

ПРОБЛЕМА КОРРОЗИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ПО ХИМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ ДРЕВЕСИНЫ (ОБЗОР)

Г.Л. Олиференко¹, А.Н. Иванкин¹, А.В. Устюгов², А.Н. Зарубина¹

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

²МИРЭА – Российский технологический университет (РТУ МИРЭА), 119454, г. Москва, Проспект Вернадского, д. 78

oliferenko2@inbox.ru

Рассмотрены коррозионные процессы технологического оборудования на предприятиях целлюлозно-бумажной, гидролизной и лесохимической промышленности. Охарактеризовано влияние основных химических веществ, задействованных в технологическом процессе или образующихся при химической переработке древесины. Показана значимость использования легированных, коррозионностойких марок стали — 10X17H13M2T, 10X17H13M3T, 08X17H15M3T в процессах химической трансформации. Представлена информация о способах защиты конструкционных материалов от коррозии на предприятиях за последние годы. Отмечена перспективность промышленного использования метода анодной защиты, заключающегося в создании на поверхности защищаемой конструкции пассивирующей пленки путем анодной поляризации от внешнего источника постоянного тока. Аргументирована важность применения ингибиторов в составе технологических сред как одного из наиболее эффективных способов борьбы с коррозией металлов в агрессивных средах. Показана перспективность применения достижений зеленой химии, в частности, отходов переработки, как самой древесины, так и ингибиторов коррозии на основе растительных экстрактов, в качестве антикоррозионных средств, наряду с известными ингибиторами кислотной коррозии: КИ-1, ПБ-5, ПКУ-3, ХОСП-10, уротропина, КПИ-3, И-1-В и БА-6.

Ключевые слова: коррозия, химическая переработка древесины, защита от коррозии, ингибиторы коррозии

Ссылка для цитирования: Олиференко Г.Л., Иванкин А.Н., Устюгов А.В., Зарубина А.Н. Проблема коррозии технологического оборудования на предприятиях по химической переработке древесины (обзор) // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 3. С. 142–151. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-3-142-151

Коррозия металлов и сплавов наносит большой экономический и экологический ущерб народному хозяйству и приводит ежегодно к миллиардным убыткам. Основная проблема, причиняемая коррозией, заключается не только в потере металла как такового, но и в высокой стоимости металлических изделий, технологического оборудования и конструкций, разрушаемых коррозией, а также в косвенных потерях от выхода из строя агрегатов и устройств [1, 2]. Вследствие соприкосновения с сильноагрессивными технологическими средами коррозии подвержено практически все технологическое оборудование предприятий топливно-энергетического комплекса, химической, нефтехимической, целлюлозно-бумажной, гидролизной и лесохимической промышленности, т.е. там, где используются устройства и агрегаты, изготовленные из металлов [3–5].

Цель работы

Цель работы — анализ основных химических веществ и технологических параметров, влияющих на коррозионную стойкость оборудования, используемого при химической переработке древесины.

Химическую переработку древесины осуществляют на предприятиях целлюлозно-бумажной, гидролизной и лесохимической промышленности. Посредством делигнификации древесины произ-

водят целлюлозу, из которой в дальнейшем получают производные целлюлозы — химические волокна и бумагу [6, 7]. Посредством гидролиза древесины получают глюкозу и ксилозу, которые затем перерабатывают в этанол, ксилит, кормовые белковые дрожжи, диоксид углерода — фурфурол и его производные, органические кислоты и другие ценные продукты [6–8].

Термохимические процессы — пиролиз и газификация позволяют производить древесный уголь, вещества-восстановители, деготь, топливный газ [8]. Технологии экстракции используются для получения дубильных композиций, эфирных масел, биологически активных и пищевых веществ [9].

При химической переработке древесины в качестве целевых продуктов получают большое количество разнообразных химических веществ, при этом образуются сопутствующие им коррозионно-активные компоненты (CO_2 , H_2S , SO_2 , H_2O , растворы электролитов и др.) [6, 7, 10].

Технологическое оборудование предприятий химической переработки древесины, в том числе варочные котлы и подогреватели варочного щелока для производства целлюлозы, реакторы для гидролиза древесины, реторты для пиролиза древесины, трубы и детали печной арматуры пиролизных установок, резервуары, теплообменники, испарители и др., при длительной эксплуатации подвергается коррозии под воздействием

той или иной агрессивной среды: парогазов, содержащих CH_3SH , CH_3SCH_3 , H_2S , SO_2 , CO_2 , CO , H_2 , CH_4 и другие углеводороды, щелока (NaOH , Na_2S , Na_2SO_4 , Na_2CO_3 , Na_2SO_3 , $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, Na_2SiO_3), растворов кислот (H_2SO_4 , HCl). Коррозионный процесс развивается, несмотря на то, что для изготовления данного оборудования используют нержавеющие стали [4, 5].

Коррозия технологического оборудования предприятий химической переработки древесины

Коррозия в целлюлозно-бумажной промышленности. В настоящее время в мире наиболее распространен сульфатный метод производства целлюлозы [5–7]. Основная стадия этого процесса, сульфатная варка, заключается в обработке древесной щепы водным раствором, содержащим NaOH и Na_2S (белый щелок), при нагревании до $165 \dots 175 \text{ }^\circ\text{C}$ под давлением $0,25 \dots 0,8 \text{ МПа}$ в течение $1 \dots 3 \text{ ч}$. При этом в нерастворенной форме остается целлюлоза, а другие содержащиеся в древесине вещества, например лигнин, переходят в раствор. Целлюлозу, производимую сульфатным методом, называют сульфатной целлюлозой. Основными компонентами варочного раствора перед началом варки (белого щелока) являются NaOH и Na_2S ; в состав раствора в значительно меньших количествах входят также другие соли натрия, способствующие коррозии: Na_2CO_3 , Na_2SO_4 , Na_2SO_3 , $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, Na_2S_x , NaAlO_2 , Na_2SiO_3 .

В процессе варки состав варочного раствора существенно изменяется, концентрация активной щелочи снижается практически в 10 раз, в растворе появляются многочисленные органические соединения. Среди основных органических компонентов — лигнин, фенолы, продукты разрушения поли- и моносахаридов, натриевые соли органических кислот, таких как гликолевая, молочная, β -D-глюкоизосахаринавая, α -гидроксимасляная, муравьиная, уксусная, пропионовая, масляная, валериановая и др., серосодержащие органические соединения. Вместе с тем кислотность среды почти не изменяется, поскольку поддерживается за счет частичного и полного гидролиза солей натрия.

При сульфатной варке помимо собственно целлюлозы образуется множество отходов и побочных продуктов, из которых получают кормовые дрожжи, сульфатный лигнин, сульфатное мыло, фитостерин, талловое масло, канифоль, сернистые соединения, метанол, скипидар.

