

УДК 628.1.034.2

Е. В. Рудковская, преп., Севастопольский национальный университет ядерной энергии и промышленности, **Ю. А. Омельчук**, канд. хим. наук, доц., руководитель Института экологической и информационной безопасности, Севастопольский национальный университет ядерной энергии и промышленности;
Н. Д. Гомеля, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой, Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт"
E-mail: ruda_lena@mail.ru

Синтез и оценка эффективности сульфонатов как стабилизаторов накипеобразования и ингибиторов коррозии металлов для ресурсосберегающих водооборотных систем охлаждения

Приведены результаты исследований по использованию стабилизаторов накипеобразования на основе метилсульфонатов. Проведена оценка их эффективности как стабилизаторов накипеобразования при упаривании воды (коэффициент упаривания $K_e \approx 1,5$), данные вещества перспективны и в качестве ингибиторов коррозии металлов.

Ключевые слова: ингибиторы коррозии, стабилизаторы накипеобразования, стабилизационный эффект, сульфонаты

Rudkovskaya E. V., Omelchuk J. A., Gomelya N. D. Synthesis and Performance Evaluation Sulphonates as a Stabilizer of Scale Formation and Corrosion Inhibitors Metals for Resource Saving Cooling of Water Circulation Systems

In work results research on the use of stabilizers of scale formation based on methylsulphonates. An assessment of their effectiveness as a stabilizers scale formation by evaporating of water (evaporation rate $K_e \approx 1,5$), these substances are promising also as inhibitors of metal corrosion.

Keywords: corrosion inhibitors, stabilizers, scale formation, the stabilization effect, sulphonates

Введение

В промышленно развитых странах часто основным потребителем воды являются промышленные предприятия, которые потребляют порядка 60 % используемых природных вод. Большая часть воды используется в водооборотных системах охлаждения. Использование воды для охлаждения имеет масштабы, значительно превосходящие масштабы всех остальных видов по-

требления воды, причем удельный вес этой категории в общем объеме производственного водоснабжения продолжает расти.

В водооборотных системах охлаждения наибольшие объемы воды расходуются в теплообменной аппаратуре для отведения лишней теплоты. Только на компенсацию потери воды в оборотных системах водоснабжения отдельные предприятия тратят тысячи, и даже сотни тысяч кубических метров в сутки.

В условиях оборотных систем многократный подогрев воды до 40...45 °С и охлаждение ее в градирнях или брызгальных бассейнах приводит к поглощению оксида углерода (IV) и отложению на поверхностях теплообменников и трубах карбоната кальция [1].

Для борьбы с накипеобразованием в наше время широко используют разнообразные стабилизаторы [2]. На сегодняшний день известны химические соединения, которые проявляют эффективные защитные свойства по отношению к отложениям солей жесткости [3, 4]: неорганические поли- и метафосфаты, эфиры фосфорной кислоты и их соли, фосфоновые кислоты и их соли, аминокислоты и их соли, полимерные ингибиторы и композиции смешанного типа.

Необходимость в разработке новых стабилизаторов накипеобразования существует потому, что известные реагенты не совсем удовлетворяют существующим требованиям. Прежде всего, следует отметить, что при гидролизе полифосфаты превращаются в неактивные о-фосфаты, которые ускоряют осадкоотложения не только за счет нерастворимых фосфатов кальция, но и за счет того, что фосфор является биогенным элементом. Они стимулируют биообрастание на градирнях, других сооружениях, в коммуникациях.



Фосфоновые кислоты являются дорогими реагентами. А если учитывать большие объемы воды в оборотных системах, то их использование приводит к значительным издержкам.

Сульфонаты, полученные из доступных реагентов, в случае достаточной эффективности могут позволить снизить расходы на водоподготовку, в целом повысить эффективность использования воды.

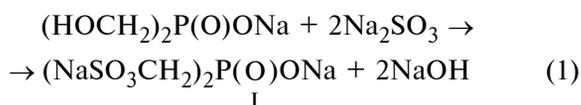
Поэтому целью данных исследований была разработка высокоэффективных стабилизаторов накипеобразования на основе доступных метилсульфонатов, которые проявляли бы и ингибирующие свойства по отношению к коррозии металлов.

Методы и результаты исследований

В данном исследовании в качестве рабочей среды использовали севастопольскую водопроводную воду с жесткостью до 8,5 мг-экв/дм³ и щелочностью до 7...8 мг-экв/дм³. Как стабилизаторы накипеобразования кроме известных фосфонатов — оксиэтилендифосфоновой кислоты (ОЭДФК) и нитрилтриметилфосфоновой кислоты (НТМФК) были использованы более дешевые полифосфатные реагенты, такие как триполифосфат натрия (ТПФNa) и гексаметафосфат натрия (ГМФNa).

