

ОКИСЛИТЕЛЬНЫЕ И КОРРОЗИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В РЕЗЕРВУАРАХ ХРАНЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ

© В.И.Вигдорович, С.В.Романцова, С.А.Нагорнов

В последнее время большое внимание уделяется поиску соединений, повышающих стабильность смесевых топлив, получаемых компаундированием прямогонной дизельной фракции и продуктов вторичной переработки нефти.

Углеводородный состав прямогонных дизельных топлив (ПДТ) представлен, в основном, неполярными насыщенными углеводородами. Продукты вторичной переработки нефти, например, легкий газойль каталитического крекинга (ЛГКК), отличаются высоким содержанием более полярных ароматических (в том числе би- и трициклических) и непредельных углеводородов, обладающих повышенной реакционной способностью, а следовательно, и склонностью к окислению, смоло- и осадкообразованию. При хранении в результате окисления увеличивается кислотность таких топлив, возрастает содержание фактических смол и осадка, и, в целом, ухудшаются их эксплуатационные свойства.

В качестве антиокислительных присадок для прямогонных топлив применяются пространственно-затрудненные фенолы, амины и аминоксенолы, способствующие обрыву цепных реакций окисления путем взаимодействия их с пероксидными радикалами.

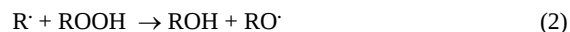
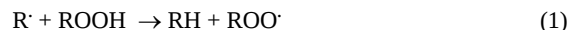
Такие соединения оказались малоэффективными при их использовании для смесевых углеводородных топлив [1, 2]. Это связано с различием механизмов окисления продуктов первичной и вторичной переработки нефти.

Существует мнение о том, что для фракций деструктивной переработки нефти и нефтяных остатков решающее значение имеют реакции, протекающие без участия радикалов [3], например, нерадикальной полимеризации или поликонденсации. Авторы основываются на литературных данных о том, что скорость поглощения кислорода и скорость образования гетерогенной фазы в продуктах крекинга и риформинга нефти не связаны определенной зависимостью, ингибиторы радикально-цепного окисления для них непригодны, а в некоторых случаях даже способствуют увеличению осадкообразования [2, 4, 5].

Для топлив обычно предлагается общепринятая схема радикально-цепного окисления индивидуальных углеводородов [6]. Однако при окислении ЛГКК выявлена зависимость начальной и максимальной скоростей окисления, времени достижения максимальной скорости окисления от концентрации гидропероксидов и парциального давления кислорода в газе-окислителе. Влияние парциального давления кислорода на кинетику окисления не укладывается в рамки устоявшихся представлений теории жидкофаз-

ного окисления, т. к. скорость окисления углеводородов много меньше скорости растворения в них кислорода, и поэтому его концентрация в ходе окисления можно считать постоянной.

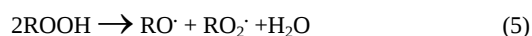
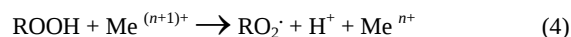
Все эти факты свидетельствуют о существовании реакций с участием гидропероксидов ROOH и алкильных радикалов, которые оказывают сильное влияние на процесс окисления, но не учтены в общепринятой схеме. По мнению авторов работы [7], такими реакциями являются реакции индуцированного распада гидропероксидов ROOH под действием алкильных радикалов R[•]:



Многочисленно регенерирующиеся при этом пероксидные радикалы претерпевают различные превращения, в том числе и приводящие к образованию полифункциональных соединений, способных под действием R[•] и ROO[•] вступать в реакции полимеризации и конденсации с образованием высокомолекулярных соединений, из которых формируются осадки.

Доля реакций (1) и (2) в процессе расходования гидропероксидов составляет в зависимости от глубины окисления 20...70 %, в то время как для ПДТ эта величина на порядок меньше (3...6 %).