Важной операцией при получении целлюлозы является сдвук — периодический процесс принудительного выведения парогазовой смеси из

варочного котла для снижения давления, выделения ценных побочных органических продуктов, удаления газообразных отходов и утилизации тепла. При этом из котла удаляются посторонние газы и образующиеся летучие продукты: скипидар, метиловый спирт и опасные для металлической аппаратуры пары и газы, преимущественно H_2S (сероводород) и CH_3SH (метилмеркаптан), а также небольшие количества CH_3SCH_3 (диметилсульфида) и CH_3SSCH_3 (диметилдисульфида).

Для сульфатной варки целлюлозы из древесины используют моно- и биметаллические котлы «Камюр» (Швеция), «Хитачи Зосен» (Япония), котлы завода «Уралмаш» (корпус из углеродистой котельной стали марки 20К, защитный лакирующий слой из аустенитной коррозионностойкой стали марки 10X18H10T или марок 10X17H13M2(3)T, 08X17H15M3T) [5].

Многолетний опыт эксплуатации варочных котлов показал, что использование коррозионностойкой стали указанных марок в целом вполне приемлемо. Однако в процессе длительной эксплуатации котлов лакирующий слой подвергается локальным видам коррозионных поражений, третью часть которых составляет точечно-язвенная (питтинговая) коррозия. Еще одна треть — коррозия в виде потемнения поверхности, менее одной трети приходится на коррозию в виде конденсатных полос и ручьев (конденсатная коррозия). Другие виды локальных поражений варочных котлов (коррозионное растрескивание, межкристаллическая коррозия и ножевая коррозия сварного шва) составляют меньше 10 % [5, 11].

Основные причины коррозии — воздействие щелока, парогазов и ингибированной HCl , применяемой для промывки котлов (коррозия сварных швов и околошовных зон). Кроме того, нарушение устойчивого пассивного состояния обусловлено различными факторами технологии варки целлюлозы (температурой, давлением и составом варочных растворов), выявление которых затруднено при изменениях параметров и состава варочных растворов. Относительно простой состав варочных растворов в начале варки значительно усложняется к ее концу. Атмосфера производственных помещений варочных отделов и отбеливающих производств целлюлозно-бумажных предприятий (ЦБП) загрязнена агрессивными газами: SO_2 , Cl_2 и др. Конденсация влаги на стальных конструкциях и температура усиливают их коррозионное воздействие [12, 13].

Классическим способом получения целлюлозы остается сульфитная варка, запатентованная в США еще в 1866 г. [7, 14].

Производство сульфитной целлюлозы отличается наибольшей коррозионной активностью.

В сульфитных варках применяется H_2SO_3 в смеси с одним из оснований: $NaOH$, $NH_3 \cdot H_2O$, $Mg(OH)_2$, $Ca(OH)_2$ или с комбинацией оснований, например $NaOH + Ca(OH)_2$ или $NH_3 \cdot H_2O + Ca(OH)_2$. В зависимости от соотношения количества основания и SO_2 получают варочные растворы: кислые ($pH = 1,0 \dots 3,0$) — кисло-сульфитные варки, слабокислые ($pH = 3,5 \dots 5,0$) — бисульфитные варки, нейтральные ($pH = 6,0 \dots 7,0$) — нейтрально-сульфитные варки, щелочные ($pH = 8,0 \dots 10,0$) — моноссульфитные варки [15].

Следовательно, основными компонентами варочных растворов являются сернистая кислота, гидросульфит- и моноссульфит-ионы. Этими растворами обрабатывается древесина в виде щепы при температуре от 130 до 180 °С в варочных котлах периодического действия вместимостью от 160 до 320 м³.

В результате реакции делигнификации лигнин переходит в раствор, а другая часть, в виде волокнистого продукта (целлюлоза, полуцеллюлоза), подвергается дальнейшей обработке, в частности отбеливанию. Варочный раствор к концу варки обедняется сульфидирующими агентами, так как они расходуются в ходе реакции, но существенно обогащается веществами древесины. К концу варки технологические растворы, которые в ЦБП принято называть щелоками, содержат твердофазную целлюлозную массу, растворенный лигнин в виде лигносульфоната и богатую гамму органических веществ — сахаров, спиртов, альдегидов и кетонов, кислот ($HCOOH$, CH_3COOH и т. д.) и др. [15]. Указанные варочные растворы, особенно при кислосульфитных варках, являются особенно агрессивными, поэтому внутренний плакирующий слой варочных котлов и регенерационных цистерн выполнен из аустенитной хромоникельмолибденистой стали марки 10X17H13M2(3)Т. Эта сталь в варочных растворах и щелоках пассивна, что обуславливает в основном локальный характер коррозионных поражений [15].

Исследованию коррозии плакирующего слоя варочных котлов в ЦБП при сульфитной варке целлюлозы посвящены работы [15, 16]. Для борьбы с коррозией плакирующего слоя стали в варочных котлах актуально выявление коррозионноопасных варок, а в рамках одного вида варки — наиболее агрессивной ее технологической стадии. Поддержание стабильного состояния пассивности поверхности варочных котлов технологическими приемами при периодических варках целлюлозы — наиболее экономично и более обоснованно, нежели использование традиционных способов борьбы с коррозией (электрохимической и ингибиторной защиты). Одним из основных локальных коррозионных поражений плакирующего слоя варочных котлов является

питтинговая коррозия, которую вызывают в основном хлорид-ионы.

Кислый сульфитный способ варки целлюлозы — самый агрессивный, с точки зрения коррозии металлов [16]. Установлен основной агрессивный компонент в технологических средах целлюлозно-бумажной промышленности, влияющий на питтинговую коррозию конструкционных металлов — это SO_2 [15, 16]. Особенность его поведения объясняется способностью в зависимости от условий быть либо окислителем и восстанавливаться до серы или H_2S либо восстановителем и окисляться до сульфатов или H_2SO_4 .

Коррозия в гидролизном производстве. Как известно, полисахариды, составляющие около 70 % массы растений, способны подвергаться гидролитическому расщеплению до моносахаридов [6, 10, 17]. Катализаторами этого процесса обычно служат сильные минеральные кислоты. Наибольшее распространение получил метод перколяционного гидролиза [10]. Гидролиз проводится в присутствии разбавленной H_2SO_4 с концентрацией 0,2...1 % при температуре 180...190 °С и давлении 1...1,5 МПа. Продукты гидролизного производства — моносахариды, этанол, кормовые белковые дрожжи, фурфурол, CO_2 , ксилит.