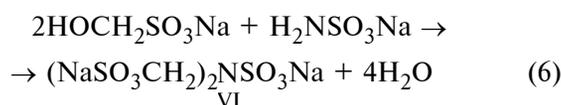
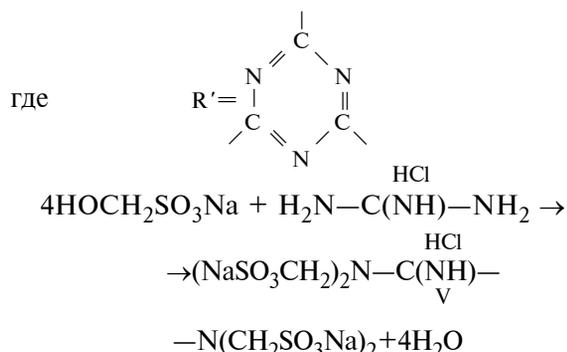
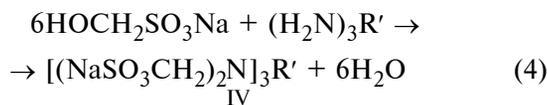
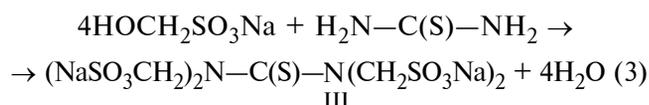
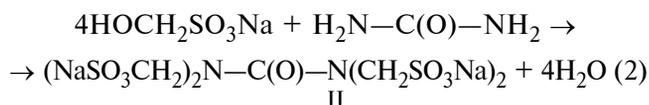
Также были синтезированы новые стабилизаторы на основе метилсульфонатов. В процессах синтеза стабилизаторов накипеобразования и ингибиторов коррозии использовали реакции конденсации амидов с альдегидами и метилольными соединениями.

Натриевую соль диметиленсульфонат фосфиновой кислоты (I) получали при взаимодействии натриевой соли диметилсульфонат фосфиновой кислоты с сульфитом натрия:



Выход продукта (I) составляет 81 %.

Тетраметилсульфонат карбамида (II), тетраметилсульфонат тиокарбамида (III), гексаметиленсульфонат меламина (IV), тетраметилсульфонат хлоргидрата гуанидина (V) и нитрилдиметилсульфонат сульфата натрия (VI) получали при взаимодействии соответствующих амидов с метилсульфонатом (реакции 2—6):



Получение сульфонов II—VI проводили в концентрированных растворах. Данные продукты из растворов не выделяли, поэтому их реальное химическое строение не подтверждено специальными исследованиями, а выбрано с учетом возможного направления протекания реакций.

Для проведения исследований по оценке эффективности накипеобразования использовали термостат. Температура поддерживалась на уровне 40 °С. Пробы воды в объеме 100 см³ и пробы воды, обработанные стабилизаторами, помещали в термостат при $t = 40$ °С и выдерживали пока они не упаривались на ≈30...40 %.

Стабилизаторы накипеобразования использовали в дозах от 2 до 50 мг/дм³. После охлаждения пробы фильтровали и определяли остаточную жесткость воды.

Стабилизационный эффект, %, рассчитывали по формуле [5]:

$$\begin{aligned} \text{СЭ} &= \left(1 - \frac{\Delta\text{Ж}_i}{\Delta\text{Ж}}\right) 100; \quad (7) \\ \Delta\text{Ж}_i &= \text{Ж} - \text{Ж}_i; \\ \Delta\text{Ж} &= \text{Ж} - \text{Ж}_0, \end{aligned}$$

где $\Delta\text{Ж}$ — снижение жесткости в холостом опыте, мг-экв/дм³; $\Delta\text{Ж}_i$ — снижение жесткости в опыте со стабилизатором накипеобразования, мг-экв/дм³; Ж — жесткость исходной воды, мг-экв/дм³; Ж_0 — остаточная жесткость в холостой пробе, мг-экв/дм³; Ж_i — остаточная жесткость в пробе со стабилизатором накипеобразования, мг-экв/дм³.

Противонакипный эффект, %, рассчитывали по формуле:

$$\text{ПЭ} = \frac{\text{Ж}_i}{\text{Ж}} 100. \quad (8)$$

В случае, когда вода упаривается, рассчитывается коэффициент упаривания как отношение начального объема V_H пробы к остаточному объему пробы $V_{ост}$:

$$K_y = \frac{V_H}{V_{ост}}. \quad (9)$$

В данной работе начальную жесткость, остаточную жесткость в холодном опыте (J_0) и опытах со стабилизаторами (J_i), определяли при анализе, а для расчета $CЭ$ и $ПЭ$ использовали рассчитанную теоретически начальную жесткость J_T :

$$J_T = J K_y; \quad (10)$$

тогда:

$$CЭ = \left(1 - \frac{J_T - J_i}{J_T - J_{ост}} \right) 100 = \left(1 - \frac{\Delta J_i}{\Delta J} \right) 100; \quad (11)$$

$$ПЭ = \frac{J_i}{J_T} 100. \quad (12)$$

Оценку эффективности синтезированных веществ как ингибиторов коррозии проводили в статических условиях при температуре 18 °С. Продолжительность испытаний 168 ч.

