

И. Ф. Садретдинов (к.х.н., доц.)¹, И. А. Султанбекова (к.х.н., вед. спец.)², А. В. Слобода (асп.)³**ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ НОВЫХ ТИПОВ
ИНГИБИТОРОВ КОРРОЗИИ ДЛЯ ЗАМКНУТЫХ
ВОДНЫХ КОНТУРОВ ОХЛАЖДЕНИЯ КОМПРЕССОРОВ**

¹ Институт нефтепереработки и нефтехимии ФГБОУ ВО УГНТУ в г. Салавате,
кафедра химико-технологических процессов
453250, г. Салават, ул. Губкина, 22Б; e-mail: 28sif@snos.ru

² ООО «Газпром нефтехим Салават», лаборатория проблемных исследований
453256, г. Салават, ул. Молодогвардейцев, 30; e-mail: 28sia@snos.ru

³ Уфимский государственный нефтяной технический университет,
кафедра технологии нефти и газа
450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1; e-mail: slobod@yandex.ru

I. F. Sadretdinov¹, I. A. Sultanbekova², A. V. Sloboda³**INDUSTRIAL TESTING OF NEW TYPES OF CORROSION
INHIBITORS FOR CLOSED WATER COOLING CIRCUITS
OF COMPRESSORS**

¹ Institute of Oil Refining and Petrochemistry of FSBEI HE USPTU in Salavat
22B, Gubkina Str., 453250, Salavat, Russia; e-mail: 28sif@snos.ru

² LLC Gazprom neftekhim Salavat
30, Molodogvardeyev Str., 453256, Salavat, Russia; e-mail: 28sia@snos.ru

³ Ufa State Petroleum Technological University
1, Kosmonavtov Str., 450064, Ufa, Russia; e-mail: slobod@yandex.ru

Рассмотрена эффективность различных типов ингибиторов коррозии для замкнутых контуров охлаждения компрессоров и иного технологического оборудования промышленных предприятий. По результатам опытно-промышленных испытаний ингибитор коррозии на основе водорастворимого модифицированного производного 1,2-алкилимидазолина, полученного конденсацией жирных кислот таллового масла, 2-аминоэтилэтаноламина и акриловой кислоты, в условиях циркуляционной воды замкнутого контура охлаждения установки очистки газов от сернистых соединений и компримирования газов (ОГ и КГ) цеха №8 Нефтеперерабатывающего завода (НПЗ) ООО «Газпром нефтехим Салават» показал низкую эффективность, что, вероятно, связано с загрязненностью воды замкнутого контура охлаждения к концу двухгодичного межремонтного пробега. Поэтому была разработана и предложена рецептура нового универсального ингибитора коррозии на основе нитритов, нетребовательного к степени чистоты воды замкнутого контура. Ингибитор коррозии на основе нитритов, как по результатам лабораторных, так и по резуль-

The article examines the effectiveness of various types of corrosion inhibitors for closed cooling circuits of compressors and other technological equipment of industrial enterprises. According to the results of pilot industrial tests, a corrosion inhibitor based on a water-soluble modified derivative of 1,2-alkylimidazoline, obtained by condensation of fatty acids of tall oil, 2-aminoethylethanolamine and acrylic acid, in the conditions of circulating water in a closed cooling circuit of a gas purification plant from sulfur compounds and gas compression unit №8 Oil refinery of the LLC Gazprom Neftekhim Salavat showed low efficiency, which is probably due to contamination of the water in the closed cooling circuit at the end of the two-year overhaul period. Therefore, a formulation of a new universal corrosion inhibitor based on nitrites, undemanding in terms of the purity of closed-loop water, was developed and proposed. The nitrite-based corrosion inhibitor, both in laboratory and pilot-industrial tests, showed high efficiency (both in clean water and in water contaminated with various ions), which made it possible to reduce the corrosion rate of carbon steel to 0.003 mm/year when used in dosages

Дата поступления 11.02.24

татам опытно-промышленных испытаний, показал высокую эффективность (как в чистой воде, так и в воде, загрязненной различными ионами), позволившую снизить скорость коррозии углеродистой стали до 0.003 мм/год при использовании в дозировках, обеспечивающих содержание нитритов в циркуляционной воде на уровне 300–400 ppm.

