nocturne@mail.ru

Гульнара Зинуровна Раскильдина (ORCID 0000-0001-9770-5434)

Уфимский государственный нефтяной технический университет, ул. Космонавтов, 1, Уфа, Российская Федерация, 450064

Академия наук Республики Башкортостан, ул. Кирова, 15, Уфа, Российская Федерация, 450008

E-mail: graskildina444@mail.ru

Взаимодействием стирола и диолов различного строения (1,3-пропандиола, 2-метил-1,3-пропандиола, 2,2-диметил-пропандиола-1,3 и цис-1,4-бутендиола-2) с использованием автоклава (30 атм.) в присутствии сильнокислотного промышленного катионита BENJION DVC-8 UPS синтезированы в термических условиях новые алкилариловые моноэфиры (3-(1-фенилэтокси)пропан-1-ол, 2-метил-3-(1-фенилэтокси)пропан-1-ол, 2,2-диметил-3-(1-фенилэтокси)пропан-1-ол, (2Z)-4-(1-фенилэтокси)бут-ен-1-ол). Определены условия, обеспечивающие препаративное выделение целевых соединений с количественными выходами. Установлено, что за 6ч при 120 °С и 5-и кратном избытке диола по отношению к олефину происходит селективное образование целевых моноэфиров соответствующих диолов с выходом 90-99%. Методами ядерно-магнитного резонанса (ЯМР) и хромато-масс-спектрометрии (ХМС) изучены структуры полученных соединений. Образование эфиров доказано наличием сигналов в слабой области при δ_{H} 4,41-4,48 м.д. (КССВ 4,95-6,46 Гц и 11,51-12,93 Гц) соответствующих протону метиновой группы, сопряженному с метильным и ароматическим фрагментами. Анализ масс-спектров полученных эфиров показал, что максимальную интенсивность проявляет катион $\text{C}_6\text{H}_5\text{C}\equiv\text{O}^+$. Также для эфиров в масс-спектрах регистрировалось наличие катионов $[\text{M}-\text{CH}_3]^+$, образованных в результате элиминирования метильной группы из молекулярного катион-радикала. Была оценена антикоррозионная активность полученных эфиров в модельной агрессивной среде (ГОСТ 9.502-82). Скорость электрохимической коррозии образцов из стали марки Ст3 определяли с помощью индикатора коррозии «Монитор – 2М». Установлено, что производные алканолов 3-(1-фенилэтокси)пропан-1-ол, 2-метил-3-(1-фенилэтокси)пропан-1-ол и 2,2-диметил-3-(1-фенилэтокси)пропан-1-ол защитными способностями от кислотной коррозии практически не обладают (коэффициент торможения 1,05-1,11). Некоторую антикоррозионную активность проявил 2Z-4-(1-фенилэтокси)бут-ен-1-ол, степень защиты которого составила 49% (коэффициент торможения = 1,98).

Ключевые слова: стирол, диол, катионит, коррозия

Для цитирования:

Борисова Ю.Г., Войнов В.А., Султанова Р.М., Раскильдина Г.З., Злотский С.С. Синтез и антикоррозионные свойства алкилариловых моноэфиров. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2025. Т. 68. Вып. 12. С. 34–40. DOI: 10.6060/ivkkt.20256812.7247.

For citation:

Borisova Yu.G., Voinov V.A., Sultanova R.M., Raskil'dina G.Z., Zlotskii S.S. Synthesis and anticorrosive properties of alkyl aryl monoethers. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2025. V. 68. N 12. P. 34–40. DOI: 10.6060/ivkkt.20256812.7247.

SYNTHESIS AND ANTICORROSIVE PROPERTIES OF ALKYL ARYL MONOETHERS

Yu.G. Borisova, V.A. Voinov, R.M. Sultanova, G.Z. Raskil'dina, S.S. Zlotskii

Yulianna G. Borisova (ORCID 0000-0001-6452-9454), Viktor A. Voinov (ORCID 0000-0002-3163-882X), Rimma M. Sultanova (ORCID 0000-0001-6719-2359), Simon S. Zlotskii (ORCID 0000-0001-6365-5010)

Ufa State Petroleum Technological University, Kosmonavtov st, 1, Ufa, 450064, Russia

E-mail: yulianna_borisova@mail.ru*, viktor-voinov777@mail.ru, rimmams@yandex.ru, nocturne@mail.ru

Gul'nara Z. Raskil'dina (ORCID 0000-0001-9770-5434)

Ufa State Petroleum Technological University, Kosmonavtov st, 1, Ufa, 450064, Russia

Academy of Sciences of Republic of Bashkortostan, Kirov st., 15, Ufa, 450008, Russia

