

ГЕКСАМЕТАФОСФАТ НАТРИЯ КАК ИНГИБИТОР КОРРОЗИИ ЖЕЛЕЗА
В РАСТВОРАХ СОЛЕЙ

Е. И. Гурович и И. В. Кротов

1. Введение

Еще в 1836 году, объясняя появление пассивного состояния у железа в растворах электролитов, Фарадей [1] писал: „Я глубоко убежден в том, что поверхность железа окислена, или что частицы металла на поверхности его находятся в такой связи с кислородом, которая эквивалентна окислению“; эти окисленные частицы на поверхности металла „... препятствуют обновлению металлической поверхности, а также и дальнейшему притяжению другими частицами железа составных частей электролита; таким образом, здесь нет тех последовательных химических реакций, благодаря которым электрический ток (количество и действие которого строго определено) может быть продолжительным“.

С тех пор в науке происходила борьба различных теорий, объясняющих причины активности и пассивности металлов в растворах электролитов и во влажной атмосфере. Постепенно накопился богатый экспериментальный материал, который в подавляющей его части подкрепляет пленочную теорию [2] явлений пассивности металлов. С нашей точки зрения наиболее правильными воззрениями на природу пассивного состояния являются воззрения акад. В. А. Кистяковского, изложенные в его работах и работах его учеников [3]. Согласно пленочной теории акад. В. А. Кистяковского поверхность металла, находящегося во влажном воздухе, покрыта пленкой (фильмом) окислов или гидратированных окислов. Металл находится в пассивном состоянии тогда, когда эта пленка сплошная. Коррозия происходит за счет местных (локальных) гальванических токов между участками аморфной пленки или какими-либо загрязнениями на поверхности металла и самим металлом. Деполяризаторами для местных токов служат кислород и уголекислота.* Ржавление железа начинается в местах, где какие-либо условия нарушили сплошность фильма окислов. Начальной стадией процесса ржавления является образование очагов ржавления, которые дальше распространяются или вглубь металла или в стороны по его поверхности, в зависимости от подачи кислорода и двуокиси углерода. Всякое нарушение эквипотенциальности на поверхности металла способствует образованию коррозионных центров; контакт с границей двух фаз в этом отношении обычно проявляет свое действие. Электролиты усиливают коррозию не только потому, что они повышают электропроводность раствора и увеличивают локальные токи, но и потому, что они разрушают пленку окислов. В этом отношении особенно активны ионы хлора, которые разрушают пленку окислов и увеличивают ее пористость. В. А. Кистяковский так определяет отличие старых оксидных теорий пассивности от теории им разработанной: „Старые воззрения представляли себе пленку на железе как слой, не проводящий гальванического тока, а активное состояние — как полное снятие этой пленки. Кроме того, старые теории не учитывали того обстоятельства, что пассив-

* Уголекислота способствует сохранению более низких значений рН.

вирующая пленка делает железный электрод кислородным электродом (подобно платиновому электроду) и что изменение концентрации кислорода на поверхности такого железа приводит к изменению электродного потенциала“.

Н. А. Изгарышев [4] считает, что: „пассивирующая пленка возникает в виде аморфного, прозрачного образования, находящегося в коллоидном состоянии в виде геля, облегающего металл более или менее непроницаемым слоем“. Таким образом, поверхность образца железа или стали в сухом воздухе покрыта сплошным пассивирующим фильмом окислов.

При наличии влаги в воздухе и, в особенности, химически активных примесей, или при погружении в растворы электролитов происходит, в зависимости от ряда условий, с той или иной интенсивностью коррозионный процесс, приводящий к образованию ржавчины.

Описанные выше представления о поверхности железного или стального образца должны быть учтены при теоретическом рассмотрении механизма коррозии железа и стали в растворах электролитов при наличии гексаметафосфата натрия. Приведем прежде всего некоторые сведения о гексаметафосфате.