Ключевые слова: анодные ингибиторы коррозии; замкнутые водные контуры охлаждения; ингибитор коррозии углеродистой стали; коррозия; механизм действия ингибитора коррозии; нитриты; определение эффективности ингибитора коррозии; опытно-промышленный пробег; пассивация поверхности металла; рецептура.

Замкнутые водные контуры охлаждения используются в промышленности для организации охлаждения небольших групп оборудования, например, компрессоров или насосов. Установки, использующие охлаждение с замкнутым контуром, требуют небольшой объем воды для своей работы, но при этом большое внимание должно быть уделено как качеству используемой воды, так и ее обработке реагентами в случае необходимости.

Замкнутые водные контуры охлаждения, как правило, заполняют химически очищенной водой (ХОВ) или конденсатами. В таких системах отложения солей накипи не представляют большой проблемы в связи с низкими коэффициентами упаривания циркуляционной воды и редкими подпитками системы в небольших объемах. Основными сложностями в процессе эксплуатации замкнутых систем являются коррозия металла оборудования, а также микробиологическое заражение циркуляционной воды и, как следствие, развитие биокоррозии и подшламовой коррозии металла.

Ранее на базе научно-технического центра (НТЦ) ООО «Газпром нефтехим Салават» была разработана рецептура ингибитора коррозии (ИК) на основе фосфонатов и нового водорастворимого модифицированного производного 1,2-алкилимидазолина, полученного конденсацией жирных кислот таллового масла, 2-аминоэтилэтаноламина и акриловой кислоты ¹. Лабораторные испытания нового реагента по ингибированию коррозии углеродистой стали (Ст 20), в которых в качестве коррозионной среды была выбрана дистиллированная вода, показали, что в дозировках 50 и 70 г/т эффективность рецептуры составила более 80%, и новый ингибитор на основе модифицированного 1,2-алкилимидазолина был рекомендован для проведения опытно-промышленных испытаний (ОПИ) на установках ООО «Газпром нефтехим Салават» для обработки воды замкнутых контуров охлаждения компрессоров. Ожидаемый механизм действия соединений имидазоли-

ensuring the nitrite content in circulating water at the level of 300-400 ppm. Based on the results of all tests, the proposed nitrite-based reagent formulation was recommended for patenting and for further implementation at the gas purification plant from sulfur compounds and gas compression unit №8 Oil refinery of the LLC Gazprom Neftekhim Salavat.

Key words: anodic corrosion inhibitors; carbon steel corrosion inhibitor; closed water cooling circuits; corrosion; determination of the effectiveness of the corrosion inhibitor; industrial scale tests; mechanism of action of the corrosion inhibitor; nitrites; passivation of the metal surface; reagent composition.

нового ряда заключается в адсорбировании активного компонента на поверхности металла оборудования и создании тонкой пленки, защищающей металл от коррозии ².

При проведении ОПИ на установке ОГ и КГ цеха №8 НПЗ ООО «Газпром нефтехим Салават» пакета реагентов на основе фосфонатов (25% мас. раствор) и нового синтезированного соединения имидазолинового ряда (5% мас. раствор), дозировки составляли 35 и 140 г/т соответственно (способ дозирования – периодический), была отмечена низкая эффективность данной программы реагентной обработки в процессах ингибирования скорости коррозии углеродистой стали, не позволившая достичь целевого показателя не более 0.1 мм/год. Анализ собранных в процессе ОПИ данных показал, что в число основных факторов, снижающих эффективность работы нового имидазолинового ИК, входят:

