

---

## ИЗ ОПЫТА РАБОТЫ

---

В.В. Паршутин\*, Н.С. Шолтоян\*, С.П. Сидельникова\*, Г.Ф. Володина\*,  
В.И. Лозан\*\*, О.А. Болога\*\*, Н.В. Гэрбэлэу\*\*

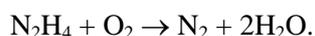
### ГИДРАЗИН – 1,1 – ДИУКСУСНАЯ КИСЛОТА КАК ИНГИБИТОР КОРРОЗИИ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ СТ. 3 В ВОДНЫХ СРЕДАХ

*\*Институт прикладной физики АН РМ,  
ул. Академией, 5, г. Кишинев, МД-2028, Республика Молдова*

*\*\*Институт химии АН РМ,  
ул. Академией, 3, г. Кишинев, МД-2028, Республика Молдова*

Применение ингибитора часто является единственно возможным методом защиты от коррозии крупных и вследствие этого весьма металлоемких гидравлических металлоконструкций, в которых вода и водные растворы используются в качестве технологических жидкостей. Эффективность использования последних зависит от солевого состава воды, (который на практике меняется в зависимости от местности и во времени). Применение комбинаций ингибиторов для повышения эффективности осуществляется пока только как экспериментальный метод, а также при целевой разработке новых препаратов.

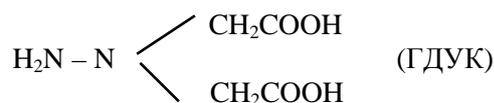
Некоторые соединения гидразина давно используются для удаления растворенного или химически несвязанного кислорода из газов и жидкостей для уменьшения коррозии металлов [1–5]. В промышленности гидразин и его соединения применяются для обработки воды в котлах и системах отопления. Это объясняется тем, что молекула гидразина взаимодействует с находящимся в растворенном состоянии кислородом в соответствии с уравнением



Скорость реакции гидразина с кислородом при обычной температуре, например ниже 60°C, невелика. Поэтому гидразин используют с добавками (например, ариламинами, металлоорганическими комплексами и др.), ускоряющими его реакцию с кислородом при более низких температурах.

Преимущество гидразина перед другими восстановителями, в частности сульфитом состоит в том, что побочным продуктом его окисления является азот, который легко удаляется из воды и не является коррозионноактивным агентом. При окислении сульфита образуются сульфаты, которые являются агрессивными агентами, и накопление их в воде нежелательно [6, 7]. Кроме того, добавление в воду гидразина в большей степени уменьшает содержание кислорода, чем введение сульфита [4].

Целесообразно изучение влияния других соединений гидразина на коррозионный процесс в воде и водных средах, с целью поиска возможностей снижения коррозионных потерь металла и при низких температурах без добавления других реагентов. В качестве одного из таких соединений взята гидразин–1,1–диуксусная кислота



Коррозия стали в воде проходит с кислородной деполяризацией и последующей адсорбцией

выделяющегося кислорода на поверхности [6]. Количество адсорбирующегося кислорода во многом определяет прочность и толщину образующегося защитного слоя, состоящего из оксидов и гидроксидов железа, а также нерастворимых солей. Находящиеся в воде анионы  $\text{Cl}^-$  и  $\text{SO}_4^{2-}$ , вытесняя кислород с поверхности, способствуют увеличению скорости коррозии [6, 7]. Следует ожидать, что ГДУК, содержащая несколько активных функциональных групп, может препятствовать негативному воздействию активирующих ионов как за счет конкурирующей адсорбции, так и за счет образования комплексов с ионами железа и внедрения их в образующуюся защитную пленку.

#### **Методика**

Исследования проводили по методике, подробно изложенной в [8, 9].

Коррозионные испытания проводили в водопроводной воде, химический состав которой с учетом сезонных отклонений соответствовал (мг/л):  $\text{CO}_3^{2-}$  – 6;  $\text{HCO}_3^-$  – 98,0;  $\text{SO}_4^{2-}$  – 204,0;  $\text{Cl}^-$  – 57,0;  $\text{Ca}^{2+}$  – 72,5;  $\text{Mg}^{2+}$  – 19,5. При этом pH изменялось в пределах 7,2 – 7,6, а общая жесткость равнялась 5,22 ммоль/л при общем содесодержании 457,0 мг/л. Данную воду можно отнести к воде средней жесткости или умеренно жесткой [10, 11]. По значению индекса Ланжелье (– 0,08) вода характеризуется состоянием, близким к равновесному. По суммарному содержанию хлорид- и сульфат-ионов (выше 150 мг/л) вода по классификации И.Л. Розенфельда [5] относится к сильно агрессивным средам.

Использовались образцы из стали Ст.3 с химическим составом (%): С – 0,2; Мп – 0,45; Si – 0,25; Cr – 0,25; остальное железо.

