

НОВЫЕ ИНГИБИТОРЫ СЕРОВОДОРОДНОЙ КОРРОЗИИ

© Бабаев Эльбей Расим оглу

Институт Химии Присадок им. акад. А.М. Кулиева Министерства Науки и Образования Азербайджана, Азербайджан, г. Баку; кандидат химических наук, в.н.с. лаборатории «Защитные органические соединения», elbeibabaev@yahoo.de

Аннотация. Сероводородная коррозия и ее предотвращение занимают ключевое место в ряде промышленных процессов и сред, включая добычу и транспортировку нефти и газа, и связанные с ними виды деятельности. Мягкая сталь является популярным конструкционным материалом в этой отрасли, но подвержена образованию поверхностной накипи и связанному с этим коррозионному действию, для предотвращения которого требуются специальные методы. Коррозия, вызванная сероводородом H_2S , в основном относится к типу электрохимической коррозии. Продукты диссоциации газа H_2S агрессивны и могут катализировать электрохимические реакции, особенно процесс коррозии Fe. Образование поверхностной накипи является одним из важных факторов, определяющих скорость коррозии. Рост накипи зависит в первую очередь от кинетики образования накипи. В отличие от относительно прямого осаждения карбоната железа при коррозии чистого CO_2 , в среде H_2S могут образовываться разные типы сульфидов железа, такие как аморфный сульфид железа, макинавит, кубический сульфид железа, смитит, грейт, пирротин, троилит и пирит, среди которых считается, что макинавит сначала образуется на поверхности стали в результате прямой поверхностной реакции. В связи с этим, разработка и получение новых эффективных ингибиторов коррозии, обусловленной сероводородом, является весьма актуальной задачей на сегодняшний день.

Ключевые слова: сероводородная коррозия, сульфиды, ингибиторы коррозии, биогенная сульфидная коррозия, пассиваторы.

NEW HYDROGEN SULFIDE CORROSION INHIBITORS

© Babayev Elbey Rasim

The Institute of Chemistry of Additives of the Ministry of Science and Education, Azerbaijan, Baku; candidate of chemical sciences, leading researcher of laboratory «Protective organic compounds», elbeibabaev@yahoo.de

Abstract. Hydrogen sulfide corrosion and its prevention is an important topic in a number of industrial processes and environments, including oil and gas, and related activities. Mild steel is a popular construction material in this industry, but is subject to surface scaling and associated

corrosive action that requires special techniques to prevent. Corrosion caused by hydrogen sulfide H_2S is mainly electrochemical in nature. Dissociation products of H_2S gas are aggressive and can catalyze electrochemical reactions, especially the dissolution of Fe. The formation of surface scale is one of the important factors determining the rate of corrosion. Scale growth depends primarily on the kinetics of scale formation. In contrast to the relatively direct precipitation of iron carbonate when pure CO_2 is corroded, different types of iron sulfide can form in H_2S environments, such as amorphous iron sulfide, mackinavite, cubic iron sulfide, smithite, great, pyrrhotite, troilite, and pyrite. among which mackinavite is thought to form first on the surface of steel through a direct surface reaction. In this regard, the development and production of new effective inhibitors of corrosion caused by hydrogen sulfide is a very urgent task today.

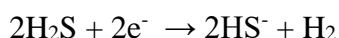
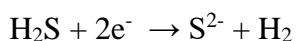
Key words: hydrogen sulfide corrosion, sulfides, corrosion inhibitors, biogenic sulfide corrosion, passivators

Коррозия представляет собой серьезную проблему, и о ней говорят как о постепенном разрушении материалов химическими или электрохимическими процессами [1]. Мягкая сталь (МС) широко используется в строительстве в нескольких отраслях промышленности благодаря своей механической прочности и другим преимуществам. Все-таки коррозия ухудшает полезные свойства МС. Агрессивная среда из-за CO_2 и H_2S в промышленных жидкостях вызывает коррозию металлической поверхности. Ингибиторы коррозии играют решающую роль в защите металлов от коррозии. В этой работе подробно проведен анализ методов борьбы с коррозией с помощью ингибиторов на металлических поверхностях в коррозионно-агрессивных средах CO_2 и H_2S . В работе основное внимание уделяется различным категориям ингибиторов, используемых для смягчения такой коррозии, например, ингибиторы на основе имидазолина, ингибиторы на основе аминов, ингибиторы на основе полимеров и ингибиторы зеленой химии.