Гидролиз растительного сырья осуществляется в стационарных гидролизных аппаратах, работающих под давлением. В промышленности применяют гидролизные аппараты вместимостью от 18 до 160 м³, изготавливаемые из кислотоупорной стали. Гидролизер представляет собой вертикальный цилиндрический стальной сосуд сварной конструкции со сферической верхней и конической нижней частями. Сферическая часть заканчивается загрузочной горловиной, закрываемой крышкой. Нижний конус оснащен выхлопным устройством для удаления лигнина после окончания процесса гидролиза сырья. В верхней части аппарата имеются штуцера для подачи варочной кислоты, сдувки паров воздуха и газов и для присоединения контрольно-измерительных приборов. В данном случае коррозионная активность технологической среды обусловлена присутствием кислотного катализатора — H_2SO_4 и образующимися продуктами гидролиза, в частности CO_2 [17].

Коррозия при пиролизе древесины. Нагревание древесины без доступа кислорода приводит к ее термическому разложению — *пиролизу*, с образованием газообразных, жидких и твердых продуктов. Пиролиз в основном заканчивается при температуре 500 °С с образованием твердого остатка в виде древесного угля. Однако уголь, полученный при этой температуре, при дальнейшем нагревании до 800 °С дает еще значительное количество неконденсирующихся газов. Продукты

пиролиза древесины чрезвычайно разнообразны. Среди них выделено более 200 индивидуальных соединений, образующихся в результате термодеструкции отдельных компонентов древесины, а также продуктов их взаимной конденсации. В процессе пиролиза древесина разлагается на древесный уголь и различные летучие продукты [6, 7]. При охлаждении эти продукты можно разделить на водный слой (содержит CH_3OH и CH_3COOH) и древесную смолу, в состав которой входят спирты, фенолы и органические кислоты и др. После отгонки летучих продуктов остается древесносмоляной пек, который используется как топливо и заменитель битумного лака. Неконденсируемые газы содержат CO , CO_2 , CH_4 , небольшое количество других углеводородов и водород.

Известно, что в оборудовании, где протекают подобные процессы и образуются такие агрессивные побочные продукты, имеет место коррозия металлических частей. В частности, коррозии подвергаются трубы печей, детали печной арматуры пиролизных установок, сами реторты пиролиза [6, 18]. Происходит газовая коррозия, протекающая по химическому механизму в газовой среде при минимальном содержании влаги или при высоких значениях температуры.

Коррозия деталей деревообрабатывающего оборудования. Установлен коррозионно-механический вид изнашивания поверхностей деталей стружечных станков, в частности, в зоне трения ножевого вала (или ножевого барабана) и древесины [19]. Показано, что наиболее существенно на характер и интенсивность изнашивания влияют H_2O , карбоновые кислоты и полифенольные соединения.

Технико-экономические показатели изготовления многих древесных композиционных материалов, прежде всего расход древесного сырья и связующих, энергозатраты на переработку, а также качество производимой продукции, формируются уже на стадии производства основной составляющей композита — древесной стружки. Здесь широко используют стружечные станки различных типов, потеря работоспособности которых связана в основном с износом рабочих поверхностей деталей узлов трения — ножевого вала, стружечного барабана, ножедержателей и т. д.

На основании результатов анализа основных физико-химических процессов для рассматриваемых узлов трения преобладающим *признано* *коррозионно-механическое изнашивание*, иначе называемое *трибокоррозией*. Это поверхностное разрушение конструкционных и инструментальных материалов при совместном воздействии механических нагрузок и химических реакций с внешней средой. Механизм изнашивания рассматриваемых поверхностей можно представить

как совокупность коррозионных процессов окисления (химического и электрохимического) и разупрочнения, разрыхления и разрушения поверхностей трения с параллельно протекающей газификацией поверхностных слоев.

При высоких значениях давления и температуры в зоне фрикционного взаимодействия древесина может разлагаться. В начале этого процесса при температуре $100 \dots 150$ °C испаряется свободная влага, затем при температуре $275 \dots 300$ °C разлагаются гемицеллюлозы, а далее — при температуре около 400 °C происходит распад древесного волокна, что сопровождается выделением кислот, спиртов и смол. Поэтому помимо оксидов на контактирующих поверхностях присутствуют адсорбированные слои химических соединений, образовавшихся при трибодеструкции древесины, в совокупности с полярными молекулами полимерных органических (свободных радикалов) и экстрактивных веществ.

Как известно, наиболее ощутимо на характер и интенсивность изнашивания влияют H_2O , карбоновые кислоты и полифенольные соединения, выделяющиеся при контакте стали с древесиной. Вода в нужном количестве — основополагающий фактор для коррозионной реакции металла с древесиной. Образовавшиеся при трибодеструкции древесины карбоновые кислоты (HCOOH , CH_3COOH , $\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}$ и некоторые другие) активно взаимодействуют с защитной оксидной пленкой на поверхности детали, растворяя ее, что способствует процессам коррозии [19].

Способы защиты металлов от коррозии

Методы противокоррозионной защиты подразделяются на три основные группы:

- 1) изменение свойств металла или сплава, подвергающегося коррозии;
- 2) отделение металла от коррозионной среды (защитные покрытия);
- 3) изменение свойств коррозионной среды [2, 3, 5].

Изменение свойств металла или сплава, подвергающегося коррозии. Значительное повышение коррозионной стойкости достигается при легировании металла или сплава специальными добавками, вызывающими торможение катодного или анодного процессов электрохимической коррозии [5, 20, 21]. В качестве катодных легирующих добавок в количестве до 1 % используются Cu , Ni , W , Pd , Pt и др. Торможение анодных процессов окисления связано с уменьшением площади анодных участков или с пассивированием сплава, в частности, при легировании сталей добавками Cr , Ti , Mo или Si . Для изготовления оборудования, используемого на предприятиях

химической переработки древесины, часто используют коррозионноустойчивую сталь, содержащую кроме Fe добавки Cr и Ni [21].

В технологическом оборудовании предприятий химической переработки древесины используются следующие типы стали. *Котельная сталь марки 20К* — сталь конструкционная углеродистая качественная, применяется в целлюлозно-бумажной промышленности, в частности, при изготовлении котлов для сульфатной варки целлюлозы, предназначена для изготовления днищ, цельнокованых и сварных барабанов, полумуфт, корпусов аппаратов и других деталей для нужд котлостроения [20].

Котельная сталь применяется в очень жестких условиях, на нее одновременно действуют высокое давление воды и пара, высокая температура дымовых газов, воды и пара, агрессивность воды и дымовых газов, следствием чего является образование коррозии. Одновременно действуют и механические нагрузки на элементы котлоагрегата, вызывая изгиб, растяжение, сжатие, поэтому сталь в данном случае должна иметь следующие основные свойства: прочность; твердость; хорошую свариваемость; пластичность; стойкость против коррозии и устойчивость к окалинообразованию.