При коррозионных испытаниях образцы размером 50x25x3 мм при полном погружении полностью погружали в раствор на одинаковую глубину при свободном доступе воздуха. Исходная шероховатость образцов соответствовала обработке шлифованием. Потери от коррозии регистрировали гравиметрически. Эффект действия ингибитора количественно оценивался по критерию степени защиты, определяемому по формуле  $Z = \frac{k-k_1}{k}$ , где  $k_1$  и  $k$  – скорости коррозии металла с применением ингибитора и без него. Степень защиты характеризует полноту подавления коррозии. Для оценки эффективности ингибиторов использовали также коэффициент торможения  $\gamma = \frac{k}{k_1}$ , показывающий,

во сколько раз снижается скорость коррозии в результате действия ингибитора.

Перед опытом образцы тщательно обезжиривали венской известью, промывали дистиллированной водой и высушивали фильтровальной бумагой. После испытаний образцы вынимали, высушивали вначале на воздухе, а затем в эксикаторе над слоем прокаленного  $\text{CaCl}_2$ . Боковую поверхность образца изолировали лаком. Удаление продуктов коррозии осуществляли в 0,5 М растворе HCl с добавлением 0,5% уротропина.

Фазовый состав продуктов коррозии изучали методом рентгенофазового анализа на универсальных дифрактометрах HZG-4 В и ДРОН-3М при кобальтовом излучении. Использовали обычную рентгеновскую дифракцию по схеме  $\theta - 2\theta$ , а также методику со скользящей геометрией падения рентгеновского луча. УФ-спектры поглощения растворов  $10^{-3}$  моль/л ГДУК (1),  $10^{-3}$  моль/л  $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O} + 10^{-3}$  моль/л ГДУК (2) и  $10^{-2}$  моль/л  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O} + 10^{-3}$  моль/л ГДУК (3) в дистиллированной воде снимали на спектрофотометре Specord-40.

Воздействие ингибитора на электрохимическое поведение стали оценивали по величине стационарного потенциала и по потенциостатическим поляризационным кривым, снятым по точкам после 3 мин выдержки. Использовали потенциостат П-5827 М и стандартную электрохимическую ячейку с плоским электродом (рабочая площадь  $1 \text{ см}^2$ ) с изолированными боковыми и задней поверхностями. Потенциалы измеряли относительно хлорсеребряного электрода, а затем их значения пересчитывали относительно нормального водородного электрода.

#### **Результаты экспериментов и их обсуждение.**

Опытным путем установлено, что при коррозии стали в воде без ингибитора можно выделить два периода (рис. 1, кривая 1).

Вначале (до 120 часов) наблюдается монотонно убывающая зависимость, по параболическому закону. Благодаря постепенному формированию на поверхности (образцов) нерастворимых продуктов окисления ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  и  $\gamma\text{-FeOOH}$ ), а также солей (кальцита  $\text{CaCO}_3$  и сульфатов железа) и уменьшению скорости диффузии компонентов раствора через эти отложения скорость коррозии замедляется. Наконец, после 120 часов выдержки устанавливается динамическое равновесие количество осадков и их проницаемость стабилизируются, скорость коррозии стали становится практически постоянной (второй период, линейный участок на кривой 1). При этом с увеличением продолжительности

экспонирования pH раствора растет, что свидетельствует о коррозии по механизму кислородной деполяризации (рис. 2, кривая 1).

Данных по влиянию гидразина на процесс коррозии стали в воде при концентрациях ГДУК, использованных нами, в литературе нет. Однако приводятся сведения по влиянию его более высоких концентраций. Так, согласно [5], добавление 1 г/л гидразина в Стокгольмскую коммунальную воду (величина pH воды с гидразином и без него равна 9,5 и 8,5 соответственно) снижает скорость общей коррозии малоуглеродистой стали в 9,5 раз при  $Z = 89\%$  и почти не защищает медь ( $\gamma = 1,05$  при  $Z = 5\%$ ). Значительно большее количество гидразина (10 г/л) практически полностью защищает сталь Ст.20 в обессоленной воде при  $80^{\circ}\text{C}$ . Но такой эффект достигается только при полном погружении металла в раствор. Если же образец частично погружен в воду, то скорость коррозии в 35 раз выше ( $0,07 \text{ г/м}^2\cdot\text{сут.}$  против  $0,002 \text{ г/м}^2\cdot\text{сут.}$ ), а при расположении образца над водой положительное действие даже такой высокой концентрации ингибитора невысоко [5].