Скорость окисления заметно возрастает при контакте топлива с металлами [1]: поверхностями резервуаров и трубопроводов, оксидами и солями, покрывающими эти поверхности и находящихся в нефтепродукте в виде тонкодисперсной взвеси. Действие металлических катализаторов проявляется в дополнительном регенерировании перекисных радикалов при взаимодействии металлического иона с гидропероксидами:



Энергия активации взаимодействия гидроперексидов с металлическим катализатором много меньше энергии активации термического распада гидроперексидов, вследствие чего реакции с участием металлов протекают с высокими скоростями.

Сравнение приведенных уравнений позволяет предположить, что наличие металла приводит к большей дестабилизации продуктов вторичной переработки нефти, ускоряя расхождение гидропероксидов по реакциям, аналогичным процессу их индуцированного распада, определяющего особенности окисления таких топливных компонентов. Именно этим, с нашей точки зрения, можно объяснить экспериментальные факты эффективной стабилизации топлив, содержащих до 30 % ЛГКК композициями антиокислительных присадок и специальных добавок – деактиваторов металлов [2, 8], роль которых заключается в образовании комплексов, в которых металл прочно связан с гетероатомами, входящими в состав молекулы присадки. В этом случае он надежно экранирован и не способен катализировать реакции окисления.

Анализ литературных данных [9] показал, что в качестве деактиваторов металлов исследованы следующие соединения: продукты конденсации салицилового альдегида с аминоксодержащими соединениями (салицилденаминофенолы, салицилденалкиламины и др.); азотсодержащие гетероциклические соединения (бензотриазолы, триазолы, тетразолы, димеркаптотиодиазолы); производные оксихинолинов. В качестве промышленных деактиваторов металлов за рубежом применяют дисалицилденэтилен (или пропилен)-диамины или салицилден -о-аминофенол. В нашей стране присадки этого класса не используются.

Ионы металла переходят в топливо при их получении непосредственно из нефти или в ходе хранения в результате коррозионных процессов, протекающих в резервуарах для хранения топлив.

При этом в результате коррозионных воздействий снижается срок службы этих технических средств, повышается опасность потерь нефтепродуктов и ухудшается экологическая ситуация в окружающей среде, происходит загрязнение топлива и смазочных материалов продуктами коррозии. Продукты коррозии являются своеобразным абразивом, вызывающим преждевременный износ и выход из строя трущихся деталей топливной аппаратуры и цилиндропоршневой группы двигателей внутреннего сгорания и других видов техники [10].

Коррозия металлов в нефтепродуктах имеет свои особенности. Углеводороды бензинов, дизельных топлив, смазочных материалов довольно инертны по отношению к металлу и сами по себе не оказывают разрушающего действия на материал емкостей. Коррозионную агрессивность проявляют содержащиеся в них преимущественно примеси, такие, как вода, сера и кислородсодержащие соединения, минеральные соли [11].

При наличии в топливе химически агрессивных реакционноспособных веществ и соединений (сера, сернистые соединения, в первую очередь, сероводород и т. п.) коррозия предположительно может осуществляться по химическому механизму. Эффективной антикоррозионной защитой в этом случае может быть, в частности, изоляция металла от агрессивного агента. Ограничение государственными стандартами содержания агрессивных веществ в нефтепродуктах [12, 13] дает основания предположить, что вклад химического механизма коррозии невелик, им практически можно пренебречь, а сам механизм процесса никогда не был доказан в подобных условиях.

В ряде работ [14, 15] указывается на преимущественное протекание коррозии внутренних поверхностей топливных баков и резервуаров по электрохимическому механизму. Такой маршрут коррозии обусловлен наличием на внутренней поверхности резервуара пленки воды, содержащей растворенный кислород, минеральные кислоты и соли. В реальных условиях транспортирования и хранения нефтепродуктов происходит постоянное насыщение их водой и конденсация ее на металлической поверхности.

