

УДК 628.543:628.349

**Б.Н. ДРИКЕР**, докт. техн. наук, профессор, **С.А. ТАРАСОВА**, аспирант  
Уральский государственный лесотехнический университет (г. Екатеринбург, Россия)

**А.Г. ТАРАНТАЕВ**, директор  
ОАО Химическая компания «Нитон» (г. Екатеринбург, Россия)

## ИНГИБИТОРЫ МНОГОЦЕЛЕВОГО НАЗНАЧЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Разработаны и исследованы ингибиторы минеральных отложений, коррозии и биообрастаний на основе органофосфонатов [гексаметилендиаминтетраметилфосфоновая и нитрилтриметиленфосфоновая, а также фосфобутантрикарбановая кислоты], низкомолекулярных полимеров [полиакриловая кислота, гидролизованный ангидрид полималеиновой кислоты, сополимер малеиновой и акриловой кислот, фосфорнокислый эфир полиэтиленгликоля] и их композиций. Проведены испытания полученных ингибиторов в оборотных системах ряда металлургических предприятий.

**Ключевые слова:** ингибиторы солеотложений, коррозия, биообрастания, оборотные системы водоснабжения, органофосфонаты, низкомолекулярные полимеры.

Организация систем оборотного и замкнутого водоснабжения на промышленных предприятиях является необходимой частью современного производственного процесса как из экономических, так и экологических соображений. Эффективность работы оборотных систем в процессе эксплуатации снижается, вследствие, во-первых, коррозии, которая приводит к преждевременному выходу оборудования из строя; во-вторых, из-за биообрастаний и солеотложений, приводящих к значительному перерасходу энергетических и водных ресурсов. Решение проблемы предотвращения этих нежелательных явлений достигается посредством использования ингибиторов.

В качестве ингибиторов наиболее часто применяются органические фосфонаты (ОФ) и композиции, их содержащие, применение которых наиболее эффективно и доступно, поскольку не требует значительных капитальных вложений, а узлы приготовления и дозирования реагентов просты и надежны в эксплуатации.

Более жесткие требования к содержанию ингибиторов в сбрасываемых сточных водах требуют создания реагентов, обладающих наибольшей эффективностью при минимальных концентрациях, т.е. многофункциональных композиций ингибиторов на основе более эффективных ОФ, а также композиций, не содержащих тяжелые металлы, в частности, с использованием полимеров, обладающих низкой токсичностью. Разработка и исследование реагентов многоцелевого назначения с повышенной эффективностью для одновременного предотвращения коррозии, солеотложений и биообрастаний в системах

оборотного водоснабжения промышленных предприятий на основе ОФ и низкомолекулярных полимеров и есть цель данной работы.

В качестве основы для создания ингибиторов многоцелевого назначения исследованы следующие реагенты: цинковые комплексоны гексаметилендиаминотетраметилфосфоновой кислоты (ГМДФ); медно-цинковые комплексоны ингибитора отложений минеральных солей ИОМС-1 (основное вещество нитрилтриметиленфосфоновая кислота – НТФ) и ИОМС-2 (основное вещество НТФ и ГМДФ); полиакриловую кислоту (ПАК); гидролизованный ангидрид полималеиновой кислоты (ГАПК); сополимер малеиновой и акриловой кислот (СМАК); фосфорнокислый эфир полиэтиленгликоля (ЭФПГ); 2-фосфо-бутан 1,2,4- трикарбановую кислоту (ФБТК). Молекулярная масса всех названных полимеров (ПАК, ЭФПГ, СМАК, ГАПК) – менее 10000.

Скорость коррозии определялась методом измерения поляризационного сопротивления с помощью прибора «Эксперт 004» (производитель – ОАО «Эконикс эксперт») при температуре 20 °С и скорости перемешивания 1,2 м/с в непроточной ячейке двухэлектродными измерительными зондами, изготовленными из стали марки Ст3. В качестве фоновых электролитов использовалась вода, содержащая 30 мг/л NaCl и 70 мг/л Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (модельная вода, далее – МВ), водопроводная вода г. Екатеринбурга, а также подпиточная вода оборотных циклов предприятий.

Результаты испытаний сравнивались с результатами, полученными весовым методом (согласно ГОСТ 9.502-



82) и обрабатывались с помощью методов математической статистики. Погрешность метода измерения скорости коррозии при помощи «Эксперт 004» не превышает 10 % (относительная ошибка).

Полученные значения скоростей коррозии использовались для расчета защитного эффекта

$$Z = \frac{\Pi - \Pi_{\text{инг}}}{\Pi} \cdot 100 \%,$$

где  $\Pi$  и  $\Pi_{\text{инг}}$  – скорость коррозии в растворе без ингибитора и с ингибитором соответственно, мм/год.

Сопоставительный анализ влияния реагентов на кристаллизацию малорастворимых солей изучался в динамических условиях на примере классической модели кристаллизации сульфата кальция (для изучения эффективности ингибиторов солеотложения сульфат кальция является более удобной моделью, чем карбонат кальция). Испытания проводились при перемешивании ( $Re=12500$ ) и температуре  $40^\circ\text{C}$ . Пересыщенные растворы готовились смешением эквивалентных количеств сульфата натрия и хлорида кальция. Концентрация ионов кальция контролировалась по стандартной методике (комплексометрическим методом). Обработка экспериментальных данных и определение параметров зародышеобразования (радиус зародыша критического размера, удельная поверхностная энергия, порядок реакции) проводились с использованием уравнений Гиббса-Фольмера, Христиансена-Нильсена, Оствальда-Фрейндлиха.