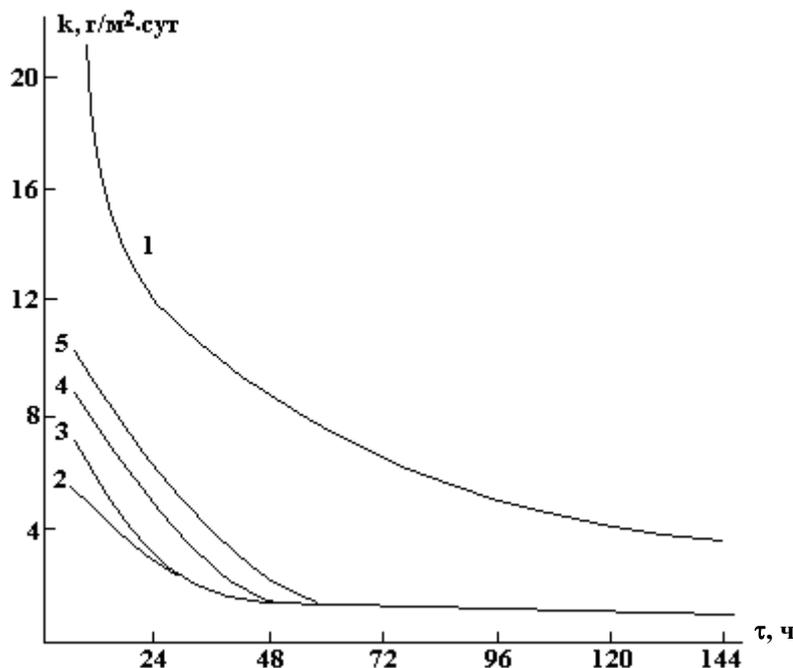


Рис. 1. Влияние продолжительности испытаний на скорость коррозии при концентрации ингибитора, г/л: 1 – 0, 2 – 0,1; 3 – 0,25; 4 – 0,4; 5 – 0,5.

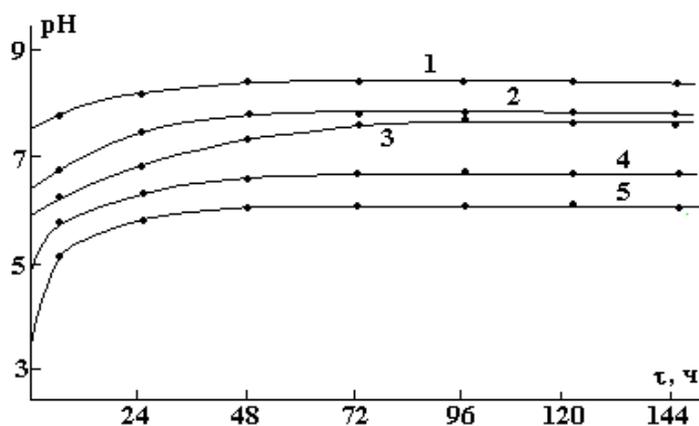


Рис. 2. Влияние продолжительности испытаний на pH среды при концентрации ингибитора, г/л: 1 – 0, 2 – 0,1; 3 – 0,25; 4 – 0,4; 5 – 0,5.

Авторы [12] считают, что суммарный ингибирующий эффект гидразина заключается в прямом ингибирующем действии, вытекающем из его восстановительных свойств. Дополнительное действие гидразина обеспечивается подщелачиванием среды, деоксигенацией раствора, активирова-

нием поверхности стали и др. Высказано предположение о том, что ингибитор включается непосредственно в состав продуктов коррозии, формирующихся на корродирующей поверхности [5].

Введение в воду ГДУК, не меняя характера зависимости скорости коррозии от времени экспонирования, приводит к значительному снижению скорости коррозии, например, с  $21 \text{ г/м}^2 \cdot \text{сутки}$  при 8 часах испытаний в воде без ингибитора до  $3,56 \text{ г/м}^2 \cdot \text{сутки}$  при его концентрации  $0,1 \text{ г/л}$  (рис. 1, кривые 2–5). Скорость коррозии в воде с ГДУК в основном снижается в первые 48 часов экспонирования, а не в 120 часов, как в чистой воде. Затем, благодаря фазовым изменениям на корродирующей поверхности, формированию на ней защитной пленки, устанавливается динамическое равновесие, после чего скорость коррозии остается практически неизменной. При этом наибольшее влияние концентрации ингибитора на скорость коррозии стали отмечается при 8 часах выдержки (рис. 1 и рис. 3, кривая 1), но с увеличением времени испытаний до 48 часов оно становится значительно меньше, а уже при 144 часах наблюдается даже некоторое уменьшение коррозионных потерь с увеличением концентрации ингибитора (рис. 3, кривые 2, 3).