Гексаметафосфат натрия (NaPO_3)₆ был получен уже весьма давно [5]. Гексаметафосфат натрия получается лучше всего нагреванием $\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$ или NaH_2PO_4 до красного каления (мы доводили температуру до 700—750°) и затем быстрым охлаждением прозрачного расплава. Гексаметафосфат натрия не кристаллизуется и расплывается на воздухе. В водном растворе при обычной температуре весьма устойчив. В горячей воде он переходит в пиррофосфат и другие фосфаты. Гексаметафосфат натрия или его комплексы способны хорошо адсорбироваться различными материалами. Он способен даже при весьма малых его концентрациях в растворе препятствовать осаждению карбоната кальция из воды, богатой бикарбонатом кальция [6]. Buchrer и Reitemeier [7] считают, что это явление объясняется адсорбцией гексаметафосфата натрия на кристаллических плоскостях, вызывающей прекращение роста кристаллов. Fred Hazel [8] произвел между прочим определение стабильности, флокуляции и дефлокуляции для зольей окиси железа различных концентраций, при различных pH среды и в присутствии гексаметафосфата натрия. При этом исследовалось влияние различных концентраций иона кальция. Гексаметафосфат натрия особенно эффективен как стабилизатор коллоидных суспензий. Автор нашел, что в присутствии 3.1 части гексаметафосфата натрия на миллион частей коллоидного раствора гидрата окиси железа происходила коагуляция; 4.3 части оказались достаточны для стабилизации коллоидного раствора. Щелочные фосфаты подобно щелочам обладают свойством изменять положительный заряд гидрата окиси железа на отрицательный. Катионы, в том числе и кальциевый ион, смещают изоэлектрическую точку к более высоким значениям pH. Отрицательные ионы, в том числе и гексаметафосфатный, смещают изоэлектрическую точку к низшим значениям pH. Количество гексаметафосфата, потребное для изменения положительного заряда гидрата окиси железа на отрицательный, зависит от трех факторов: 1) pH системы; 2) присутствия других ионов (в особенности поливалентных катионов вроде кальциевого) и 3) концентрации гидрата окиси железа. При высоких pH нужно гексаметафосфата для вышеупомянутой перезарядки меньше, чем при низких. Ион кальция повышает количество гексаметафосфата, потребное для приведения коллоидных частичек в изоэлектрическое состояние. По мнению Hazel свойство щелочей и гексаметафосфата ингибировать коррозию должно быть приписано способности этих веществ переводить поверхность окиси железа из электроположительного в электроотрицательное состояние, делая, таким образом, поверхность металла более благородной. G. N. Hatch и Owen Rice [9] исследовали, путем измерения уменьшения концентрации кислорода в воде с находящимися в ней железными или стальными стружками, ингибиторное действие добавок гекса-

метафосфата натрия к водопроводной воде в зависимости от концентрации гексаметафосфата натрия, скорости протекания воды, присутствия первоначально образовавшейся ржавчины, pH воды. Авторы предполагают, что ингибиторное действие весьма малых добавок гексаметафосфата натрия к воде обязано адсорбции гексаметафосфата натрия или его комплексов на металле или окиси металла. Образующаяся в присутствии гексаметафосфата натрия ржавчина лучше пристаёт к металлической поверхности, темнее, тоньше и повидимому плотнее ржавчины, образующейся в воде без добавки гексаметафосфата натрия. Ингибиторное действие гексаметафосфата натрия проявляется в интервале pH от 6 до 9.5. Опыты авторов показали, что эффект скорости течения воды с добавкой гексаметафосфата натрия на интенсивность коррозии железа в ней слишком незначителен, чтобы его можно было установить. Вполне эффективно действует уже добавка 4 частей гексаметафосфата натрия на миллион частей воды. Механизм ингибиторного действия гексаметафосфата натрия рисуется нам в следующем виде. Железная поверхность при соприкосновении с водой, содержащей электролиты, начинает подвергаться коррозии. При этом между катодами на железной поверхности (участками с ненарушенным пассивирующим фильмом) и анодами (участками, лишенными пассивирующего фильма или покрытыми слишком разрушенным, не сплошным фильмом) проходят электрические токи. На анодах железо переходит в ионное состояние и дает вначале соли закисного железа, которые подвергаются гидролизу и затем дают гидратированные окислы трехвалентного железа (ржавчину) за счет окислительного действия кислорода воздуха. Одновременно кислород воздуха оказывает деполяризующее действие на катодах локальных элементов (образуя с водой OH). В отсутствие ингибитора этот процесс пойдет и дальше, так как ржавые гидратированные окислы железа не защищают анодов микропар от дальнейшего взаимодействия с раствором электролита. В случае присутствия гексаметафосфата натрия образующаяся на анодах локальных элементов ржавчина адсорбирует гексаметафосфат натрия, становится более плотной и оказывает защитное действие.

Кроме того, гексаметафосфат натрия, адсорбируясь из раствора слоем (объемом) ржавчины вызывает уменьшение положительного заряда коллоидных частичек ржавчины и уплотнение ржавчины. Те участки железной поверхности, на которых ржавчина держится плотным слоем, будут теперь уже катодами местных элементов, а не анодами. Адсорбция гексаметафосфата натрия на катодных участках железной поверхности (с неразрушенным фильмом окиси) не приведет к изменению их катодных функций на анодные. Наличие в растворе поливалентных катионов (например, кальциевого) должно уменьшать специфическое окислительное действие гексаметафосфата натрия. В присутствии ионов кальция требуется большая концентрация гексаметафосфата натрия, для того, чтобы проявилось его действие как ингибитора коррозии. Повидимому, как видно будет из описываемых далее опытов, адсорбция гексаметафосфата натрия ржавчиной не приводит к образованию таких комплексов, которые могли бы так же прочно удерживаться железной поверхностью при наличии поливалентных катионов, как прочно они удерживаются при их отсутствии. Можно ожидать, что коррозионное действие растворов, содержащих хотя и одновалентные катионы, но вместе с тем ионы хлора в повышенной концентрации, должно быть более сильным, чем коррозионное действие растворов, содержащих поливалентные катионы и ионы хлора в меньшей концентрации. Совершенно очевидно, что при большой концентрации ионов хлора проявляется депассивирующее действие ионов хлора по отношению к гидрату окиси железа. Кроме того, увеличение концентрации ионов натрия, в связи с добавлением в воду хлористого натрия, уменьшает концентрацию гексаметафосфатного аниона и вызывает ослабление его ингибиторного действия. Приведенные выше теоретические