Скорость коррозии определяли массометрическим методом. Концентрации ингибиторов составляли 2...10 мг/дм³, результаты испытаний получали усреднением данных из четырех параллельных опытов.

Массометрическое измерение проводили следующим образом: для испытаний готовились образцы в виде прямоугольных пластин разных размеров. Перед испытаниями образцы шлифовали вручную, затем полировали механически тонким абразивным материалом до полного удаления неровностей, остающихся от шлифования, маркировали. Обезжиривание проводили этиловым спиртом, затем взвешивали на аналитических весах с точностью $\pm 0,0001$ г. После завершения испытаний с металла очищали продукты коррозии, пластины промывали, высушивали и снова взвешивали. Образцы изготовляли из углеродистой стали марки Ст3, латуни Л2 и меди М2, являющихся неотъемлемой частью конструктивных материалов технологического оборудования водооборотных циклов предприятий.

Скорость коррозии определяли массометрическим методом исходя из следующего выражения:

$$V = \frac{(m_H - m_K)}{\tau S}, \quad (13)$$

$$V' = \frac{(m_H - m_K) 8,76}{S \tau \rho_{ме}}, \quad (14)$$

где V — скорость коррозии, г · м²/ч; V' — скорость коррозии, мм/год; m_H — первоначальная масса образца, г; m_K — масса образца после испытаний, г; S — поверхность образца, м²; τ — длительность испытаний, ч; $\rho_{ме}$ — плотность металла, г/см³; 8,76 — коэффициент для перехода от измерения весового показателя скорости коррозии в расчете на 1 ч к глубинному показателю в расчете на 1 год.

Таблица 1

Оценка эффективности фосфоновых кислот по стабилизации водопроводной воды при ее упаривании ($T = 40$ °С)

| Стабилизатор | Доза, мг/ дм ³ | C_{Ca}^* , мг-экв/дм ³ | C_{Mg}^* , мг-экв/дм ³ | K_y | J_T , мг-экв/дм ³ | J_0 , мг-экв/дм ³ | J_i , мг-экв/дм ³ | ΔJ_i (ΔJ), мг-экв/дм ³ | $CЭ$, % | $ПЭ$, % |
|-------------------------|---------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---|----------|----------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| — | 0 | 4,8 | 2,8 | 1,64 | 12,46 | 5,02 | — | (7,44) | — | — |
| ОЭДФК | 2 | 9,4 | 3,0 | 1,64 | 12,46 | 5,02 | 12,40 | 0,06 | 99,20 | 99,52 |
| | 5 | 7,8 | 2,6 | 1,37 | 10,41 | 5,02 | 10,40 | 0,01 | 99,87 | 99,90 |
| | 10 | 7,2 | 3,2 | 1,39 | 10,56 | 5,02 | 10,40 | 0,16 | 97,85 | 98,48 |
| | 20 | 8,8 | 2,8 | 1,67 | 12,69 | 5,02 | 11,60 | 1,09 | 85,35 | 91,41 |
| | 50 | 7,2 | 2,4 | 1,39 | 10,56 | 5,02 | 9,60 | 0,96 | 87,10 | 90,91 |
| НТМФК | 2 | 8,4 | 1,2 | 1,50 | 11,40 | 5,02 | 9,60 | 1,80 | 75,80 | 84,21 |
| | 5 | 8,4 | 2,4 | 1,43 | 10,87 | 5,02 | 10,80 | 0,07 | 99,06 | 99,36 |
| | 10 | 8,6 | 2,8 | 1,52 | 11,55 | 5,02 | 11,40 | 0,15 | 97,98 | 98,70 |
| | 20 | 8,0 | 3,2 | 1,52 | 11,55 | 5,02 | 11,20 | 0,35 | 95,30 | 96,97 |
| | 50 | 7,6 | 1,8 | 1,39 | 10,56 | 5,02 | 9,40 | 1,16 | 84,41 | 89,02 |
| НТМФК; Zn ²⁺ | 2;2 | 11,6 | 3,6 | 2,00 | 15,20 | 5,02 | 15,20 | 0,00 | 100,0 | 100,0 |
| | 5;2 | 7,1 | 3,6 | 1,47 | 11,17 | 5,02 | 11,20 | 0,00 | 100,0 | 100,0 |
| | 10;2 | 7,6 | 2,8 | 1,35 | 10,26 | 5,02 | 10,40 | 0,00 | 100,0 | 100,0 |
| | 20;2 | 8,2 | 2,2 | 1,40 | 10,64 | 5,02 | 10,40 | 0,24 | 96,77 | 97,74 |
| | 50;2 | 7,2 | 2,4 | 1,27 | 9,65 | 5,02 | 9,60 | 0,05 | 96,33 | 99,48 |

* C_{Ca} и C_{Mg} — концентрации катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} соответственно.