1) изначально водный контур охлаждения установки ОГ и КГ был заполнен ХОВ. При эксплуатации в течение двухлетнего межремонтного пробега в отсутствии достаточной продувки (вывода части воды из системы охлаждения) и контроля коэффициента упаривания, в циркуляционной воде неизбежно увеличивается количество различного шлама, в том числе биошлама, при отсутствии обработки воды бактерицидами. Одновременно увеличивается общее солесодержание воды, накапливаются ионы кремния и хлорид-ионы, которые в небольших количествах присутствуют в исходном ХОВ (табл. 1). В связи с тем, что ОПИ проводились в конце двухлетнего межремонтного пробега, отмеченные выше изменения параметров исходной ХОВ затрудняли образование защитных пленок на поверхности металла в силу строения и природы молекулы ингибитора;

2) предложенный водорастворимый имидазолиновый ИК ожидаемо обладает поверхностно-активными свойствами в водной среде и является одновременно дисперсантом. В связи с этим произошел смыв и переход во взвешенное состояние

**Сравнительные показатели исходной ХОВ
и циркуляционной воды в конце двухлетнего межремонтного пробега**

Показатель	Исходная ХОВ	Циркуляционная вода замкнутого контура охлаждения уст. ОГ и КГ в период ОПИ
Удельная электрическая проводимость (УЭП), См/м	9.8×10^{-4}	3.6×10^{-2}
Водородный показатель, pH, ед.	8.94	9.17
Массовая концентрация эквивалента иона кальция, мг-экв/дм ³	отс.	1.90
Щелочность общая, мг-экв/дм ³	0.20	2.65
Коэффициент упаривания (K_y), ед.	-	37*

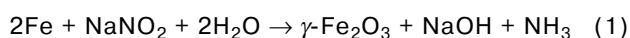
* K_y – рассчитывается как отношение УЭП циркуляционной воды к УЭП подпиточной воды, умноженное на 100%

значительной части накопленных за двухлетний межремонтный пробег загрязнений с внутренней поверхности оборудования, что привело к развитию подшламовой коррозии, а также к затруднениям в работе ингибитора коррозии.

Таким образом, по результатам ОПИ было рекомендовано проведение дополнительных промышленных испытаний водорастворимого ингибитора коррозии на основе продукта конденсации жирных кислот таллового масла, 2-аминоэтилэтаноламина и акриловой кислоты в замкнутых водных контурах охлаждения с высокой степенью чистоты циркуляционной воды и технологического оборудования, в условиях контроля коэффициента упаривания, солесодержания и микробиологических показателей среды.

На следующем этапе работы для обработки замкнутых контуров, циркуляционная вода которых имеет накопленные загрязнения и повышенные значения солесодержания, в НТЦ ООО «Газпром нефтехим Салават» был разработан ингибитор коррозии на основе неорганических соединений – нитритов.

Нитриты относят к анодным ингибиторам коррозии, механизм действия которых заключается в пассивации поверхности металла по указанному ниже механизму, в соответствии с реакцией (1)^{3,4}:



Образуемая на металлических поверхностях оборудования из углеродистой стали пленка состоит только из оксида железа (III). Высвобождаемый при этом аммиак может вызывать коррозию медных сплавов, особенно в присутствии даже небольших количеств кислорода, что является негативным фактором и требует анализа материального исполнения оборудования перед применением данной группы ИК.

Исследования других авторов⁵ показывают присутствие в образуемой защитной пленке на поверхности стали соединений типа $\text{Fe}(\text{NH}_3)_x(\text{NO}_3)_y \cdot y\text{H}_2\text{O}$. Образование данных

комплексов связывают с прохождением реакций, в ходе которых нитрит-ионы частично восстанавливаются поверхностью стали до аммиака и аммонийных соединений, частично же окисляются при наличии в воде кислорода до нитратов.

В обоих случаях ингибиторы коррозии на основе нитритов не требуют наличия кислорода для формирования защитных пленок и поэтому могут быть наиболее эффективными в замкнутых системах с минимальным содержанием кислорода.