Методика определения количества мезофильных аэробных факультативно-анаэробных микроорганизмов основана на высеве  $1 \text{ см}^3$  образца исследуемой воды на пластинах «Petrifilm», инкубировании посевов при температуре  $30 \pm 1^\circ\text{C}$  в течение 72 часов и подсчете всех выросших видимых колоний согласно методике, прилагаемой к пластинам «Petrifilm».

Исследование композиции ГМДФ с комплексономатами цинка при мольных соотношениях исходных ГМДФ :  $\text{Zn}(2+)$ , равных 4:1–1:1 соответственно, показало, что при соотношении 1:1 система оказалась неустойчивой (при хранении образовывались нерастворимые комплексы). Увеличение в композиции мольной доли цинка до соотношения ГМДФ: $\text{Zn}(2+)$ , составляющего 2:1, повышает эффективность композиции как ингибитора коррозии. При этом исследованные реагенты способны эффективно подавлять процессы коррозии в средах с различной начальной коррозионной активностью. При концентрациях  $C_{\text{инг}} = 2 \text{ мг/л}$  и более для всех исследованных композиций  $Z > 50 \%$ , а при  $C_{\text{инг}} = 20 \text{ мг/л}$  –  $Z > 95 \%$ .

По нашему мнению, способность ингибировать коррозию обусловлена спецификой физико-химических

свойств ГМДФ – наличием двух независимых сфер комплексообразования и, как следствие, преимущественным образованием биядерных комплексов, независимо от соотношения ГМДФ :  $\text{Zn}(2+)$ . Это, вероятно, обеспечивает оптимальную прочность подобных комплексов, необходимую для эффективного ингибирования коррозии с их помощью [1]. Присутствие в молекуле гексаметиленового мостика придает соединению некоторую гидрофобность. В табл. 1 показано влияние ГМДФ и ее комплексонов на индукционный период кристаллизации  $\text{CaSO}_4$ .

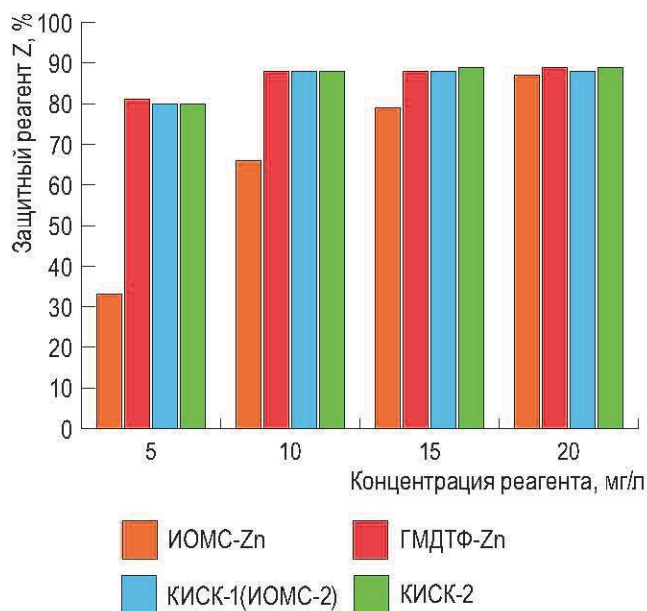
**Таблица 1 – Влияние ГМДФ и ее цинковых комплексонов на величину индукционного периода и константу скорости роста кристаллов  $\text{CaSO}_4$  ( $40^\circ\text{C}$ ,  $C_{\text{CaSO}_4} = 7,5 \text{ г/л}$ )**

Реагент	Концентрация, мг/л	Индукционный период, мин	Константа скорости роста кристаллов, $\text{с}^{-1} \cdot 10^4$
ГМДФ	0,25	250	6,7
ГМДФ: $\text{Zn}^{2+} = 4:1$	0,25	240	6,7
ГМДФ: $\text{Zn}^{2+} = 3:1$	0,25	210	6,7
ГМДФ: $\text{Zn}^{2+} = 2:1$	0,25	190	6,7
Контрольный опыт	-	12	6,8

Как видно из табл. 1, при использовании всех реагентов значительно возрастает период индукции, что означает торможение процесса кристаллизации, а значит, и солеотложений – при этом рабочие концентрации этих реагентов в 3–4 раза ниже используемых для аналогичных целей известных композиционных составов.

В связи с достаточно высокой стоимостью гексаметилендиамина (исходного сырья для производства ГМДФ) целесообразно создание сравнительно недорогой, достаточно эффективной композиции, содержащей ГМДФ в количестве 20–40 % от общей массы реагента. С этой целью исследовались композиции ИОМС-1-Zn, полученные при мольном соотношении исходных реагентов 2:1, содержащие аналогичные композиции ГМДФ-Zn при различных концентрациях – реагент «комплексный ингибитор солеотложений и коррозии» КИСК-1 (ИОМС-2) содержит 20 % ГМДФ-Zn и, соответственно, КИСК-2 – 40 %. Полученные результаты представлены на рис. 1.

