

Р. А. Хуснутдинов (к.х.н., с.н.с.) ^{1а}, М. Р. Азнабаева (студ.) ²,
В. М. Шарафутдинов (к.х.н., с.н.с.) ^{1б}, И. Б. Абдрахманов (д.х.н., проф.) ^{1а},
А. Г. Мустафин (д.х.н., проф.) ^{1б, 2}

ЭФФЕКТИВНЫЕ ИНГИБИТОРЫ КОРРОЗИИ ИЗ РЯДА ПРОИЗВОДНЫХ ХИНОЛИНА

¹ Уфимский институт химии Уфимского федерального исследовательского центра РАН,

^а лаборатория фармакофорных циклических систем,

^б лаборатория органических функциональных материалов

450054, г. Уфа, пр. Октября, 71; e-mail: v.mulkaman@yandex.ru

² Уфимский университет науки и технологий, кафедра физической химии и химической экологии
450076, г. Уфа, ул. З. Валиди, д. 32; e-mail agmustafin@mail.ru

R. A. Khusnutdinov ¹, M. R. Aznabaeva ², V. M. Sharafutdinov ¹,
I. B. Abdrakhmanov ¹, A. G. Mustafin ^{1,2}

EFFECTIVE CORROSION INHIBITORS FROM A SERIES OF QUINOLINE DERIVATIVES

¹ Ufa Institute of Chemistry of the Ufa Federal Research Centre of the RAS

71, Prospekt Oktyabrya Str., 450054, Ufa, Russia; e-mail: v.mulkaman@yandex.ru

² Ufa University of Science and Technology

32, Zaki Validi Str., 450076 Ufa, Russia; e-mail agmustafin@mail.ru

Замещенные хинолины, полученные конденсацией анилина с альдегидами в присутствии катализаторов, испытаны в качестве ингибиторов коррозии стали в различных средах. Некоторые хинолины показали высокую (до 98.1%) степень защиты в минерализованной среде, содержащей растворенный кислород, а часть из них проявила свою эффективность в водно-нефтяной среде, насыщенной сероводородом.

Ключевые слова: альдегиды; анилин; замещенные хинолины; ингибиторы коррозии; конденсация, коррозия стали.

Работа выполнена по теме госзадания №125020601600-9 УФИХ УФИЦ РАН «Новые перспективные органические материалы с заданными функциональными свойствами для промышленности, медицины и сельского хозяйства».

В наши дни защита металлов от коррозии превратилась в глобальную международную задачу. Коррозионные процессы приводят к огромным потерям металла, неисчислимым экономическим потерям в результате аварий на трубопроводах, промышленных химико-технологических установках и т.д. Поэтому во всех развитых странах мира придается огромное значение борьбе с

Substituted quinolines obtained by condensation of aniline with aldehydes in the presence of catalysts have been tested as steel corrosion inhibitors in various media. Some quinolines showed a high degree of protection (up to 98.1%) in a mineralized medium containing dissolved oxygen, and some of them showed their effectiveness in an aqueous-petroleum medium saturated with hydrogen sulfide.

Key words: aldehydes; aniline; condensation; corrosion inhibitors; steel corrosion; substituted quinolines.

The work was carried out on topic of the state assignment no.125020601600-9 of the Ufa Institute of Chemistry of UFRC of the RAS «New promising organic materials with specified functional properties for industry, medicine and agriculture».

коррозией материалов. Одним из важнейших направлений для достижения этой цели является применение ингибиторов коррозии ¹⁻³.

Эффективными ингибиторами коррозии являются некоторые азотсодержащие органические соединения, в том числе ароматические амины, производные пиридина и хинолина ^{4, 5}.

В настоящей работе приведены результаты испытаний производных хинолина в качестве ингибиторов коррозии стали.

Дата поступления 15.02.25

Совместная конденсация бензальдегида и бутанала с анилином приводит к 2-фенил-2-этилхинолину **1** (схема 1) ⁶.

В аналогичных условиях осуществляется реакция совместной конденсации 4-пиридинальдегида и бутанала с анилином или *para*-броманилином с образованием 2-(4-пиридил)-3-этилхинолина **2** и 2-(4-пиридил)-3-этил-6-бромхинолина **3** соответственно (схема 2).

Полученные соединения **1–3** испытаны в качестве ингибиторов коррозии в водно-нефтяных и в минерализованных средах с высоким содержанием растворенного кислорода. Испытания проводили в лабораторных условиях гравиметрическим методом.

В качестве рабочей среды использовали модели минерализованной воды (ММВ) следующего состава (г/л): NaCl 111.5; CaCl₂·6H₂O 10.8; MgCl₂·6H₂O 6.0; CaSO₄·2H₂O 0.3 (ММВ-1); NaCl

163.0; CaCl₂·6H₂O 34.0; MgCl₂·6H₂O 17.0; CaSO₄·2H₂O 0.14 (ММВ-2); NaCl 200.0 (ММВ-3). Содержание растворенного кислорода составляло 1.5–5.1 мг/л.

