

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОИЗВОДСТВА СИЛИКОПОЛИФОСФАТНЫХ ИНГИБИТОРОВ КОРРОЗИИ

5.1 Технологические основы производства силикополифосфатных ингибиторов коррозии на основе шлаков циклонных печей

Выше было показано (глава 1), что одним из наиболее перспективных, технологичных и экономичных методов защиты внутренней поверхности стальных водопроводов различного назначения и теплообменных систем является применение ингибиторов или ингибирующих композиций. При этом, применяемые ингибиторы должны обладать набором определенных свойств: оказывать защитное действие при низких концентрациях ингибитора в широком интервале температур и рН; не вызывать образование отложений на металлических поверхностях; быть экономичными и удовлетворять требованиям охраны окружающей среды.

Также было показано, что традиционные ингибиторы для водоохлаждаемых систем – хроматы, нитриты, силикаты, молибдаты, фосфаты, полифосфаты – не обладают в полной мере перечисленными свойствами: их применение требует тщательного контроля рН среды, не все они при рабочих концентрациях удовлетворяют экологическим требованиям и т.д. Так, например, хроматы, используемые в качестве ингибиторов, токсичны, кроме того, при снижении концентрации могут стимулировать питтинговую коррозию. Силикаты могут использоваться лишь в водах с солесодержанием < 500 мг/л и требуют строгого контроля рН, особенно в системах питьевого водоснабжения. Нитриты при смещениях рН в слабокислую область (<6) могут восстанавливаться до низших окислов азота (NO, N₂O), являющихся катодными деполяризаторами [219]. Полифосфаты двухвалентных металлов обладают высокими ингибирующими свойствами, однако они плохо растворимы, что затрудняет их использование в практике антикоррозионной обработки воды.

В результате проведенных исследований по растворимости и ингибирующему действию модифицированных полифосфатов двухвалентных металлов (главы 3 и 4) было установлено, что одновременное введение в состав фосфатов таких модификаторов как оксиды натрия и кремния приводит к синергетическому эффекту, в результате которого растворимость натрийсодержащих силикополифосфатов в 3-5 раз выше, чем у полифосфатов, модифицированных только оксидом натрия, либо только оксидом кремния.

Однако присутствие оксида натрия в составе стекла наряду с увеличением растворимости смешанных силикополифосфатов снижает их ингибирующее действие, особенно в области малых концентраций. Тогда как наличие в фосфате диоксида кремния обеспечивает ингибирующее действие во всем исследованном диапазоне концентраций (2,0-100,0 мг Р₂О₅ /л) в отличие от известных

полифосфатных ингибиторов, промотирующих коррозию металла при малых концентрациях (2,0-10,0 мг P_2O_5 /л).

Оптимизация составов ингибиторов позволила установить, что наилучшим является соотношение $Na_2O:MeO \leq 1$ (где Me – Zn, Mn, Ca), а содержание SiO_2 – 8 мол. %.

С технологической точки зрения получение силикополифосфатных ингибиторов возможно по известной схеме (глава 1), состоящей из следующих основных стадий: нейтрализация раствора экстракционной фосфорной кислоты (ЭФК) основным реагентом, термическая поликонденсация полученного раствора, плавление при температурах 750-1000⁰С и резкая закалка образовавшегося расплава. В качестве основного реагента можно использовать оксиды или карбонаты соответствующих металлов.

При этом нами, помимо ЭФК, в качестве альтернативного сырьевого источника впервые было предложено использовать такие фосфорсодержащие отходы как фосфорные шлаки, образующиеся при производстве желтого фосфора.

Известно [262], что при переработке фосфорных шламов на фосфорную кислоту путем их сжигания в циклонных или конусных печах создаются условия для взаимодействия продуктов окисления элементарного фосфора (в основном P_2O_5) с твердыми включениями шлама, вследствие чего образуются обогащенные по пентаксиду фосфора шлаки. Это наглядно демонстрируется данными таблицы 4 (глава 2), в которой представлены усредненные результаты химического анализа представительных партий шлаков циклонных печей филиала АО «Казфосфор» – «Таразфосфор», впоследствии ОАО «НОДФОС». Как видно из таблицы 4, эти фосфорсодержащие отходы являются концентрированными по P_2O_5 продуктами (общее содержание P_2O_5 в шлаке составляет около 60 мас. %) ультрафосфатного состава с $R = 0,8 \div 0,9$. Шлаки складываются на специальных площадках и загрязняют не только воздушный бассейн, но и представляют серьезную потенциальную угрозу загрязнения грунтовых вод. Их количество зависит от начального содержания в шламе твердых включений и составляет примерно 25 тонн шлаков на 100 тонн фосфора.

До настоящего времени, несмотря на высокое содержание P_2O_5 , шлаки циклонных печей практически не утилизируются. Основными причинами этого являются значительное колебание состава, ограниченная растворимость в таких стандартных растворителях, как вода, цитрат аммония, разбавленная лимонная и соляная кислоты и отсутствие завершенных технологических схем их переработки.

Поскольку по существующей технологии переработки шламов [262] в качестве одного из конечных продуктов всегда будут получаться фосфорные шлаки, то с целью их утилизации нами была изучена возможность получения на их основе силикополифосфатных ингибиторов коррозии металлов.

Исследования фазового состава образцов шлаков циклонных печей путем фракционного растворения в кислотах (HCl , HClO_4) и сплавления с Na_2CO_3 показали, что они неоднородны и состоят из двух фаз – растворимого в кислотах стеклообразного силикополифосфата и нерастворимой в кислотах кристаллической фазы, представленной (согласно данным ИК-спектроскопического - рисунок 45, рентгенофазового - рисунок 46 и химического анализов - перевод в раствор сплавлением с Na_2CO_3) дифосфатом кремния кубической модификации и β - полифосфатом кальция. Свободный фосфор, а также соединения мышьяка, ртути и кадмия в шлаке не обнаружены.