Данные, представленные на рис. 1, свидетельствуют о том, что добавка композиции ГМДФ-Zn позволяет существенно повысить ингибирующую способность исходного реагента ИОМС-1-Zn в качестве ингибитора коррозии, не уступающего по эффективности ГМДФ-Zn, при этом увеличение стоимости композита не превышает ~30–50 % стоимости базового реагента.



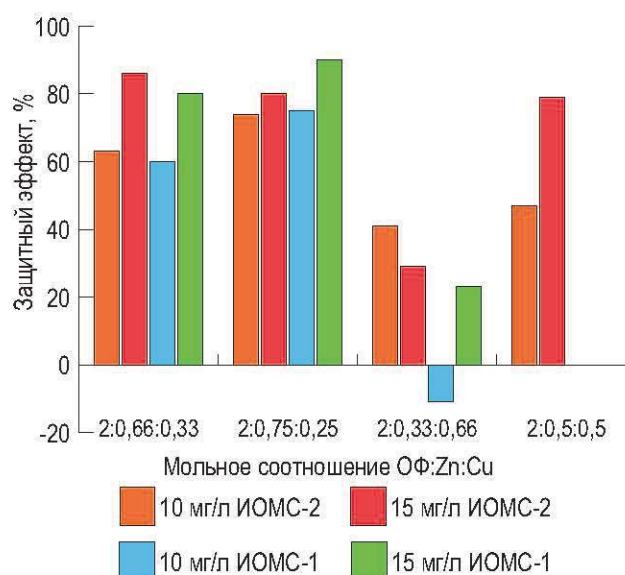
**Рисунок 1 – Защитный эффект ингибирования коррозии стали Ст3 различными комплексонатами ОФ в МВ (в контрольном опыте П=0,18 мм/год)**

Для одновременного ингибирования процессов солеотложений, коррозии и биообрастаний на основе органофосфонатов ИОМС-1 и ИОМС-2 получены медно-цинковые комплексонаты при мольных соотношениях ОФ:Ме, равных 3:1–2:1. Соотношение Zn:Cu варьировалось от 0,25:0,75 до 0,75:0,25. Результаты испытаний представлены на рис. 2 и в табл. 2.

Установлено, что мольное соотношение цинка и меди (рис. 2), составляющее 0,75:0,25–0,5:0,5 в композициях, позволяет снижать скорость коррозии не менее эффективно, чем цинковые комплексонаты, т.е. до определенного значения количество меди в составе композиции не оказывает отрицательного влияния на ингибирующую способность к коррозии и солеотложениям. Наилучший результат показали композиции на основе ИОМС-2 с соотношением цинка и меди, равным 0,75:0,25 [2, 12].

Испытания медно-цинковых композиций ИОМС-1 и ИОМС-2 на биозараженной воде показали их способность снижать количество бактерий – наличие меди в составе композиции подавляет рост и развитие микроорганизмов, тем самым придавая реагентам свойства биоцида.

Ухудшение ингибирующих свойств в отношении предотвращения образования минеральных отложений



**Рисунок 2 – Защитный эффект ингибирования коррозии стали Ст3 медно-цинковыми комплексонатами ОФ в МВ (в контрольном опыте П=0,18 мм/год)**

(табл. 2) не наблюдалось ни в одном из случаев испытания медно-цинковых комплексонатов. Реагенты увеличивают период индукции (в контрольном опыте период индукции – 12 мин – табл. 1), следовательно, тормозят процесс кристаллизации, а значит, и процесс образования отложений.

С учетом полученных результатов разработаны технологический регламент, технические условия (ТУ 2415-007-76499798-2009) на реагенты марки «КИСК». Реагенты марок «КИСК» разрешены к использованию в системах охлаждения и отопления с закрытым и открытым водозабором (Санитарно-эпидемиологическое заключение № 66.01.40.000.Т.000561.04.09 от 20.04.2009).

Испытания, проведенные на водах, используемых для подпитки оборотных циклов – ОАО «Челябинский цинковый завод» (ЧЦЗ) (техническая вода) и ПО «Балхашцветмет» (вода озера Балхаш), – с целью выяснения влияния солесодержания на эффективность работы ингибитора КИСК-1, показали, что реагент КИСК-1 обеспечивает как безнакипный режим, так и снижение скорости коррозии в водах различного химического состава и в высокоминерализованных водах систем оборотного водоснабжения [3].