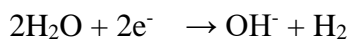
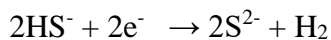
Сероводородная коррозия является одной из наиболее серьезных причин коррозионного разрушения при эксплуатации оборудования в широком диапазоне сред и условий. Сероводород обладает уникальными агрессивными свойствами и вызывает коррозионное повреждение оборудования в результате электрохимической и химической коррозии и водородного охрупчивания. Коррозия металлов в кислых и сероводородных средах протекает в основном с водородной деполяризацией [2]. Коррозия под воздействием сероводорода весьма характерна для оборудования установок первичной переработки сернистой нефти, каталитического риформинга, газофракционирования и гидрокрекинга сернистых нефтей на нефтеперерабатывающих заводах, подготовки газа к переработке, сероочистки и производства серы на газоперерабатывающих предприятиях. Сероводород вызывает целый ряд коррозионных поражений. К их числу относятся разрушения, возникающие как при низких (общих и язвенная коррозия, коррозионное растрескивание), так и при высоких (высокотемпературная сероводородная коррозия) температурах.

В основе всех поражений, развивающихся при низких температурах лежит электрохимическая коррозия. В кислых средах основная катодная реакция связана с восстановлением ионов водорода: $2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$

Наряду с ней протекают и другие реакции:



В нейтральных и щелочных средах параллельно протекают следующие катодные процессы:



При наличии в среде кислорода, последний является дополнительным катодным деполяризатором.

Сероводород стимулирует катодный процесс. Считается, что гидросульфид-ионы, образующиеся вследствие диссоциации сероводородной кислоты, сорбируются поверхностью металла. Это, с одной стороны, снижает перенапряжение водорода на поверхности металла за счет возникновения на ней адсорбционного отрицательно заряженного слоя, а с другой — увеличивает перенапряжение из-за вытеснения водорода с поверхности металла гидросульфид-ионами. Превалирующим является первый эффект, в результате чего скорость катодной реакции в присутствии гидросульфид-ионов возрастает. Скорость анодного процесса также стимулируется сероводородом, но анодный процесс в существенной степени зависит от свойств образующихся на поверхности металла пленок продуктов коррозии.

Таким образом, сероводородная коррозия наносит большой ущерб промышленности и экономике страны. Для защиты металлов от сероводородной коррозии наиболее эффективным методом является использование ингибиторов коррозии. Так, в работе [3] исследовано электрохимическое и коррозионное поведение низкоуглеродистой стали в нейтральных средах, содержащих сероводород, массоптическим и электрохимическим методами и определено защитное действие промышленных композиций СОНКОР. Показано, что в 3 % NaCl композиции СОНКОР обладают слабым защитным действием, но сильно усиливаются при наличии в растворе сероводорода. При концентрации $\text{H}_2\text{S}=0,6$ г/л максимальный защитный эффект имеют СОНКОР 9801 (85,57 %) и СОНКОР 9920А (81,97 %). Ингибиторы СОНКОР 9021С (70,82 %), 9510А (73,11 %) и 9701 (67,87 %) проявляют меньший защитный эффект.

Синтезирован модифицированный кокосовым маслом гидроксиэтилимидазолин, который используется в качестве ингибитора углекислотно-сероводородной коррозии для углеродистой стали в 3%-ном растворе NaCl при 50°C [4]. Методы тестирования включают потенциодинамические поляризационные кривые, сопротивление линейной поляризации и спектроскопию электрохимического импеданса. Результаты показали, что всего лишь 20 частей на миллион ингибитора, модифицированного кокосовым маслом, действовали как эффективный ингибитор коррозии углеродистой стали в присутствии как двуокиси углерода, так и сероводорода, достигая значения эффективности до 97, что создает предпосылки для разработки новых «зеленых» ингибиторов коррозии.

В продолжении этих исследований в работе [5] модифицированный кокосовым маслом имидазолин, а именно аминоэтиламиноимидазолин, был приготовлен в качестве ингибитора сырой коррозии для исследования поведения углеродистой стали 1018 в отношении ингибирования коррозии сероводородом и сравнения с коммерческим гидроксиэтилимидазолином. Методы включали кривые поляризации, кривые линейной поляризации, измере-

ния электрохимического импеданса и электрохимического шума с концентрацией ингибитора 25 частей на миллион. Было обнаружено, что имидазолин, модифицированный кокосовым маслом, обладал лучшими характеристиками ингибирования коррозии, чем коммерческий, снижая скорость коррозии на один порядок и давая многообещающие результаты в приготовлении ингибиторов сырой коррозии.