С целью формирования однородного по составу стеклообразного фосфатного продукта шлак циклонных печей был подвергнут термообработке при температурах $1000\text{-}1300^\circ\text{C}$ в течение 20 минут.

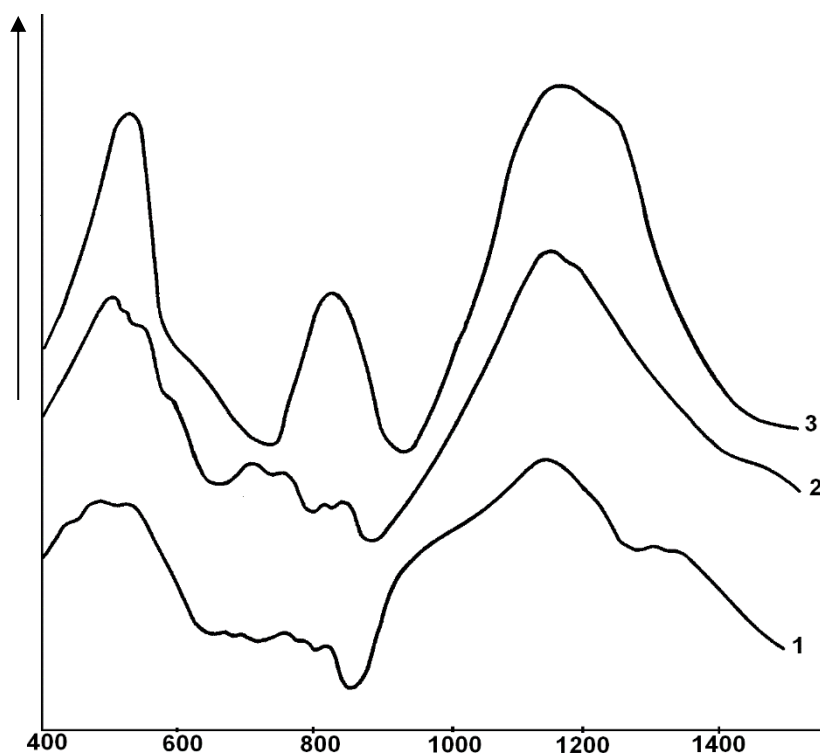


Рис. 45. ИК-спектры шлака циклонных печей и его нерастворимых остатков:
1 – исходный шлак; 2 - нерастворимый в HCl и HClO_4 остаток шлака;
3 - остаток после сплавления шлака с Na_2CO_3 .

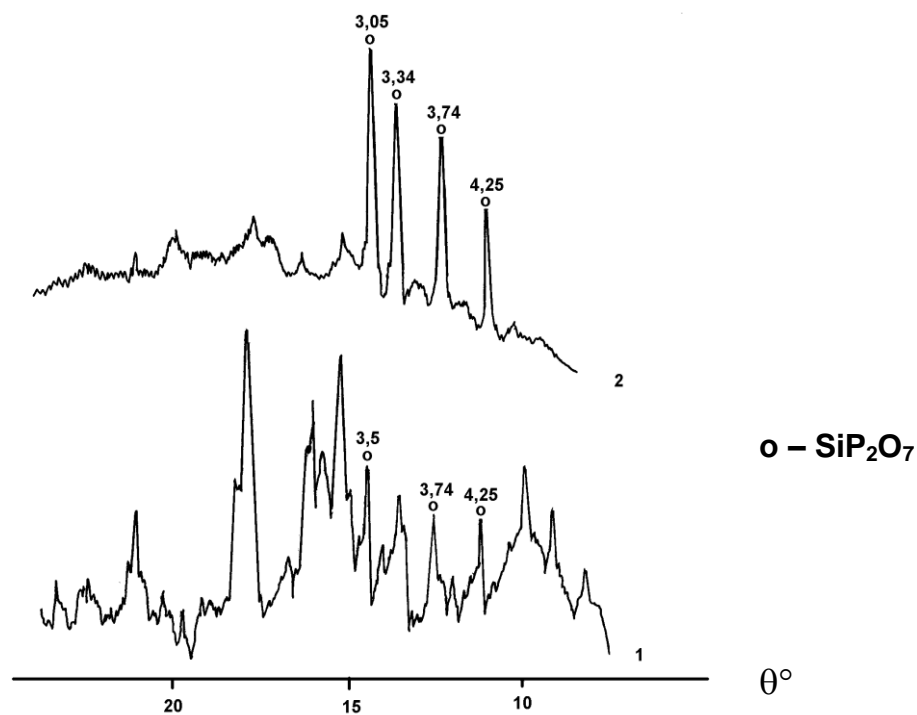


Рис. 46. Рентгенограммы шлака циклонных печей (1) и его нерастворимого остатка (2)

Анализ образцов, полученных в результате термообработки, показал, что произошли изменения его химического состава за счет выделения в газовую фазу P₂O₅, которое увеличивается с ростом температуры (рисунок 47).

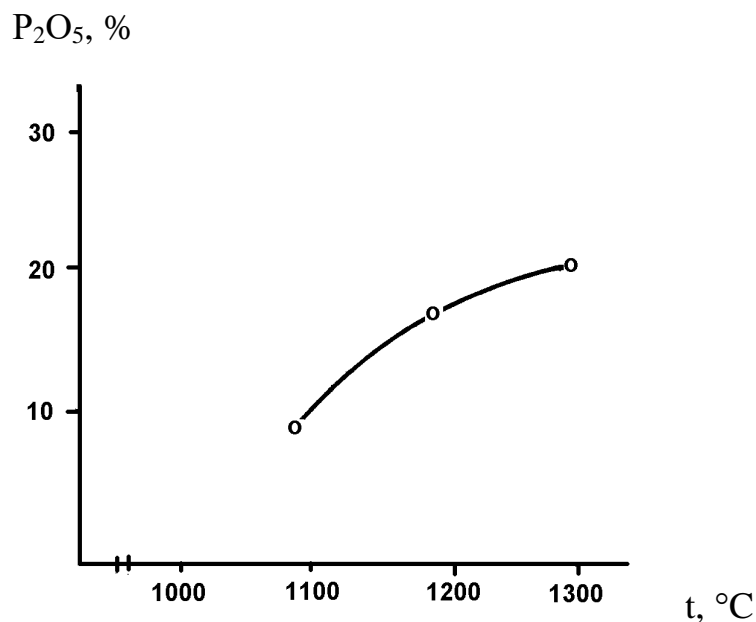


Рис. 47. Зависимость количества выделившегося фосфорного ангидрида из шлака циклонных печей в процессе его термообработки от температуры