Сопоставительный анализ влияния и эффективности низкомолекулярных полимеров (СМАК, ПАК,

**Таблица 2 – Влияние медно-цинковых комплексонатов на кристаллизацию CaSO<sub>4</sub>**

Реагент	Концентрация реагента, мг/л	Пересыщение раствора CaSO <sub>4</sub> , г/л	Индукционный период, мин	Константа скорости роста кристаллов, с <sup>-1</sup> ·10 <sup>4</sup>
ИОМС-1-Zn-Cu 3:0,75:0,25	3,0	7,50	215	4,72
ИОМС-2-Zn-Cu 3:0,75:0,25	0,5	7,65	190	1,94



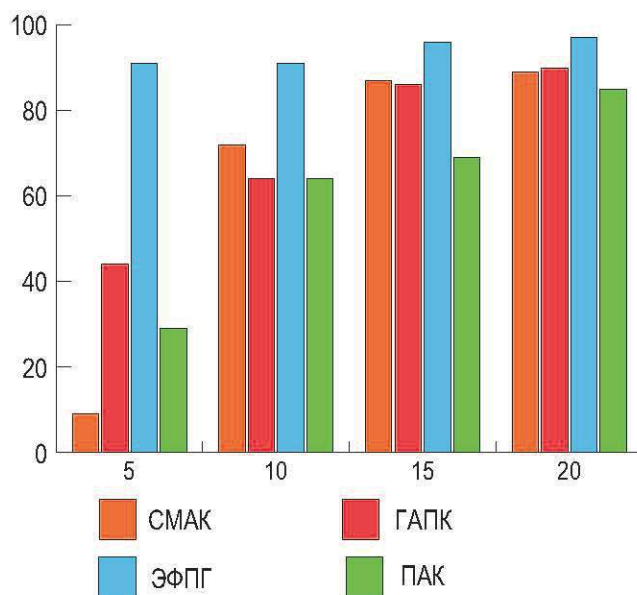
ЭФПГ, ГАПК) на кристаллизацию малорастворимых солей проводили на примере модели сульфата кальция. Процесс кристаллизации можно (в достаточной степени условно) разделить на две стадии: зародышеобразование и рост кристаллов. Обе эти стадии связаны между собой и протекают одновременно. Большинство теорий [4], описывающих образование центров кристаллизации, базируются на развитых Дж. Гиббсом термодинамических представлениях о возникновении твердой фазы. Удельная поверхностная энергия ( $G$ ) – работа по образованию зародыша критического размера рассчитывается, в соответствии с уравнением Гиббса-Фольмера, из продолжительности индукционного периода. Продолжительность периода индукции позволяет (в соответствии с уравнением Дж. Христиансена-А. Нильсена) рассчитать также порядок реакции зародышеобразования ( $n$ ) [5], а значение удельной поверхностной энергии, по уравнению В. Оствальда-Х. Фрейндлиха [6], – рассчитать радиус критического зародыша. Влияние полимеров на скорость роста сульфата кальция рассчитывалось по уравнению второго порядка [7]. Рассчитанные на основании экспериментальных данных параметры приведены в табл. 3. Полученные результаты вполне удовлетворительно согласуются с данными, приведенными в работах [8–10], согласно которым  $G=7,3-13,2$  мДж/м<sup>2</sup>,  $n=4,6-4,9$  нм.

Из данных, представленных в табл. 3, следует, что концентрации полимеров сопоставимы с концентрациями ОФ, используемых по аналогичному назначению. Следует отметить, что в ряду исследованных реагентов наибольшей эффективностью при минимальных концентрациях обладает реагент ЭФПГ, имеющий в своем составе концевые фосфорсодержащие группы.

Механизм действия полимеров, по-видимому, заключается не только в блокировке микрзародышей, препятствующей их дальнейшему росту, что характерно для ОФ, но и в диспергирующем их действии, ока-

зывающем влияние на уменьшение скорости роста кристаллов.

Влияние полимеров на скорость коррозии конструкционных сталей представлено на рис. 3 (в контрольном опыте  $\Pi=0,12$  мм/год).



**Рисунок 3 – Защитный эффект ингибирования коррозии стали Ст3 низкомолекулярными полимерами в водопроводной воде г. Екатеринбурга**

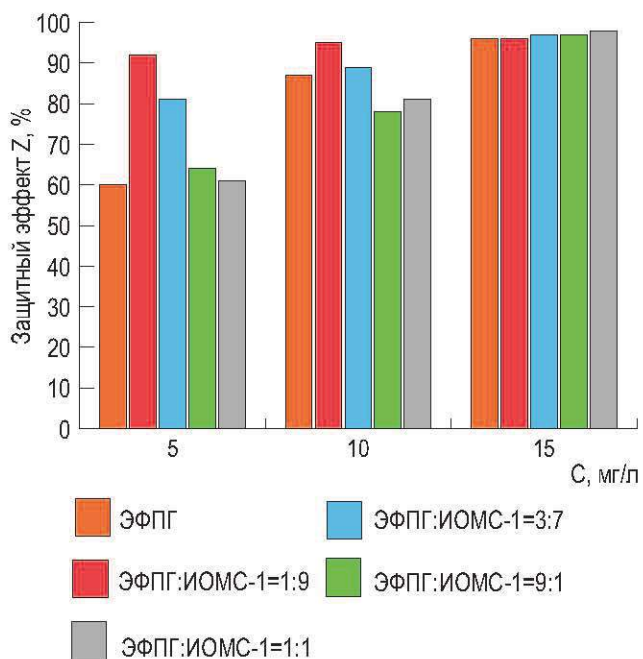
Данные рис. 3 демонстрируют высокую эффективность полимеров в качестве ингибиторов коррозии и сопоставимы с действием ОФ и их цинковых комплексонов. В отличие от ОФ, низкомолекулярные полимеры для ингибирования коррозии могут быть использованы без цинковых комплексов, что, естественно, снижает техногенную нагрузку [11].