Таблица 2

Зависимость эффективности стабилизации воды от типа и дозы полифосфатов и фосфиновых кислот при ее упаривании ($T = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$)

| Стабилизатор | Доза, мг/дм ³ | C_{Ca}^* , мг-экв/дм ³ | C_{Mg}^* , мг-экв/дм ³ | K_y | J_T , мг-экв/дм ³ | J_0 , мг-экв/дм ³ | $\Delta J_i (\Delta J)$, мг-экв/дм ³ | СЭ, % | ПЭ, % |
|--------------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------|--------------------------------|--------------------------------|--|-------|-------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| — | — | 4,8 | 2,8 | 1,64 | 12,46 | (5,02) | (7,44) | — | — |
| ТПФNa | 2 | 8,0 | 3,0 | 1,45 | 11,02 | 11,00 | 0,02 | 99,73 | 98,82 |
| | 5 | 8,8 | 2,0 | 1,47 | 11,17 | 10,80 | 0,37 | 95,03 | 96,68 |
| | 10 | 8,0 | 3,2 | 1,46 | 11,10 | 11,20 | 0,00 | 100,0 | 100,0 |
| | 20 | 8,4 | 3,2 | 1,60 | 12,16 | 11,60 | 0,56 | 92,47 | 95,39 |
| | 50 | 8,4 | 2,8 | 1,54 | 11,70 | 11,20 | 0,50 | 93,28 | 95,73 |
| ГМФNa | 2 | 6,0 | 5,6 | 1,57 | 11,93 | 11,60 | 0,33 | 95,56 | 97,20 |
| | 5 | 8,0 | 2,4 | 1,39 | 10,56 | 10,40 | 0,16 | 97,85 | 98,48 |
| | 10 | 8,2 | 2,2 | 1,41 | 10,72 | 10,40 | 0,32 | 95,70 | 97,01 |
| | 20 | 7,6 | 3,2 | 1,46 | 11,10 | 10,80 | 0,30 | 95,97 | 93,30 |
| | 50 | 8,2 | 2,6 | 1,43 | 10,87 | 10,80 | 0,07 | 99,06 | 99,36 |

* C_{Ca} и C_{Mg} — концентрации катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} соответственно.

Коэффициент торможения рассчитывали по формуле:

$$j = \frac{V'_x}{V'_и}, \quad (15)$$

где V'_x — скорость коррозии металла в холостой пробе, мм/год; $V'_и$ — скорость коррозии металла в воде с ингибитором коррозии, мм/год.

Степень защиты от коррозии, %, определяли по формуле:

$$Z = \left(1 - \frac{1}{j}\right) \cdot 100. \quad (16)$$

При стабилизации воды по отношению к осадкоотложениям достаточно высокой была эффективность фосфиновых кислот (табл. 1). Так, уже при дозе 2 мг/дм³ ОЭДФК был достигнут стабилизационный эффект на уровне 99,2 %.

Полная стабильность воды была достигнута при использовании НТМФК с цинком в концентрациях от 2 до 10 мг/дм³.

Практически во всех опытах получены высокие результаты по противонакипному эффекту. При этом увеличение дозы с 2 до 50 мг/дм³ практически не влияет на стабильность воды.

Результаты по эффективности стабилизации воды с помощью фосфиновых кислот и полифосфатов приведены в табл. 2.

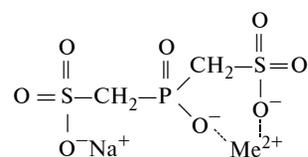
Как видно из таблицы полифосфаты — ТПФNa и ГМФNa обеспечивают высокую стабильность воды по отношению к накипеобразованию при коэффициенте упаривания 1,39...1,60 в диапазоне концентраций ингибиторов от 2 до 50 мг/дм³.

Уже при дозе 2 мг/дм³ стабилизационный эффект достигал 95,5...99,7 %.

Результаты по эффективности стабилизации воды с помощью сульфонов приведены в табл. 3.

Традиционные фосфонаты и полифосфаты были эффективны как ингибиторы накипеобразования при упаривании воды. Синтезированный с доступных реагентов стабилизатор (I) был не менее эффективен и при дозе 2 мг/дм³ обеспечивал стабилизационный эффект на уровне 98,66 %.

Очевидно, высокая эффективность натриевой соли диметиленсульфонат фосфиновой кислоты обусловлено структурой молекулы, которая обеспечивает образование устойчивых хелатных структур с кальцием или магнием:



В данном случае возможно образование шестичленного цикла, который характеризуется высокой термодинамической стабильностью.

Следует отметить, что эффективность комплекса (I) как стабилизатора накипеобразования не зависит от дозы в выбранном диапазоне концентраций. Поэтому его целесообразно использовать в концентрациях ~2 мг/дм³.