E-mail: graskildina444@mail.ru

New alkylaryl monoethers (3-(1-phenylethoxy)propan-1-ol, 2-methyl-3-(1-phenylethoxy)propan-1-ol, 2,2-dimethyl-3-(1-phenylethoxy)propan-1-ol, (2Z)-4-(1-phenylethoxy)but-en-1-ol) were synthesized under thermal conditions by the interaction of styrene and diols of various structures (1,3-propanediol, 2-methyl-1,3-propanediol, 2,2-dimethyl-1,3-propanediol, and cis-1,4-butenediol-2) using an autoclave (30 atm.) in the presence of strongly acidic industrial cation exchanger BENJION DVC-8 UPS. Conditions ensuring preparative isolation of the target compounds in quantitative yields were determined. It was found that selective formation of target monoesters of the corresponding diols with a yield of 90-99% occurred in 6 h at 120 °C and a 5-fold excess of diol relative to olefin. The structures of the obtained compounds were studied by nuclear magnetic resonance (NMR) and chromatograph mass spectrometry (GC-MS). The formation of esters was proven by the presence of signals in the weak region at δ_H 4.41-4.48 ppm (SSCC 4.95-6.46 Hz and 11.51-12.93 Hz) corresponding to the proton of the methine group conjugated with the methyl and aromatic fragments. Analysis of the mass spectra of the obtained esters showed that the $C_6H_5C\equiv O^+$ cation exhibits the maximum intensity. The mass spectra of the esters also showed the presence of $[M-CH_3]^+$ cations formed by eliminating the methyl group from the molecular cation radical. The anticorrosive activity of the esters obtained was assessed in a model aggressive environment (GOST 9.502-82). The rate of electrochemical corrosion of St3 steel samples was determined using the Monicor-2M corrosion indicator. It was found that the alkanol derivatives 3-(1-phenylethoxy)propan-1-ol, 2-methyl-3-(1-phenylethoxy)propan-1-ol and 2,2-dimethyl-3-(1-phenylethoxy)propan-1-ol have virtually no protective properties against acid corrosion (inhibition coefficient 1.05-1.11). Some anticorrosive activity was demonstrated by 2Z-4-(1-phenylethoxy)but-en-1-ol, the degree of protection of which was 49% (inhibition coefficient = 1.98).

Keywords: styrene, diol, cationite, corrosion

ВВЕДЕНИЕ

В современном органическом синтезе широко используются окси- и алкоксиалкил-ароматические соединения [1-4], на основе которых описано получение ряда биологически активных веществ [5, 6]. Алкоксиалкиларены и их аналоги обладают антиокислительным действием и способны тормозить кислотную коррозию металлов [7-9]. Также эти соединения могут выступать в качестве активных компонентов противоизносных присадок к дизельным топливам [10].

Основным промышленным методом получения данных веществ является кислото-катализируемое присоединение спиртов и полиолов по кратным связям олефинов различного строения [11, 12].

В предыдущей работе [13] мы рассмотрели конденсацию одноатомных спиртов с алкениларенами на катионообменных смолах. Продолжая изучение этой реакции, мы осуществили присоединение диолов различного строения к стирулу в присутствии промышленного катионита BENJION DVC-8

UPS и оценили антикоррозионную активность полученных моноэфиров.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Анализ реакционных масс и запись масс-спектров соединений осуществляли на аппаратно-программном комплексе «Хроматэк-Кристалл 5000М» (ЗАО СКБ «Хроматэк», Россия) с установленной базой NIST MS Search 2020 (National Institute of Standards and Technology, США). Условия анализа: капиллярная кварцевая колонка длиной 30 м, длительность анализа – 20 мин, температура источника ионов – 260 °С, температура переходной линии – 300 °С, диапазон сканирования – 30–300 Да, давление – 37–43 мТорр, газ-носитель – гелий, скорость нагрева – 20 град/мин. Для получения масс-спектров соединений использовали метод ионизации электронным ударом. Спектры ядерного магнитного резонанса (ЯМР) ^1H и ^{13}C регистрировали на спектрометре «Bruker AM-500» (Bruker Corporation, США) с рабочими частотами 500 и 125 МГц, соответственно; растворитель – CDCl_3 . Химические сдвиги приведены по шкале δ (м.д.) относительно тетраметилсилана как внутреннего стандарта. Константы спин-спиновой взаимодействия (J) приведены в Гц.

Общая методика получения эфиров (схемы 1–3)

Смесь 0,1 моль олефина **1**, 0,5 моль спирта **2**, **5–7** и 10 % масс. катионита BENJION DVC 8 UPS перемешивали при 120–150 °С в автоклаве (30 атм.). По окончании реакции (контроль по ГЖХ, до полной конверсии олефина **1**) автоклав охлаждали и вскрывали ампулу. Реакционную массу отделяли от катализатора фильтрованием, остаток перегоняли в вакууме.