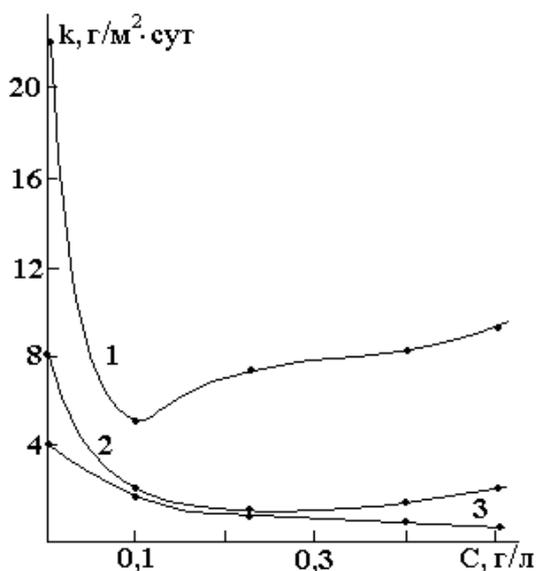


Рис. 3. Влияние концентрации ингибитора на скорость коррозии при длительности испытаний, ч: 1 – 8, 2 – 48, 3 – 144.

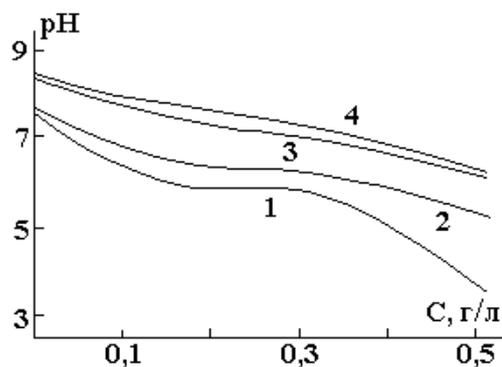


Рис. 4. Влияние концентрации ингибитора на pH среды при длительности испытаний, ч: 1 – 0; 2 – 8; 3 – 48; 4 – 144.

Введение ингибитора подкисляет воду, причем тем больше, чем выше его концентрация, например от pH, равного 7,5 у чистой воды, до pH-3,6 при концентрации ГДУК 0,5 г/л. Это вполне объяснимо диссоциацией ГДУК в воде. В процессе испытаний в первые 48 часов происходит значительное увеличение значений pH (рис. 2), что коррелирует с изменением скорости коррозии (рис. 1). Максимальное увеличение значений pH раствора наблюдается при концентрации ингибитора 0,5 г/л (от  $3,6 \text{ г/м}^2 \cdot \text{сут}$  – в момент погружения образца до 6,2 – при 48 часах выдержки). В случае меньших концентраций рост не столь значительный: при  $0,1 \text{ г/л}$  от 6,41 до 7,85, при  $0,25 \text{ г/л}$  от 5,86 до 7,7, при  $0,4 \text{ г/л}$  от 4,99 до 6,7 (то есть увеличение всего на 1,34–1,71 вместо 2,6 при концентрации ингибитора  $0,5 \text{ г/л}$ ). При этом видно, что несмотря на подщелачивание раствора в процессе коррозии, величина его pH ниже, чем при коррозии в воде без ингибитора.

Рассматривая изменения значений pH раствора от концентрации ГДУК в зависимости от длительности испытаний, видим, что они наиболее значительны при малых временах выдержки (рис. 4). Чем больше время экспонирования образца, тем больше величина pH среды и тем меньше влияние на нее содержания ингибитора.

Величина коэффициента торможения  $\gamma$  при концентрации ингибитора  $0,1 \text{ г/л}$  линейно падает от значения 5,9 при 8 часах выдержки до 2,55 при 144 часах (см. таблицу). При содержании ГДУК, равном  $0,25 \text{ г/л}$ , только при 8 часах испытаний величина  $\gamma$  меньше (5,14), чем при концентрации  $0,1 \text{ г/л}$ . Однако с увеличением времени экспонирования его значения практически равны тем, что наблюдаются при концентрации  $0,1 \text{ г/л}$ . При концентрации  $0,4 \text{ г/л}$  на кривой  $\gamma - \tau$  при 48 часах испытаний проявляется пик. Следует отметить, что при 48 часах экспонирования значения  $\gamma$  для концентраций  $0,1-0,4 \text{ г/л}$  ингибитора близки. В случае концентрации  $0,5 \text{ г/л}$  минимальная величина  $\gamma$ , равная 2,09, соответствует 8 часам испытаний, затем она увеличивается до 3,9 при 48 часах выдержки

и остается постоянной в остальном временном интервале испытаний и при 120–144 часах экспонирования равняется значениям  $\gamma$ , наблюдаемым при концентрации ГДУК, равной 0,4 г/л. Отметим, что максимальная разница в величинах  $\gamma$  наблюдается при 8 часах экспонирования. Из таблицы видно, что при 8 часах испытаний с увеличением содержания ГДУК от 0,1 до 0,5 г/л значения  $\gamma$  падают с 5,9 до 2,09. При 48 часах выдержки в пределах концентраций 0,1–0,4 г/л величина его несколько возрастает – от 4,71 до 5,24, а затем падает до 3,89 при концентрации 0,5 г/л. В случае 144 часов выдержки характер зависимости другой:  $\gamma$  не меняется и примерно равно 2,4 при концентрации 0,1–0,25 г/л, и увеличивается до величины 3,93 – при концентрации 0,5 г/л.