Наблюдаемые в указанном температурном интервале потери фосфора обусловлены, очевидно, термической нестойкостью содержащихся в шлаке конденсированных фосфатов, а также летучестью содержащихся в шлаке свободных фосфорных кислот.

О происходящих в структуре шлака изменениях при термообработке свидетельствуют и ИК-спектры проплавленных образцов (рисунок 48), которые по своему характеру приближаются к ИКС ультрафосфата кальция с $R=0,86$. Так, согласно ИК-спектрам (рисунок 48, кривая 2), образцы, полученные при 1000°C , представлены смесью ультрафосфата и дифосфата кремния. По мере повышения температуры до 1200°C в ИК-спектрах образцов исчезают полосы в области 680 , 760 - 780 , 1050 - 1070 cm^{-1} , характеристические для дифосфата кремния, а оставшиеся практически полностью соответствуют ИК-спектру ультрафосфата. При этом, гипохромный сдвиг полос поглощения в области 750 и 920 cm^{-1} , характеристичных валентным колебаниям P-O-P-связи свидетельствует, что в процессе плавления SiP_2O_7 ($T_{\text{пл.}}=1196^{\circ}\text{C}$) при температурах 1200°C и выше, кремний встраивается в полифосфатную цепь, образуя сополимер - силикополифосфат.

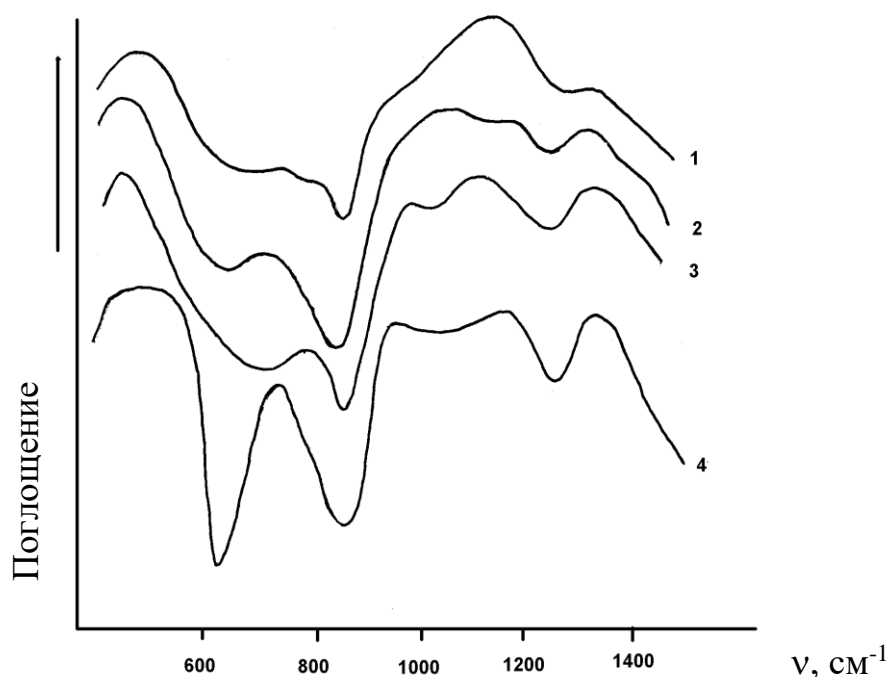


Рис. 48. ИК-спектры поглощения шлака циклонных печей (1), продуктов его термообработки (2-3) и ультрафосфата кальция (4).
Температура, $^{\circ}\text{C}$: 2 – 1000 ; 3 – 1200

В результате образования смешанного аниона на ИК-спектрах соответствующих образцов отмечается также усиление интенсивности полос поглощения в области $700\text{-}800$ и 1100 см^{-1} вследствие наложения колебаний, принадлежащих фосфатному аниону и SiO_2 (рисунок 48, кривые 2-3).

Таким образом, в результате термообработки удалось получить однородный по составу продукт, скорость растворения которого хотя и превышает растворимость исходного шлака, но все же недостаточна для промышленного использования данных продуктов в качестве ингибиторов коррозии металлов (рисунок 49, кривые 1-2).