Достоинством анодных ингибиторов коррозии является прочность образуемых защитных пленок на поверхности металла, которые способны быстро восстанавливаться в случаях повреждений. Общим их недостатком является необходимость строгого контроля дозировки, поскольку даже небольшой недостаток реагентов в системе приводит к быстрому развитию коррозионных процессов. Часто результатом является развитие опасной питтинговой коррозии.

Ранее проведенные в НТЦ лабораторные испытания по оценке эффективности неорганических ингибиторов коррозии на основе молибдатов, хроматов, нитритов, нитритов с функциональными добавками, а также результаты испытаний по данным литературных источников, показали, что наибольшей результативности позволяют достичь составы на основе нитрита натрия и функциональных добавок, усиливающих антикоррозионное действие основного компонента рецептуры⁶. Используя эти данные, в НТЦ была разработана рецептура ингибитора коррозии на основе нитритов для промышленного использования и проведены его лабораторные и опытно-промышленные испытания. Состав реагента НТЦ приведен в табл. 2. Для сравнения в программу лабораторных испытаний был включен промышленно выпускаемый образец ингибитора коррозии на основе нитритов известного стороннего производителя.

Таблица 2

**Состав рецептуры ингибитора коррозии
на основе нитритов, предложенный
НТЦ ООО «Газпром нефтехим Салават»**

Активный компонент рецептуры	Содержание компонента, % мас.
Нитрит натрия NaNO_2 , % мас.	38.5
Функциональная добавка №1, % мас.	1.9
Функциональная добавка №2 (биоцид), % мас.	1.0
Функциональная добавка №3, % мас.	0.8
Подготовленная вода, % мас.	57.8

Лабораторные испытания по оценке эффективности ингибирования коррозии проводили по ГОСТ 9.506-87 и ГОСТ 9.502-82 гравиметрическим методом по изменению массы купонов коррозии с последующим расчетом степени защиты от коррозии (защитного эффекта). Использовались купоны (образцы-свидетели) из углеродистой стали (Ст20). Условия эксперимента: объем коррозионной среды – 250 мл; давление – атмосферное; газовая среда – воздух; температура – 40 °С.

В качестве коррозионной среды были выбраны:

- среда №1 - дистиллированная вода;
- среда №2 - имитат циркуляционной воды замкнутой системы с показателями, приближенными к воде замкнутого контура установки ОГ и КГ цеха №8 НПЗ ООО «Газпром нефтехим Салават» в период ОПИ имидазолинового ингибитора коррозии.

Выбор сред обусловлен возможностью оценить в процессе лабораторных испытаний эффективность ингибирования нитритным реагентом коррозионных процессов, как в начале, так и в конце межремонтного периода эксплуатации замкнутых водных контуров охлаждения или, соответственно, условно чистых и загрязненных. Характеристики обоих типов сред приведены в табл. 3.

Таблица 3

**Характеристики коррозионных сред
в эксперименте**

Показатель	Среда №1	Среда №2
Удельная электрическая проводимость, См/м	$2.2 \cdot 10^{-4}$	$2.5 \cdot 10^{-2}$
Водородный показатель, pH, ед.	5.6	8.0
Массовая концентрация эквивалента иона кальция, мг-экв/дм ³	отс.	0.5
Щелочность общая, мг-экв/дм ³	0.10	1.0
Коэффициент упаривания (K_u), ед.	-	114

Дозировка реагентов была выбрана с учетом литературных данных по эффективной концентрации нитритов. Достаточной для ингибирования коррозии считается концентрация нитритов в ди-

апазоне 500–1200 ppm (в расчете на NO_2^-). При наличии в системе оборудования из стали и меди для ингибирования коррозионных процессов необходимы более высокие концентрации нитритов – 5000–7000 ppm. В случае присутствия оборудования из алюминия концентрацию нитритов поднимают до 10000 ppm³. Для лабораторных испытаний были выбраны минимальные эффективные дозировки реагентов, соответствующие 500 ppm нитритов в испытываемой среде. Результаты лабораторных испытаний представлены на рис. 1, 2.