Статья [6] посвящена изучению коррозии углеродистой стали, вызванной газообразным сероводородом. Авторами статьи обсуждается, как этот газ реагирует с углеродистой сталью в нефтяных и газовых коллекторах. В этой статье также рассматриваются разработки программного обеспечения для прогнозирования коррозии H_2S . Механизм коррозии H_2S в сочетании с газообразным CO_2 также находится в центре внимания. Отмечается, что сероводород является наиболее опасным элементом, присутствующим в нефтяных и газовых коллекторах. H_2S подкисляет воду, что вызывает точечную коррозию трубопроводов из углеродистой стали. Коррозионная реакция будет быстро усиливаться, когда она соединяется с кислородом и двуокисью углерода (CO_2). Таким образом, они могут значительно сократить срок службы транспортных трубопроводов и технологических сооружений нефтегазовой отрасли. Понимание механизма коррозии H_2S имеет решающее значение для изучения, поскольку многие трубопроводы из углеродистой стали сильно изнашиваются на объектах нефтегазовой промышленности. Чтобы точно исследовать коррозию H_2S , необходимо изучить физические, электрические и химические свойства окружающей среды.

В работе [7] синтезирован и охарактеризован спектроскопическими методами (FTIR, 1H ЯМР) ряд 1-(4-(2-аллилфенокси)бутил)пиперидин-1-ий галогенидов. Исследовано ингибирование коррозии синтезированных галогенидов на углеродистой стали в водно-солевой углеводородной среде, насыщенной сероводородом. Для этой цели был использован ряд методов, таких как гравиметрические измерения, потенциодинамическая поляризация и сканирующий электронный микроскоп (СЭМ), и некоторые термодинамические параметры процесса коррозии (ΔG_{ad} , ΔH^0_{ad} , ΔS^0_{ad}) были оценены. Стальная поверхность была проверена с помощью СЭМ, и она показала хорошее покрытие поверхности. Результаты показали, что синтезированные соединения при концентрациях 125, 150 мг/л обладают ингибирующей активностью 78-95% по гравиметрическим измерениям и 81-92% по потенциодинамическим измерениям при 100, 150 мг/л. Биологическую активность исследовали в отношении сульфатредуцирующих бактерий (СРБ). Выявлено, что при концентрации соединений 100 мг/л антибактериальная активность составила 100%.

Сообщается [8] об эффективности VPCI для нефтехимической промышленности. Несколько типов ингибиторов коррозии были испытаны в диапазоне концентраций от 50 до 200 ppm в электролите и электролитно-углеводородной смеси в присутствии диоксида углерода (CO_2) и сероводорода (H_2S) с модификаторами текучести и без них. Различные комбинации ингибиторов коррозии и понизителей сопротивления обеспечивают системы с улучшенным потоком воды и защитой от коррозии для трубопроводов, по которым проходит вода или смесь углеводородов и воды. Динамические испытания проводились на той же смеси электролитов и углеводородов, что и в статических испытаниях, с непрерывной продувкой CO_2 при температуре $70^\circ C$. Установлено, что VPCI A и VPCI B являются эффективными ингибиторами коррозии в углеводородах, содержащих малосернистый/кислый электролит.

Двумя основными формами коррозии при разработке нефтяных месторождений и в транспортной отрасли являются коррозия сладкого и сероводородного происхождения [9]. Сладкая коррозия в присутствии газа CO_2 представляет собой мягкую форму коррозии, а кислая коррозия является чрезвычайно тяжелым типом коррозии, которая возникает в присутствии газа H_2S . Коррозия металлических конструкций была признана важной проблемой на нефтяных месторождениях в присутствии этих газов. Темы в этой работе ограничены факторами, вызывающими кислую-сладкую коррозию, а также методами смягчения воздействия ингибиторов коррозии.