тические представления об ингибиторном действии гексаметафосфата натрия позволяют обосновать механизм действия гексаметафосфата натрия при коррозии железа в растворах хлористого кальция (28°Вé), хлористого натрия (20°Вé) и в смеси этих растворов (по 50% каждого).

2. Экспериментальные данные. Исследование ингибиторного действия гексаметафосфата натрия при коррозии железа в растворе хлористого кальция (28°Вé), хлористого натрия (20°Вé) и в их смесях

Раствор CaCl_2 (28°Вé) является основным в холодильных установках. Например, в Казанском городском холодильнике в установке циркулирует 18 м^3 раствора CaCl_2 .

На рис. 1 ясно выражена разница в коррозионном поведении железа в растворе CaCl_2 с добавкой $(\text{NaPO}_3)_6$ и без такой добавки.

В первом случае образец за 3 месяца потерял всего 0.202 г на 1 дм^2 своей поверхности; во втором случае — контрольный образец (т. е. без добавки в раствор CaCl_2 гексаметафосфата натрия), при всех равных условиях потерял 3.75 г на 1 дм^2 .

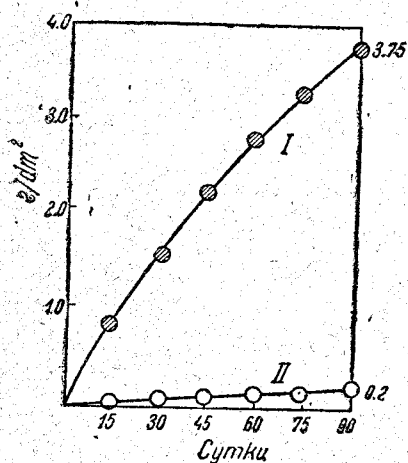


Рис. 1. Влияние добавки $(\text{NaPO}_3)_6$ на коррозию железа; конц. $(\text{NaPO}_3)_6$ — $16 \cdot 10^{-6} \text{ г}$ на 1 мл раствора CaCl_2 .

I — контрольный образец; II — с $(\text{NaPO}_3)_6$.

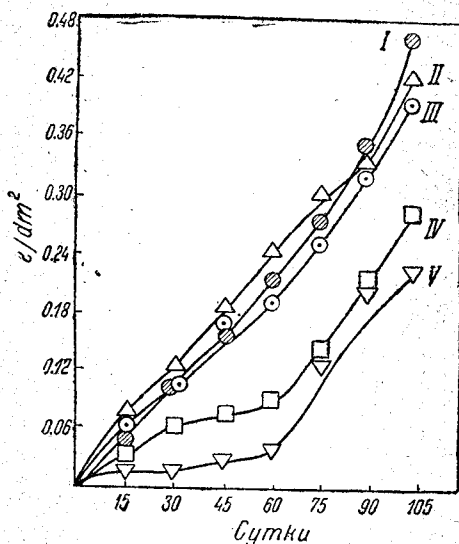


Рис. 2. Коррозия железа в растворе CaCl_2 с добавкой $(\text{NaPO}_3)_6$ различной концентрации.

I — C = $1 \cdot 10^{-6}$; II — C = $4 \cdot 10^{-6}$;
III — C = $32 \cdot 10^{-6}$; IV — C = $8 \cdot 10^{-6}$;
V — C = $16 \cdot 10^{-6}$.

В случае применения добавки $(\text{NaPO}_3)_6$ в количестве всего 0.000016 г на 1 мл раствора CaCl_2 эффект коррозии уменьшился таким образом в 18.5 раз.

Рис. 2 и 3 дают ответ на вопрос относительно максимально действующей концентрации $(\text{NaPO}_3)_6$ в растворе CaCl_2 .