Соединения **1** и **3** проявили высокую степень (91.9–98.1%) защиты стали в минерализованной воде при дозировке ингибитора 100–200 мг/л (табл. 1). В то же время соединение **2** показало относительно невысокую степень защиты в этих средах (менее 90% при дозировке 200 мг/л), но проявило себя весьма эффективным ингибитором в водно-нефтяной среде, которую смоделировали смешиванием ММВ-1 с нефтью в соотношении 70:30. Полученную смесь насыщали сероводородом до концентрации 50–100 мг/л, вводя непосредственно в раствор расчетное количество Na₂S и HCl, и контролируя результат иодометрическим титрованием. Содержание растворенного кислорода составляло 0.3–0.5 мг/л. Результаты испытаний приведены в табл. 2.

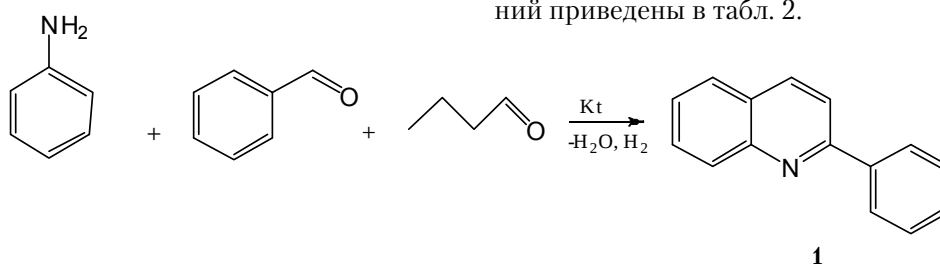


Схема 1

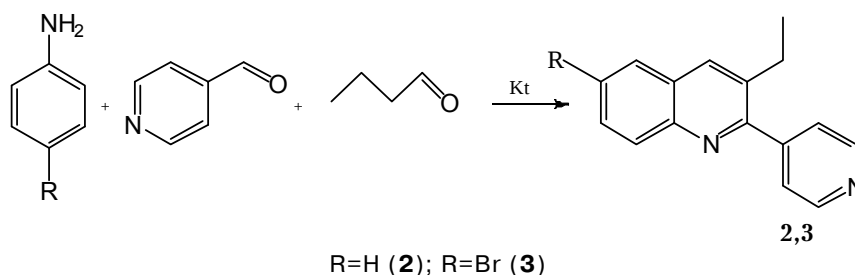


Схема 2

Таблица 1

Результаты испытаний соединений **1** и **3** в минерализованной среде

Соед-е	Конц-я, мг/л	Среда	[O ₂], мг/л	Скорость коррозии, г/м ² ·ч	Степень защиты, %
-	-	ММВ-1	3.0	0.54	-
1	200	ММВ-1	3.0	0.032	94.1
1	100	ММВ-1	3.0	0.051	90.6
-	-	ММВ-2	2.5	0.65	-
1	200	ММВ-2	2.5	0.045	93.0
1	100	ММВ-2	2.5	0.071	91.1
-	-	ММВ-3	1.5	0.57	-
1	200	ММВ-3	1.5	0.05	93.1
1	100	ММВ-3	1.5	0.08	90.1
-	-	ММВ-1	5.1	0.59	-
3	200	ММВ-1	5.1	0.011	98.1
3	100	ММВ-1	5.1	0.02	96.6
3	50	ММВ-1	5.1	0.04	93.2
-	-	ММВ-1	3.6	0.53	-
3	200	ММВ-1	3.6	0.022	95.8
3	100	ММВ-1	3.6	0.031	94.2
3	50	ММВ-1	3.6	0.05	90.6

Таблица 2
Результаты испытаний 2-(4-пиридил)-3-этилхинолина **2** в водно-нефтяной среде

Конц-я 2 , мг/л	Скорость коррозии*, г/м ² ·ч	Степень защиты*, %
-	0.21	-
200	0.01	95.2
150	0.015	92.9
100	0.017	91.9
50	0.02	90.4
Ингибитор Север-1		
200	0.06	71.4
100	0.09	57.1

* – рассчитывали по формуле ⁷

Как видно из табл. 2, хинолин **2** при концентрациях 50–200 мг/л является эффективным ингибитором коррозии в водно-нефтяных средах. В аналогичных условиях провели сравнение его активности с широко применяемым ингибитором Север-1, который представляет собой сложную смесь полиалкилпиридинов **1** и используется для обработки внутрискважинного оборудования. При концентрации 200 мг/л соединение **2** показало значительно более высокие результаты: степень защиты превысила 95%, тогда как у ингибитора Север-1 это значение составило лишь 71.4%.