Для изучения ингибирующей способности смесей ОФ с полимерами были получены составы ЭФПГ:ИОМС-1 при их массовых соотношениях 1:1; 3:7; 1:9. Результаты испытаний представлены на рис. 4 (в контрольном опыте  $\Pi=0,245$  мм/год).

**Таблица 3 – Влияние композиций различного состава на параметры зародышеобразования CaSO<sub>4</sub>**

Реагент	Концентрация реагента, мг/л	Удельная поверхностная энергия, $\sigma$ , мДж/м <sup>2</sup>	Радиус критического зародыша, r, нм	Порядок реакции зародышеобразования, n	Константа скорости роста кристаллов*, $c^{-1} \cdot 10^4$
ПАК	1,00	6,87	0,36-0,54	8,76	0,34
СМАК	0,70	10,53	0,57-0,73	11,57	0,08
ЭФПГ	0,30	10,96	0,57-0,69	10,8	0,24
ГАПК	0,70	10,2	0,53-0,65	8,75	0,10
ИОМС-1	1,5	8,62	0,55-0,65	7,14	7,2
ИОМС-2	0,25	10,45	0,65-0,75	8,75	6,7
Контрольный опыт	-	7,8	0,39-0,62	5,2	5,3

\* – Константа скорости роста кристаллов указана при концентрации СМАК – 1,85 мг/л, ГАПК – 0,4 мг/л, ЭФПГ – 0,8 мг/л, ПАК – 2,0 мг/л



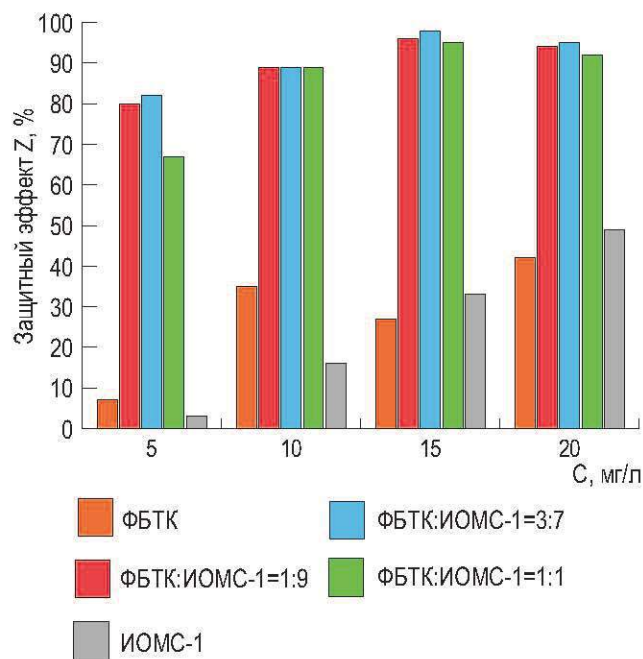
**Рисунок 4 – Защитный эффект стали Ст3 от коррозии в подпиточной воде системы водоснабжения ОАО «МЕЧЕЛ» композициями ЭФПГ:ИОМС-1**

При массовых соотношениях ЭФПГ:ИОМС-1, равных 1:9 и 3:7, наблюдается улучшение ингибирующей способности композиций (рис. 4) по сравнению с использованием ЭФПГ. Эффект синергизма более заметен при низких концентрациях реагента в воде (~5 мг/л), при повышении концентрации (более 20 мг/л) эффект становится менее ощутимым. Таким образом, композиции ЭФПГ с ИОМС-1 не только позволяют уменьшить расход дорогостоящего реагента ЭФПГ, но и увеличить его эффективность, что дает возможность использовать ингибитор в высококоррозионно-агрессивных водах при меньших концентрациях, чем составляющие композиций по отдельности. Композиция с соотношением ЭФПГ:ИОМС-1, равным 3:7, обладает наилучшими ингибирующими свойствами.

По нашему мнению, композиции при соотношениях ЭФПГ:ИОМС-1, равных 1:9–3:7, обладают синергетическим действием, во многом обусловленным диспергирующими свойствами ЭФПГ, которые позволяют создать однородную монодисперсную пленку из кальциевых комплексонов реагента ИОМС-1, способствующую защите конструкционной стали от коррозии.

Для ингибирования коррозии были получены и изучены композиции ФБТК и органофосфоната (ИОМС-1) при массовых соотношениях 1:1, 3:7, 1:9. Результаты испытаний представлены на рис. 5.

