

2.4.5 Энергетические системы и комплексы (технические науки)

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОСФОНОБУТАНТРИКАРБОНОВОЙ КИСЛОТЫ В КАЧЕСТВЕ ИНГИБИТОРА СОЛЕОТЛОЖЕНИЯ

Б. Н. ДРИКЕР, д-р. техн. наук, профессор

B. N. DRIKER, Dr. Sci. (Tech.), Professor

Е. К. МУСИХИН, аспирант

E. K. MUSIKHIN, Postgraduate student

chief.musikhon2013@yandex.ru

Уральский государственный лесотехнический университет, Российская Федерация, Екатеринбург

Ural State Forest Engineering University, Russian Federation, Ekaterinburg

Аннотация: 2-фосфонобутан-1,2,4-трикарбонная кислота (ФБТК) является перспективным реагентом для использования в системах водо- и теплоснабжения. На примере кристаллизации сульфата и карбоната кальция выполнен сопоставительный анализ эффективности ингибирования солеотложений ФБТК и нитрилотриметилфосфоновой кислоты (НТФ). Установлено, что в диапазоне 20...90 °С ФБТК превосходит НТФ как при кристаллизации сульфата, так и карбоната кальция. Рассчитаны кинетические параметры зародышеобразования сульфата кальция (σ , r , n , $K3$, $K4$) для ФБТК значительно выше, чем у НТФ, что влияет на расход реагента. ФБТК в отличие от НТФ уменьшает скорость роста кристаллов. Потребительские свойства ФБТК (расход, содержание фосфора) позволяет рекомендовать его к использованию в системах с открытым водоразбором. По своей термостабильности ФБТК уступает НТФ и подвергается деструкции при температуре более 175 °С.

Ключевые слова: ингибитор, минеральные отложения, фосфонобутантрикарбонная кислота, зародышеобразование, водоподготовка

Список источников

1. Предотвращение коррозии конструкционных сталей цинковыми комплексами органических фосфонатов / Дрикер Б. Н., Сикорский И. П., Цирульникова Н. В., // Практика противокорроз. защиты. 2007. № 1 (43). С. 39-43.