Если сравнивать данные по изменению величины рН раствора и значений  $\gamma$  от времени экспонирования, то обнаруживается определенная их корреляция, свидетельствующая о влиянии значений рН в указанных пределах на коррозионное поведение стали (рис. 2 и 4, см. таблицу).

### *Влияние концентрации ингибитора на параметры коррозионного процесса стали Ст.3*

Концентрация ингибитора, г/л	Время испытаний, час	Коэффициент торможения $\gamma$	Степень защиты, Z, %
0,1	8	5,9	83,05
	48	4,71	78,75
	96	3,85	71,05
	144	2,55	60,77
0,25	8	5,14	80,55
	48	4,92	79,66
	96	3,7	72,00
	144	2,34	57,38
0,4	8	2,49	59,81
	48	5,24	80,91
	96	4,35	76,5
	144	3,62	72,38
0,5	8	2,09	52,14
	48	2,89	74,32
	96	3,9	74,5
	144	3,93	74,52

Подобные зависимости от времени испытаний и концентрации ингибитора наблюдаются и для степени защиты Z (см. таблицу). При этом ее минимальное значение составляет 52,14%, а максимальное – 83,05, что позволяет по классификации Д.С.Робинсона [4] отнести ингибитор к “хорошим”.

Рентгенофазовый анализ показывает, что к 48 часам, а не к 120 часам как в воде без ингибитора, на корродирующей поверхности формируется пленка, состоящая из кубического оксида  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и небольшого количества оксида  $\alpha$  – Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и лепидокрита  $\gamma$  – FeOОН. Кроме того, фиксируется аморфная фаза, а также несколько рефлексов, которые не удалось идентифицировать. Вероятнее всего, именно наличие  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> приводит к снижению скорости коррозии в среде с ингибитором. Возможно, этому способствует также и появление аморфной фазы, которая согласно [12] более коррозионно-устойчива, чем кристаллическая.

Изучение анодного поведения стали в водной среде в присутствии ГДУК и без него показало, что стационарный потенциал стали в водопроводной воде в момент погружения образца в среду равен –240 мВ (рис. 5, кривая 1). За первые 10 минут он сдвигается в отрицательную сторону до значения –275 мВ, за 20 минут – до (–290 мВ), а за 60 минут – до (–305 мВ). В последующие два часа он разблагораживается до значения –315 мВ, а при дальнейшем увеличении времени экспонирования до 72 часов он медленно увеличивается до –320 мВ. Таким образом, основное разблагораживание происходит очень быстро, когда фазовые превращения на корродирующей поверхности еще не успевают произойти. Формирование защитной пленки продуктов коррозии, замедляющей процесс ионизации металла и состоящей прежде всего из маггемита  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, как указано выше, завершается только после 120 часов экспонирования (рис. 1, кривая 1).

С добавлением в воду ГДУК стационарный потенциал стали сдвигается в положительную сторону тем больше, чем выше концентрация ингибитора (рис. 5 и 6). Но с ростом времени экспонирования его значения разблагораживаются. И если при концентрации ГДУК, равной 0,1 г/л, разблагора-

раживание в основном заканчивается примерно за то же время, что и в воде (2 часа), то при большем содержании ингибитора оно идет значительно быстрее. Наиболее существенное разблагораживание потенциала наблюдается при концентрации ГДУК, равной 0,5 г/л: с  $-110$  мВ в момент погружения образца в воду, до  $-220$  мВ за 120 минут выдержки.

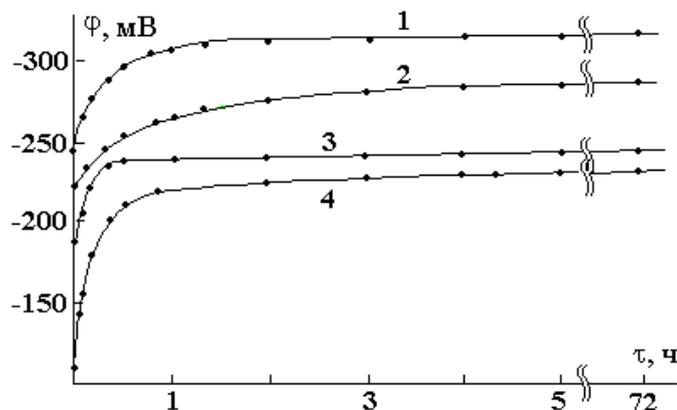


Рис. 5. Влияние времени испытаний на значения стационарного потенциала стали Ст.3 в водопроводной воде при концентрации ГДУК, г/л: 1 – 0; 2 – 0,125; 3 – 0,25; 4 – 0,5.