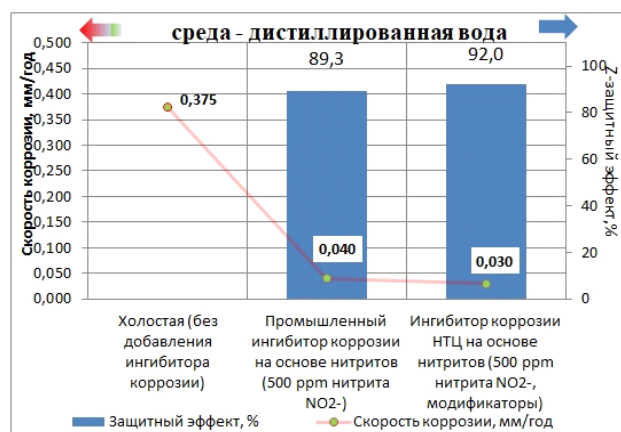


Рис. 1. Эффективность ИК в коррозионной среде №1

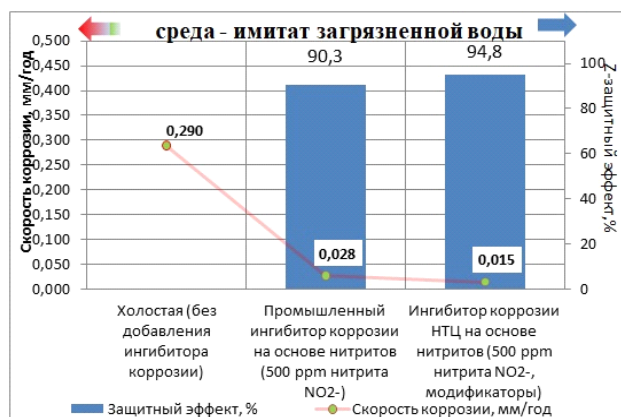


Рис. 2. Эффективность ИК в коррозионной среде №2

Как следует из рисунков, в обеих средах, как реагент НТЦ, так и реагент стороннего производителя, проявили эффективность ингибирования коррозионных процессов углеродистой стали свыше 80% в условиях проведенного лабораторного эксперимента. Эффективность предложенного НТЦ реагента в обоих случаях была несколько выше, чем промышленно выпускаемого образца ИК стороннего производителя.

После успешных лабораторных испытаний ИК на основе нитритов, разработанный на базе НТЦ, был допущен к проведению ОПИ по обработке циркуляционной воды замкнутого контура охлаждения компрессоров на установке ОГ и КГ цеха №8 НПЗ ООО «Газпром нефтехим Салават».

Наработку опытно-промышленной партии ИК на основе нитритов проводили в пилотном реакторе *Steddy-200-10* объемом 10 дм³ с дополнительным фильтрующим модулем по следующей методике. В реактор загружали необходимое количество воды, засыпали нитрит натрия, перемешивали при комнатной температуре до полного растворения. Далее добавляли функциональные добавки №1–3 и вновь перемешивали. Полученный раствор отфильтровывали на фильтрующем блоке установки с использованием фильтровальной ткани (филтромайталь), фильтровальной бумаги. Остаточное давление при фильтрации составило 13.3–20 кПа.

Для оценки эффективности обработки замкнутого контура охлаждения ингибитором коррозии на установке был смонтирован проточный стенд контроля коррозии, в который устанавливались купоны, выполненные из материала Ст20, период экспозиции купонов – 14 дней.

Для обработки воды замкнутого контура в период ОПИ были выбраны следующие дозировки ИК: на 1 этапе – 300–400 ppm нитритов и на 2 этапе – 150–250 ppm нитритов в циркуляционной воде.

В течение всего ОПИ проводился аналитический контроль ключевых показателей качества циркуляционной воды с периодичностью 1 раз в 14 дней. Результаты представлены в табл. 4.