Сталь конструкционная криогенная нержавеющая марок 10X18H10T, 12X18H10T. Хромоникелетитановая аустенитная сталь марок 10X18H10T или 12X18H10T обладает высокой коррозионной стойкостью в жидких средах при высоких значениях температуры давления, устойчива против межкристаллитной коррозии после сварочного нагрева. Используется в процессах сульфатной варки целлюлозы в качестве защитного плакирующего слоя корпусов варочных котлов, в реакторах и оборудовании гидролизной промышленности, для изготовления труб пиролизных установок, деталей печной арматуры и реторт [21].

Марки 10X17H13M2T, 10X17H13M3T, 08X17H15M3T — сталь легированная, коррозионноустойчивая. Это коррозионно-, кислото- и жаростойкая сталь, применяется в сварных конструкциях, работающих в условиях воздействия H_3PO_4 , H_2SO_4 , CH_3COOH и других средах повышенной агрессивности, предназначена для длительных сроков службы при температуре 600 °С; сталь аустенитного класса [26]. За счет присутствия Mo сталь имеет повышенную устойчивость к питтинговой коррозии в средах, содержащих ионы хлора. Наряду с этим Mo понижает стойкость стали к межкристаллитной коррозии (МКК) в окислительных средах, что активно используется в целлюлозно-бумажной и гидролизной промышленности.

Для термического разложения древесины без доступа воздуха (пиролиза) используют оборудование из *жаропрочной стали* [21]. Пиролиз осуществляют при температуре 500 °С, полученный уголь при дальнейшем нагревании до 800 °С образует значительное количество газообразных продуктов. Жаропрочная аустенитная сталь устойчива к воздействию высоких температур, что важно при развитии МКК. Этот материал можно нагревать до 1100 °С. При производстве данной модификации железосодержащей стали используются дополнительные добавки из Nb, В, V, Mo и W. Эти химические элементы повышают жаропрочность материала.

Отделение металла от коррозионной среды. Как указано выше, в биметаллических варочных котлах для сульфатной варки целлюлозы корпус котла, выполненный из котельной стали марки 20К, покрывают *защитным плакирующим слоем* из аустенитной нержавеющей стали марки 10X18H10T или марок 10X17H13M2(3)T, 08X17H15M3T [5]. Плакирование — это нанесение на поверхность металлического изделия другого металла или коррозионноустойчивой стали термомеханическим способом, например посредством сильного сжатия.

До уровня промышленного применения доведена *анодная защита* стальных емкостей для хранения и перевозки кислот и щелочей, а также защита автоклавов из углеродистой стали при щелочной варке целлюлозы [5]. Сущность анодной защиты состоит в создании на поверхности защищаемой конструкции пассивирующей пленки путем анодной поляризации от внешнего источника постоянного тока. Наличие галогенидных ионов в коррозионной среде не позволяет применять анодную защиту сплавов на основе железа вследствие опасности развития питтинговой коррозии.

Изменение свойств коррозионной среды. Эта группа методов способствует уменьшению концентрации коррозионных компонентов в той или иной среде (O_2 , H^+ , SO_2 , NO_2 и других окислителей), удалению из нее стимуляторов, активирующих коррозию, прежде всего F^- , Cl^- , Br^- , HS^- , S^{2-} , SO_3^{2-} и другие ионы или позволяет ввести в среду добавки веществ замедляющих коррозию (ингибиторов), в количестве до 1 %.

Применение ингибиторов — один из самых эффективных способов борьбы с коррозией металлов в различных агрессивных средах.

Ингибиторами коррозии называют химические соединения, которые, находясь в коррозионной среде в достаточной концентрации, уменьшают скорость коррозии без значительного изменения концентрации того или иного коррозионного реагента. Ингибиторами коррозии могут быть как соединения, так и композиции

химических соединений [22, 23, 33]. Защитное действие ингибиторов обусловлено уменьшением площади активной поверхности металла вследствие адсорбции ингибитора или образования с ионами металла труднорастворимых соединений, образующих на поверхности пленку, которая существенно тоньше наносимых защитных покрытий. Ингибиторы коррозии также могут изменять энергию активации электродных реакций, лимитирующих сложный коррозионный процесс.

По химической природе ингибиторы подразделяются на *неорганические* и *органические* [22, 23]. К неорганическим ингибиторам коррозии относятся фосфаты, дихроматы, молибдаты, хроматы, нитриты, полифосфаты, силикаты.

Имеются данные об использовании неорганических ингибиторов коррозии в виде фосфатов в процессах гидролиза древесины в разбавленных растворах H_2SO_4 при нагревании. Показана возможность снижения коррозионной активности технологической среды путем введения в кислотный катализатор на основе H_2SO_4 ингибиторов коррозии — $(NH_4)_2HPO_4$ (гидрофосфата аммония) и $Ca(H_2PO_4)_2$ (дигидрофосфата кальция) [17].

Органические ингибиторы коррозии, как правило, представляют собой вещества смешанного действия: они замедляют и катодную, и анодную реакции коррозионного процесса. Чаще всего в состав органических ингибиторов входят атомы N, O, S, неподеленная пара электронов которых создает условия для адсорбции ингибитора на активных участках поверхности металла и их пассивирования. Примерами органических ингибиторов являются диэтиламин, уротропин, пиридин, имидазолины, органические кислоты и их соли, формальдегид, тирокрезол, меркаптаны (тиолы), фенолы и др. [5, 33].

При эксплуатации оборудования в условиях воздействия кислых агрессивных сред также применяется ингибиторная защита [5, 15, 22, 24].

В качестве ингибиторов кислотной коррозии используются органические ингибиторы, поскольку они способны образовывать защитные пленки на поверхности металлов. К эффективным органическим ингибиторам относятся вещества, содержащие в своем составе атомы N, S и O в виде гидроксильного радикала.

Известные ингибиторы кислотной коррозии (КИ-1, ПБ-5, ПКУ-3, ХОСП-10, уротропин, КПИ-3, И-1-В, БА-6 и др.) применяются для защиты коррозионностойких марок стали при очистке HCl от органоминеральных отложений варочных котлов и подогревателей варочного щелока на предприятиях целлюлозно-бумажной промышленности [5, 15, 16].

В последние два десятилетия ведутся исследования по поиску и получению так называемых «зеленых» ингибиторов: более дешевых, доступных

и снижающих риск воздействия на окружающую среду [5, 25, 26]. Источниками таких веществ могут быть нетоксичные и возобновляемые растительные отходы. Создание ингибиторов на основе природных соединений является важным решением не только в области защиты металлов, но и в проблеме утилизации многотоннажных отходов сельского хозяйства. Установлено, что в качестве ингибиторов коррозии можно использовать натуральные продукты, растения и их экстракты [10, 25, 26].