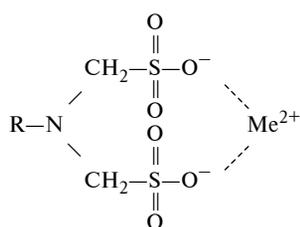
Удовлетворительную эффективность обеспечивали полученные нами стабилизаторы II—VI. Относительно невысокую их эффективность можно объяснить возможностью образовывать с катионами жесткости восьмичленные хелатные циклы, которые менее стойкие по сравнению с шестичленными.

Влияние сульфатов на стабильность севавтопольской водопроводной воды при ее упаривании ($T = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$)

| Стабилизатор | Доза, мг/дм ³ | C_{Ca}^* , мг-экв/дм ³ | C_{Mg}^* , мг-экв/дм ³ | K_y | J_T , мг-экв/дм ³ | J_0 , мг-экв/дм ³ | $\Delta J_i (\Delta J)$, мг-экв/дм ³ | СЭ, % | ПЭ, % |
|--------------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------|--------------------------------|--------------------------------|--|-------|-------|
| — | — | 4,8 | 2,8 | 1,64 | 12,46 | (5,02) | (7,44) | — | — |
| I | 2 | 8,4 | 3,2 | 1,54 | 11,70 | 11,60 | 0,10 | 98,66 | 99,15 |
| | 5 | 7,6 | 3,0 | 1,43 | 10,87 | 10,60 | 0,27 | 96,37 | 97,52 |
| | 10 | 8,0 | 3,6 | 1,52 | 11,55 | 11,60 | 0,00 | 100,0 | 100,0 |
| | 20 | 8,4 | 3,0 | 1,49 | 11,32 | 11,40 | 0,00 | 100,0 | 100,0 |
| | 50 | 7,6 | 2,8 | 1,39 | 10,56 | 10,40 | 0,16 | 97,85 | 98,48 |
| III | 2 | 5,0 | 2,8 | 1,56 | 11,86 | 7,80 | 4,06 | 46,24 | 69,77 |
| | 5 | 7,5 | 2,9 | 1,52 | 11,55 | 7,90 | 4,15 | 44,22 | 64,07 |
| | 10 | 4,6 | 3,4 | 1,54 | 11,70 | 8,00 | 3,70 | 50,27 | 68,38 |
| | 20 | 4,8 | 2,8 | 1,43 | 10,87 | 7,60 | 3,27 | 56,05 | 69,92 |
| | 50 | 6,0 | 2,8 | 1,43 | 10,80 | 8,80 | 2,07 | 72,18 | 80,96 |
| II | 2 | 4,0 | 3,2 | 1,43 | 10,87 | 7,20 | 3,67 | 50,67 | 66,24 |
| | 5 | 5,4 | 3,6 | 1,54 | 11,70 | 9,00 | 2,70 | 63,71 | 76,92 |
| | 10 | 7,2 | 3,6 | 1,52 | 11,55 | 10,80 | 0,75 | 89,92 | 92,31 |
| | 20 | 6,4 | 3,6 | 1,52 | 11,55 | 10,00 | 1,55 | 79,17 | 86,58 |
| | 50 | 4,8 | 3,4 | 1,45 | 11,02 | 8,20 | 2,82 | 62,10 | 74,41 |
| IV | 2 | 4,6 | 3,4 | 1,45 | 11,02 | 8,00 | 3,02 | 59,41 | 72,59 |
| | 5 | 7,7 | 3,1 | 1,47 | 11,17 | 10,30 | 0,37 | 95,30 | 96,69 |
| | 10 | 6,4 | 3,2 | 1,61 | 12,23 | 9,60 | 2,63 | 64,65 | 78,50 |
| | 20 | 5,0 | 3,0 | 1,39 | 10,56 | 8,00 | 2,56 | 65,59 | 75,76 |
| | 50 | 5,0 | 2,6 | 1,41 | 10,71 | 7,60 | 3,11 | 58,20 | 70,96 |
| V | 2 | 8,0 | 2,4 | 1,39 | 10,56 | 1,40 | 0,16 | 97,85 | 98,48 |
| | 5 | 6,0 | 3,0 | 1,47 | 11,17 | 9,00 | 2,17 | 70,83 | 80,57 |
| | 10 | 5,0 | 3,0 | 1,39 | 10,56 | 8,00 | 2,56 | 65,59 | 75,76 |
| | 20 | 4,8 | 3,6 | 1,45 | 11,02 | 8,40 | 2,62 | 64,78 | 76,23 |
| | 50 | 4,4 | 3,5 | 1,49 | 11,32 | 7,90 | 3,42 | 54,03 | 69,60 |
| VI | 2 | 4,0 | 2,8 | 1,41 | 10,71 | 6,80 | 3,91 | 47,45 | 63,49 |
| | 5 | 4,6 | 2,6 | 1,43 | 10,87 | 7,20 | 3,67 | 50,67 | 66,24 |
| | 10 | 4,0 | 3,2 | 1,39 | 10,56 | 7,20 | 3,36 | 54,84 | 68,18 |
| | 20 | 4,9 | 2,2 | 1,43 | 10,87 | 7,12 | 3,75 | 49,60 | 65,50 |
| | 50 | 8,4 | 1,6 | 1,45 | 11,02 | 10,00 | 1,02 | 86,56 | 90,74 |

* C_{Ca} и C_{Mg} — концентрации катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} соответственно.