На величину показателей массовые концентрации эквивалента иона кальция, сульфатов, хлоридов, кремнекислоты реагентная обработка не оказывает значительного влияния, их величина зависит от природы подпиточной воды, степени ее загрязнения, регулирования режима продувок/подпиток. На величину pH циркуляционной воды реагентная обработка также не оказала значительного влияния. Взвешенные вещества отсутствовали в течение всего ОПИ.

Значения УЭП и щелочности циркуляционной воды при обработке ингибитором коррозии на основе нитритов в дозировках, соответствующих 300–400 ppm нитритов в циркуляционной воде, были выше на 1 этапе, чем при более низких дозировках реагента на 2 этапе ОПИ.

Скорость коррозии купонов из углеродистой стали в отсутствие реагентной обработки составляла 0.32–0.35 мм/год. При использовании ИК в дозировках, соответствующих 300–400 ppm нитритов в циркуляционной воде, скорость коррозии снизилась до 0.003–0.005 мм/год. Несмотря на снижение дозировок ИК до содержания нитритов 150–250 ppm в циркуляционной воде, скорость коррозии оставалась в норме и составляла менее 0.1 мм/год, однако была отмечена тенденция к ускорению коррозионных процессов (до 0.02 мм/год). Массовая концентрация общего железа в течение всего периода ОПИ была стабильно низкой и не превышала 1 мг/дм³.

Таблица 4

Ключевые показатели качества циркуляционной воды в ходе ОПИ

Контролируемый параметр	Этапы ОПИ								
	Реагенты не подавались		Обработка ИК на основе нитритов						
			1 этап – дозировка ИК соответствует содержанию нитритов 300–400 ppm			2 этап – дозировка ИК соответствует содержанию нитритов 150–250 ppm			
Водородный показатель, pH, ед.	9.17	8.17	9.16	9.07	8.87	8.67	8.24	8.17	8.17
Удельная электрическая проводимость (УЭП), мкСм/см	363	439	1326	1433	1467	987	723	699	688
Щелочность общая, мг-экв/дм ³	2.65	3.07	4.07	4.57	4.76	3.35	2.47	2.22	2.37
Массовая концентрация эквивалента иона кальция, мг-экв/дм ³	1.90	2.00	1.28	1.07	1.16	0.81	0.49	0.61	0.63
Массовая концентрация кремнекислоты (SiO ₃ ²⁻), мг/дм ³	1.7	3.9	2.7	2.3	2.6	2.3	1.7	1.5	1.4
Массовая концентрация общего железа, мг/дм ³	0.15	0.41	0.23	0.29	0.37	0.26	0.21	0.32	0.29
Массовая концентрация сульфатов, мг/дм ³	18.82	24.71	20.59	35.59	33.07	35.25	20.83	10.6	11.8
Массовая концентрация хлоридов, мг/дм ³	29.7	36.1	39.0	36.0	72.4	38.0	21.6	51.8	18.7
Химическое потребление кислорода, мг О ₂ /дм ³	отс.	отс.	200	56	104	128	20	64	68
Взвешенные вещества, мг/дм ³	отс.	отс.	отс.	отс.	отс.	отс.	отс.	отс.	отс.
Микробиологическое загрязнение циркуляционной воды, КОЕ/мл	15	8	9	37	25	14	5	7	1
Скорость коррозии	0.320	0.350	0.210	0.005	0.004	0.003	0.003	0.019	0.022
Массовая концентрация нитрит-ионов, мг/дм ³	отс	отс	330	402	381	237	194	165	187

При использовании ИК на основе нитритов увеличилось химическое потребление кислорода, а также незначительно выросла величина микробиологического загрязнения циркуляционной воды. Каких-либо периодов резкого увеличения количества микроорганизмов в воде после добавления реагентов зафиксировано не было, что указывает на эффективную работу применяемого биоцида в комплексной обработке циркуляционной воды в период проведения ОПИ.

Также в ходе ОПИ контролировались технологические параметры работы оборудования, в частности, температура цилиндров компрессоров. Отклонений по данному показателю при обработке циркуляционной воды ингибитором коррозии на основе нитритов не наблюдалось, что косвенно

указывает на отсутствие рисков снижения поверхности теплообмена при образовании защитных пленок на внутренних поверхностях металлических частей оборудования, контактирующих с водой замкнутого контура.