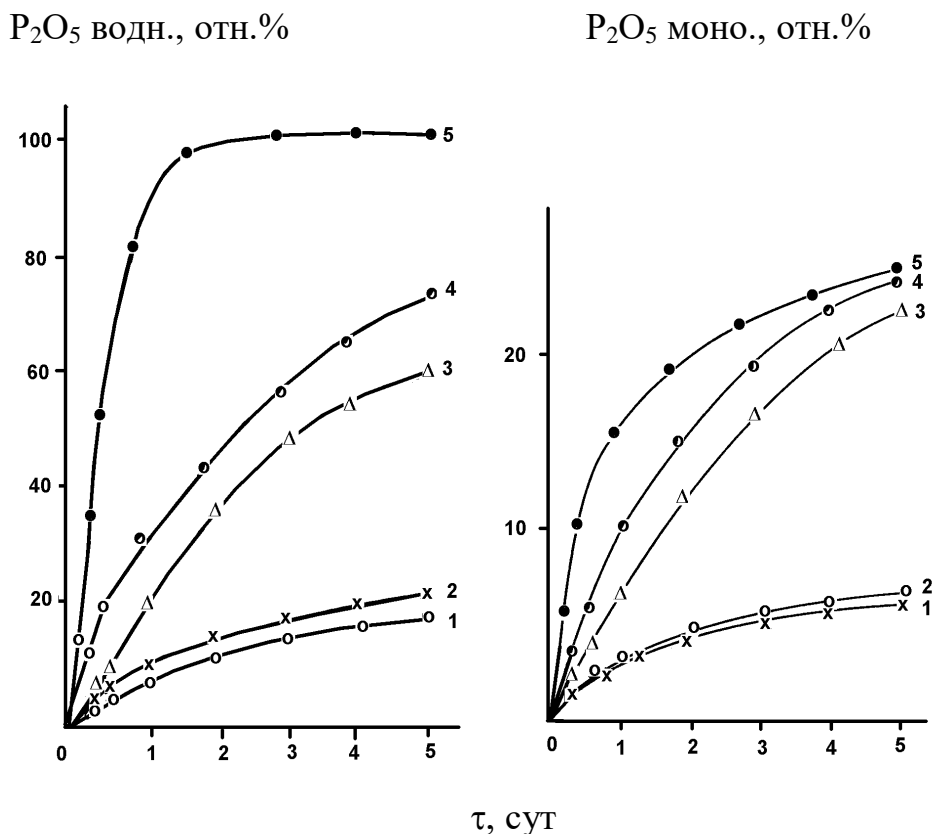


Рис. 49. Кинетика растворения (а) и гидролиза (б) продуктов, синтезированных на основе шлака циклонных печей: 1 – исходный шлак; 2 – шлак после термогидролиза; 3 – продукт термообработки шлака при 1200°C ; продукты плавления шлака в смеси с трифосфатом натрия при соотношении $\text{Na}_2\text{O}:\text{CaO}$: 4 – 1:1; 5 – 2,5:1

Для увеличения содержания водорастворимой формы P_2O_5 проплавленный шлак был подвергнут термогидролизу водяным паром при 190°C в течение 2 часов. В результате содержание водорастворимой формы P_2O_5 увеличилось и составило примерно 50 % относительно общего содержания P_2O_5 в продукте (рисунок 49, кривая 2). При этом, pH раствора был равен 1,2-1,5, а продукты растворения, по данным химического анализа и ЯМР ^{31}P спектроскопии, были представлены, в основном, монофосфатами кальция, магния и свободной

фосфорной кислотой с соотношением свободной фосфорной кислоты к общим растворенным фосфатам равным 1:8.

Эти характеристики позволили апробировать полученный раствор в качестве фосфатирующего концентрата для получения фосфатных антикоррозионных покрытий на металлических конструкциях. Фосфатирование стальных образцов проводили методом погружения в раствор концентрата при различных температурах. После чего образцы промывали дистиллированной водой и сушили при комнатной температуре. Защитные свойства покрытий определяли с помощью капельной пробы В.Г.Акимова (глава 2). Полученные результаты представлены в таблице 28.

Таблица 28. Защитные свойства фосфатных покрытий, нанесенных на стальные образцы кальцийсодержащим фосфатирующим концентратом

Раствор фосфатирования	Температура раствора, °С	Время формирования покрытия, мин	Защитное действие покрытия, сек
раствор, полученный при термогидролизе проплавленных шлаков шламовой кислоты: рН 1,2÷1,3; $K_{\text{общ}}/K_{\text{своб}} = 8:1$	45	15	385
	50	15	390
	60	15	392
	70	15	395
	75	15	390
	80	15	380
раствор сравнения по типу “Мажеф”	75	15	365

Из анализа представленных данных следует, что, предлагаемый способ получения покрытий позволяет увеличить степень защитного действия по сравнению с раствором “Мажеф” на 4-8 %. Кроме того, приготовление фосфатирующего раствора не требует дополнительного расхода кислотного реагента, так как H_3PO_4 образуется в процессе растворения за счет гидролиза точек разветвления ультрафосфатной структуры.

Если при создании фосфатных покрытий используют, в основном, растворы монофосфатов, то при применении фосфатов в качестве ингибиторов наличие моноформы нежелательно, поскольку монофосфатный анион связывается с катионами кальция, содержащимися в природных водах, в плохорастворимые соединения (шламы). В результате ухудшаются органолептические показатели воды, снижается эффективность защитного действия ингибитора вследствие

уменьшения его концентраций в растворе и образуется шлам на поверхности металла, что может вызвать подшламовую коррозию.

В этой связи, для получения водорастворимых фосфатов в полимерной форме было проведено модифицирование шлака оксидом натрия, в качестве источника которого был выбран один из товарных продуктов ОАО «Тараз-Фосфор» – триполифосфат натрия. Модифицирование проводили путем сплавления компонентов при 1200⁰С. Соотношение Na₂O:CaO выбирали на основании результатов по растворимости смешанных натрий-кальциевых фосфатов (глава 3), исходя из которых были составлены шихты для синтеза продуктов на основе фосфорного шлака (таблица 29).

Таблица 29. Состав исходных смесей для получения продуктов на основе шлака циклонных печей

Содержание в смеси		Соотношение в смеси Na ₂ O:CaO	Содержание SiO ₂ в смеси, мас%	R в смеси
Фосфорный шлак	триполифосфат натрия			
50,00	-	1:12	17,41	0,66
42,13	7,87	1:1	14,67	0,80
33,52	16,48	2,5:1	11,67	0,96

Результаты исследования растворимости полученных образцов в воде и гидролитической устойчивости их растворов представлены на рисунке 49. Как видно из рисунка 49-а, кривые 3-4, увеличение концентрации натриевого компонента в стеклах на основе шлака циклонных печей от 0,7 (исходный шлак) до 14,5 мас. % (стекло, где CaO : Na₂O=1:2,5) ведет к увеличению водной растворимости за сутки от 8 до 95 %.