ФБТК и ИОМС-1 (рис. 5) малоэффективны для ингибирования коррозии в воде, однако при смешении этих компонентов ингибирование коррозии конструкционной стали значительно возрастает и превосходит по эффек-



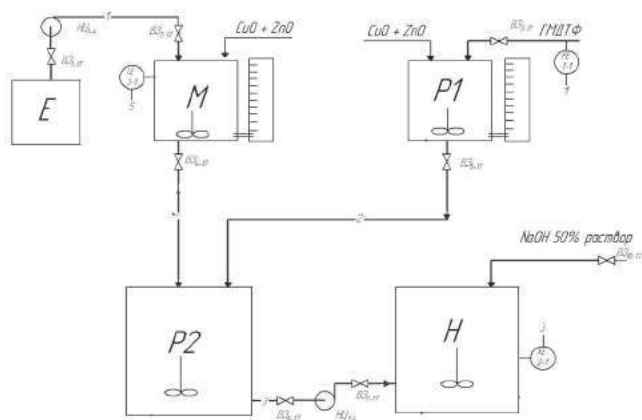
**Рисунок 5 – Защитный эффект стали Ст.3 от коррозии в умягченной композициями ФБТК : ИОМС-1 (в контрольном опыте П=0,202 мм/год) воде ОАО «МЕЧЕЛ»**

тивности цинковые комплексоны ОФ. Композиции с массовым соотношением ФБТК : ИОМС-1, равным 1:9–1:1, более эффективны и в качестве ингибитора солей отложений. Ингибирование коррозии конструкционных сталей композициями ФБТК и ИОМС-1 можно объяснить синергетическим действием композиции. Высокая эффективность ингибирования солей отложений данными композициями объясняется присутствием в составе композиции ФБТК, препятствующей окислению компонентов, входящих в состав ИОМС-1, до ортофосфатов в присутствии окисляющего биоцида. Композиция с соотношением ФБТК : ИОМС-1, равным 3:7, обладает наилучшими ингибирующими свойствами.

На основании приведенных исследований изученные реагенты по возрастанию эффективности ингибирования коррозии можно расположить в следующий ряд: ИОМС-1 > ПАК > СМАК > ГМДФ > ИОМС-Zn > ГАПК > ФБТК > КИСК-Б > ФБТК : ИОМС-1 > ЭФПГ > КИСК-1 > ГМДФ-Zn > ЭФПГ : ИОМС-1.

С учетом полученных результатов разработана технология получения комплексных ингибиторов солей отложений и коррозии марки «КИСК» на ХК «Нитон». Принципиальная технологическая схема получения КИСК-Б (в качестве примера) представлена на рис. 6.

КИСК-Б получают путем взаимодействия ИОМС-1 (в мернике М) и ГМДФ (в реакторе Р1) с оксидами цинка и меди (либо с солями цинка и меди при использовании Na-формы ГМДФ и ИОМС-1) с последующим смешением полученных двух медно-цинковых комплексонов (в



**Рисунок 6 – Технологическая схема получения реагента КИСК-Б: P1, P2 – реакторы; E – емкость хранения товарного ОФ; M – бак-мерник; H – бак-нейтрализатор**

реакторе P2) и дальнейшим доведением pH раствора гидроксидом натрия (в нейтрализаторе H) до 6,5–7,0 (рис. 6).

Опытно-промышленные испытания реагентов марки «КИСК» были проведены в оборотных системах ОАО «Ижсталь» (скорость коррозии в контрольном опыте в воде контура D составляет 0,11 мм/год, в воде контура С – 0,15 мм/год), ЗАО «Березовский электрометаллургический завод» (БЭМЗ) и ОАО «Северский трубный завод» (СТЗ). Результаты испытаний получены при опытном пробеге (30 сут) и представлены на рис. 7.

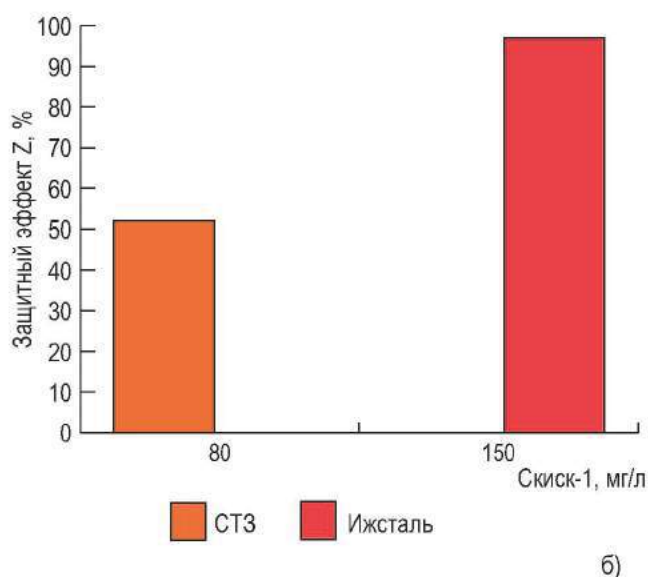
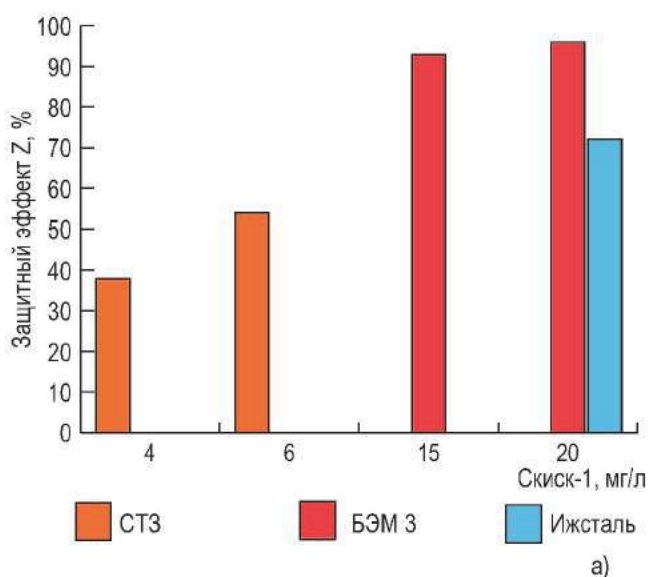
Результаты (рис. 7) подтверждают высокую эффективность КИСК-1 для снижения скорости коррозии в водах различного состава.