В светлых нефтепродуктах может содержаться как растворенная, так и эмульсионная (мелкодисперсная эмульсия, частички которой равномерно распределены по объему), и отстойная (в виде сплошной фазы или крупных капель в нижнем слое продукта) вода. Содержание ее непостоянно, оно определяется видом нефтепродуктов, количеством и природой содержащихся в них поверхностно-активных веществ (ПАВ), условий эксплуатации и климатических факторов (влажность и температура воздуха, давление, температура топлива) и может колебаться от 0,001 до 0,01 % (масс.). Существование обратных эмульсий типа «вода в масле» зависит и от наличия эмульгаторов, в роли которых могут выступать природные гетероатомные соединения, попадающие в топливо из нефти в процессе переработки, продукты окисления (спирты, альдегиды, кислоты), а также присадки, вводимые в нефтепродукты для улучшения их эксплуатационных свойств. Топлива, содержащие продукты окисления, склонны к обводнению в большей степени, чем неокисленные. Наличие 0,5 ... 1,0 % продуктов окисления увеличивает растворимость воды в светлых нефтепродуктах в результате ее сольubilизации на 25 ... 40 % [15].

Выделение воды в виде собственной фазы (эмульгирование) может иметь место при снижении влажности воздуха (при постоянной температуре воздуха и нефтепродукта), т. к. при этом происходит сдвиг равновесного состояния воды в системе воздух – топливо [15]. Установлено, что молекулы сольubilизированной воды в нефтепродуктах не ассоциированы, поэтому вода переходит из воздуха в топливо и обратно быстрее, чем из водной фазы [15]. Кроме того, микрокапельки воды выделяются при смешении нефтепродуктов, имеющих различную температуру. Условия для этого осуществляются практически при любой операции дозаправки и залива в резервуары, т. к. температура заливаемого продукта обычно отличается от температуры стенок емкостей или находящихся в них остатков нефтепродуктов.

Конденсация атмосферной влаги на металлических поверхностях резервуаров обусловлена суточными колебаниями температур.

Другим источником обводнения нефтепродуктов и появления пленки воды на металлических поверхностях, покрытых продуктами коррозии, является капиллярная конденсация [16]. Поверхность металла, покрытая продуктами коррозии или соединениями, обладающими свойствами пористых сорбентов, способна, вследствие капиллярной конденсации, поглощать из воздуха большое количество водяных паров при давлениях ниже давления насыщенного пара [17]. Это особенно характерно для условий, когда практически «сухие» нефтепродукты заливаются в емкости и топливные системы, длительное время находившиеся незаполненными.

Микрокапли воды коалесцируют, образуя конденсат, собирающийся на дне резервуара.

В силу высокой полярности вода может взаимодействовать с нерастворимыми малостабильными соединениями, гидратировать их и транспортировать к металлическим поверхностям. Вследствие своей высокой поверхностной активности, вода собирает в углеводородной среде мелкие частицы загрязнений в крупные агрегаты, которые быстро осаждаются на дно резервуара. Во всех загрязнениях топлив, осевших и находящихся во взвешенном состоянии, содержится 20 ... 30 % (масс.) воды, как адсорбированной на поверхности частиц, так и свободной [18].

Хроматографическими и спектрофотометрическими исследованиями показано, что водные конденсаты, отобранные из средств хранения и топливных систем, содержат низкомолекулярные продукты окисления углеводородов: карбоновые кислоты, кетоны, альдегиды, спирты. В конденсатах из серусодержащих топлив обнаружены также растворимые по продукту окисления сернистых соединений – преимущественно сульфоновые кислоты [18]. Следовательно, водные конденсаты, собирающиеся на металлических поверхностях, представляют собой растворы электролитов, способствующих в условиях низкой кислотности электрохимической коррозии металлов.

Согласно теории электрохимической кинетики в тонких слоях нейтральных электролитов, развитой И.Л. Розенфельдом [16], процесс восстановления кислорода в пленках может протекать с большей скоростью, чем в объеме водного раствора. А это значит, что металл, находящийся под пленкой электролита, будет всегда выступать в роли эффективного катода по отношению к участкам металла, расположенного в объеме электролита. Таким образом, в результате конденсации воды происходит самопроизвольная дифференциация поверхности металла на анодные (днища, застойные зоны, низкие участки трубопроводов) и катодные (боковые поверхности) участки [18].