С экономической и экологической точек зрения экстракты растений являются отличной альтернативой синтетическим ингибиторам благодаря их доступности и биоразлагаемости. Экстракты растений можно получить простым способом, они не требуют дополнительной очистки. Экстракты обычно получают с использованием доступных дешевых растворителей, например воды, этанола этилацетата или ацетона. Эти экстракты содержат множество натуральных продуктов, таких как эфирные масла, танины, пигменты, стероиды, терпены, флавоны и флавоноиды. В общем, в этих соединениях присутствуют сопряженные ароматические структуры, длинные алифатические цепи, гетероатомы — N, S и O со свободными электронными парами, которые доступны для образования связей с поверхностью металла. В большинстве случаев они действуют синергетически для проявления эффективности в отношении коррозионной защиты.

Из природных ингибиторов коррозии следует выделить *танины* — органические соединения, содержащие фенольные группировки, которые ингибируют коррозию металла за счет образования с катионом Fe^{3+} прочного комплексного соединения подобно оксидной пленке [26].

В промышленных масштабах танины получают при утилизации отходов деревообрабатывающих предприятий из коры дуба, ивы, лиственницы, а также некоторых травянистых растений (тарана, таволги или лабазника, ревеня, травы зверобоя), поэтому были изучены ингибирующие свойства различных растительных экстрактов. В результате предложены ингибиторы кислотной коррозии на основе экстрактов из отходов деревообрабатывающих предприятий: экстракта коры осины (ЭКО), экстракта коры дуба (ЭКД), экстракта коры сосны (ЭКС), экстракта коры ели (ЭКЕ), экстракта коры лиственницы (ЭКЛ), активными компонентами которых являются танины [5, 26, 27]. Установлено высокое защитное действие ингибиторов ЭКО, ЭКЕ с синергетической добавкой уротропина на аустенитные котельные марки стали при 50 °C в 5%-м растворе HCl на предприятиях ЦБП. Перспективными объектами для антикоррозионной защиты являются ЭКО, ЭКД, ЭКС, ЭКЕ, ЭКЛ [5].

Применение отходов переработки древесины в качестве антикоррозионных средств

Как известно, большая часть инноваций в области развития техники и технологии направлена на энерго- и ресурсосбережение, а также на защиту окружающей среды от вредных воздействий. С этой точки зрения актуально использование в антикоррозионной технике материалов на основе побочных продуктов и отходов различных производств, в том числе отходов переработки древесины.

Разработаны ингибирующие смазки на основе смеси таллового пека (отхода переработки древесины) с талловым маслом для защиты от коррозии при сезонной консервации крупногабаритной техники: комбайнов, тракторов, снегоуборочных машин и т. д. [28, 29]. Достоинством лакокрасочных материалов на основе таллового пека и таллового масла является возможность нанесения их на ржавую поверхность без предварительной подготовки [29].

Особыми средствами защиты от коррозии являются *преобразователи ржавчины* [27, 30]. Преобразователь ржавчины — это химический раствор или грунтовка, который наносят на поверхность железа или железного сплава для превращения оксидов железа (ржавчины) в защитный химический барьер [31]. Преобразователи ржавчины — это средства, позволяющие подготовить поверхность изделий из черного металла под окрашивание, и даже склеивание, без предварительного тщательного удаления продуктов коррозии. Особый интерес представляет применение лигнина в качестве основного компонента преобразователей ржавчины.

Гидролизный лигнин, сульфатный лигнин и лигносульфонаты — крупнотоннажные и дешевые отходы гидролизных заводов по переработке древесины и предприятий ЦБП. Известно использование гидролизного лигнина для получения преобразователей ржавчины [30–32]. Гидролизный лигнин является эффективным поверхностно-активным веществом (ПАВ). Он способен образовывать хелатные соединения с катионами Fe^{3+} за счет своих функциональных групп, что приводит к модифицированию ржавчины в стабильные водонепроницаемые продукты, прочно связанные с поверхностью металла. В качестве составных частей антикоррозионных покрытий предложено использовать также технические лигносульфонаты, талловый пек, талловое масло и другие вещества, выполняющие роль модификаторов ржавчины [15].

Бумага, пропитанная антикоррозионными веществами также может выступать в качестве защиты металлических изделий от коррозии [33].

Выводы

Анализ проблемы коррозии технологического оборудования, используемого на предприятиях химической переработки древесины, показал, что за последние десятилетия достигнуты значительные успехи в создании эффективных способов защиты агрегатов и устройств от различных видов коррозии.

Список литературы

- [1] Кац Н.Г., Стариков В.П., Парфенова С.Н. Химическое сопротивление материалов и защита оборудования нефтегазопереработки. М.: Машиностроение, 2011. 436 с.
- [2] Пахомов В.С. Коррозия и защита теплообменного оборудования химических производств. Пенза: Изд-во Пензенского ГТУ, 2013. 364 с.
- [3] Жарский И.М., Иванова Н.П., Куис Д.В., Свиуднович Н.А. Коррозия и защита металлических конструкций и оборудования. Минск: Высш. шк., 2012. 303 с.
- [4] Замалетдинов И.И. Коррозия и защита металлов. Коррозия порошковых материалов. Пермь Изд-во Пензенского ГТУ, 2007. 188 с.
- [5] Коррозия и защита металлов и оборудования: методические указания / сост. Е.В.Школьников, И.Я. Киселев. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского ГЛТУ, 2014. 40 с.
- [6] Тарасов С.М., Кононов Г.Н. Комплексная химическая переработка древесины. М.: Изд-во МГУЛ, 2016. 122 с.
- [7] Комплексная химическая переработка древесины / сост. А.В. Буров, Р.Г. Алиев, Э.П. Терентьева. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского ГТУРП, 2008. 61 с.
- [8] Кузнецов Б.Н., Кузнецова С.А., Тарабанько В.Е. Новые методы получения химических продуктов из биомассы деревьев сибирских пород // Российский химический журнал, 2004. Т. 48. № 3. С. 4–20.
- [9] Зарубина А.Н., Иванкин А.Н., Веревкин А.Н., Сердюкова Ю.В. Комплексная химическая переработка древесины. М.: Изд-во МГУЛ, 2016. 37 с.
- [10] Корольков И.И. Перколяционный гидролиз растительного сырья. М.: Лесная пром-сть, 1990. 272 с.
- [11] Ананьева Г.Ф., Школьников Е.В., Ингибирующие добавки и коррозия котельной стали 20К // Бумажная промышленность, 1986. № 12. С. 26–27.
- [12] Школьников Е.В., Ананьева Г.Ф., Смирнов В.Д. Как снизить коррозию варочных котлов // Бумажная промышленность, 1988. № 12. С. 32–34.
- [13] Школьников Е.В., Ананьева Г.Ф. Ингибирование коррозии варочного и теплообменного оборудования при очистке соляной кислотой // Целлюлоза. Бумага. Картон, 1999. № 7–8. С. 38–40.
- [14] Бобров А.И., Мутовина М.Г. Производство бисульфитной целлюлозы. М.: Лесная пром-сть, 1979. 192 с.
- [15] Замалетдинов И.И. Локальная коррозия и защита нержавеющих сталей в варочных средах целлюлозно-бумажной промышленности: автореф. дис. ... д-ра хим. наук: 05.17.03. Пермь, 2001. 40 с.
- [16] Ермашева В.М. Коррозия нержавеющих сталей в варочных средах целлюлозно-бумажной промышленности и технологические способы защиты от нее: дис. ... канд. хим. наук. Пермь, 1996. 126 с.
- [17] Русских А.С. Разработка энергосберегающей технологии деполимеризации полисахаридов древесины: автореф. дис. ... канд. хим. наук: 03.00.23. Москва, 1999. 21 с.
- [18] Апраксина Л.М., Сигаев В.Я. Коррозия металлов и методы оценки их химической стойкости. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского ГТУРП, 2008. 45 с.