3-(1-фенилэтокси)пропан-1-ол 3. Выход 99%. Ткип. = 98–99 °С (2 мм рт. ст.). Спектр ^1H ЯМР, δ , м. д. (J , Гц): 1,45 д (3H, CH_3 , $J = 6,49$ Гц), 1,75–1,85 м (2H, CH_2), 3,48 к (2H, CH_2 , $J = 3,23$, 6,07 Гц), 3,75 т (2H, CH_2 , $J = 5,76$ Гц), 4,42 к (1H, CH, $J = 6,46$, 12,93 Гц), 7,25–7,40 м (4H, 4CH). ^{13}C ЯМР, $\delta_{\text{с}}$, м.д.: 24,07 (CH_3), 32,24 (CH_2), 61,70 (CH_2), 67,56 (CH_2), 78,47 (CH), 126,10 (2 CH), 127,53 (CH), 128,51 (2 CH), 143,59 (C). Масс-спектр m/z , ($I_{\text{отн}}$, %): 180,66/<1, 165,13/20, 122,11/5, 121,11/75, 107,10/85, 105,11/100, 91,11/30, 79,09/80, 77,07/65, 59,11/20, 43,08/30.

1,1-[пропан-1,3-диилбис(оксиэтан-1,1-диил)]дибензен 4. Выход 34%*. Масс-спектр m/z , ($I_{\text{отн}}$, %): 284,29/<1, 269,39/3, 180,66/<1, 165,13/20,

122,11/5, 121,11/75, 107,10/85, 105,11/100, 91,11/30, 79,09/80, 77,07/65, 59,11/20, 43,08/30.

2-метил-3-(1-фенилэтокси)пропан-1-ол 8. Выход 95%. Ткип. = 111–112 °С (2 мм рт. ст.). Спектр ^1H ЯМР, δ , м. д. (J , Гц): 0,85 д (3H, CH_3 , $J = 1,91$, 6,97 Гц), 1,46 д (3H, CH_3 , $J = 6,51$ Гц), 2,01–2,10 м (1H, CH), 3,28 д (1H, CH_a , $J = 5,13$, 8,87 Гц), 3,44 к (1H, CH_b , $J = 4,72$, 9,33 Гц), 4,41 к (1H, CH, $J = 4,95$, 11,51, Гц), 7,28–7,40 м (4H, 4CH). ^{13}C ЯМР, $\delta_{\text{с}}$, м.д.: 13,56 (CH_3), 24,04 (CH_3), 35,76 (CH), 67,81 (CH_2), 73,87 (CH_2), 78,82 (CH), 126,11 (2 CH), 127,54 (CH), 128,50 (2 CH), 143,56 (C). Масс-спектр m/z , ($I_{\text{отн}}$, %): 194,17/<1, 179,18/5, 122,15/3, 121,13/40, 107,12/50, 105,13/100, 91,10/15, 79,08/25, 77,11/30, 43,09/25.

2,2-диметил-3-(1-фенилэтокси)пропан-1-ол 9. Выход 97%. Ткип. = 110–111 °С (2 мм рт. ст.). Спектр ^1H ЯМР, δ , м. д. (J , Гц): 1,00 с (6H, 2 CH_3), 1,48 д (3H, CH_3 , $J = 6,51$ Гц), 3,21 д (1H, CH_a , $J = 2,43$ Гц), 3,51 т (2H, CH_2 , $J = 13,07$ Гц), 3,71 д (1H, CH_b , $J = 1,77$ Гц), 4,43 к (1H, CH, $J = 6,44$, 12,85 Гц), 7,27–7,45 м (4H, 4CH). ^{13}C ЯМР, $\delta_{\text{с}}$, м.д.: 21,56 (2 CH_3), 24,61 (CH_3), 36,16 (C), 67,07 (CH_2), 71,75 (CH_2), 78,85 (CH), 126,19 (2 CH), 127,07 (CH), 128,52 (2 CH), 143,68 (C). Масс-спектр m/z , ($I_{\text{отн}}$, %): 208,12/1, 198/30, 122,07/25, 121,03/80, 107,03/75, 105,00/100, 91,00/70, 79,02/60, 77,01/70, 43,08/45.