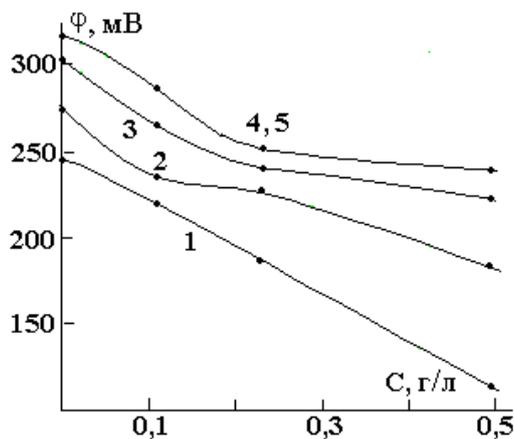


Рис. 6. Влияние концентрации ГДУК на значения стационарного потенциала стали Ст.3 в водопроводной воде при выдержке, мин: 1 – 0; 2 – 20; 3 – 60; 4 – 300; 5 – 4320.

Данные, приведенные на рис. 6, характеризуют влияние концентрации ингибитора на значение  $\phi_{ст}$  при различных временах экспонирования. Видно, что с увеличением содержания ГДУК в растворе  $\phi_{ст}$  сдвигается в положительную сторону. С увеличением времени выдержки образца в исследуемом растворе от 10 мин до 72 часов величина потенциала сдвигается в отрицательную сторону в растворе 2 – на 50 мВ, 3 – на 25 мВ и 4 – на 55 мВ, а при этом значения потенциалов Ст.3 в этих растворах близки по величине в отличие от начала экспонирования и составляют  $-290$ ,  $-250$  и  $-235$  мВ, соответственно.

Потенциостатические анодные поляризационные кривые  $\phi - i$  (рис. 7) показали, что увеличение концентрации ГДУК приводит к уменьшению величины анодного тока растворения при постоянной величине потенциала. В присутствии ГДУК активное растворение идет при более положительных значениях потенциала.

Аналогичные зависимости были получены и при использовании добавок ингибиторов анодного действия – глюконата и бороглюконата кальция [8, 14], что позволяет сделать вывод о том, что ГДУК является ингибитором анодного действия.

Исследование спектров поглощения растворов ГДУК (1), ГДУК +  $Fe^{2+}$  (2) и ГДУК +  $Fe^{3+}$  (3) в ультрафиолетовой области, снятых сразу после приготовления растворов, показало наличие полосы поглощения в ультрафиолетовой области (рис. 8), что свидетельствует об образовании комплексов с переносом заряда [15].

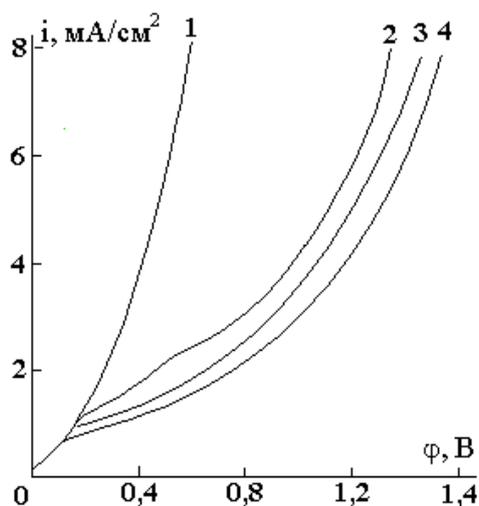


Рис. 7. Потенциостатические поляризационные кривые стали Ст.3 в водопроводной воде в зависимости от концентрации ГДУК, г/л: 1 – 0; 2 – 0,125; 3 – 0,25; 4 – 0,5.

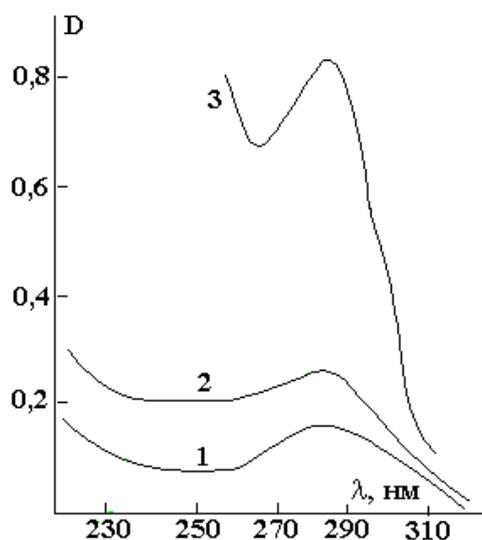


Рис. 8. Спектры поглощения ГДУК (1) и ГДУК в присутствии солей трех- (3) и двухвалентного (2) железа в момент приготовления растворов.