На рис. 2 видно, что концентрация $(\text{NaPO}_3)_6$ в $16 \cdot 10^{-6} \text{ г}$ на 1 мл раствора является оптимальной в смысле уменьшения коррозии. Исходя из этих данных, на 1 л потребно 0.016 г $(\text{NaPO}_3)_6$, а на 1 м^3 — 16 г . Концентрации меньше, точно так же, как и концентрации, превышающие данную оптимальную концентрацию $(\text{NaPO}_3)_6$, дают меньший ингибиторный эффект. На рис. 3 показана зависимость коррозии железа от концентрации $(\text{NaPO}_3)_6$ по времени. В течение двух месяцев $(\text{NaPO}_3)_6$ почти не теряет своих свойств

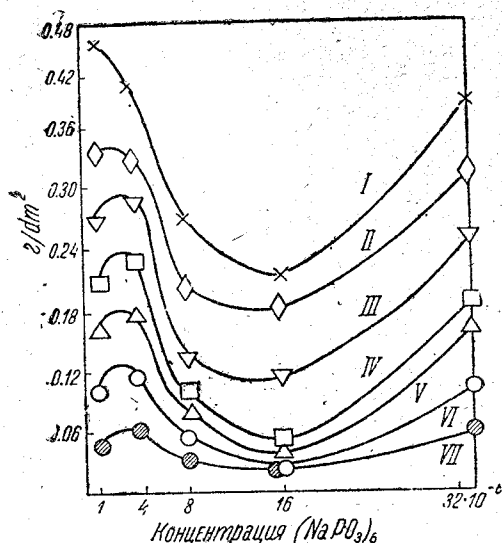


Рис. 3. Зависимость коррозии железа от концентрации $(\text{NaPO}_3)_6$ при различной длительности опытов в растворе CaCl_2 .

I — через 105 суток; II — 90 суток; III — 75 суток; IV — 60 суток; V — 45 суток; VI — 30 суток; VII — 15 суток.

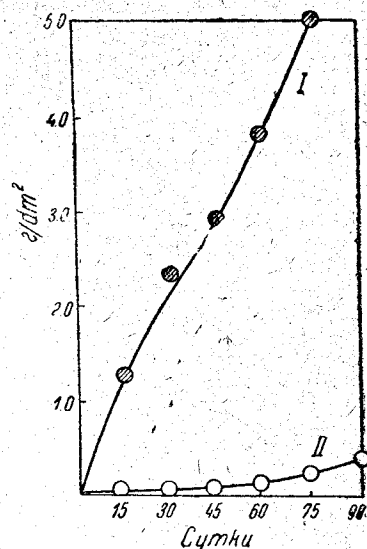


Рис. 4. Влияние $(\text{NaPO}_3)_6$ на коррозию железа в растворе NaCl .

I — контрольный образец; II — с $(\text{NaPO}_3)_6$.

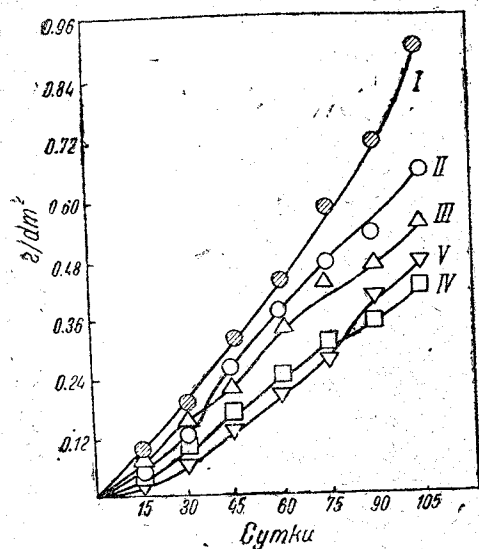


Рис. 5. Коррозия железа в растворе NaCl с добавками $(\text{NaPO}_3)_6$ различной концентрации

I — $C = 1 \cdot 10^{-6}$; II — $C = 4 \cdot 10^{-6}$; III — $C = 32 \cdot 10^{-6}$; IV — $C = 8 \cdot 10^{-6}$; V — $C = 16 \cdot 10^{-6}$.

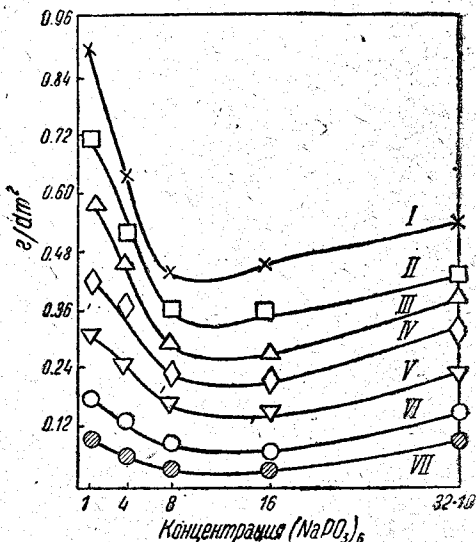


Рис. 6. Зависимость коррозии железа от концентрации $(\text{NaPO}_3)_6$ при различной длительности опыта в растворе NaCl .