Простыми и удобными (однореакторными) методами синтеза из белого фосфора (P_4), элементарной серы, спиртов, фенолов (в том числе гидроксипропилированных нонилфенолов) и аминов получены новые аммониевые соли дитиофосфорных O , O' -диэфиров [10]. Выявлено, что полученные аммонийные соли O , O -диалкилдитиофосфорных кислот являются эффективными ингибиторами углекислотной (защитный эффект $Z=90-99\%$) и сероводородной коррозии ($Z=88-89\%$) низкоуглеродистой стали. Показано, что ингибирующая активность против углекислотной коррозии не зависит ни от природы амина, ни от длины цепи алкильного заместителя в сложноэфирной группе, а защитный эффект в случае сероводородной коррозии зависит от природы реагирующего спирта или амина. и может немного снизиться (на 10–15%).

В работе [11] оценивалась подверженность стали API 5L X52 коррозионным процессам в присутствии повышенного содержания сероводорода и углекислого газа. Были проведены гравиметрические испытания и анализ поверхности для установления как скорости коррозии, так и типа повреждения металла. Полученные результаты свидетельствуют о том, что сероводород является наиболее активным газом в протекавших коррозионных процессах, значительно опережая углекислый газ. Основными наблюдаемыми продуктами коррозии были сульфиды железа, а типичным повреждением, связанным с присутствием сероводорода, было сульфидное растрескивание под напряжением. Повреждение поверхности свидетельствует о наличии трещин значительной величины и потери металла как следствия коррозионных процессов. Аналогичным образом присутствие кислорода в системе изменяет отображаемый тип коррозии, где наблюдаются продукты коррозии, такие как оксиды железа, и уменьшение количества и протяженности трещин. С другой стороны, добавка пленкообразующего ингибитора коррозии на основе модифицированных имидазолинов полностью исключает развитие трещин, хотя при определенных условиях испытаний может способствовать локальной точечной коррозии.

Выбранные экологически безопасные соединения железа (синтетический магнетит и глюконат железа) были оценены в качестве ингибиторов коррозии для стали (H-80) при концентрации сульфидов 50 мг/л при различных значениях pH в диапазоне от 5,5 до 11,5 и при высоких температурах, высоких давлениях методом снижения веса [12]. Температуры испытаний составляли 150°C, 275°C и 350°C соответственно для давлений 3000 psi, 5000 psi и 6000 psi. Было обнаружено, что комплекс железа является лучшим ингибитором коррозии по сравнению с синтетическим магнетитом. Он продемонстрировал эффективность ингибирования (IE) до 99,2%, когда доза поглотителя была удвоена (т.е. когда соотношение сульфида и поглотителя составляло 1:2) независимо от других факторов, таких как pH, температура и давление. Принимая во внимание, что оптимальная эффективность ингибирования синтетического магнетита (IE) составляла до 75,1% только тогда, когда отношение

сульфида к поглотителю составляло 1:4 при самом низком рН эксперимента (рН 5,5), что нежелательно для бурения. По мере увеличения рН эффективность ингибирования магнетита снижается и оказывается самой низкой при щелочном рН 11,5.

H₂S-коррозия 304L и 316L в бескислородном растворе Na₂SO₄+Na₂S при рН 3 и температуре 60°C была исследована с помощью EIS, потенциодинамической поляризации, многокомпонентных диаграмм Пурбе и определения характеристик микроструктуры [13]. В аналогичных условиях меньшая скорость коррозии наблюдалась на 316L, что объясняется более плотным (в 1,5 раза) и более гладким (6%) поверхностным слоем и подтверждается микрофотографией СЭМ. Во время поляризации H₂S значительно увеличивает плотность критического тока на 304L и плотность тока пассивации *i*_p на 316L. Более высокое значение *i*_p на 316L было связано с одновременным сохранением FeS²⁻MoS₂, что было подтверждено рентгенографическим исследованием. H₂S может оказывать ингибирующее действие на 304L в пассивной области.

Одним из видов сероводородной коррозии является биогенная сульфидная коррозия, которая представляет собой опосредованный бактериями процесс образования газообразного сероводорода и последующего превращения его в серную кислоту, которая воздействует на бетон и сталь в среде сточных вод. Сероводород биохимически окисляется в присутствии влаги с образованием серной кислоты. Воздействие серной кислоты на бетонные и стальные поверхности, подвергающиеся воздействию агрессивных сред сточных вод, может быть разрушительным. Существует несколько вариантов решения проблем биогенной сульфидной коррозии: нарушение образования H₂S, удаление H₂S или использование материалов, устойчивых к биогенной коррозии.