Опытно-промышленные испытания в чистом оборотном цикле «БЭМЗ» (скорость коррозии в контрольном опыте составила 0,25 мм/год) были проведены в сравнении с

реагентом «Scimol WS-2901» (ТУ2458-012-70896713-2008) и подтвердили высокую эффективность реагента КИСК-1. Скорость электрохимической коррозии при использовании реагента КИСК-1 в среднем составляет 0,014 мм/год при расходе 3–5 кг/сут. Скорость электрохимической коррозии при использовании реагента «Scimol WS-2901» в среднем составляет 0,098 мм/год (при расходе 8,6 кг/сут). Затраты на обработку 1 м<sup>3</sup> воды реагентом «Scimol WS-2901» составляют 4,68 руб./м<sup>3</sup>, цинковым комплексом ИОМС-1 – 1,68 руб./м<sup>3</sup>; КИСК-1 – 1,23 руб./м<sup>3</sup>.

Наладка водно-химического режима реагентной обработки воды чистого оборотного цикла «Ижсталь» проводилась на стадии пуска МНЛЗ – лучший вариант для предотвращения коррозии трубопроводов, образования отложений минеральных солей и биообрастания. Затраты на обработку 1 м<sup>3</sup> воды контура С реагентом КИСК-1 составляют 12,44 руб./м<sup>3</sup>, цинковым комплексом ИОМС-1 – 18,02 руб./м<sup>3</sup>. Затраты на обработку 1 м<sup>3</sup> воды контура D реагентом КИСК-1 – 1,71 руб./м<sup>3</sup>, цинковым комплексом ИОМС-1 – 2,82 руб./м<sup>3</sup>.

Системы охлаждения (СТЗ), работающие на умягченной воде (циклы охлаждения кристаллизатора и оборудования МНЛЗ), отличаются высоким содержанием примесей, в частности – большого количества растворенного железа (15–30 мг/л), накопившегося в системах в процессе эксплуатации (скорость коррозии в контрольном опыте 0,23 мм/год). По этой причине часть ингибитора расходуется на образование комплексонатов железа, что вызывает увеличение расхода реагента КИСК-1. Затраты на обработку 1 м<sup>3</sup> воды контуров чистого оборотного цикла (ЧОЦ) реагентом КИСК-1 – 6,56 руб./м<sup>3</sup>, цинковым комплексом ИОМС-1 – 8,96 руб./м<sup>3</sup>.



**Рисунок 7 – Влияние КИСК-1 на скорость коррозии стали СтЗ в оборотных системах металлургических предприятий: а – техническая вода, б – умягченная вода**

Рост содержания фтора в грязном оборотном цикле СТЗ приводит к увеличению коррозионной агрессивности воды, что требует увеличения концентрации КИСК-1. Для уменьшения содержания фторидов и повышения pH среды рекомендовано дозирование известкового молока в яму окалины. При этом концентрацию реагента КИСК-1 возможно снизить с предварительно рекомендованной дозы 70 мг/л до 4–6 мг/л по товарному продукту (скорость коррозии в таком случае составит ~ 0,060 мм/год, скорость коррозии в контрольном опыте при pH воды в системе ~10,0 составляет 0,13 мм/год). Затраты на обработку 1 м<sup>3</sup> воды контура грязного оборотного цикла реагентом КИСК-1 – 0,33–0,49 руб./м<sup>3</sup> цинковым комплексом ИОМС-1 – 0,84–1,12 руб./м<sup>3</sup>.

Реагент КИСК-1 практически полностью сорбируется в фильтрах с антрацитовой загрузкой, разлагается на биологических очистных сооружениях.

### ВЫВОДЫ

1. Разработан эффективный комплексный ингибитор солейотложений, коррозии и биообрастаний для систем водоснабжения на основе медно-цинковых комплексов органофосфонатов (ГМДФ и ИОМС-1) при мольных соотношениях ОФ: Металл, равных 3:1 и 2:1, где мольное соотношение цинка и меди от 0,75:0,25 до 0,5:0,5 соответственно.

2. На основе реагентов ГМДФ и ИОМС-1 разработаны комплексные ингибиторы солейотложений, коррозии и биообрастаний, а также технологический регламент и технические условия на производство ингибиторов марки «КИСК», в соответствии с которыми данные реагенты выпускаются ХК «Нитон».

3. Использование реагента КИСК-1 обеспечивает как безнакипный режим, так и снижение скорости коррозии в водах различного химического состава и в высокоминерализованных водах систем оборотного водоснабжения.