I — через 105 суток; II — 90 суток; III — 75 суток; IV — 60 суток; V — 45 суток; VI — 30 суток; VII — 15 суток.

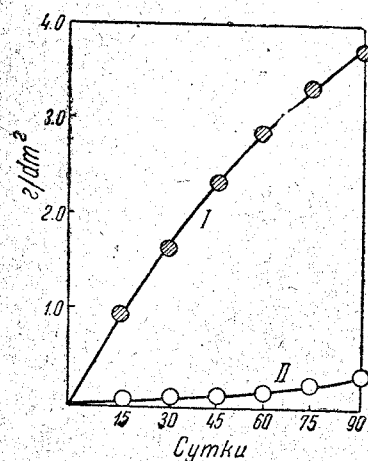


Рис. 7. Влияние $(\text{NaPO}_3)_6$ в смеси растворов CaCl_2 и NaCl на коррозию железа. I — контрольный образец; II — с $(\text{NaPO}_3)_6$.

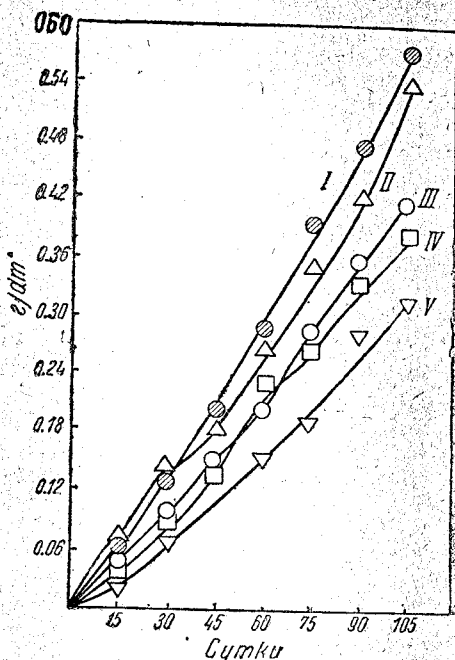


Рис. 8. Коррозия железа в смеси растворов CaCl_2 и NaCl с добавками $(\text{NaPO}_3)_6$ различной концентрации.

I — $G = 1 \cdot 10^{-6}$; II — $C = 4 \cdot 10^{-6}$;
III — $C = 32 \cdot 10^{-6}$; IV — $C = 8 \cdot 10^{-6}$;
V — $C = 16 \cdot 10^{-6}$.

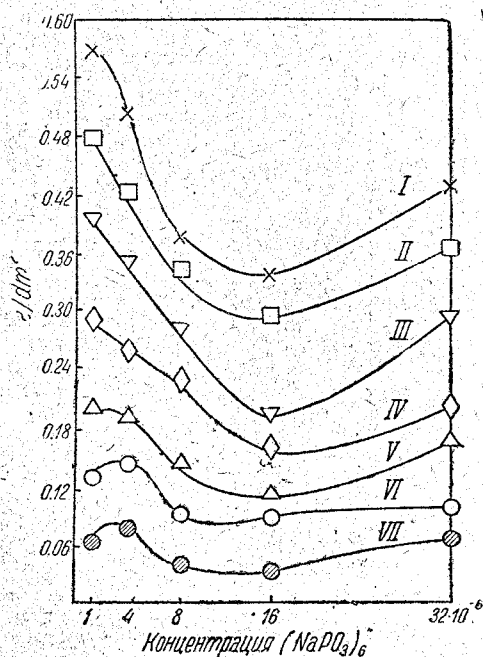


Рис. 9. Зависимость коррозии железа от концентрации $(\text{NaPO}_3)_6$ при различной длительности опыта в смеси растворов CaCl_2 + NaCl .

I — через 105 суток; II — 90 суток; III — 75 суток;
IV — 60 суток; V — 45 суток; VI — 30 суток;
VII — 15 суток.

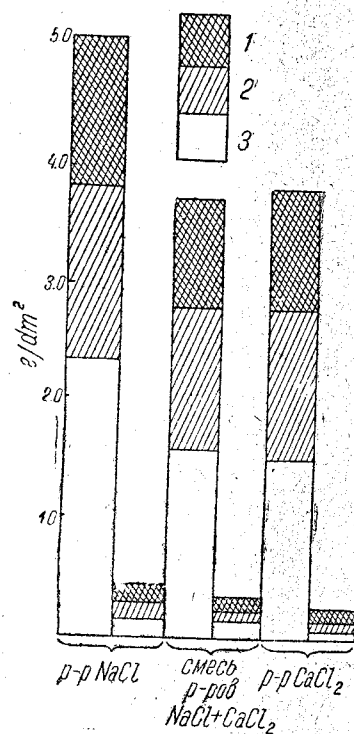


Рис. 10. Большие столбики — контрольные образцы. Малые столбики — с $(\text{NaPO}_3)_6$.