В наших работах [14,15] для предотвращения сероводородной коррозии, вызываемой сульфат-восстанавливающими бактериями предложено использование биоцидных добавок на основе S-, N-содержащих производных α-метилбензилзамещенных фенолов и бисфенолов. Экспериментальные результаты показали наличие высокой антикоррозионной активности синтезированных соединений и показана возможность их применения в качестве ингибиторов сероводородной коррозии, обусловленной СВБ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kumari A., Chugh B., Singh G. Corrosion Inhibitors for Sweet (CO₂ Corrosion) and Sour (H₂S Corrosion) Environments // ACS Symposium Series. 2021, Vol. 1403. Pp. 271-278.
2. Синютина С.Е., Вигдорович В.И. Современное состояние и проблемы сероводородной коррозии металлов в растворах электролитов // Вестник ТГУ. 2002. Т. 7. № 3. С. 13-25.
3. Melnikova A.V., Figilyantov F.P., Shein A.B. Investigation of industrial compositions SONKOR as corrosion inhibitors of mild steel in neutral media containing hydrogen sulfide // Chimica Techno Acta. 2015. Vol. 2. N 3. Pp. 247-251.
4. Rivera-Grau L.M., Casales M., Regla I., Ortega-Toledo R.M. Corrosion Inhibition by a Coconut Oil Modified Imidazoline for Carbon Steel Under the Combined Effect of CO₂ and H₂S // International Journal of Electrochemical Science. 2012. Vol. 7. N 12. Pp. 12610-12620.

5. Rivera-Grau L.M., Casales M., Regla I., Ortega-Toledo R.M. H₂S Corrosion Inhibition of Carbon Steel by a Coconut-Modified Imidazoline // *International Journal of Electrochemical Science*. 2012. Vol. 7. N 12. Pp. 12391-403.
6. Asmara Y.P. The Roles of H₂S Gas in Behavior of Carbon Steel Corrosion in Oil and Gas Environment: A Review // *Jurnal Teknik Mesin*. 2018. Vol. 7. N 1. Pp. 37-49.
7. Mehdiyeva G.M., Bayramov M.R., Hosseinzadeh Sh.B., Hasanova G.M. Allylphenoxy-piperidinium halides as corrosion inhibitors of carbon steel and biocides // *Turk. J. Chem.* 2020. Vol. 44. N 3. Pp. 670-686.
8. Miksic B.A., Furman A.Y., Khaqrshan M.A. Effectiveness of the corrosion inhibitors for the petroleum industry under various flow conditions // *Materials Performance*. 2009. Vol. 48. N 9. Pp. 123-129.
9. Aslam R., Saman Z., Rizvi M. Corrosion inhibitors for sweet (CO₂ corrosion) and sour (H₂S corrosion) oilfield environments // *Environmental Sustainable Corrosion Inhibitors*. 2022. N 2. Pp. 165-181.
10. Batyeva E.S., Ugryumov O.V., Varnavskaya O.A., Khodyrev Y.P. New, effective carbon dioxide and hydrogen sulfide corrosion inhibitors based on white phosphorus, sulfur, alcohols, and amines // *Petroleum Chemistry*. 2013. Vol. 53. N 3. Pp. 139-143.
11. Gayosso M.J., Olivares G., Frago S., Blanco G.E. Corrosion Behavior of API 5L X52 Steel under High Concentrations of H₂S/CO₂ Gases // *Materials Sciences and Applications*. 2016. Vol. 7. N 10. Pp. 623-643.
12. Amosa M.K., Mohammed I.A., Yaro S.A., Arinkoola A.O. Corrosion inhibition of oil-well steel (N-80) in simulated hydrogen sulphide environment by ferrous gluconate and synthetic magnetite // *Nafta*. 2010. Vol. 61. N 5. Pp. 347-362.
13. Davoodi M., Pkshir M., Babaiee M., Ebrahimi G.R. A comparative H₂S corrosion study of 304L and 316L stainless steels in acidic media // *Corrosion Science*. 2011. Vol. 53. N 1. Pp. 399-408.
14. Колчина Г.Ю., Тухватуллин Р.Ф., Бабаев Э.Р., Мовсумзаде Э.М. Пространственно-затрудненные фенолы как антиокислительные, антикоррозионные и антимикробные присадки к минеральным смазочным маслам // *НефтеГазоХимия*. 2017. № 1. С. 10-13.
15. Бабаев Э.Р. Оценка взаимосвязи структуры некоторых азотсодержащих алкиларилзамещенных фенолов с их реакционной способностью и функциональными свойствами // *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2017. № 5. С. 51-56.