Полоса поглощения раствором ГДУК в дистиллированной воде может быть обусловлена образованием комплексного соединения с примесью, находящейся в воде даже после дистилляции. Спектры отличаются только интенсивностью полос поглощения, что связано с количеством поглощающего свет соединения. Известно, что ион трехвалентного железа обладает большой реакционной способностью, что и объясняет сильное поглощение УФ раствором ГДУК, содержащим  $\text{Fe}^{3+}$  [15].

После четырех суток выдержки интенсивность поглощения растворами (1) и (2) возросла более чем в 4 раза, тогда как у раствора (3) увеличилась всего лишь на 30% , но в отличие от первых двух сместилась в коротковолновую область (рис. 9). Указанное смещение можно объяснить изменением состава комплексов или их строения [15].

Разбавление растворов ГДУК с ионами  $\text{Fe}^{2+}$  и  $\text{Fe}^{3+}$  приводит к уменьшению интенсивности полос поглощения, а затем к полному их исчезновению (рис. 10), что свидетельствует об увеличении диссоциации комплексов до полного их распада [15, 16]. Таким образом, устойчивость комплексных соединений ГДУК с  $\text{Fe}^{3+}$  связана с концентрацией ингибитора в растворе.

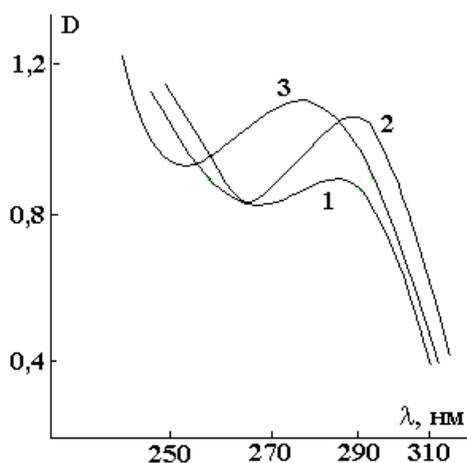


Рис. 9. Спектры поглощения ГДУК (1) и ГДУК в присутствии солей двухвалентного (2) и трех- (3) железа после четырехсуточной выдержки.

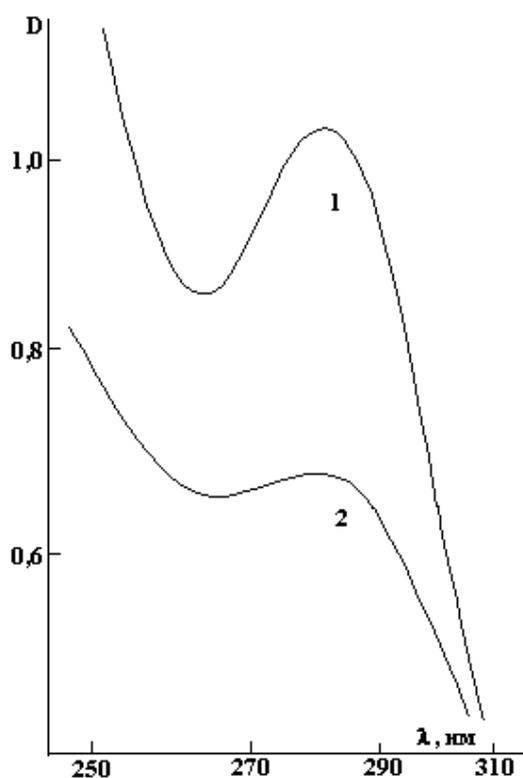


Рис. 10. Влияние разбавления на интенсивность поглощения ГДУК в присутствии солей трехвалентного железа. 1 – ГДУК  $10^{-3}$  м +  $10^{-3}$   $Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$  (1); 2 – исходный раствор, разбавленный в 10 раз ( $\gamma = 0,25$ ).

При коррозии стали в воде без ингибитора увеличения оптической плотности раствора в зависимости от продолжительности испытаний не наблюдается, поскольку ион железа включается вначале в состав образующего  $Fe(OH)_2$ , окисляющегося со временем до  $Fe(OH)_3$  и выделяющегося в осадок.

Исследуемые концентрации добавок ГДУК (от 0,1 до 0,5 г/л) в водопроводной воде приводят к изменению кислотности раствора (рис. 2, 4), что сказывается на реакционной способности комплексообразующих ионов, особенно железа двухвалентного [15, 16]. Поэтому можно предположить, что в реальном коррозионном процессе в воде с ингибитором, по мере подщелачивания раствора, с увеличением времени экспонирования в приповерхностном слое и в объеме раствора возможно образование нерастворимых комплексных соединений железа с ГДУК и включение их в образующуюся оксидно-гидроксидную покровную пленку продуктов коррозии.