Однако, следует отметить, что параллельно с этим растет степень гидролиза до монофосфата от 4 до 16 % (рисунок 49-б). Тем не менее, содержание полиформ в образцах остается достаточно высоким (84-96 %), что делает возможным рекомендовать полученные фосфатные плавы к дальнейшим исследованиям в качестве ингибиторов коррозии стали.

Изучение ингибирующих свойств продуктов на основе фосфорных шлаков проводили в статических условиях при 25⁰С и концентрациях ингибиторов в воде 2-100 мг P₂O₅/л [28].

В качестве ингибитора сравнения использовали триполифосфат натрия. Об эффективности синтезированных образцов как ингибиторов коррозии стали в водных средах судили по степени защитного действия (Z, %).

Из анализа полученных данных, представленных на рисунке 50, следует, что как термообработанный шлак, так и продукт на его основе, полученный при соотношении Na₂O:CaO=1:1 проявляет ингибирующие свойства во всем

диапазоне исследуемых концентраций (рисунок 50, кривые 1-2). Увеличение содержания оксида натрия в продукте до $\text{Na}_2\text{O}:\text{CaO} = 2,5:1$ приводит к потере защитных свойств в области концентраций менее 10 мг $\text{P}_2\text{O}_5/\text{л}$ (рисунок 50, кривая 3).

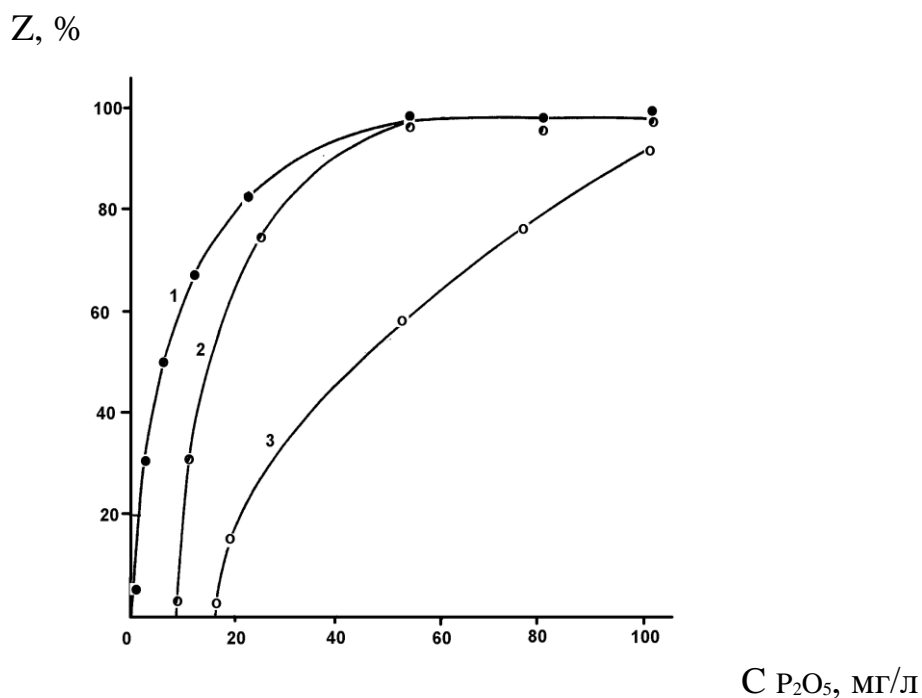


Рис. 50. Степень защитного действия ингибиторов коррозии, полученных на основе шлака циклонных печей: 1 - термообработанный шлак; 2 - продукт, полученный сплавлением шлака с трифосфатом натрия при соотношении $\text{Na}_2\text{O}:\text{CaO} = 1:1$; 3 - ингибитор сравнения $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$

Однако, уже при концентрации 15 мг $\text{P}_2\text{O}_5/\text{л}$ степень защитного действия данного силикополифосфата кальция – натрия составляет 28,7 % в отличие от известного ингибитора $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$, который при этой же концентрации стимулирует развитие коррозионных процессов на металлической поверхности. При концентрации фосфата 25 мг $\text{P}_2\text{O}_5/\text{л}$ достаточно высокий защитный эффект – порядка 80 % - имеют как термообработанный шлак, так и продукты его сплавления с триполифосфатом натрия (рисунок 50).

При концентрации 50 мг $\text{P}_2\text{O}_5/\text{л}$ степень их защитного действия в 2 раза превышает степень защитного действия триполифосфата натрия и приближается к 100 %.

После испытаний в растворах ингибиторов часть образцов была помещена в водопроводную воду без всяких добавок для определения эффекта последствия защитных пленок, сформировавшихся в растворах исследуемых продуктов.

Исследования проводили в статических условиях при свободной аэрации растворов с их ежесуточной заменой. При этом воду анализировали на содержание катионов железа. Эффект последействия разработанных ингибиторов определяли временем, когда удельная суммарная концентрация катионов железа, перешедших с поверхности образца, предварительно выдержанного в растворе фосфата, превысит эту величину для образца, находившегося в воде без добавок. Полученные данные представлены на рисунках 51, 52.