ми, характерными для ОЭДФК или семичленными, характерными для НТМФК:



Кроме того, стабилизаторы II—VI термодинамически нестойкие и при нагревании в разбавленных растворах могут частично разлагаться. Однако при низких температурах (30...40 °С) данные стабилизаторы могут быть достаточно перспективными, учитывая их доступность и невысокую стоимость.

Очень важной, наряду с проблемой накипеобразования, является проблема защиты металлов от коррозии в водной среде. При этом необходимо

защищать от коррозии коммуникации и оборудование как в системах охлаждения, так и в энергетических системах, где используется умягченная или обессоленная вода, нагретая до высоких температур. Поэтому важным аспектом при создании стабилизаторов накипеобразования является оценка влияния разработанных добавок на процессы коррозии.

В значительной мере задача создания ингибиторов коррозии осложняется тем, что в водооборотных системах используют воду при разных температурах, разных уровнях аэрации. В конструктивных элементах систем используют разные металлы. Все это приводит к тому, что в системах реализуются различные механизмы процессов коррозии металлов и разные механизмы торможения коррозионных процессов. Поэтому задача создания универсального ингибитора коррозии металлов в воде является достаточно сложной.



Таблица 4

Оценка влияния натриевой соли диметилсульфонат фосфиновой кислоты (I) на скорость коррозии стали Ст3, латуни Л2, меди М2 в севастопольской водопроводной воде при температуре 18 °С (время испытаний 168 ч)

| Ингибитор | Доза, мг/дм ³ | V, г·м ² /ч | V', мм/год | j | Z, % |
|---------------------|--------------------------|------------------------|------------|-------|------|
| Сталь (Ст3) | | | | | |
| I | 0,0 | 0,0390 | 0,0435 | — | — |
| | 1,0 | 0,0338 | 0,0436 | 1,00 | 0,0 |
| | 2,0 | 0,0255 | 0,0329 | 1,32 | 24,2 |
| | 5,0 | 0,0102 | 0,0132 | 3,28 | 69,5 |
| | 10,0 | 0,0086 | 0,0111 | 3,93 | 74,6 |
| I; Zn ²⁺ | 1,0;2,0 | 0,0110 | 0,0141 | 3,08 | 67,5 |
| | 2,0;2,0 | 0,0061 | 0,0079 | 5,51 | 81,9 |
| | 5,0;2,0 | 0,0053 | 0,0068 | 6,40 | 84,4 |
| | 10,0;2,0 | 0,0020 | 0,0026 | 16,54 | 94,0 |
| Латунь (Л2) | | | | | |
| I | 0,0 | 0,0066 | 0,0068 | — | — |
| | 1,0 | 0,0037 | 0,0039 | 1,76 | 43,3 |
| | 2,0 | 0,0033 | 0,0035 | 1,94 | 48,5 |
| | 5,0 | 0,0031 | 0,0033 | 2,08 | 51,8 |
| | 10,0 | 0,0030 | 0,0031 | 2,17 | 53,9 |
| I; Zn ²⁺ | 1,0;2,0 | 0,0054 | 0,0056 | 1,21 | 17,3 |
| | 2,0;2,0 | 0,0019 | 0,0019 | 3,42 | 70,7 |
| | 5,0;2,0 | 0,0018 | 0,0018 | 3,63 | 72,4 |
| | 10,0;2,0 | 0,0013 | 0,0014 | 4,79 | 79,1 |
| Медь (М2) | | | | | |
| I | 0,0 | 0,0053 | 0,0052 | — | — |
| | 1,0 | 0,0034 | 0,0033 | 1,57 | 36,3 |
| | 2,0 | 0,0030 | 0,0029 | 1,75 | 42,8 |
| | 5,0 | 0,0026 | 0,0025 | 2,05 | 51,2 |
| | 10,0 | 0,0021 | 0,0020 | 2,60 | 61,5 |
| I; Zn ²⁺ | 1,0;2,0 | 0,0023 | 0,0022 | 2,30 | 56,2 |
| | 2,0;2,0 | 0,0021 | 0,0020 | 2,60 | 61,5 |
| | 5,0;2,0 | 0,0011 | 0,0010 | 5,20 | 80,8 |
| | 10,0;2,0 | 0,0006 | 0,0006 | 8,67 | 88,5 |

Была произведена оценка влияния разработанных стабилизаторов накипеобразования на коррозию в воде нелегированной черной стали Ст3, латуни Л2 и меди М2, которые обычно используются для изготовления трубопроводов, теплообменников и конденсаторов.