Снижение скорости анодной или катодной реакции, либо обеих вместе, влечет снижение скорости процесса коррозии в целом. На этом основаны многие методы защиты металлов от коррозии, в том числе ингибиторная. Этот вид защиты не трудоемок, не требует больших капитальных затрат и тщательной подготовки защищаемой поверхности, возможен в условиях ограниченных замкнутых объемов [14].

Обследования резервуаров после хранения нефтепродуктов [18] показали, что абсолютная величина скорости коррозии углеродистой стали дифференцируется по зонам воздействия коррозионно-агрессивных контактирующих сред. Наиболее подвержены коррозии днища резервуаров и нижний пояс – зона подтоварной воды, интенсивность коррозии под воздействием паровоздушной смеси ниже в 4 ... 5 раз, а при действии углеводородов топлива – в 40 ... 60 раз [19]. Так, установлено, что днища десятков исследованных стационарных резервуаров казематного типа [18] через 3 ... 5 лет хранения в них нефтепродуктов в большинстве случаев требуют капитального ремонта. Они имеют до 30...50 сквозных коррозионных поражений и 300 ... 500 питтингов и язв мм при толщине листа 4 ... 5 мм.

Широкий ассортимент ингибиторов коррозии для двухфазной системы углеводороды / вода разработан

для защиты нефтепромыслового оборудования. Агрессивная среда систем утилизации сточных вод и оборудования нагнетательных скважин – высокоминерализованные пластовые воды, содержащие растворенный кислород, сероводород и углекислый газ. Весьма эффективно тормозят коррозию в двухфазных углекислотных и сероводородных средах ингибиторы имидазолинового и аминного типа: Олазол-1, Неонол ФОМ 9-12, Нефтегаз-1. Высказывается предположение [20], что данные ингибиторы на границе раздела фаз вода / нефть активно переходят в водную фазу, образуя защитную пленку на поверхности металла, которая обладает значительным эффектом последействия.

Для противокоррозионной защиты в двухфазных сероводородсодержащих системах нефть – пластовые воды исследован ингибитор «ДИГАЗФЕН», представляющий собой смесь производных хинолина и аминоэфиров жирного ряда. Защитный эффект композиции – до 89 % для обеих фаз [21]. Авторы считают, что хинолин адсорбируется непосредственно на поверхности металла за счет взаимодействия неподеленной пары атома азота с вакантной *d*-орбиталью железа и дополнительного взаимодействия железа с ароматической системой хинолина. Участие π -системы обуславливает плоскую ориентацию молекул. Наличие атомов азота и кислорода в аминоэфирах обуславливает их высокую поверхностную активность, а углеводородные радикалы повышают степень заполнения поверхности. Если защитное действие хинолинов в большей степени проявляется в углеводородной среде, то аминоэфиров (благодаря их растворимости) – в водной фазе. Углеводородные радикалы аминов обладают гидрофобными свойствами, направлены в сторону агрессивной среды и отталкивают молекулы воды, экранируя поверхность металла.

Эффективность большинства описываемых ингибиторов систем нефтедобычи рассматривается только для более агрессивного компонента – воды.

Практически отсутствуют данные о замедлении скорости коррозии в подтоварной воде (ПВ), образующейся при хранении нефтепродуктов. В отличие от сточных и оборотных вод нефтепромыслов, ПВ имеет нейтральную или слабощелочную среду. В [19] оценивается возможность применения в качестве ингибиторов для ПВ таких неорганических соединений, как фосфат натрия, карбонат аммония. Показано, что фосфат натрия и карбонат аммония в значительных концентрациях (соответственно 1 ... 3 % и 3 ... 5 %) эффективно защищают углеродистую сталь в подтоварной воде в течение 5 месяцев.