- [19] Памфилов Е.А., Лукашов С.В., Прозоров Я.С. Механохимическое разрушение деталей деревообрабатывающего оборудования // *Фізико-хімічна механіка матеріалів (Physicochemical Mechanics of Materials)*, 2014. № 1. С. 134–141.
- [20] Antonov M., Veinthal R., Huttunen-Saarivirta E., Hussainova I., Vallikivi A. Effect of oxidation on erosive wear behaviour of boiler steels // *Tribology International*, 2013, vol. 68, no. 12, pp. 35–44.
- [21] Singhal T.S., Jain J.K. GMAW cladding on metals to impart anti-corrosiveness: Machine, processes and materials // *Materials Today*, 2020, vol. 26, no. 2, pp. 2432–2441.
- [22] Козлова Л.С., Сибилева С.В., Чесноков Д.В., Кутырев А.Е. Ингибиторы коррозии (обзор) // *Авиационные материалы и технологии*, 2015. № 2. С. 67–75.
- [23] Хайдарова Р.Г. Ингибиторы коррозии для защиты нефтепромышленного оборудования // *Современные проблемы науки и образования*, 2014. № 6. С. 1–8.
- [24] Шарипова Л.Р., Олиференко Г.Л., Вагапов Р.К., Иванкин А.Н. Исследование коррозионных процессов объектов транспортировки природного сырья и оборудования химической переработки древесины // *Всеросс. студ. конф. «Студенческая научная весна», посвященная 190-летию МГТУ им. Н.Э. Баумана»: сб. тез. докл. / МГТУ им. Н.Э. Баумана, СНТО им. Н.Е. Жуковского. М.: Издательский дом «Научная библиотека», 2020. С. 463–465.*
- [25] Шипигузов И.А., Колесова О.В., Вахрушев В.В., Казанцев А.Л., Пойлов В.З., Лановецкий С.В., Черезова Л.А. Современные ингибиторы коррозии // *Вестник ПНИПУ*, 2016. № 1. С. 114–127.
- [26] Еркаева М.А. Разработка ингибирующих составов для защиты металлических изделий от коррозии. Тольятти: Изд-во Тольяттинского ГУ, 2018. 54 с.
- [27] Кузьмина И.Е. Разработка рецептуры преобразователя ржавчины на основе экстракта коры лиственницы. Якутск: Изд-во Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова, 2019. 64 с.
- [28] Апраксина Е.А., Апраксина Л.М., Михайлова И.С. Перспективы использования таллового пека для антикоррозионных покрытий. Тезисы доклада // *Повышение эффективности тепловых хозяйств предприятий: III Междунар. научн.-практ. конф., 3–5 марта 2010, Санкт-Петербург. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского ГТУРП, 2010. С. 203–207.*
- [29] Апраксина Е.А., Михайлов И.С. Применение отходов ЦБП для защиты от коррозии при консервации машин и механизмов // *Инновационная наука в глобализирующемся мире. Уфа: Ника, 2015. С. 132–135.*
- [30] Абзалова Д.А. Разработка и исследование защитных свойств преобразователей ржавчины на основе промышленных отходов: автореф. дис. ... канд. хим. наук: 02.06.16. Ташкент, 1991. 15 с.
- [31] Балыбин Д.В., Костякова А.А., Попова Е.Д., Кудрявцева Н.М. Использование модификаторов ржавчины как метода преобразования продуктов коррозии на поверхности металлических изделий // *Вестник ТГУ*, 2014. Вып. 3(19). С. 1–5.
- [32] Житарь Б.Е., Самойлов В.В. Применение лигнинового преобразователя ржавчины для защиты металлов от коррозии // *Сб. науч. тр. ДОНИЖТ*, 2019. № 52. С. 57–60.
- [33] Голубев М.И., Глебов И.В., Быков В.В. Влияние вакуумной пропитки отходами производства растительных масел на прочность антикоррозионной бумаги // *Вестник МГУЛ – Лесной вестник*, 2015. № 6. С. 100–102.

Сведения об авторах

Олиференко Галина Львовна — канд. хим. наук, доцент кафедры химии и химических технологий в лесном комплексе, МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), oliferenko2@inbox.ru

Иванкин Андрей Николаевич — д-р хим. наук, профессор кафедры химии и химических технологий в лесном комплексе, МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), aivankin@mgul.ac.ru

Устюгов Александр Викторович — канд. хим. наук, ст. преподаватель кафедры общей химической технологии, МИРЭА – Российский технологический университет (РТУ МИРЭА), ustyugov.alexandr@mail.ru

Зарубина Анжелла Николаевна — канд. техн. наук, зав. кафедрой химии и химических технологий в лесном комплексе, МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), zarubina@mgul.ac.ru

Поступила в редакцию 13.01.2021.

Принята к публикации 04.02.2021.