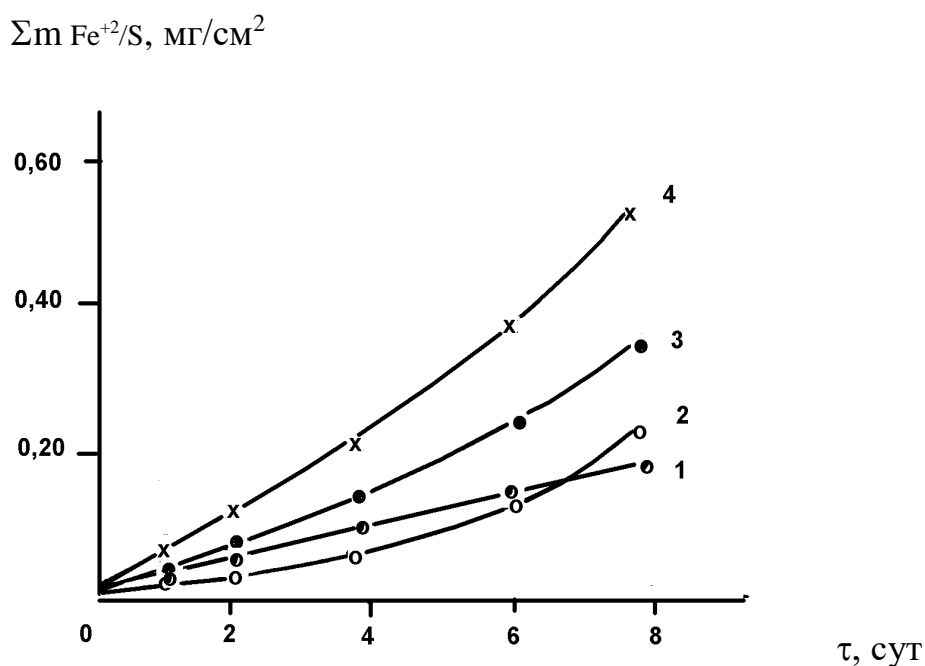
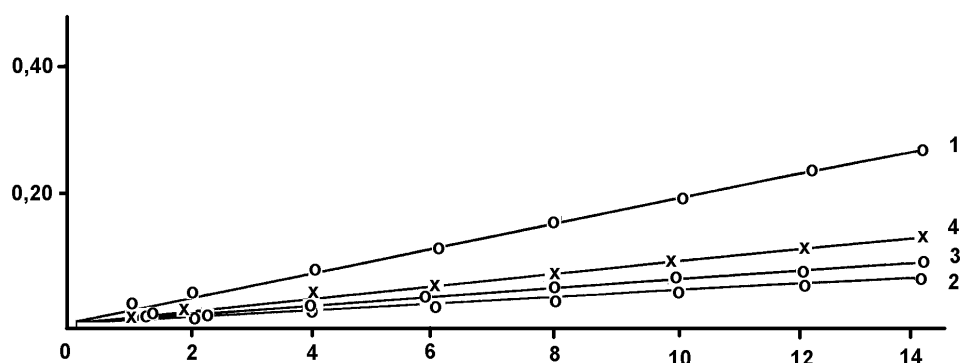


Рис. 51. Кинетика перехода удельного суммарного количества катионов железа в воду со стальных образцов, предварительно выдержанных в растворах трифосфата натрия. Концентрация растворов трифосфата натрия, мг Р₂О₅/л: 2 – 2,0; 3 – 5,0; 4 – 10,0; 1 – вода без добавок.

Как следует из полученных данных, эффект последействия для образцов, находившихся в растворах трифосфата натрия составляет 2-5 суток, причем чем выше была концентрация раствора трифосфата натрия, в котором предварительно выдерживали стальной образец, тем ниже был эффект последействия (рисунок 51, кривые 2-4). Дальнейшая экспозиция этих образцов в воде увеличивает содержание катионов железа, перешедшее в растворы в 4-5 раз, что свидетельствует о резком ускорении коррозионного процесса, протекающего на поверхности металла.

$\Sigma m \text{Fe}^{+2}/S, \text{ мг/см}^2$



τ, сут

Рис. 52. Кинетика перехода удельного суммарного количества катионов железа в воду со стальных образцов, предварительно выдержанных в растворах ингибиторов на основе шлака циклонных печей.

Концентрация растворов силикофосфатов кальция-натрия, $\text{мгP}_2\text{O}_5/\text{л}$:

2 – 2,0; 3 – 5,0; 4 – 10,0; 1 – вода без добавок

Для образцов, обработанных растворами силикофосфата кальция-натрия полученного на основе шлака циклонных печей, эффект последействия превышает 14 суток в диапазоне концентраций 2-50 $\text{мг P}_2\text{O}_5/\text{л}$, при этом удельное суммарное количество катионов железа в 2-3,5 раз меньше, чем в контрольном опыте. Хотя, как и в случае трифосфата натрия, увеличение концентрации раствора, в котором происходило формирование защитной пленки, снижает эффект последействия (рисунок 52, кривые 2-5).

Полученные результаты можно объяснить следующим образом. Как было показано в главе 4, механизм ингибирующего действия полимерных фосфатов в водных средах в общих чертах сводится к образованию на поверхности металла защитных пленок из трудно растворимых соединений $\text{Fe}(\text{OH})_2$ и FeHPO_4 , тормозящих анодную реакцию окисления железа. Кроме того, в присутствии полифосфатов защитные пленки аморфизированы, что затрудняет доступ кислорода к поверхности металла. Однако в отсутствии ингибиторов прекращается процесс образования гидромонофосфата железа, а аморфный гидроксид железа (II) переходит в различные кристаллические формы, не препятствующие проникновению кислорода к металлу. В результате часть его поверхности остается в активном состоянии и, наряду с запассивированной поверхностью образует локальные гальванические элементы, которые со временем ускоряют процесс коррозии металла и приводят к появлению в растворе повышенного количества катионов железа, что и наблюдается в эксперименте.

В растворах силикофосфатов кальция-натрия, полученных на основе шлака циклонных печей, помимо гидроксида железа (II) и гидромонифосфата образуются плохо растворимые силикаты железа и, возможно, кальция, повышающие защитные свойства пленок. В результате на поверхности стали, формируется качественно новое защитное покрытие, тормозящее скорость коррозии металла и в отсутствии дозирования силикофосфатов в воду, что и приводит к эффекту последействия.