1 — через 3 мес.; 2 — через 2 мес.;
3 — через 1 мес.

и затем они несколько ухудшаются (практически ничтожно): потери от коррозии возрастают с 0.06 г на 1 дм² до 0.23 г на 1 дм² поверхности испытуемого образца.

На рис. 4 показана разница в коррозии контрольного образца и образца железа в растворе NaCl (20° Вё) с добавкой $(\text{NaPO}_3)_6$ $16 \cdot 10^{-6}$ г/мл. Эффект уменьшения коррозии в этом случае несколько больший, чем в случае с CaCl_2 и равен ~ 19.5 раз. Расход $(\text{NaPO}_3)_6$ здесь также равномерен, как и в случае с раствором CaCl_2 : в течение трех месяцев коррозия растет в пределах от 0.04 до 0.36 г на 1 дм² поверхности испытуемого образца.

На рисунках 5 и 6 показаны оптимальные условия применения.

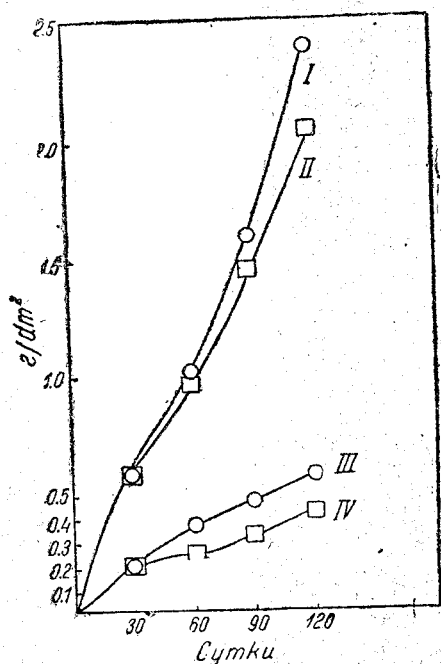


Рис. 11. Коррозия образцов труб Казанского городского холодильника.

Испытание при полупогружении образцов в растворы $\text{CaCl}_2 + \text{NaCl}$ с $(\text{NaPO}_3)_6$ и без него.

I — в растворе CaCl_2 ; II — в смеси растворов $\text{CaCl}_2 + \text{NaCl}$; III — в растворе $\text{CaCl}_2 + (\text{NaPO}_3)_6$; IV — в смеси растворов $\text{CaCl}_2 + \text{NaCl} + (\text{NaPO}_3)_6$.

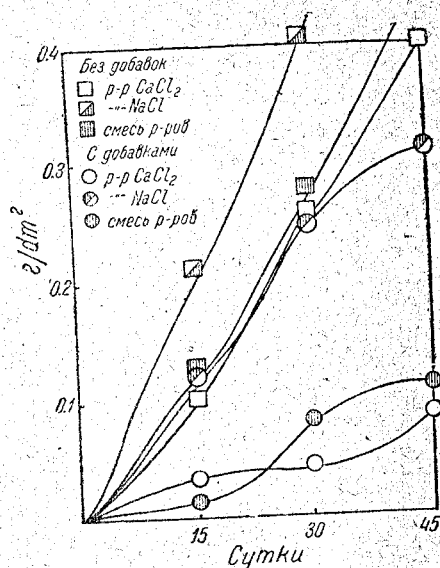


Рис. 12. Коррозия железа при полупогружении его в растворы CaCl_2 , NaCl и смесь растворов $\text{CaCl}_2 + \text{NaCl}$ с $(\text{NaPO}_3)_6$ и без него.

$(\text{NaPO}_3)_6$ в случае раствора NaCl (20° Вё). Оптимальный эффект лежит в пределах $8 \cdot 10^{-6}$ — $16 \cdot 10^{-6}$ г на 1 мл раствора.

Смесь растворов 50% CaCl_2 (28° Вё) и 50% NaCl (20° Вё) дает разницу в коррозионных потерях для контрольного образца железа и погруженного в раствор с добавкой $(\text{NaPO}_3)_6$ ($16 \cdot 10^{-6}$ г на 1 мл раствора) в соотношении 1:13 (рис. 7).

Оптимальной концентрацией $(\text{NaPO}_3)_6$ и в этом случае является $16 \cdot 10^{-6}$ г на 1 мл раствора.

Расход $(\text{NaPO}_3)_6$ более или менее равномерный: коррозия, в течение 3 месяцев колеблется от 0.03 г до 0.3 г на 1 дм².

На рис. 8 и 9 приведены данные по установлению оптимальных условий для случая смеси растворов CaCl_2 и NaCl .

На рис. 10 дана сравнительная диаграмма, на которой объединены ранее приведенные результаты испытаний образцов железа в растворах CaCl_2 , NaCl и смеси их в течение 3 месяцев, как с добавками гексаметафосфата натрия, так и без них. Концентрация $(\text{NaPO}_3)_6$ всюду равна $16 \cdot 10^{-6}$ г на 1 мл раствора, как оптимально-эффективная.