(2Z)-4-(1-фенилэтокси)бут-ен-1-ол 10. Выход 90%. Ткип. = 126–127 оС (2 мм рт. ст.). Спектр ^1H ЯМР, δ , м. д. (J , Гц): 1,47 д (3H, CH_3 , $J = 6,47$ Гц), 3,95 д (2H, CH_2 , $J = 6,09$ Гц), 4,13 д (2H, CH_2 , $J = 5,67$ Гц), 4,48 к (1H, CH, $J = 6,41$, 12,86 Гц), 5,72 к (1H, CH_a , $J = 5,19$, 12,36 Гц), 5,81 к (1H, CH_b , $J = 6,33$, 12,51 Гц), 7,26–7,40 м (4H, 4CH). ^{13}C ЯМР, $\delta_{\text{с}}$, м.д.: 24,09 (CH_3), 58,58 (CH_2), 64,08 (CH_2), 77,76 (CH), 126,27 (2 CH), 127,50 (CH), 128,02 ($\text{CH}=\text{CH}$), 128,43 ($\text{CH}=\text{CH}$), 128,54 (2 CH), 143,45 (C). Масс-спектр m/z , ($I_{\text{отн}}$, %): 192,08/1, 177,08/5, 122,07/2, 121,07/20, 107,06/65, 105,05/100, 91,03/20, 79,05/65, 77,01/50, 43,04/50.

Методика определения антикоррозионной активности веществ в сероводородсодержащей среде

Для исследования антикоррозионной активности веществ был использован электрохимический метод. Электрохимический анализ проводился на анализаторе скорости коррозии «Монитор-2М». Прибор включает в себя два электрода, выполненных из стали марки Ст3. Перед началом проведения испытаний поверхность стальных

* Диэфир 4 из реакционной массы выделен не был. Его строение установлено на основании полученного масс-спектра.

электродов шлифовалась шлифовальной бумагой №180, затем №240 в направлении длины электродов. Подготовленные образцы электродов обезжиривались с помощью ацетона непосредственно перед проведением испытания. Далее проводилась активация данных электродов посредством трех-этапной промывки. Исследуемое вещество (объем 0,25 мл) растворяли в 25 мл этилового спирта. Ячейки цилиндрические лабораторные заполняли рассчитанным количеством 3% раствора хлорида натрия и продували в течение 30 мин азотом. После продувки в среду вливали рассчитанное количество сероводородной воды и 1,25 мл растворенного в спирте вещества. Далее погружали электроды в электрохимическую ячейку, предварительно заполненную испытуемой средой, и проводили определение скорости коррозии в течение 60 мин. Для получения достоверных данных проводили параллельные испытания 2 ячеек с одинаковой средой и вычисляли средние арифметические значения скоростей коррозии.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Мы изучили присоединение стирола **1** к 1,3-пропандиолу **2** в присутствии катионообменной смолы – сильнокислотного катионита BENJION DVC-8 UPS.

За 6ч при 120 °С и 5-и кратном избытке диола **2** по отношению к олефину **1** происходит селективное образование целевого моноэфира **3** с выходом 99% (схема 1).

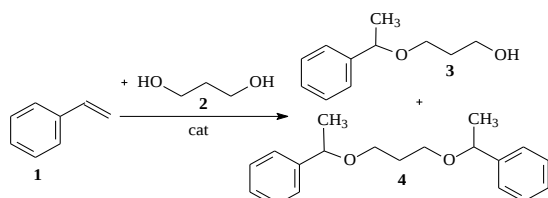


Схема 1
Scheme 1

При эквимольных соотношениях стирол **1** : диол **2** в реакционной массе присутствует как моноэфир **3**, так и диэфир **4** в соотношении **3** : **4** = 1 : 1, а также продукты полимеризации стирола **1**. Отметим, что варьирование продолжительности реакции от 2 ч до 5 ч и температуры процесса от 60 °С до 120 °С не оказало положительного влияния на выход и селективность образования эфиров **3** и **4**.

В этих же условиях была проведена конденсация стирола **1** с 2-метил-1,3-пропандиолом **5**, 2,2-диметил-пропандиолом-1,3 **6**, *цис*-1,4-бутендиолом-2 **7** (схема 2).

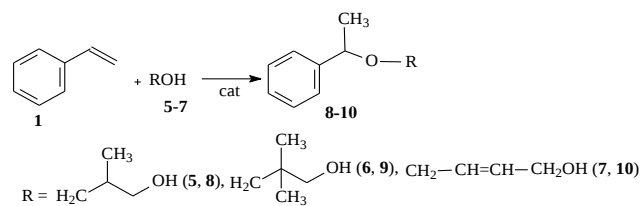


Схема 2
Scheme 2

Мы установили, что при 120 °С за 6ч в реакции стирола **1** с 5-и кратным избытком спиртов **5-7** образуются соответствующие моноэфиры **8-10**. Конверсия **1** при этом составляет 100%, а селективность образования эфиров **8-10** достигает 99% (табл. 1).