В последнее время для ингибирования коррозии в нейтральной среде находят все большее распространение поверхностно-активные органические соединения [22, 23], например, соли жирных кислот [24], азотсодержащие соединения (производные аминов, пиридина, бензимидазола, бензотриазола, N-нафтиламинметансульфонаты и др.) [25–31], а также оксиэтилендифосфоновые кислоты и их металлические комплексы [32, 33].

Отмечается [34], что гидрофобное экранирование жирными кислотами поверхности металла усиливается с увеличением длины углеводородной цепи. Как в кислой, так и в нейтральной среде адсорбция азолов и других гетероатомных соединений тем активнее, чем

больше отрицательный заряд пиридинового азота [25]. Поэтому наблюдается корреляция между значениями pK_a и ингибирующей активностью ряда производных пиридина и тиазола при отсутствии стерических препятствий и дополнительных взаимодействий. Слабые основания могут эффективно ингибировать коррозию благодаря взаимодействию π -системы ароматического кольца с d -орбиталью металла. Введение ароматических колец увеличивает подвижность электронов общей π -системы и ее реакционную способность. Адсорбция на металлической поверхности бензотриазола [26] увеличивает стационарный потенциал и уменьшает ток коррозии.

В нейтральной среде ингибиторами преимущественно анодного действия являются и производные фенолов, содержащие в бензольном кольце моно-, ди- и триэтиламинотруппы [27]. Эффективность этих соединений возрастает с увеличением электронной плотности на атоме азота. Третичные амины и их производные являются менее эффективными, чем вторичные и первичные, что связывают с пространственными затруднениями при адсорбции на поверхности металла [27].

Низкоуглеродистую сталь в водной нейтральной среде эффективно защищают от коррозии триазины [28], соли производных хинолина, сополимеры аминотириазолов с 2-винилхинолином [29].

Механизм действия азотсодержащих соединений зависит от pH среды ингибирования. Так, кубовые остатки производства моноэтаноламина, дистилляции капролактама в кислой среде в значительной степени тормозят катодную реакцию, а в нейтральной минерализованной среде (раствор NaCl) – замедляют анодное растворение металла [30].

В нейтральных растворах ингибируют коррозию железа хлориды алкиламмония, проявляющие поверхностно-активные свойства [31], что является необходимым, но недостаточным условием тормозящего действия.

Анализ показывает [34], что для сходных по строению ингибиторов, в которых изменяется один фрагмент (заместитель одной природы), наблюдаются довольно четкие количественные корреляции типа «структура – ингибирующий эффект». Корреляция может нарушаться, если заместитель существенно изменяет удельную экранирующую способность молекулы. В общем случае при адсорбции ингибиторов происходит как сокращение активной поверхности металла, так и изменение энергии активации процесса коррозии. Первый фактор способствует ингибированию молекулами больших размеров, обладающих высокой экранирующей способностью, второй – небольшими молекулами с выраженным центром адсорбции [35]. Влияние строения молекул на защитные свойства пиридиновых оснований в кислой среде описывается линейной зависимостью. Удовлетворительная корреляция достигается при исключении из рассмотрения α -галондпиридинов и замещенных пиридинов, способных к таутомерным превращениям. Процесс ингибирования кислотной коррозии пиридиновыми основаниями описан с помощью многопараметрических уравнений линейной регрессии, раздельно учитывающих электронное и экранирующее влияние ингибиторов. Показано, что определяющий вклад вносят электронные факторы.

На примере 3-аминотириола и его 4-производных показано, что защитная эффективность соединений при варьировании заместителей коррелирует с изменениями их электроотрицательности и химическими сдвигами сигналов протонов в ПМР-спектре винильной группы [36]. Отмечено, что с ростом константы Гаммета заместителей и уменьшением основности аминов увеличивается доля физически адсорбированных и уменьшается доля хемосорбированных молекул ингибиторов на поверхности металла [36].