ISSUE OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT CORROSION AT CHEMICAL WOOD PROCESSING ENTERPRISES (REVIEW)

G.L. Oliferenko¹, A.N. Ivankin¹, A.V. Ustyugov², A.N. Zarubina¹

¹BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

²MIREA – Russian Technological University (RTU MIREA), 78, Vernadsky pr., 119454, Moscow, Russia

oliferenko2@inbox.ru

The review is devoted to the problem of corrosion in the chemical processing of wood. Corrosion processes of technological equipment at enterprises of the pulp and paper, hydrolysis and wood chemical industries are considered. The influence of the main chemical substances involved in the technological process or formed during the chemical processing of wood is discussed. The importance of using alloyed, corrosion-resistant steels of grades 10Kh17N13M2T, 10Kh17N13M3T, 08Kh17N15M3T in the processes of chemical transformation is shown. The information on methods of protection of structural materials from corrosion at enterprises in recent years is presented. The prospects of industrial use of the method of anodic protection, which consists in creating a passivating film on the surface of the protected structure by anodic polarization from an external source of direct current, is noted. The importance of using inhibitors in the composition of technological media is discussed, as one of the most effective ways to combat metal corrosion in aggressive media. It is noted that in addition to the well-known inhibitors of acid corrosion KI-1, PB-5, PKU-3, KhOSP-10, urotropin, KPI-3, I-1-V, BA-6, the use of green chemistry advances is promising, in particular, the use of anticorrosive agents for waste processing of both wood itself and corrosion inhibitors based on plant extracts.

Keywords: corrosion, wood chemical processing, corrosion protection, corrosion inhibitors

Suggested citation: Oliferenko G.L., Ivankin A.N., Ustyugov A.V., Zarubina A.N. *Problema korrozii tekhnologicheskogo oborudovaniya na predpriyatiyakh po khimicheskoy pererabotke drevesiny (obzor)* [Issue of technological equipment corrosion at chemical wood processing enterprises (review)]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 3, pp. 142–151. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-3-142-151

References

- [1] Kats N.G., Starikov V.P., Parfenova S.N. *Khimicheskoe soprotivlenie materialov i zashchita oborudovaniya neftegazoperabotki* [Chemical resistance of materials and protection of oil and gas processing equipment]. Moscow: Mashinostroenie, 2011, 436 p.
- [2] Pakhomov V.S. *Korroziya i zashchita teploobmennogo oborudovaniya khimicheskikh proizvodstv* [Corrosion and protection of heat exchange equipment of chemical production]. Penza State Technological University, 2013, 364 p.
- [3] Zharskiy I.M., Ivanova N.P., Kuis D.V., Svidunovich N.A. *Korroziya i zashchita metallicheskikh konstruksiy i oborudovaniya* [Corrosion and protection of metal structures and equipment]. Minsk: Vychshaya shkola, 2012, 303 p.
- [4] Zamaletdinov I.I. *Korroziya i zashchita metallov. Korroziya poroshkovykh materialov* [Corrosion and protection of metals. Corrosion of powder materials]. Perm: Perm Publishing house State Technological University, 2007, 188 p.
- [5] *Korroziya i zashchita metallov i oborudovaniya: metodicheskie ukazaniya* [Corrosion and protection of metals and equipment]. Compilers E.V. Shkolnikov, I.Ya. Kiselev. St. Petersburg: SPbGLTU, 2014, 40 p.
- [6] Tarasov S.M., Kononov G.N. *Kompleksnaya khimicheskaya pererabotka drevesiny* [Complex chemical processing of wood]. Moscow: MSFU, 2016, 122 p.
- [7] *Kompleksnaya khimicheskaya pererabotka drevesiny* [Complex chemical processing of wood]. Compilers A.V. Burov, R.G. Aliev, E.P. Terent'ev. St. Petersburg: SPb GTURP, 2008, 61 p.
- [8] Kuznetsov B.N., Kuznetsova S.A., Taraban'ko V.E. *Novye metody polucheniya khimicheskikh produktov iz biomassy derev'ev sibirskikh porod* [New methods of obtaining chemical products from the biomass of Siberian trees]. *Rossiyskiy khimicheskii zhurnal* [Ros. Chem. J. (J. Ros. Chem. Society named after D.I. Mendeleev)], 2004, v. 48, no. 3, pp. 4–20.
- [9] Zarubina A.N., Ivankin A.N., Verevkin A.N., Serdyukova Yu.V. *Kompleksnaya khimicheskaya pererabotka drevesiny* [Complex chemical processing of wood]. Moscow: MSFU, 2016, 37 p.
- [10] Korol'kov I.I. *Perkolyatsionnyy gidroliz rastitel'nogo syr'ya* [Percolation hydrolysis of plant materials]. Moscow: Forest Industry, 1990, 272 p.
- [11] Anan'eva G.F., Shkol'nikov E.V. *Ingibiruyushchie dobavki i korroziya kotel'noy stali 20K* [Inhibiting additives and corrosion of boiler steel 20K]. *Bumazhnaya promyshlennost'* [Paper Industry], 1986, no. 12, pp. 26–27.
- [12] Shkol'nikov E.V., Anan'eva G.F., Smirnov V.D. *Kak snizit' korroziyu varochnykh kotlov* [How to reduce the corrosion of digesters]. *Bumazhnaya promyshlennost'* [Paper Industry], 1988, no. 12, pp. 32–34.
- [13] Shkol'nikov E.V., Anan'eva G.F. *Ingibirovanie korrozii varochnogo i teploobmennogo oborudovaniya pri oчитке soyanoy kisloty* [Inhibition of corrosion of cooking and heat exchange equipment during cleaning with hydrochloric acid]. *Tsellyuloza. Bumaga. Karton* [Cellulose. Paper. Cardboard], 1999, no. 7–8, pp. 38–40.
- [14] Bobrov A.I., Mutovina M.G. *Proizvodstvo bisulfitnoy tsellyulozy* [Production of bisulfite cellulose]. Moscow: Lesnaya Promyshlennost', 1979, 192 p.
- [15] Zamaletdinov I.I. *Lokal'naya korroziya i zashchita nerzhavayushchikh staley v varochnykh sredakh tsellyulozno-bumazhnoy promyshlennosti* [Local corrosion and protection of stainless steels in cooking media of the pulp and paper industry]. Dis. Dr. Sci. [Chem.] 05.17.03. Perm University, Perm, 2001, 40 p.
- [16] Ermasheva V.M. *Korroziya nerzhavayushchikh staley v varochnykh sredakh tsellyulozno-bumazhnoy promyshlennosti i tekhnologicheskie sposoby zashchity ot nee* [Corrosion of stainless steels in cooking media of the pulp and paper industry and technological methods of protection against it]. Dis. Dr. Sci. [Chem.], Perm University, Perm, 1996, 126 p.