REFERENCES

1. Kumari A., Chugh B., Singh G. Corrosion Inhibitors for Sweet (CO₂ Corrosion) and Sour (H₂S Corrosion) Environments // *ACS Symposium Series*. 2021, Vol. 1403. Pp. 271-278.
2. Синютина С.Е., Вигдорович В.И. Современное состояние и проблемы сероводородной коррозии металлов в растворах электролитов // *Вестник ТГУ*. 2002. Т. 7. № 3. С. 13-25.
3. Melnikova A.V., Figilyantov F.P., Shein A.B. Investigation of industrial compositions SONKOR as corrosion inhibitors of mild steel in neutral media containing hydrogen sulfide // *Chimica Techno Acta*. 2015. Vol. 2. N 3. Pp. 247-251.

4. Rivera-Grau L.M., Casales M., Regla I., Ortega-Toledo R.M. Corrosion Inhibition by a Coconut Oil Modified Imidazoline for Carbon Steel Under the Combined Effect of CO₂ and H₂S // *International Journal of Electrochemical Science*. 2012. Vol. 7. N 12. Pp. 12610-12620.
5. Rivera-Grau L.M., Casales M., Regla I., Ortega-Toledo R.M. H₂S Corrosion Inhibition of Carbon Steel by a Coconut-Modified Imidazoline // *International Journal of Electrochemical Science*. 2012. Vol. 7. N 12. Pp. 12391-403.
6. Asmara Y.P. The Roles of H₂S Gas in Behavior of Carbon Steel Corrosion in Oil and Gas Environment: A Review // *Jurnal Teknik Mesin*. 2018. Vol. 7. N 1. Pp. 37-49.
7. Mehdiyeva G.M., Bayramov M.R., Hosseinzadeh Sh.B., Hasanova G.M. Allylphenoxypyridinium halides as corrosion inhibitors of carbon steel and biocides // *Turk. J. Chem.* 2020. Vol. 44. N 3. Pp. 670-686.
8. Miksic B.A., Furman A.Y., Khaqrshah M.A. Effectiveness of the corrosion inhibitors for the petroleum industry under various flow conditions // *Materials Performance*. 2009. Vol. 48. N 9. Pp. 123-129.
9. Aslam R., Saman Z., Rizvi M. Corrosion inhibitors for sweet (CO₂ corrosion) and sour (H₂S corrosion) oilfield environments // *Environmental Sustainable Corrosion Inhibitors*. 2022. N 2. Pp. 165-181.
10. Batyeva E.S., Ugryumov O.V., Varnavskaya O.A., Khodyrev Y.P. New, effective carbon dioxide and hydrogen sulfide corrosion inhibitors based on white phosphorus, sulfur, alcohols, and amines // *Petroleum Chemistry*. 2013. Vol. 53. N 3. Pp. 139-143.
11. Gayosso M.J., Olivares G., Fragoso S., Blanco G.E. Corrosion Behavior of API 5L X52 Steel under High Concentrations of H₂S/CO₂ Gases // *Materials Sciences and Applications*. 2016. Vol. 7. N 10. Pp. 623-643.
12. Amosa M.K., Mohammed I.A., Yaro S.A., Arinkoola A.O. Corrosion inhibition of oil-well steel (N-80) in simulated hydrogen sulphide environment by ferrous gluconate and synthetic magnetite // *Nafta*. 2010. Vol. 61. N 5. Pp. 347-362.
13. Davoodi M., Pkshir M., Babaiee M., Ebrahimi G.R. A comparative H₂S corrosion study of 304L and 316L stainless steels in acidic media // *Corrosion Science*. 2011. Vol. 53. N 1. Pp. 399-408.
14. Kolchina G.Yu., Tukhvatullin R.F., Babaev E.R., Movsumzade E.M. Spatially hindered phenols as antioxidant, anticorrosive and antimicrobial additives to mineral lubricating oils // *Neftegazokhimiya*. 2017. No. 1. Pp. 10-13.
15. Babaev E.R. Evaluation of the relationship of the structure of some nitrogen-containing alkyl aryl substituted phenols with their reactivity and functional properties // *Izv. vuzov. Chemistry and chemical technology*. 2017. No. 5. Pp. 51-56.