Таблица 1

Условия синтеза и выход (%) эфиров **3, 8-10**
Table 1. Synthesis conditions and yield (%) of esters **3, 8-10**

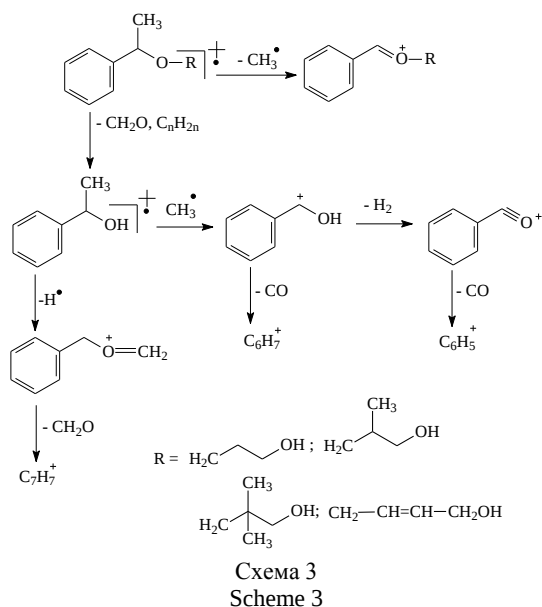
Исходные реагенты	Продукт реакции	t, ч	T, °C	Выход, %
1	2	6	120	99
	5			95
	6			97
	7			90

Строение моноэфиров **3, 8-10** подтверждается спектроскопией ¹H, ¹³C ЯМР, а также масс-спектрами.

Анализ спектров ¹H ЯМР эфиров **3, 8-10** показал, что общие характеристичные сигналы протонов метильной группы регистрируются в сильной области при δ_H 1,45-1,48 м.д. (КССВ 6,49-6,51 Гц). Присутствие в спектрах ¹H ЯМР сигналов в слабой области при δ_H 4,41-4,48 м.д. (КССВ 4,95-6,46 Гц и 11,51-12,93 Гц) указывает на наличие протона метиновой группы, сопряженного с метильным и ароматическим фрагментами. Отметим, что спектр ¹H ЯМР эфира **10** содержит квартетные сигналы при δ_H 5,72 м.д. (КССВ 5,19 Гц, 12,36 Гц) и при δ_H 5,81 к (КССВ 6,33 Гц, 12,51 Гц) что соответствует сигналам протонов при углеродах двойной связи и подтверждает сохранение *цис*-конфигурации.

Отличительной особенностью спектров ¹³C ЯМР молекул **3, 8-10** является наличие сигнала углерода метильной группы в сильной области δ_C 24,07-24,61 м.д. и углерода метиновой группы, смежной с метильным и ароматическим фрагментами при δ_C 77,76-78,85 м.д.

Анализ масс-спектров эфиров **3, 8-10** показывает, что максимальную интенсивность в моноалкиларильных эфирах проявляет катион C₆H₅C≡O⁺ (схема 3).



Для эфиров **3**, **8-10** в масс-спектрах регистрировалось наличие катионов $[\text{M}-\text{CH}_3]^+$, образованных в результате элиминирования метильной группы из молекулярного катион-радикала. Интенсивность сигнала катиона $[\text{M}-\text{CH}_3]^+$ при этом не превышала 25%. В результате отщепления из молекулярного катион-радикала молекул CH_2O и олефина в масс-спектрах эфиров **6-9** наблюдалось образование иона с $m = 122$, содержащего OH -группу в β -положении относительно ароматического кольца, который в результате перегруппировки и элиминирования радикала $\text{H}^\bullet$ образует катион с $m = 121$ с интенсивностью от 20 до 80%. Для арилалкиловых эфиров характерно наличие тропилиевого C_7H_7^+ катиона, образование которого возможно в результате отщепления из катиона с $m = 121$ молекулы формальдегида. Элиминированием из катиона с $m = 122$ радикала $\text{CH}_3^\bullet$ был зарегистрирован катион $[\text{C}_6\text{H}_5\text{CHON}]^+$, который в результате собственной ему фрагментации и отщеплению молекулы CO образовал катион C_6H_7^+ .

Известно [14-17], что в качестве ингибиторов коррозии могут применяться простые и сложные эфиры, амины, линейные или циклические ацетали. Нами была оценена антикоррозионная активность полученных эфиров **3**, **8-10** в модельной агрессивной среде (ГОСТ 9.502-82).

ЛИТЕРАТУРА

1. Ke F., Li Z., Xiang H., Zhou X. Catalytic hydroalkoxylation of alkenes by iron(III) catalyst. *Tetrahed. Lett.* 2011. V. 52. N 2. P. 318–320. DOI: 10.1016/j.tetlet.2010.11.036
2. Zhang X., Corma A. Efficient addition of alcohols, amines and phenol to unactivated alkenes by AuIII or PdII stabilized by CuCl_2 . *Dalton Trans.* 2008. V. 3. P. 397–403. DOI: 10.1039/B714617E.