- [17] Russkikh A.S. *Razrabotka energosberegayushchey tekhnologii depolimerizatsii polisakharidov drevesiny* [Development of energy-saving technology for depolymerization of wood polysaccharides]. Dis. Dr. Sci. [Chem.] 03.00.23, Moscow, 1999, 21 p.
- [18] Apraksina L.M., Sigaev V.Ya. *Korroziya metallov i metody otsenki ikh khimicheskoy stoykosti* [Corrosion of metals and methods for assessing their chemical resistance]. St. Petersburg: SpbGTURP, 2008, 45 p.
- [19] Pamfilov E.A., Lukashov S.V., Prozorov Ya.S. *Mekhanokhimicheskoe razrushenie detaley derevoobrabatyvayushchego oborudovaniya* [Mechanochemical destruction of parts of woodworking equipment] *Fiziko-khimichna mekhanika materialiv* [Physicochemical Mechanics of Materials], 2014, no. 1, pp. 134–141.
- [20] Antonov M., Veinthal R., Huttunen-Saarivirta E., Hussainova I., Vallikivi A. Effect of oxidation on erosive wear behaviour of boiler steels // *Tribology International*, 2013, vol. 68, no. 12, pp. 35–44.
- [21] Singhal T.S., Jain J.K. GMAW cladding on metals to impart anti-corrosiveness: Machine, processes and materials // *Materials Today*, 2020, vol. 26, no. 2, pp. 2432–2441.
- [22] Kozlova L.S., Sibileva S.V., Chesnokov D.V., Kutyrev A.E. *Ingibitory korrozii (obzor)* [Corrosion inhibitors (review)]. *Aviatsionnye materialy i tekhnologii* [Aviation Materials and Technologies], 2015, no. 2, pp. 67–75.
- [23] Khaydarova R.G. *Ingibitory korrozii dlya zashchity neftepromyslovogo oborudovaniya* [Corrosion inhibitors for the protection of oilfield equipment]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern Problems of Science and Education], 2014, no. 6, pp. 1–8.
- [24] Sharipova L.R., Oliferenko G.L., Vagapov R.K., Ivankin A.N. *Issledovanie korroziyonnykh protsessov ob'ektov transportirovki prirodnogo syr'ya i oborudovaniya khimicheskoy pererabotki drevesiny* [Investigation of corrosion processes in objects of transportation of natural raw materials and equipment for chemical processing of wood]. *Vserossiyskaya studencheskaya konferentsiya «Studencheskaya nauchnaya vesna», posvyashchennaya 190-letiyu MGTU im. N.E. Baumana»: sb. tezisev dokladov. MGTU im. N.E. Baumana, SNTU im. N.E. Zhukovskogo* [All-Russian student conference «Student scientific spring», dedicated to the 190th anniversary of the Moscow State Technical University N.E. Bauman: Sat. abstracts. MSTU named after N.E. Bauman, SNTU them. N.E. Zhukovsky]. Moscow: Izdatel'skiy dom «Nauchnaya biblioteka» [Scientific Library Publishing House LLC], 2020, pp. 463–465.
- [25] Shipiguzov I.A., Kolesova O. V., Vakhrushev V.V., Kazantsev A. L., Poylov V.Z., Lanovetskiy S.V., Cherezova L.A. *Sovremennyye ingibitory korrozii* [Modern corrosion inhibitors]. *Bulletin PNRPU*, 2016, no. 1, pp. 114–127.
- [26] Erkaeva M.A. *Razrabotka ingibiruyushchikh sostavov dlya zashchity metallicheskikh izdeliy ot korrozii* [Development of inhibiting compositions to protect metal products from corrosion]. *Togliatti: Togliatti State University*, 2018, 54 p.
- [27] Kuz'mina I.E. *Razrabotka retseptury preobrazovatelya rzhavchiny na osnove ekstrakta kory listvennitsy* [Development of a formulation of a rust converter based on an extract of larch bark]. *Yakutsk: North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov. Institute of Natural Sciences*, 2019, 64 p.
- [28] Apraksina E.A., Apraksina L.M., Mikhaylova I.S. *Perspektivy ispol'zovaniya tallovogo peka dlya antikorroziyonnykh pokrytiy. Tezisy doklada* [Prospects for the use of tallow pitch for anti-corrosion coatings. Theses of the report]. *Povyshenie effektivnosti teplovykh khozyaystv predpriyatiy: III Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya* [Increasing the efficiency of thermal facilities of enterprises: 3rd international scientific and practical conference]. St. Petersburg, 2010, pp. 203–207.
- [29] Apraksina E.A., Mikhaylov I.S. *Primenenie otkhodov TsBP dlya zashchity ot korrozii pri konservatsii mashin i mekhanizmov* [The use of pulp and paper waste for corrosion protection during conservation of machines and mechanisms]. *Innovatsionnaya nauka v globaliziruyushchemsya mire* [Innovative science in a globalizing world]. Ufa: Publishing house of LLC «Nika», 2015, pp. 132–135.
- [30] Abzalova D.A. *Razrabotka i issledovanie zashchitnykh svoystv preobrazovatelye rzhavchiny na osnove promyshlennykh otkhodov* [Development and research of protective properties of rust converters based on industrial waste]. *Dis. Dr. Sci. [Chem.] 02.06.16. Tashkent*, 1991, 15 p.
- [31] Balybin D.V., Kostyakova A.A., Popova E.D., Kudryavtseva N.M. *Ispol'zovanie modifikatorov rzhavchiny kak metoda preobrazovaniya produktov korrozii na poverkhnosti metallicheskikh izdeliy* [The use of rust modifiers as a method of transforming corrosion products on the surface of metal products]. *Vestnik TSU*, 2014, iss. 3 (19), pp. 1–5.
- [32] Zhitar' B.E., Samoylov V.V. *Primenenie ligninovogo preobrazovatelya rzhavchiny dlya zashchity metallov ot korrozii* [The use of a lignin rust converter to protect metals from corrosion]. *Scientific Proceedings DONIGT*, 2019, no. 52, pp. 57–60.
- [33] Golubev M.I., Glebov I.V., Bykov V.V. *Vliyaniye vakuumnoy propitki otkhodami proizvodstva rastitel'nykh masel na prochnost' antikorroziyonnoy bumagi* [Influence of vacuum impregnation with vegetable oil production waste on the strength of anti-corrosion paper]. *Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik*, 2015, no. 6, pp. 100–102.

Authors' information

Oliferenko Galina L'vovna — Cand. Sci. (Chemistry), Associate Professor of the Department of Chemistry, BMSTU (Mytishchi branch), oliferenko2@inbox.ru

Ivankin Andrey Nikolaevich — Dr. Sci. (Chemistry), Professor of the Department of Chemistry, BMSTU (Mytishchi branch), aivankin@mgul.ac.ru

Ustyugov Aleksander Viktorovich — Cand. Sci. (Chemistry), Senior Lecturer of the Department of General Chemical Technology, MIREA – Russian Technological University (RTU MIREA), ustyugov.alexandr@mail.ru

Zarubina Angella Nikolaevna — Cand. Sci. (Tech.), Head of the Department of Chemistry, BMSTU (Mytishchi branch), zarubina@mgul.ac.ru

Received 2021.

Accepted for publication 2021.