Анализируя литературные данные [5, 12, 13] и результаты исследований, можно сделать некоторые предположения о возможном механизме воздействия ГДУК на процесс коррозии стали в воде.

Скорее всего этот процесс многостадийный и различные его стадии могут проходить во времени, а также идти параллельно.

Вероятно, первоначально происходит хемосорбция кислорода и адсорбция ингибитора на корродирующей поверхности стали. Процесс этот довольно быстрый, приводящий к уменьшению активной поверхности и снижению скорости коррозии уже в первые часы экспонирования. В дальнейшем идет процесс ионизации железа. На начальном этапе коррозии в присутствии ГДУК величина рН увеличивается за счет выделения водорода, затем при достижении нейтрального значения рН механизм растворения стали определяет кислородная деполяризация, также приводящая к накоплению гидроксил-ионов. В результате ионизации железа происходит взаимодействие  $Fe^{2+}$  с растворенным в воде кислородом и  $OH^-$  -ионами, окисление  $Fe^{2+}$  до  $Fe^{3+}$  и начало формирования пленки продуктов коррозии в виде оксидов и гидроксидов железа. Образование защитной пленки осуществляется в воде с ингибитором значительно быстрее, чем без него.

На корродирующей поверхности и в объеме раствора идет комплексообразование с участием двух- и трехвалентных ионов железа и ингибитора. Поскольку у ингибитора имеются различные активные функциональные группы, а ионы железа обладают переменной валентностью, возможно образование различных комплексов, отличающихся составом, строением, растворимостью и характером влияния на процесс перехода ионов металла в раствор. Формируемая с их участием покровная пленка более эффективно предохраняет металл от коррозии и стабилизирует процесс ионизации железа с более низкой скоростью. Вероятно, фиксируемая на рентгенограммах аморфная фаза лучше экранирует поверхность, чем кристаллическая, и неидентифицированные рефлексы относятся к этим новым образованиям, включенным в пленку и как бы “уплотняющим” ее.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Улиг Г.Г., Ревви Р.У. Коррозия и борьба с ней: Введение в коррозионную науку и технику. Л., 1989.
2. Путилова И.Н. и др. Ингибиторы коррозии металлов. М., 1968.
3. Алцыбеева А.И., Левин С.З. Ингибиторы коррозии металлов. Л., 1968.
4. Робинсон Д.С. Ингибиторы коррозии. М., 1983.
5. Розенфельд И.Л. Ингибиторы коррозии. М., Химия, 1977.
6. Герасимов В.В. Коррозия сталей в нейтральных водных средах. М., 1981.
7. Паришутин В.В., Шолтоян Н.С. Коррозия стали в модельных средах, природных и технологических водах // Электронная обработка материалов. 1999. № 6. С. 32–52.
8. Паришутин В.В., Шолтоян Н.С., Андреева Л.Н. и др. Ингибирование глюконатом кальция коррозии углеродистой стали Ст.3 в воде // Электронная обработка материалов. 1999. № 1–2. С. 43–55.
9. Паришутин В.В., Шолтоян Н.С. Ингибирование коррозии стали в растворах для электрохимической размерной обработки металлов. I. Простые и низколегированные стали. Выбор промысловых растворов // Там же. 2000. № 1. С. 40–54.
10. Зенин А.А., Белоусова Н.В. Гидрохимический словарь. Л., 1988.
11. Аلكин О.А. Основы гидрохимии. М., 1970.
12. Балабан Ю.Ф., Байкенова Т.Т. Исследование комплексного защитного действия гидразина в водных растворах // Прогрессивные методы и средства защиты металлов и изделий от коррозии. Тез. докл. Всесоюз.науч.-техн.конф. Ч. I. М., 1988. С. 109–111.
13. Кадек В.М., Крост Х.Б., Лепинь Л.К. Исследование ингибиторов коррозии металлов в нейтральных средах. УШ. Влияние продуктов окисления железа на эффективность ингибиторов в водных средах // Известия АН ЛатвССР. сер.хим. 1989. № 4. С. 413–419.
14. Паришутин В.В., Шолтоян Н.С., Сидельникова С.П., Володина Г.Ф. Ингибирование бороглюконатом кальция коррозии углеродистой стали Ст.3 в воде. П. Динамика изменения состава коррозионной среды, анодное поведение стали // Электронная обработка материалов. 1999. № 6. С. 40–47.
15. Желиховская Н.Н., Черняев И.И. Химия комплексных соединений. М., 1966.
16. Гликина Ф.Б., Ключников Н.Г. Химия комплексных соединений. М., 1972.

Поступила 09.11.2001

## Summary

The investigation results of different inhibitor concentration and experimental conditions influence on corrosion process in steel in water are set out. It was shown that hydrazine–1,1–diacetic acid is inhibitor of anodic action. The possible mechanism of steel corrosion inhibiting is under discussion.