Как для той, так и другой группы образцов коррозия в NaCl является наибольшей.

Контрольные образцы в растворе CaCl_2 и смеси растворов теряют в весе почти равное число грамм на 1 дм^2 .

Образцы железа, испытанные в растворах с добавкой $(\text{NaPO}_3)_6$, потеряли в весе больше всего в растворе NaCl и меньше всего в растворе CaCl_2 . Для смеси растворов имеем среднее значение коррозионных потерь.

Кроме испытаний при полном погружении образцов в электролиты, были проведены опыты при полупогружении их в электролиты, как для листового железа, так и для образцов труб, полученных от Казанского городского холодильника.

На рис. 11 показана коррозия образца труб Казанского городского холодильника в растворе CaCl_2 [с добавкой $(\text{NaPO}_3)_6$ и без нее] и в смеси растворов CaCl_2 и NaCl [также с добавкой $(\text{NaPO}_3)_6$ и без нее].

ТАБЛИЦА 1

Испытание образцов железа в растворе CaCl_2 (28° Вé) без добавки и при полной герметичности системы (отсутствие O_2)

Скорость протекания электролита $\sim 120 \text{ л в 1 час}$ (сечение реакционной трубы 18 мм)

20 дней образцы находились погруженными в электролит, из них 100 часов электролит был в движении

№№ образцов	Размеры образцов (в см)	Поверхность (в см^2)	Вес до опыта (в г)	Вес после опыта (в г)	Разница в весе (в г)	Коррозия (г на 1 дм^2)	Примечание
1	1.8×5	18	1.4528	1.4568	+ 0.0040	+ 0.022	Количество электролита 6.5 л Средняя коррозия на 1 дм^2 + 0.02 г
2	1.7×5	17	1.3716	1.3758	+ 0.0042	+ 0.024	
3	1.7×5	17	1.4068	1.4104	+ 0.0036	+ 0.021	
4	1.6×5	16	1.2714	1.2758	+ 0.0044	+ 0.027	
5	1.75×5	17.5	1.4702	1.4706	+ 0.0004	+ 0.002	

ТАБЛИЦА 2

Испытание образцов железа в растворе CaCl_2 (28° Вé) без добавок при усиленной аэрации

Количество электролита 2.5 л. Скорость протекания 120 л в 1 час

15 дней образцы находились погруженными в электролит, из них 100 часов электролит был в движении

№№ образцов	Размеры образцов (в см)	Поверхность (в см^2)	Вес до опыта (в г)	Вес после опыта (в г)	Разница в весе (в г)	Коррозия (г на 1 дм^2)	Примечание
1	1.7×5	17	1.5862	1.5148	0.0714	- 0.420	Средняя коррозия на 1 дм^2 - 0.22 г Средняя температура за все время опыта 18°
2	1.8×5	18	1.7104	1.6842	0.0262	- 0.145	
3	1.75×5	17.5	1.5828	1.5302	0.0526	- 0.300	
4	1.6×5	16	1.5060	1.4872	0.0188	- 0.118	
5	1.78×5	17.8	1.6350	1.6134	0.0216	- 0.120	

ТАБЛИЦА 3

Испытание образцов железа в растворе CaCl_2 (28° Вё) с добавкой гексаметафосфата натрия (0.000016 г) в 1 мл при усиленной аэрации электролита

Количество электролита 2.5 л. Скорость протекания 120 л в час
15 дней образцы находились погруженными в электролит, из них 100 часов электролит был в движении

№№ образцов	Размеры образцов (в см)	Площадь поверхности (в см ²)	Вес до опыта (в г)	Вес после опыта (в г)	Разница в весе (в г)	Коррозия (г на 1 дм ²)	Примечание
1	1.7 × 5	17	1.4782	1.4514	0.0268	— 0.158	Средняя коррозия на 1 дм ² — 0.157 г Средняя температура за все время опыта 12°
2	1.8 × 5	18	1.6566	1.6296	0.0270	— 0.150	
3	1.75 × 5	17.5	1.5386	1.5120	0.0266	— 0.152	
4	1.6 × 5	16	1.4708	1.4488	0.0220	— 0.138	
5	1.78 × 5	17.8	1.5928	1.5590	0.0338	— 0.189	

Метод испытаний на коррозию при полупогружении образцов в электролит не является точным, особенно в тех случаях, когда коррозия усиленно протекает по ватерлинии; тем не менее на фигуре ясно видна разница в степени коррозии.

Сравнительный коррозионный эффект в этом случае ~ в 5 раз. Были проведены также аналогичные испытания на коррозию при полупогружении образцов железа в электролиты. Результаты этих испытаний показаны на рис 12.