Результаты по оценке эффективности синтезированных ингибиторов (I—III) для защиты стали Ст3, латуни Л2 и меди М2 в воде приведены в табл. 4—6.

Как видно из приведенных данных наиболее эффективным ингибитором для всех исследуемых металлов является натриевая соль диметилсульфонат фосфиновой кислоты (I), при этом в композиции с цинком эффективность его увеличивается. Так, для стали Ст3 при дозе ингибитора (I) — 10 мг/дм³ и цинка Zn²⁺ — 2 мг/дм³ степень защиты составляет — 94 % (см. табл. 4).

Таблица 5

Оценка влияния тетраметилсульфонат тиокарбамида (III) на скорость коррозии стали Ст3, латуни Л2, меди М2 в севастопольской водопроводной воде при температуре 18 °С (время испытаний 168 ч)

| Ингибитор | Доза, мг/дм ³ | V, г·м ² /ч | V', мм/год | j | Z, % |
|-----------------------|--------------------------|------------------------|------------|------|------|
| Сталь (Ст3) | | | | | |
| III | 0,0 | 0,0390 | 0,0435 | — | — |
| | 1,0 | 0,0601 | 0,0668 | 0,65 | <0 |
| | 2,0 | 0,0539 | 0,0599 | 0,73 | <0 |
| | 5,0 | 0,0389 | 0,0434 | 1,00 | <0 |
| | 10,0 | 0,0309 | 0,0344 | 1,27 | 21,3 |
| III; Zn ²⁺ | 0,0;0,0 | 0,0390 | 0,0435 | — | — |
| | 1,0;2,0 | 0,0594 | 0,0661 | 0,66 | <0 |
| | 2,0;2,0 | 0,0535 | 0,0596 | 0,73 | <0 |
| | 5,0;2,0 | 0,0369 | 0,0410 | 1,06 | 0,1 |
| 10,0;2,0 | 0,0292 | 0,0325 | 1,33 | 25,0 | |
| Латунь (Л2) | | | | | |
| III | 0,0 | 0,0066 | 0,0068 | — | — |
| | 1,0 | 0,0061 | 0,0063 | 1,06 | 5,5 |
| | 2,0 | 0,0055 | 0,0057 | 1,17 | 14,5 |
| | 5,0 | 0,0052 | 0,0054 | 1,23 | 18,7 |
| | 10,0 | 0,0051 | 0,0053 | 1,26 | 20,3 |
| III; Zn ²⁺ | 0,0 | 0,0066 | 0,0068 | — | — |
| | 1,0;2,0 | 0,0060 | 0,0062 | 1,08 | 7,3 |
| | 2,0;2,0 | 0,0051 | 0,0052 | 1,27 | 21,4 |
| | 5,0;2,0 | 0,0042 | 0,0043 | 1,54 | 35,1 |
| 10,0;2,0 | 0,0036 | 0,0037 | 1,78 | 43,8 | |
| Медь (М2) | | | | | |
| III | 0,0 | 0,0053 | 0,0052 | — | — |
| | 1,0 | 0,0052 | 0,0051 | 1,01 | 0,7 |
| | 2,0 | 0,0050 | 0,0049 | 1,04 | 4,2 |
| | 5,0 | 0,0036 | 0,0035 | 1,47 | 32,0 |
| | 10,0 | 0,0030 | 0,0029 | 1,75 | 43,0 |
| III; Zn ²⁺ | 0,0 | 0,0053 | 0,0052 | — | — |
| | 1,0;2,0 | 0,0052 | 0,0051 | 1,01 | 1,1 |
| | 2,0;2,0 | 0,0051 | 0,0049 | 1,04 | 3,7 |
| | 5,0;2,0 | 0,0034 | 0,0033 | 1,57 | 36,3 |
| 10,0;2,0 | 0,0027 | 0,0026 | 1,97 | 49,3 | |

Как видно из табл. 5, тетраметилсульфонат тиокарбамида (III) менее эффективен для защиты исследуемых металлов от коррозии. Степень защиты возрастает при использовании его в композиции с цинком. Так, для меди М2 при дозе ингибитора 10 мг/дм³ — 43,0 %, а в композиции с цинком (Zn²⁺) при дозе 10; 2 мг/дм³ — 49,3 %.

Тетраметилсульфонат тиокарбамида (II) был не эффективен для защиты стали Ст3 от коррозии (см. табл. 6), но обеспечивал достаточно высокую защиту меди М2 и латуни Л2 от коррозии. Так, при его дозе 10 мг/дм³ степень защиты на уровне ≈81 %.

Таким образом, как видно из приведенных результатов, синтезированные вещества на основе метилсульфонатов, могут быть перспективными стабилизаторами накипеобразования и ингибиторами коррозии металлов.