Скорость электрохимической коррозии образцов из стали марки Ст3 определяли с помощью индикатора коррозии «Монитор – 2М». Продолжительность анализа составляла 60 мин. Результаты проведенных испытаний представлены в табл. 2.

Таблица 2

Значения степени защиты и коэффициент торможения веществ **3**, **8-10** в модельной среде

Table 2. Values of the degree of protection and the inhibition coefficient of substances **3**, **8-10** in a model environment

Номер соединения	Скорость коррозии, мм/г	Степень защиты, %	Коэффициент торможения
Без ингибитора	0,511	-	-
3	0,483	5	1,05
8	0,471	7	1,08
9	0,457	10	1,11
10	0,257	49	1,98

Таким образом, найдено, что производные алканолов **3**, **8**, **9** защитными способностями от коррозии практически не обладают (коэффициент торможения 1,05-1,11). Некоторую антикоррозионную активность проявило соединение **10**, степень защиты которого составила 49% (коэффициент торможения = 1,98). Полагаем, что наличие двойной $\text{C}=\text{C}$ связи в производном *цис*-бутендиола-1,4 повышает его способность адсорбироваться на поверхности металла, что увеличивает защитный антикоррозионный эффект [18-20].

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена в рамках проекта «Синтез четвертичных аммониевых солей, обладающих биоцидным действием каталитическим превращением CH -кислот, кетонов и полиолов».

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

The work was carried out within the framework of the project "Synthesis of quaternary ammonium salts with biocidal action by catalytic conversion of CH -acids, ketones and polyols".

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

REFERENCES

1. Ke F., Li Z., Xiang H., Zhou X. Catalytic hydroalkoxylation of alkenes by iron(III) catalyst. *Tetrahed. Lett.* 2011. V. 52. N 2. P. 318–320. DOI: 10.1016/j.tetlet.2010.11.036
2. Zhang X., Corma A. Efficient addition of alcohols, amines and phenol to unactivated alkenes by AuIII or PdII stabilized by CuCl_2 . *Dalton Trans.* 2008. V. 3. P. 397–403. DOI: 10.1039/B714617E.