Катионы металлов, переходящие в электролит, всегда ассоциируются с частицами растворителя, противоионами или другими компонентами среды, имеющими свободные электронные пары. Аква- и гидросокомплексы наиболее распространенных в технике металлов термодинамически довольно устойчивы, с чем отчасти связана важная роль воды при активном растворении и пассивации металла. Присутствие в воде различных соединений приводит к их адсорбции – т. е. замещению адсорбатом частиц растворителя у поверхности металла. Все частицы на границе электрод–раствор реализуются в двойном электрическом слое и процесс адсорбции зависит от заряда поверхности. Ряд авторов [37] предлагают рассматривать растворение, депассивацию и ингибирование коррозии металла как следствие нуклеофильного замещения лигандов в поверхностном комплексе. В соответствии с этим, анион An^- как атакующий нуклеофил в реакции:

$$[Me(OH)_k S_l]_{\text{адс}}^{z-k} + mAn^- \rightarrow [Me(OH)_{k-m} S_{l-m} An_m]_{\text{адс}}^{z-k} + mOH^- + nS + (z_1 - z)е$$

вытесняет из поверхностного комплекса кислородсодержащие частицы (OH^-) и молекулы растворителя S . Если образовавшийся комплекс достаточно устойчив и труднорастворим в коррозионной среде, то растворение металла замедлится, противоположные свойства комплекса способны ускорять активное растворение.

Вытеснению ингибирующего аниона из его поверхностного комплекса должна препятствовать высокая энергия связи ингибитора с металлом, в силу этого особый интерес вызывают соединения, способные образовывать устойчивые хелатные комплексы, прочность которых возрастает за счет образования помимо σ -связей, еще и донорно-акцепторных π -связей. В ряду таких соединений важное место занимают хелатообразующие азотсодержащие соединения – производные триазола, имидазола, тиазола и оксазола [37].

Таким образом, для ингибирования коррозионных процессов в нейтральных средах широко используются азотсодержащие соединения, защитная эффективность которых по отношению к стали увеличивается при наличии в соединении электронодонорных заместителей и сопряженных π -электронных систем. Торможение электродных реакций происходит и в том случае, если соединение ограниченно растворимо в воде и способно образовывать с защищаемым металлом труднорастворимые комплексы.

Актуальной задачей является выпуск многофункциональных ингибиторов, имеющих максимально широкие области применения.

Применительно к смесевым топливам, содержащим как фракции прямой перегонки нефти, так и продукты ее деструктивной переработки, присадки должны обладать способностью стабилизировать

топливо при хранении и проявлять свойства ингибиторов коррозии в среде подтоварной воды.

Анализ закономерностей окисления топливных компонентов и антикоррозионных свойств органических веществ позволяет сформулировать систему требований для создания таких присадок:

1. Присадки должны обладать способностью обрывать цепи окисления, взаимодействуя с пероксидными радикалами, для чего в состав молекулы должны входить функциональные группы, способные отщеплять протон (например, гидроксид- или аминогруппы). Активность присадки увеличивают электронодонорные заместители, облегчающие отрыв протона.

Электронодонорные заместители увеличивают электронную плотность на донорных центрах молекулы, повышая адсорбируемость соединений на поверхности стали и их защитное действие.

2. Для более эффективного предотвращения процессов окисления и радикальной полимеризации структура ингибитора должна включать развитую сопряженную π -электронную систему, чтобы образующийся при взаимодействии с пероксидными радикалами продукт был настолько стабилизирован сопряжением, что не мог бы промотировать радикальные реакции.

3. Молекулы присадок могут включать ароматические фрагменты, наличие которых не только увеличивает систему сопряжения, но и способствует образованию промежуточного комплекса за счет взаимодействия неспаренного электрона пероксидного радикала с π -электронами ароматического кольца, что повышает антиокислительную эффективность. Ароматические фрагменты в процессе адсорбции на металлической поверхности ориентируются параллельно защищаемой поверхности, увеличивая площадь экранирования.

4. Для подавления каталитического действия металла присадка должна образовывать с металлами комплексы, неактивные по отношению к гидропероксидам. Высокой деактивирующей способностью обладают соединения, образующие с атомом металла циклы из пяти или шести атомов. Органические лиганды способны защищать от растворения поверхность металла вследствие образования на ней труднорастворимых комплексов.