Таким образом, в ходе ОПИ была доказана высокая эффективность разработанного в НТЦ ООО «Газпром нефтехим Салават» ингибитора коррозии на основе нитритов в составе комплексной программы реагентной обработки циркуляционной воды замкнутых водных контуров охлаждения. Предложенная рецептура реагента была рекомендована к патентованию и к дальнейшему внедрению на установке ОГ и КГ цеха №8 НПЗ ООО «Газпром нефтехим Салават» на основе положительных результатов ОПИ.

Литература

1. Садретдинов И.Ф., Султанбекова И.А., Миронова К.А., Слобода А.В. Перспективный ингибитор коррозии на основе продукта конденсации 1,2-алкилимидазолинов и акриловой кислоты для замкнутых водных контуров охлаждения // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. – 2023. – №7-8. – С.17-21.
2. Патент №105217807 КНР. Corrosion and scale inhibitor for closed-loop soft water system and application method of corrosion and scale inhibitor / Dong Jin, Fang Hui, Zhang Xueping, Shi Deming, Bao Zili, Xia Yongjun, Hu Jia, Li Yin, Wang Jun, Chen Jun // Bulletin. – 2016.
3. Veolia Water Tech. Closed Loops Systems [Electronic resource]. URL: www.veoliawatertech.com/crownsolutions/ressources/documents/2/21935,Water-pp295-297.pdf / (дата обращения 09.04.2024).
4. Даниловская Л.П., Крымская Р.С.. Ингибиторы коррозии металлов. – Санкт-Петербург: СПбГМТУ, 2017. – 37 с.
5. Паршутин В.В., Шолтоян Н.С. Ингибирование коррозии сталей в растворах для электрохимической размерной обработки металлов. 1. Простые и низколегированные стали. Выбор промывочных растворов // Электронная обработка материалов. – 2000. – №1. – С.40-54.
6. Rey S., Reggiani G. Molybdate and Non-Molybdate Options for Closed Systems – Part II // Association of Water Technologies (AWT). – 2005. – Pp.17-37.

References

1. Sadretdinov I.F., Sultanbekova I.A., Mironova K.A., Sloboda A.V. [A promising corrosion inhibitor for closed water cooling circuits based on a condensation product of 1,2-alkylimidazolines and acrylic acid]. [Oil refining and petrochemistry], 2023, no.7-8, pp.17-21.
2. Dong Jin, Fang Hui, Zhang Xueping, Shi Deming, Bao Zili, Xia Yongjun, Hu Jia, Li Yin, Wang Jun, Chen Jun. [Corrosion and scale inhibitor for closed-loop soft water system and application method of corrosion and scale inhibitor]. Patent CN no.105217807, 2016.
3. Veolia Water Tech. Closed Loops Systems [Electronic resource]. URL: www.veoliawatertech.com/crownsolutions/ressources/documents/2/21935,Water-pp295-297.pdf / (date of the application 09.04.2024).
4. Danilovskaya L.P., Crimean R.S. *Ingibitory korrozii metallov* [Metal corrosion inhibitors]. St. Petersburg, SPbGMTU Publ., 2017, 37 p.
5. Parshutin V.V., Sholtoyan N.S. *Ingibirovaniye korrozii staley v rastvorakh dlya elektrokhimicheskoy razmernoy obrabotki metallov. 1. Prostyye i nizkolegirovannyye stali. Vybory promyvochnykh rastvorov* [Inhibition of steel corrosion in solutions for electrochemical dimensional processing of metals. 1. Plain and low alloy steels. Selection of washing solutions]. *Elektronnaya obrabotka materialov* [Electronic processing of materials], 2000, no.1, pp.40-54.
6. Rey S., Reggiani G. [Molybdate and Non-Molybdate Options for Closed Systems – Part II]. *Association of Water Technologies (AWT)*, 2005, pp.17-37.