3. Борисова Ю.Г., Мусин А.И., Войнов А.В., Спирихин Л.В., Султанова Р.М., Раскильдина Г.З., Злотский С.С. Щелочной алкоголиз 2-фенил-гем-дихлорциклопропана в условиях микроволнового излучения. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2024. Т. 67. Вып. 11. С. 15-21. DOI: 10.6060/ivkkt.20246711.7046.
4. Dao V.T., Dowd M.K., Martin M.T., Gaspard C., Mayer M., Michelot R.J. Cytotoxicity of enantiomers of gossypol Schiff's bases and optical stability of gossypolone. *Eur. J. Med. Chem.* 2004. V. 39. N 7. P. 619–624. DOI: 10.1016/j.ejmech.2004.04.001.
5. Rosero-Hernández E.D., Moraga J., Collado I.G., Echeverri F. Natural compounds that modulate the development of the fungus botrytis cinerea and protect solanum lycopersicum. *Plants*. 2019. V. 8. N 5. P. 111. DOI: 10.3390/plants8050111.
6. Belsito D., Bickers D., Bruze M., Calow P., Dagli M., Fryer A.D., Sipes I.G. A toxicologic and dermatologic assessment of cinnamyl phenylpropyl materials when used as fragrance ingredients. *Food Chem. Toxicol.* 2011. V. 49. P. 256-267. DOI: 10.1016/j.fct.2011.07.053.
7. Латыпова Ф.Н., Вильданов Ф.Ш., Чанышев Р.Р., Злотский С.С. Химия циклических ацеталей и их аналогов в работах научной школы Д.Л. Рахманкулова. *Изв. вузов. Хим. и хим. технология*. 2015. Т. 58. Вып. 8. С. 3–21.
8. Raskil'dina G.Z., Sultanova R.M., Zlotskii S.S. gem-Dichlorocyclopropanes and 1,3-dioxacyclanes: synthesis based on petroleum products and use in low-tonnage chemistry. *Rev. Adv. Chem.* 2023. V. 13. P. 15–27. DOI: 10.1134/S2634827623700150.
9. Sultanova R.M., Borisova Yu.G., Khusnutdinova N.S., Raskil'dina G.Z., Zlotskii S.S. 1,3-Dioxacyclanes: synthesis based on petrochemicals, chemical transformations, and applications. *Russ. Chem. Bull.* 2023. V. 72. N 10. P. 2297-2318. DOI: 10.1007/s11172-023-4027-3.
10. Джумаев Ш.Ш., Сахабутдинова Г.Н., Станкевич К.Е. Синтез некоторых гетероциклических соединений на основе спиртов и исследование их влияния на смазывающую способность дизельного топлива. *Башкир. хим. журн.* 2023. Т. 30. Вып. 2. С. 85-88
11. Раскильдина Г. З., Григорьева Н. Г., Кутепов Б.И., Злоцкий С.С., Зайков Г.Е. Совершенствование процессов в химии и химико-технологических исследованиях. *Apple Academic Press Inc.; CRC Press Taylor & Francis Group*. 2016. С. 163-174.
12. Oparina L.A., Kolyvanov N.A., Ganina A.A., D'yachkova S.G. Aryl butyl acetals as oxygenate octane-enhancing additives for motor fuels. *Pet. Chem.* 2020. V. 60. N 1. P. 134-139. DOI: 10.1010.31857/S0028242120010104.
13. Борисова Ю.Г., Мусин А.И., Раскильдина Г.З., Ахметов А.Ф., Баулин О.А. Конденсация спиртов с арилалкенами на катиообменных смолах. *НефтеГазоХимия*. 2024. Вып. 3-4. С. 24-26. DOI: 10.24412/2310-8266-2024-3-4-24-26.
14. Mamlieva A.V., Mikhailova N.N., Shavshukova S.Yu. Corrosion inhibitors based on cyclic acetals and their derivatives. *Oil Gas Chem.* 2020. N 1. P. 30–33.
15. Borisova Y.G., Sultanova R.M., Zlotsky S.S. Синтез и биологическая активность солей аммония, содержащих циклоацетальный фрагмент. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2025. Т. 68. Вып. 2. С. 46-51. DOI: 10.6060/ivkkt.20256802.7002.
16. Мусин А.И., Борисова Ю.Г., Раскильдина Г.З., Спирихин Л.В., Султанова Р.М., Злотский С.С. Синтез, строение и биологическая активность 2,2,4-тризамещенных 1,3-
3. Borisova Yu.G., Musin A.I., Voinov A.V., Spirikhin L.V., Raskil'dina G.Z., Sultanova R.M., Zlotskii S.S. Alkali alcoholysis of 2-phenyl-gem-dichlorocyclopropane under microwave radiation conditions. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2024. V. 67. N 11. P. 15-21 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20246711.7046.
4. Dao V.T., Dowd M.K., Martin M.T., Gaspard C., Mayer M., Michelot R.J. Cytotoxicity of enantiomers of gossypol Schiff's bases and optical stability of gossypolone. *Eur. J. Med. Chem.* 2004. V. 39. N 7. P. 619–624. DOI: 10.1016/j.ejmech.2004.04.001.
5. Rosero-Hernández E.D., Moraga J., Collado I.G., Echeverri F. Natural compounds that modulate the development of the fungus botrytis cinerea and protect solanum lycopersicum. *Plants*. 2019. V. 8. N 5. P. 111. DOI: 10.3390/plants8050111.
6. Belsito D., Bickers D., Bruze M., Calow P., Dagli M., Fryer A.D., Sipes I.G. A toxicologic and dermatologic assessment of cinnamyl phenylpropyl materials when used as fragrance ingredients. *Food Chem. Toxicol.* 2011. V. 49. P. 256-267. DOI: 10.1016/j.fct.2011.07.053.
7. Latypova F.N., Vildanov F.Sh., Chanyshev R.R., Zlotsky S.S. Chemistry of cyclic acetals and their analogues in the works of the scientific school of D.L. Rakhmankulov. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2015. V. 58. N 8. P. 3-21 (in Russian).
8. Raskil'dina G.Z., Sultanova R.M., Zlotskii S.S. gem-Dichlorocyclopropanes and 1,3-dioxacyclanes: synthesis based on petroleum products and use in low-tonnage chemistry. *Rev. Adv. Chem.* 2023. V. 13. P. 15–27. DOI: 10.1134/S2634827623700150.
9. Sultanova R.M., Borisova Yu.G., Khusnutdinova N.S., Raskil'dina G.Z., Zlotskii S.S. 1,3-Dioxacyclanes: synthesis based on petrochemicals, chemical transformations, and applications. *Russ. Chem. Bull.* 2023. V. 72. N 10. P. 2297-2318. DOI: 10.1007/s11172-023-4027-3.
10. Dzhumaev Sh.Sh., Sakhabutdinova G.N., Stankevich K.E. Synthesis of some alcohols-based heterocyclic compounds and investigation of their influence on the lubricability of diesel fuel. *Bashkir. Khim. Zhurn.* 2023. V. 30. N 3. P. 85-88 (in Russian).
11. Raskildina G. Z. Grigor'eva N. G., Kutepov B.I., Zlotsky S.S., Zaikov G.E. Process Advancement in Chemistry and Chemical Engineering Research. *Apple Academic Press Inc.; CRC Press Taylor & Francis Group*. 2016. P. 163-174 (in Russian).
12. Oparina L.A., Kolyvanov N.A., Ganina A.A., D'yachkova S.G. Aryl butyl acetals as oxygenate octane-enhancing additives for motor fuels. *Pet. Chem.* 2020. V. 60. N 1. P. 134-139. DOI: 10.1010.31857/S0028242120010104.
13. Borisova Yu.G., Musin A.I., Raskildina G.Z., Akhmetov A.F., Baulin O.A. Condensation of alcohols with arylalkenes on cation exchange resins. *NeftGazoKhimiya*. 2024. Iss. 3-4. P. 24-26 (in Russian). DOI: 10.24412/2310-8266-2024-3-4-24-26.
14. Mamlieva A.V., Mikhailova N.N., Shavshukova S.Yu. Corrosion inhibitors based on cyclic acetals and their derivatives. *Oil Gas Chem.* 2020. N 1. P. 30–33.
15. Borisova Yu.G., Sultanova R.M., Zlotsky S.S. Synthesis and biological activity of ammonium salts containing cycloacetal fragment. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2025. V. 68. N 2. P. 46-51 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20256802.7002.
16. Musin A.I., Borisova Yu.G., Raskildina G.Z., Spirikhin L.V., Sultanova R.M., Zlotsky S.S. Synthesis, structure and biological activity of 2,2,4-trisubstituted of 1,3-dioxolanes.