5. Эффективность присадки должна увеличиваться при наличии длинных гидрофобных радикалов, обеспечивающих изоляцию поверхности металла от агрессивной среды и увеличивающих растворимость присадок в топливе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Голубева И.А., Климаева Е.В., Яковлев В.С. Стабилизация смесевых дизельных топлив композициями антиокислителей с деактиваторами металлов // Химия и технология топлив и масел. 1994. № 3. С. 11-12.
2. Данилов А.М., Раткова М.Ю. Стабилизация дизельных топлив с вторичными компонентами // Химия и технология топлив и масел. 1993. № 8. С. 11-29.
3. Данилов А.М. Проблемы окислительной способности вторичных среднестиллятных топлив // Нефтехимия. 1992. Т. 32. № 4. С. 374-382.
4. Данилов А.М., Селягина А.А., Демин Н.Н., Митусова Т.Н., Перезжигина И.Я., Сенекина А.М. Стабилизация легкого газойля каталитического крекинга // Химия и технология топлив и масел. 1989. № 11. С. 9-11.
5. Morris R.E., Hazlett R.N., Mclivan C. The effect of stabiliser additives on the thermal stability of distillates from medium crude oil // Fuel Sci. And Technol. 1989. V. 7. P. 123-128.
6. Теоретические основы химмотологии / Под ред. А.А. Браткова. М.: Химия, 1985. 320 с.
7. Попова Т.В. Кинетические закономерности и механизм окисления прямогонного дизельного топлива, легкого газойля каталитического крекинга и их смесей: Автореф. дис. ... канд. хим. наук / ГАНГ им. И.М. Губкина. М., 1994. 212 с.
8. Голубева И.А., Климаева Е.В., Келарев В.И., Кошелев В.Н. Окисление и стабилизация углеводородных топлив в условиях длительного хранения // Химия и технология топлив и масел. 1997. № 5. С. 38-40.
9. Вишнякова Т.П., Голубева И.А., Крылов И.Ф., Лыков О.П. Стабилизаторы и модификаторы нефтяных дистиллятных топлив. М.: Химия, 1990. 192 с.
10. Арчаков Ю.И., Тесля Б.М., Никитина Т.В. Защита от коррозии резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов // Химия и технология топлив и масел. 1985. № 4. С. 7-9.
11. Гуреев А.А., Азев В.С., Камфер Г.М. Топливо для дизелей. Свойства и применение. М.: Химия, 1993. 336 с.
12. ГОСТ 2084-77. Бензины автомобильные. Технические условия. М.: Издательство стандартов, 1990. 19 с.
13. ГОСТ 305-82. Топливо дизельное. Технические условия. М.: Издательство стандартов, 1982. 6 с.
14. Юхневич Р., Богданович В., Валаиковский Е., Видуховский А. Техника борьбы с коррозией. М.: Химия, 1980. 224 с.
15. Кулиев А.М. Химия и технология присадок к маслам и топливам. Л.: Химия, 1985. 312 с.
16. Розенфельд И.Л. Атмосферная коррозия металлов. М.: Издательство АН СССР, 1960. 372 с.
17. Скорчеллетти В.В., Тукачинский С.Е. Об адсорбционной структуре ржавчин // Журнал прикладной химии. 1955. Т. 28. № 6. С. 651-655.
18. Митягин В.А. Разработка и применение ингибированных противокоррозионных покрытий для сельскохозяйственной техники. Автореф. дис. ... д-ра техн. наук / МГАУ им. В.П. Горячкина. М., 1995. 352 с.
19. Черникова Л.А. // Исследование ингибиторной защиты от внутренней коррозии резервуаров для нефтепродуктов: Тез. докл. / Седьмая областная научно-техническая конференция по коррозии и защите металлов в неводных и смешанных растворителях. Тамбов: ВИИТиН, 1991. С. 70-71.