Эффект уменьшения коррозии в этом случае также равен ~ 4—5 раз, если сравнивать коррозионные потери образцов в электролитах, с добавками, с одной стороны, и без них, с другой.

Влияние движения раствора электролита на ингибиторное действие гексаметафосфата натрия вытекает из приведенных табл. 1, 2 и 3.

Из таблиц видно, что при интенсивном движении раствора электролита ингибиторное действие гексаметафосфата натрия практически падает до нуля.

Выводы

1. Добавка гексаметафосфата натрия к раствору CaCl_2 , NaCl и их смеси резко снижает коррозию железа и стальных холодильных труб в условиях покоящегося электролита, как при полном, так и при полупогружении испытуемого образца в электролит.

2. Оптимально действующей концентрацией гексаметафосфата натрия при этом является $16 \cdot 10^{-6}$ г на 1 мл раствора.

3. Все результаты с теоретической стороны вполне могут быть интерпретированы исходя из тех теоретических представлений, которые развиты во введении.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Faraday, Phil. Mag., 9, 53 (1836). — [2] См. напр. Freundlich, Patscheke, Zocher, Z. phys. Chem., 128, 321 (1927); Tronstadt, Z. phys. Chem., 158, 5/6 (A), (1934); 170, 172; многочисленные работы Evans'a и его сотрудников, освещенные в книге Evans, Metallic Corrosion, Passivity a. Protection 1938 г. и др. — [3] В. А. Кистяковский. Активирование и пассивирование магния, ЖРХО (1907); The theory of passivity of metals. VII. Inter. Congr. of appl. Chemistry. Sec. X. 56, London, 1909; электрохимические реакции и электродные потенциалы некоторых металлов (докт. дисс.), 1910, стр. 1—177; коррозия некоторых металлов в связи с их

пассивностью. Докл. на II физ.-хим. конф. в 1927 г.: Сообщения о научно-технических работах в республике, 24, 193 (1928); Ztsr. Elektrochem., 31, 625, 628 (1925); электрохимия, 1916, стр. 380—389: коррозия металлов и новейшие пути борьбы с нею, ГНТИ, 1931; коррозия металлов и коллоидно-электрохимия, 1933; коррозия железа при контакте с границей двух фаз, 1932; фильмовая теория коррозии металлов, 1932; В. А. Кистяковский и И. В. Кротов. Экспериментальная проверка фильмовой теории коррозии железа. Изв. АН СССР, 1930, стр. 715—729; И. В. Кротов, Г. Г. Иванов и А. В. Соловьев. Коррозия железа в контакте с границей: твердое тело—влажный воздух. Тр. I конф. по корр. мет. при АН СССР 1935, стр. 525—536; И. В. Кротов. Теория пассивного состояния железа. Изд. АН СССР, 1938; Е. И. Гурович. К вопросу о наличии пленок на металлах. Докл. АН СССР, 1937, т. XV, № 9, стр. 543—546; Е. И. Гурович. Кинетика образования коррозионных центров на металлах. Изв. АН СССР, 1937, № 6, хим. сер., стр. 1453—1486. — [4] Н. А. Изгарышев. Сообщения о научно-технических работах в Республике 1928, 24, стр. 185. — [5] Graham, Pogg. Ann., 32, 33 (1834); Fleitmann, Pogg. Ann., 76, 18 (1849); Modrell, Lieb. Ann., 61; H. Rose, Pogg. Ann., 76; Fleitmann u. Heimenbery, Lieb. Ann., 65; Knorre, Z. angew. Chemie, 5 u. 21; Hugo Ludert, Z. anorg. Chem., 5, s. 15 (1894). — [6] L. Rosenstein. U. S. patent 20, 754 (1938). — [7] J. Phys. Chem., 44, 552 (1940). — [8] Journ. of Phys. Chem., X, 46, 4, 1942, p. 516 и сл. — [9] Industrial, a. Enginier, Chemistry, 1940, V, 32, 12, 1572—9; Journ. the New England Water Works Association, Vol. 54, № 1, 1940, p. 25; см. также по этому вопросу Chemical News за 1939 г.

Поступило в Редакцию
7 августа 1945 г.

SODIUM HEXAMETAPHOSPHATE AS AN INHIBITOR OF THE CORROSION OF IRON IN THE SALINE SOLUTIONS

E. I. Gurovich and I. V. Krotov

Summary

1. The addition of sodium hexametaphosphate to the CaCl_2 , NaCl solutions and their mixtures markedly decreases the corrosion of iron and steel refrigerator pipes under conditions of the electrolyte at rest, both in the case of the test sample completely submerged and the one only half-submerged in the electrolyte.

2. The optimally active sodium hexametaphosphate concentration is: $16 \cdot 10^{-6}$ gr per 1 cu cm of the solution.

3. The results obtained may be theoretically interpreted in the light of the theoretical conceptions exposed in § 1.