Высказанное предположение подтверждается анализом ИК-спектров продуктов коррозионных отложений, сформированных на поверхности металла в растворах ингибиторов (рисунок 53).

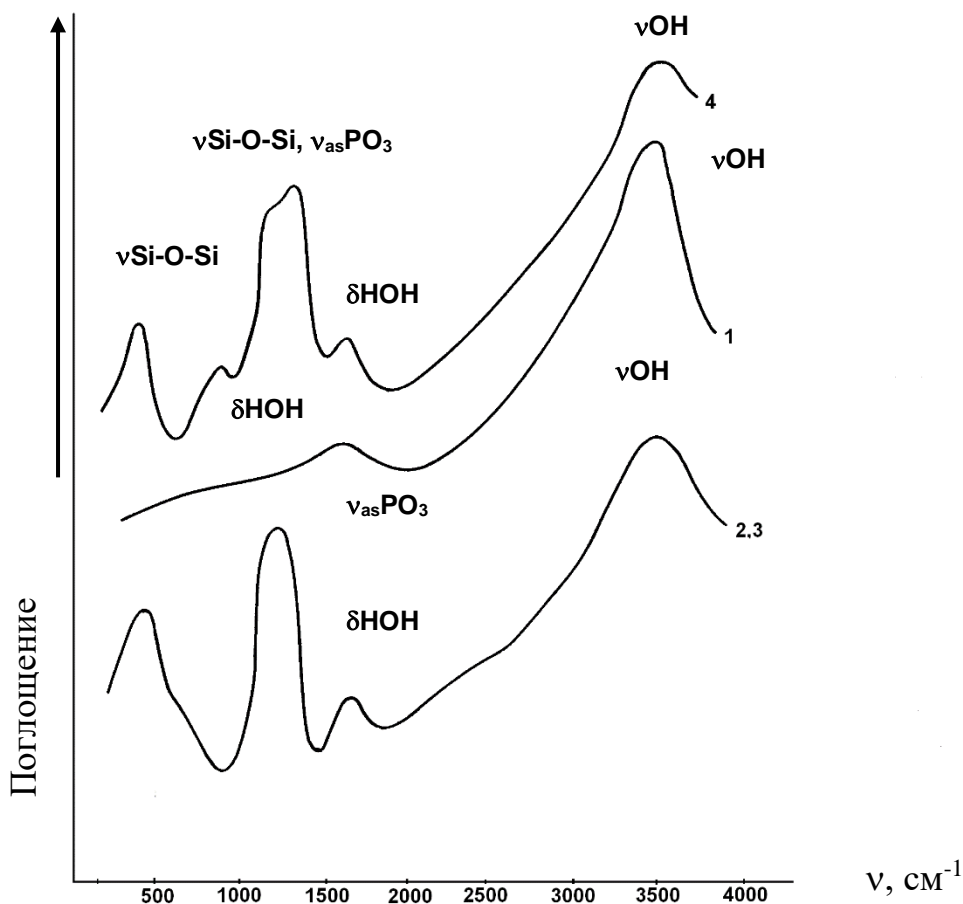


Рис. 53. ИК-спектры коррозионных отложений.

Отложения, образовавшиеся в растворах: 1 – вода без добавок; 2 – NaPO_3 ; 3 – $\text{CaNa}(\text{PO}_3)_3$; 4 – ингибитор на основе шлака циклонных печей

Наличие в образцах гидроксидов железа подтверждается широкими полосами поглощения в области 3450 см^{-1} (νOH) и 1630 см^{-1} (δHOH). Кроме того, на ИК-спектрах отложений, образовавшихся в растворах трифосфата натрия,

также как и в растворах $\text{CaNa}(\text{PO}_3)_3$, наблюдается полоса поглощения в области 1120-1150 см^{-1} , соответствующая валентным ассиметричным колебаниям концевых групп PO_3 ($\nu_{\text{as}}\text{PO}_3$) (рисунок 53, кривые 2 и 3).

Практически та же картина наблюдается и для покрытий, сформированных в растворах силикофосфатных продуктов, полученных на основе шлака циклонных печей. Однако в последнем случае наблюдается уширение полосы в области 1100-1150 см^{-1} за счет наложения полос поглощения валентных колебаний SiO_2 и концевых групп PO_3 и дополнительная полоса поглощения в области 800 см^{-1} , характеристичная валентным колебаниям Si-O-Si-связей (рисунок 53, кривая 4). Данные ИК-спектроскопического анализа подтверждаются и результатами классического химического анализа покрытий, (таблица 30)

Таблица 30. Химический состав покрытий, сформированных на стали в растворах поли- и силикофосфатов при концентрации 2 мг $\text{P}_2\text{O}_5/\text{л}$

Состав коррозионной среды	Содержание компонентов, мас.%				
	Fe_2O_3	CaO	P_2O_5	SiO_2	Потери при прокаливании
H_2O	45,7	1,2	Отсут.	Отсут.	53,1
$\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$	40,5	3,5	1,3	Отсут.	54,2
Силикофосфат на основе шлака циклонных печей	38,7	2,4	5,7	3,9	49,7

Таким образом, проведенные исследования показали возможность использования продуктов, полученных на основе отходов фосфорного производства – шлаков циклонных печей, в качестве эффективных ингибиторов коррозии стали в водных средах и, в частности, для защиты стальных трубопроводов систем теплоснабжения, различных систем охлаждения, мелиоративных систем и пр.

Для промышленного производства предлагаемых продуктов в первую очередь необходимо поддерживать температуру сжигания шлама в циклонной печи 1100-1200 $^{\circ}\text{C}$, что позволит обеспечить однородность образующегося шлака. Переработка последнего возможна по двум параллельным технологическим линиям (рисунок 54), одна из которых предназначена для получения фосфатирующих растворов, а вторая – ингибиторов коррозии металлов.