- диоксоланов. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2023. Т. 66. Вып. 9. С. 20-27. DOI: 10.6060/ivkkt.20236609.6829.
17. **Раскильдина Г.З., Султанова Р.М., Злотский С.С.** Карбо- и гетероциклические платформенные соединения из нефтехимического сырья и их применение в малотоннажной химии. *Тр. Уф. науч. центра РАН*. 2019. № 3. С. 5-18. DOI: 10.31040/2222-8349-2019-0-3-5-18.
18. **Verma C., Ebenso E.E., Quraishi M.A., Hussain C.M.** Recent developments in sustainable corrosion inhibitors: design, performance and industrial scale applications. *Mater. Adv.* 2021. V. 2. N 12. P. 3806–3850. DOI: 10.1039/d0ma00681e.
19. **Raskil'dina G.Z., Borisova Yu.G., Vereshchagin A.N., Detusheva E.V., Sultanova R.M., Zlotskii S.S.** Biological activity of quaternary ammonium salts containing 1,3-dioxolane or gem-dichlorocyclopropane fragment. *Rev. Adv. Chem.* 2024. V. 14. N 1. P. 16-21. DOI: 10.1134/S2634827624600105.
20. **Борисова Ю.Г., Соков С.А., Раскильдина Г.З., Султанова Р.М., Злотский С.С., Голованов А.А.** Взаимодействие фенолов и тиофенолов с 2-метилена-1,4-диоксаспиро[4.5]деканом и антикоррозионная активность полученных соединений. *Нефтехимия*. 2024. Т. 64. № 3. С. 219-225. DOI: 10.31857/S0028242124030034.
- ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2023. V. 66. N 9. P. 20-27 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20236609.6829.
17. **Raskil'dina G.Z., Sultanova R.M., Zlotsky S.S.** Carbo- and heterocyclic platform compounds from petrochemical raw materials and their use in low-tonnage chemistry. *Tr. Uf. Nauch. Tsentra RAN*. 2019. N 3. P. 5-18 (in Russian). DOI: 10.31040/2222-8349-2019-0-3-5-18.
18. **Verma C., Ebenso E.E., Quraishi M.A., Hussain C.M.** Recent developments in sustainable corrosion inhibitors: design, performance and industrial scale applications. *Mater. Adv.* 2021. V. 2. N 12. P. 3806–3850. DOI: 10.1039/d0ma00681e.
19. **Raskil'dina G.Z., Borisova Yu.G., Vereshchagin A.N., Detusheva E.V., Sultanova R.M., Zlotskii S.S.** Biological activity of quaternary ammonium salts containing 1,3-dioxolane or gem-dichlorocyclopropane fragment. *Rev. Adv. Chem.* 2024. V. 14. N 1. P. 16-21. DOI: 10.1134/S2634827624600105.
20. **Borisova Yu.G., Sokov S.A., Raskildina G.Z., Sultanova R.M., Zlotsky S.S., Golovanov A.A.** Interaction of phenols and thiophenols with 2-methylene-1,4-dioxaspiro[4.5]decan and the anticorrosive activity of the obtained compounds. *Neftekhimiya*. 2024. V. 64. N 3. P. 219-225 (in Russian). DOI: 10.31857/S0028242124030034.

Поступила в редакцию 24.03.2025

Принята к опубликованию 30.06.2025

Received 24.03.2025

Accepted 30.06.2025