20. Иванов Е.С., Редько В.П., Свирдлова К.В., Фролов В.И., Лазарев В.А., Чирков Ю.А. Защитное действие ингибиторов коррозии в углекислотных сероводородсодержащих средах // Защита металлов. 1992. Т. 28. № 1. С. 107-112.
21. Волошин В.Ф., Голосова О.П., Мазалевская Л.А., Бакуменко В.С., Шейнкман А.К. О защитном действии ингибитора сероводородной коррозии марки «ДИГАЗФЕН» // Защита металлов. 1988. Т. 24. № 5. С. 856-866.
22. Окунь Н.М. Состояние и тенденции развития применения ингибирующих присадок к охлаждающей воде дизелей // Двигательостроение. 1987. № 8. С. 47-48.
23. Козлов А.А., Моторыгина В.К., Герман М.Ф., Лаврентьева В.С., Жордецкая В.М., Проскуракова Л.Н., Волнистова И.М. Водоборотные системы, экологичность, защита от коррозии // Защита металлов. 1984. Т. 20. № 2. С. 283-284.
24. Визант Г.Т., Захарова Н.Н., Энглин А.Б., Бычкова Г.С. Влияние строения углеводородной цепи одноосновных кислот на их ингибиторные свойства // Защита металлов. 1988. Т. 24. № 1. С. 159-160.
25. Волошин В.Ф., Голосова О.П., Мазалевская Л.А. Строение и ингибирующее действие производных бензимидазола // Защита металлов. 1988. Т. 24. № 4. С. 665-666.
26. Батраков В.В., Баталева С.К. Влияние pH раствора на адсорбцию бензотриазола на Ст3 // Защита металлов. 1987. Т. 23. № 4. С. 671-673.
27. Шакиров А.С., Гликина Ф.Б., Супоничка И.И., Комарова Л.Б. // Производные фенолов и фенолятов – ингибиторы коррозии стали в нейтральных средах // «Ингибиторы коррозии металлов» / Межвуз. сб. науч. тр. МГПИ / М.-Тамбов, 1993. С. 49-54.
28. Патент 53-35782. Япония.
29. Шалимова М.А., Доя А.П., Пактер М.К. Сополимеры аминоктиролов с 2-винилхинолином и их антикоррозионная эффективность // Защита металлов. 1998. Т. 34. № 6. С. 646-651.
30. Старчак В.Г., Иоселиани Э.Г., Косухина Л.Д., Михальков С.Я. Об использовании отходов производства Грозненского ПО «Азот» в качестве ингибиторов // Защита металлов. 1989. Т. 25. № 6. С. 1006-1009.
31. Скрылев Л.Д., Стрельцова Е.А., Скрылева Т.Л. Длина углеводородной цепи и ингибирующее действие хлоридов алкиламмония // Защита металлов. 1991. Т. 27. № 6. С. 977-980.

32. Кузнецов Ю.И., Исаев В.А., Трунов Е.А. Влияние катиона-комплексообразователя на защиту стали оксиэтилидендифосфонатами // Защита металлов. 1990. Т. 26. № 5. С. 798-804.
33. Кузнецов Ю.И., Раскольников А.Ф. Роль природы лиганда в ингибировании коррозии металлов фосфонатами // Защита металлов. 1992. Т. 28. № 5. С. 707-724.
34. Скрыпник Ю.Г., Дорошенко Т.Ф., Ляцук С.Н. Влияние электронных и стерических факторов на ингибирование кислотной коррозии пиридинами // Защита металлов. 1991. Т. 27. № 2. С. 243-247.
35. Григорьев В.П., Экилик В.В. Химическая структура и защитное действие ингибиторов коррозии. Ростов н/Д: Изд-во Ростов. ун-та, 1978. 184 с.
36. Доля А.П., Пактер М.К., Шалимова М.А., Богатищева Т.В. Антикоррозионная эффективность производных м-аминостирола // Защита металлов. 1998. Т. 34. № 5. С. 533-537.
37. Кузнецов Ю.И. Роль комплексообразования в ингибировании коррозии // Защита металлов. 1990. Т.26. № 6. С. 954-964.