Литература

1. Рахманкулов Д.Л., Зенцов В.Н., Гафаров Н.А., Бугай Д.Е., Габитов А.И., Латыпова Ф.Н. Ингибиторы коррозии. Т.3. Основы технологии производства отечественных ингибиторов коррозии. – М.: Интер, 2005. – 346 с.
2. Рахманкулов Д.Л., Бугай Д.Е., Габитов А.И., Голубев М.В., Лаптев А.Б., Калимуллин А.А. Ингибиторы коррозии. Т. 1. Основы теории и практика применения. – Уфа: Реактив, 1997. – 295 с.
3. Рахманкулов Д.Л., Зенцов В.Н., Кузнецов М.В. Современная техника и технология защиты от коррозии. – М.: Интер, 2005. – 406 с.
4. Абдрахманов И.Б., Мустафин А.Г., Шарафутдинов В.М. Перегруппировка Кляйзена в ряду ароматических аминов. – Уфа: Гилем, 2014. – 168 с.
5. Абдрахманов И.Б., Гимадиева А.Р., Мустафин А.Г., Шарафутдинов В.М. Амино-перегруппировка Кляйзена и превращения орто-алкенилариламинов. – М.: Наука, 2020. – 256 с.
6. Джемилев У.М., Селимов Ф.А., Хуснутдинов Р.А., Фатыхов А.А., Халилов Л.М., Толстиков Г.А. Синтез замещенных хинолинов конденсацией анилина с алифатическими и ароматическими альдегидами под действием катализаторов на основе переходных и редкоземельных элементов // Известия АН СССР. Серия химическая. – 1991. – №6. – С.1407-1413.
7. Хуснутдинов Р.А., Шарафутдинов В.М., Гимадиева А.Р., Абдрахманов И.Б., Мустафин А.Г. Новые ингибиторы коррозии из ряда производных пиридина // Баш. хим. ж. – 2025. – Т.32, №1. – С.17-19.

Экспериментальная часть

Исходные соединения **1–3** получены по методике ⁶.

Смешанная конденсация анилина с ароматическими и алифатическими альдегидами. Раствор 0.1 г (0.4 ммоль) PrCl_3 и 0.3 г (1.2 ммоль) PPh_3 в 1 мл ДМФА вносили в стальной автоклав, куда предварительно загружали 1.86 г (20 ммоль) анилина, 1.44 г (20 ммоль) масляного альдегида, 2.12 г (20 ммоль) бензальдегида или 1.86 г (20 ммоль) 4-пиридинальдегида в 6 мл бензола. Автоклав выдерживали при 190 °С 8 ч. После охлаждения смесь экстрагировали бензолом, растворитель упаривали, остаток перегоняли в вакууме. Физико-химические характеристики соответствуют литературным ⁶.

Общая методика коррозионных испытаний. Обезжиренные и высушенные до постоянной массы образцы стали Ст3 ГОСТ 380-2005 помещали на 6 ч при 20 °С в рабочую среду как с добавлением ингибитора, так и без него. По истечении необходимого времени выдерживания образцы тщательно промывали в струе воды, погружали на 10 мин в раствор щелочи, снова промывали проточной водой и сушили до постоянной массы.

References

1. Rakhmankulov D.L., Zentsov V.N., Gafarov N.A. et.al. *Inhibitory korrozii. T.3. Osnovy tekhnologii proizvodstva otechestvennykh ingibitorov korrozii* [Corrosion inhibitors. V.3. Fundamentals of production technology of domestic corrosion inhibitors]. Moscow, Inter Publ., 2005, 346 p.
2. Rakhmankulov D.L., Bugay D.E., Gabitov A.I. et.al. *Inhibitory korrozii. T.1. Osnovy teorii i praktika primeneniya* [Corrosion inhibitors. V.1. Fundamentals of theory and application practice]. Ufa, Reaktiv Publ., 1997, 295 p.
3. Rakhmankulov D.L., Zentsov V.N., Kuznetsov M.V. *Sovremennaya tekhnika i tekhnologiya zashchity ot korrozii* [Modern corrosion protection equipment and technology]. Moscow, Inter Publ., 2005, 406 p.
4. Abdrakhmanov I.B., Mustafin A.G., Sharafutdinov V.M. *Peregripirovka Klyaizena v ryadu aromaticeskikh aminov* [Klaissen rearrangement in a series of aromatic amines]. Ufa, Gilem Publ., 2014, 168 p.
5. Abdrakhmanov I.B., Gimadiev A.R., Mustafin A.G., Sharafutdinov V.M. *Amino-peregripirovka Klyaizena i prevrashcheniya orto-alkenilarilaminov* [Klaissen amino rearrangement and ortho-alkenylarylamine transformations]. Moscow, Nauka Publ., 2020, 256 p.
6. Dzhemilev U.M., Selimov F.A., Khusnutdinov R.A. et.al. [Synthesis of substituted quinolines by condensation of anilines with aliphatic and aromatic aldehydes under the action of catalysts based on transition and rare earth elements]. *Bulletin of the Academy of Sciences of the USSR. Division of Chemical Sciences*, 1991, vol.40, no.6, pp.1248-1253.
7. Khusnutdinov R.A., Sharafutdinov V.M., Gimadiev A.R., Abdrakhmanov I.B., Mustafin A.G. *Novye inhibitory korrozii iz ryada proizvodnykh piridina* [New corrosion inhibitors from a series of pyridine derivatives]. *Bashkirskii khimicheskii zhurnal* [Bashkir Chemical Journal], 2025, vol.32, no.1, pp.17-19.