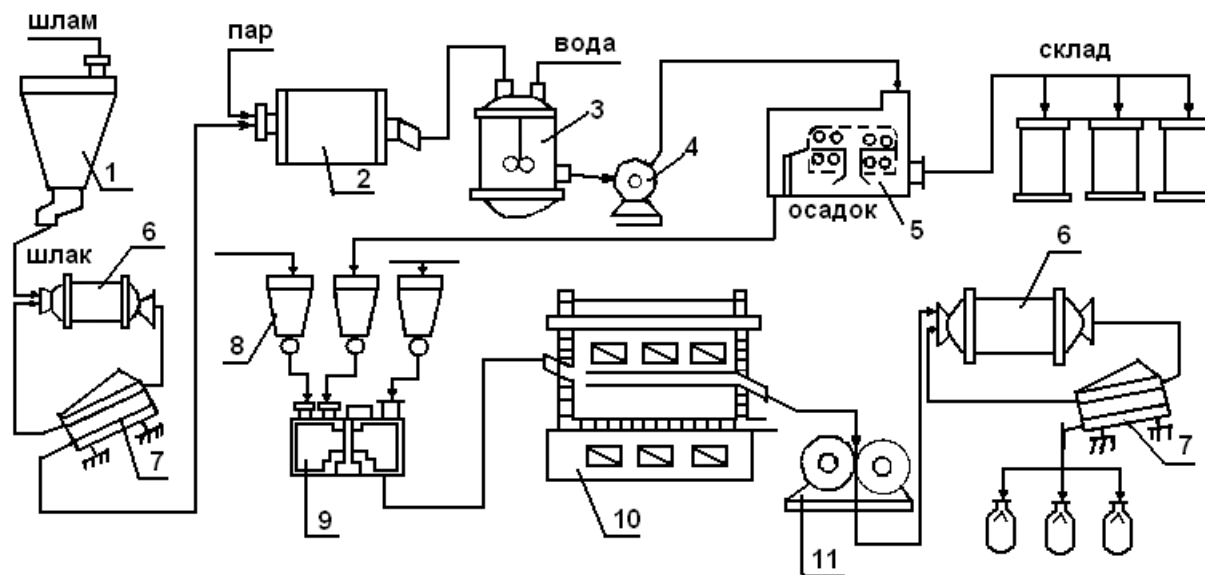


Рис. 54. Технологическая схема получения ингибиторов коррозии и фосфатирующих растворов: 1 – циклонная печь; 2 – камера термогидролиза; 3 – реактор; 4 – насос; 5 – вакуумный фильтр; 6 – мельница; 7 – грохот; 8 – расходный бункер-дозатор; 9 – смеситель; 10 – ванная печь; 11 – водоохлаждаемые валцы.

Согласно первой технологической схеме, термообработанный шлак поступает в камеру термогидролиза 2, где в течение 2 часов обрабатывается водяным паром при температуре 190°C. Затем продукт направляется в реактор с лопастой мешалкой 3, где происходит его растворение при $T:Ж=(0,1\div 0,2):1$ и температуре 75-80°C. Полученная пульпа подается в вакуумный фильтр 4, в котором раствор, содержащий монофосфаты кальция, и фосфорная кислота отделяются от нерастворимого осадка, представленного, в основном, фосфатами и силикатами поливалентных металлов, а также оксидом кремния. Этот осадок поступает на переработку в технологическую линию по производству ингибиторов. Фильтрат является товарным продуктом – раствором фосфатирования типа «Мажеф» и после его затаривания направляется на реализацию.

Получение стеклообразных силикополифосфатных ингибиторов коррозии металлов возможно по второй технологической схеме (рисунок 54), согласно которой термообработанный шлак предварительно дробится в шаровой мельнице 5. После чего совместно с дозируемыми количествами осадка из первой технологической линии и триполифосфатом натрия перемешивается в барабанном смесителе 6. Шихта, полученная из расчета на соотношение $Na_2O:CaO=1:1$, плавится при 1050-1100°C в ванной печи 7, после которой расплав закаливается между водоохлаждаемыми вальцами 8, измельчается в шаровой мельнице 9 и затаривается.

Разработанная технология прошла стадию опытно-промышленных испытаний на пилотной установке АО "НОДФОС", где была наработана партия кальцийсодержащего силикополифосфатного ингибитора к количеству 0,38 тонн и 250 литров фосфатирующего раствора на основе шлаков шламовой кислоты (акт опытно-промышленных испытаний прилагается).

Исходным сырьем для производства являлись шлак, полученный при сжигании фосфорных шламов в циклонной печи АО "НОДФОС" и некондиционный трифосфат натрия этого же предприятия. Шлак измельчали в шаровой мельнице и смешивали в барабанном смесителе с трифосфатом натрия из расчета на соотношение $Na_2O:CaO=1:1$. Полученную шихту плавил в печи при 1100°C в течение 20 минут, затем полученный расплав закаливали между водоохлаждаемыми валками. Полученный продукт представляет собой зеленоватые стеклообразные пластинки толщиной 1-3 мм с содержанием основных компонентов (мас.%): CaO – 12,3; Na₂O – 14,7; P₂O₅ – 58,3; SiO₂ – 12,6. Растворимость стекол при отношении $T:Ж=1:100$ составляет 85-90%.

Для получения растворов фосфатирования шлак помещали на колосниковую решеику в камеру термогидролиза, где в течение двух часов его обрабатывали водяным паром при температуре 190°C. Из камеры шлак направляли в реактор с лопастной мешалкой, в котором происходило его

растворение при Т:Ж=0,1:1 и температуре 75°C. Полученный раствор отделяли от нерастворимого осадка с помощью вакуумного фильтра. Готовый фосфатирующий концентрат имеет плотность 1,1 кг/м³, рН 1,2÷1,3 и соотношение Н₃РО₄:Р₂О₅(общ)=1:7.

Предлагаемая технология фосфатирующего концентрата на основе фосфорных шлаков защищена патентом РК № 11032 от 16.01.2006.