Таблица 6

Оценка влияния тетраметилсульфонат карбамида (II) на скорость коррозии стали Ст3, латуни Л2, меди М2 в севастопольской водопроводной воде при температуре 18 °С (время испытаний 168 ч)

| Ингибитор | Доза, мг/дм ³ | V_1 , г · м ² /ч | V_2 , мм/год | j | Z, % |
|--------------------|--------------------------|-------------------------------|----------------|------|------|
| Сталь (Ст3) | | | | | |
| II | 0,0 | 0,0390 | 0,0435 | — | — |
| | 1,0 | 0,0575 | 0,0640 | 0,68 | <0 |
| | 2,0 | 0,0544 | 0,0606 | 0,71 | <0 |
| | 5,0 | 0,0560 | 0,0623 | 0,70 | <0 |
| | 10,0 | 0,0572 | 0,0636 | 0,68 | <0 |
| Латунь (Л2) | | | | | |
| II | 0,0 | 0,0066 | 0,0068 | — | — |
| | 1,0 | 0,0015 | 0,0018 | 3,79 | 73,6 |
| | 2,0 | 0,0012 | 0,0014 | 4,85 | 79,4 |
| | 5,0 | 0,0010 | 0,0013 | 5,28 | 81,1 |
| | 10,0 | 0,0009 | 0,0012 | 5,39 | 81,4 |
| Медь (М2) | | | | | |
| II | 0,0 | 0,0053 | 0,0052 | — | — |
| | 1,0 | 0,0015 | 0,0015 | 3,38 | 70,4 |
| | 2,0 | 0,0012 | 0,0011 | 4,50 | 77,8 |
| | 5,0 | 0,0012 | 0,0012 | 4,49 | 77,7 |
| | 10,0 | 0,0010 | 0,0010 | 5,20 | 80,8 |

Выводы

Установлено, что синтезированный реагент — натриевая соль диметилсульфонат фосфиновой кислоты является высокоэффективным стабилизатором

накипеобразования в водопроводной воде при упаривании воды ($K_y \approx 1,5$) при 40 °С. При дозе 2 мг/дм³ стабилизационный эффект достигал 94...98 %.

Разработаны стабилизаторы накипеобразования на основе метилолсульфонатов. При упаривании воды ($K_y \approx 1,5$) при 40 °С достигнута удовлетворительная эффективность разработанных стабилизаторов. В отдельных случаях стабилизационный эффект достигал 95...97 %.

Показано, что натриевая соль диметилсульфонат фосфиновой кислоты является эффективным ингибитором для защиты от коррозии стали Ст3, меди М2, латуни Л2. Степень защиты для стали Ст3 данного ингибитора в композиции с цинком (Zn^{2+}) при дозе 10; 2 мг/дм³ составляет 94 %.

Список литературы

1. **Фізико-хімічні** основи технології очищення стічних вод / А. К. Запольский, Н. А. Мішкова-Кліменко, І. М. Астрелін та ін. — К.: Лібра, 2000. — 552 с.
2. **Goeldner R. W.** Scale control inhibitor performance at 100 °C under boiling conditions // WSIA J. — 1983. — № 2. — P. 33—39.
3. **Емков А. А.** Методы борьбы с отложениями неорганических солей в оборудовании подготовки нефти. — М.: ВНИИОЭНГ, 1988. — 50 с.
4. **Дятлова Н. М., Темкина В. Я., Попов К. И.** Комплексоны и комплексонаты металлов. Учеб. — М: Химия, 1988. — 554 с.
5. **Гомеля Н. Д., Носачева Ю. В.** Разработка ингибиторов отложения осадков для обеспечения ресурсосбережения в системах водопотребления // Экотехнологии и ресурсосбережение. — 2004. — № 5. — С. 29—32.

УДК 502.3:621.311.23

О. В. Маслеева, канд. техн. наук, доц., **Т. И. Курагина**, канд. техн. наук, доц., **О. Ю. Малафеев**, асп., **Г. В. Пачурин**, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой, Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева, г. Нижний Новгород
E-mail: ovm1552@yandex.ru

Резервы энергосбережения в системах освещения образовательных учреждений

Рассмотрены результаты энергетических обследований образовательных учреждений и даны рекомендации по внедрению энергосберегающих мероприятий в системах освещения и снижению уровня загрязнения атмосферного воздуха.

Ключевые слова: энергоаудит, образовательное учреждение, энергосбережение, выбросы загрязняющих веществ, парниковые газы

Masleeva O. V., Kuragina T. I., Malafeev O. Yu., Pachurin G. V. Reserves of Energy Saving Lighting Systems of Educational Institutions

The results of energy audits of educational institutions and recommendations for the implementation of energy saving measures in lighting systems and the reduction of air pollution.

Keywords: energy audit, educational institution, energy conservation, emissions, greenhouse gases