4. Показано, что разработанные композиции ингибитора отложений минеральных солей ИОМС-1 с фосфорнокислым эфиром полиэтиленгликоля (ЭФПГ) и 2-фосфобутан 1,2,4-трикарбоновой кислотой (ФБТК) при массовых соотношениях ЭФПГ:ИОМС-1 и ФБТК:ИОМС-1, равных 1:9–3:7, обладают синергетическим действием при ингибировании солейотложений и коррозии.

5. Реагенты марки «КИСК» прошли успешные промышленные испытания (производитель – ХК «Нитон») и внедрены в системах оборотного водоснабжения, работающих на технической умягченной воде ОАО «Северский трубный завод», ОАО «Ижсталь», «Березовский электрометаллургический завод». Экономический эффект (согласно актам внедрения «КИСК») на

ОАО «Ижсталь» составил 1188,28 тыс. руб./год, ХК «Нитон» – 980 тыс. руб./год.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дриккер, Б.Н. Применение композиций на основе органических фосфонатов в водоподготовке / Б.Н. Дриккер, С.А. Тарасова, И.П. Сикорский, Н.В. Цирульникова // Коррозия: материалы, защита. – 2008. – № 11. – С. 27–30.
2. Дриккер, Б.Н. Комплексный ингибитор солейотложений, коррозии и биообрастаний на основе органических фосфонатов / Б.Н. Дриккер, С.А. Тарасова, А.Н. Обожин, А.Г. Тарантаев, Н.В. Цирульникова // Энергосбережение и водоподготовка. – 2010. – № 1. – С. 4–6.
3. Дриккер, Б.Н. Влияние органофосфонатов на стабильность воды при различной степени ее упаривания / Б.Н. Дриккер, С.А. Тарасова, А.Н. Обожин, Д.Н. Обадин, А.Г. Тарантаев // Энергосбережение и водоподготовка. – 2010. – № 5. – С. 2–5.
4. Хамский, Е.В. Кристаллизация в химической промышленности / Е.В. Хамский. – М.: Химия, 1979. – 343 с.
5. Christiansen, J.A. On the kinetics of formation at precipitation of ac twope soluble salts / J.A. Christiansen, A.E. Nielsen // Acta Chem. Scand. – 5, № 4. – P. 673–674.
6. Нывлт, Я. Кристаллизация из растворов / Я. Нывлт. – М.: Химия, 1974. – 150 с.
7. Smith, B.R. Crystallisation of calcium sulfate dihidrat / B.R. Smith, E.R. McCartney // Colloid and Interface Sci. – 1971. – 37, № 3. – P. 612–618.
8. Liu S.T. The kinetics of ac two growth of calcium sulfate dihidrate / S.T. Liu, G.N. Nancollas // Crust.Growth. – 1970. – 6, № 4. – P. 281–289.
9. Konak, A.R. The catalysed and uncatalysed nucleation of gypsum ac two from aqueous solution / A.R. Konak // Kristall and Technic. – 1974. – 9, № 7. – P. 779–787.
10. Ратинов, В.Б. О спонтанной кристаллизации веществ диссоциирующих в ac twope / В.Б. Ратинов, О.М. Тодес // Сб. тр. НИИ железобетона. – 1961. – № 4. – С. 154–170.
11. Дриккер, Б.Н. Низкомолекулярные полимеры в качестве ингибиторов солейотложений и коррозии / Б.Н. Дриккер, С.А. Тарасова, А.Г. Тарантаев, А.Н. Обожин // Энергосбережение и водоподготовка. – 2010. – № 6. – С. 12–15.
12. Пат. 2409523 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> C 02 F 5/14, C 23 F 11/167. Способ предотвращения солейотложений, коррозии и биообрастаний в системах водоснабжения; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО УГЛТУ / Дриккер Б.Н., Тарасова С.А., Тарантаев А.Г., Обожин А.Н. Устюжанинов В.В. – № 2009112703; заявл. 06.04.2009; опубл. 20.01.2011. – 7 с.

Поступила в редакцию 10.04.2012



Розроблено і досліджено інгібітори мінеральних відкладень, корозії та біообростання на основі орґанофосфонатів (гексаметилендіамінтетраметиле́нфосфонова і нітрилтриметиленфосфонова, а також фосфобутантрикарбонова кислоти), низькомолекулярних полімерів (поліакрилова кислота, гідролізований ангідрид полімалеїнової кислоти, сополімермалеїнової та акрилової кислот, фосфорнокислий ефір поліетиленгліколю) та їх композицій. Проведено випробування отриманих інгібіторів у зворотних системах ряду металургійних підприємств.

Inhibitors of mineral deposits, corrosion and biofouling on the basis of organophosphonates (hexamethylenediaminetetramethylenephosphonic and nitrilethreemethylenephosphonic acids as well as phosphobutanethreecarboxylic acid), low-molecular polymers (polyacrylic acid, hydrolyzed anhydride of polymaleic acid, copolymer of maleic and acrylic acids, phosphate ester of polyethylene glycol) and their compositions are developed and studied as well as tested in circulating water supply systems of some steel works.