2. Попов К. И. Сравнительные лабораторные исследования ингибирующей способности в отношении карбонатных и сульфатных отложений новых и традиционных ингибиторов по международному протоколу NACE / К. И. Попов, М. А. Тушева, В. Е. Ларченко // Энергосбережение и водоподготовка. – 2017. – № 6(110). – С. 14-20.
3. Сенатов С. Н. О возможностях современных органических фосфонатов в контексте централизованного производства и потребления теплоты / С. Н. Сенатов, Е. Н. Дю // Энергосбережение и водоподготовка. – 2015. – № 4(96). – С. 13-18.
4. Тенденции в области создания и применения химических реагентов для стабилизационной обработки воды с целью предотвращения солеотложений и коррозии металлов систем водопользования / Н. В. Цирульникова, Б. Н. Дрикер, Т. С. Фетисова, А. Г. Тарантаев // Коррозия: материалы, защита. – 2011. – № 7. – С. 12-25.
5. Hoang T.A., Ang H.M., Rohl A.L. Investigation into the effects of phosphonic inhibitors on the formation of calcium sulfate scales // Desalination and Water Treatment. 2011. Vol. 29. P. 294–301.
6. Дятлова Н.М., Дытюк Л.Т., Самакаев Р.Х. и др. Применение комплексонов в нефтеперерабатывающей промышленности. М.: НИИТЭХИМ, 1983. С. 25–27
7. Дергачева Т.С. Обоснование предельно допустимой концентрации медьдиаммонийного комплекса оксэтилендифосфоновой кислоты в воде водоемов // Гигиена и санитария. 1981. - №3. - С. 72.
8. Kadirov, Bahodir Mahamadjanovich; Kadirov, Khasan Irgashevich; and Turobjonov, Sadritdin Makhamatdinovich (2018) "Composite inhibitors for water treatment systems of the Navoi Mining and Metallurgical Combine," chemistry and chemical engineering: Vol. 2018: No. 3, Article 11.
9. Патент № 2486139 С2 Российская Федерация, МПК С02F 5/14, С23F 11/167. способ предотвращения солеотложений и коррозии в системах водоснабжения: № 2011125749/05: заявл. 22.06.2011 : опубл. 27.06.2013 / Б. Н. Дрикер, С. А. Тарасова, А. Г. Тарантаев, А. Н. Обожен ; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Уральский государственный лесотехнический университет.
10. Антоногианнакис, Э. Использование пилотной системы теплообменник-градирня для оценки эффективности ингибиторов минеральных отложений / Э. Антоногианнакис, Е. Тзагараки, К. Демадис // Коррозия: материалы, защита. – 2014. – № 4. – С. 25-32.
11. Ou H.-H. & Chiang Hsieh L.-H. (2016). A synergistic effect of sodium gluconate and 2-phosphonobutane-1,2,4-tricarboxylic acid on the inhibition of CaCO₃ scaling formation // Powder Technology, 302, 160–167.
12. Pat. PL 193763 B1 Польша. Inhibiting composition for protecting water-cooling systems, in particular compact ones, against corrosion and formation of deposits/ J. Olszewska, H. Zagrodnik, B. Pawlowska et al. За-явл. 21.01.2001. Опубл. 30.03.2007, С.А. 2008. V. 148. 196512.
13. Popov K., Oshchepkov M., Afanaseva E., Koltinova E., Dikareva Y., & Rönkkömäki, H. (2018). A new insight into the mechanism of the scale inhibition: DLS study of gypsum nucleation in presence of phosphonates using nanosilver dispersion as an internal light scattering intensity reference // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects.
14. Дрикер Б.Н. Предотвращение минеральных отложений и коррозии металла в системах водного хозяйства с использованием фосфорсодержащих комплексонов. Докторская диссертация. М., МХТИ им. Д.И. Менделеева, – 1991. – С. 459
15. Простаков, С.М. Определение параметров зародышеобразования сульфата кальция различными методами / С.М. Простаков, Б.М. Дрикер, С.И. Ремпель // Журнал прикладной химии. – 1982. – № 11. – С. 2576 – 2579
16. Тарасова С.А. Предотвращение солеотложений, коррозии и биообрастаний в системах оборотного водоснабжения: специальность 05.23.04 "Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов": диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Тарасова Светлана Анатольевна. – Самара. – 2012. – С. 193.
17. Самакаев Р.Х. Комплексообразующая способность 2-оксипропилен-1, 3-диамино-N, N, N', N' - тетраметиленфосфоновой кислоты с магнием: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата химических наук/ Самакаев Рафаиль Хакимович – М, 1985. – 24 с.
18. Кристаллизация и физико-химические свойства кристаллических веществ Е.В. Хамский [и др.] «Наука», Л., 1969, 135 с.
19. Протазанов, А. А. Предотвращение солеотложений и коррозии в системах водоснабжения промышленных предприятий / А. А. Протазанов // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство и строительные технологии, Самара: Самарский государственный технический университет, 2024. – С. 522-527.
20. Ваньков А.Л. Исследование возможности использования органофосфонатов и продуктов их термоллиза в водоподготовке промышленных предприятий // автореферат дис. кандидата технических наук. 11.00.11 / Ур. гос. лесотехн. акад. – Екатеринбург – 2000. – С. 16.
21. Martell, A. E., Motekaitis, R. J., Fried, A. R., Wilson, J. S., & MacMillan, D. T. (1975). Thermal decomposition of EDTA, NTA, and nitrilotrimethylphosphonic acid in aqueous solution. Canadian Journal of Chemistry, 53(22), 3471–3476.

STUDY OF PHOSPHONOBUTANETRICARBOXYLIC ACID AS A SCALE INHIBITOR

Abstract. 2-Phosphonobutane-1,2,4-tricarboxylic acid (PBTC) is a promising reagent for use in water supply and heating systems. A comparative analysis of the effectiveness of scale inhibition by PBTC and nitrilotrimethylphosphonic acid (NTP) was performed using the crystallization of calcium sulfate and carbonate as examples. It was found that in the range of 20...90 °C, PBTC outperforms NTP in inhibiting the crystallization of both calcium sulfate and carbonate. The calculated kinetic parameters of calcium sulfate nucleation (σ , r , n , $K3$, $K4$) for PBTC are significantly higher than those for NTMP, which affects the reagent's consumption. Unlike NTP, PBTC reduces the crystal growth rate. The consumer properties of PBTC (consumption rate, phosphorus content) allow it to be recommended for use in systems with open water intake. In terms of thermal stability, PBTC is inferior to NTP and undergoes decomposition at temperatures above 175 °C.

Keywords: inhibitor, mineral deposits (scale), phosphonobutanetricarboxylic acid, nucleation, water treatment

References

1. Predotvrashchenie korrozii konstruktivnykh staley tsinkovymi kompleksionatami organicheskikh fosfonatov / Driker B. N., Sikorskii I. P., Tsurulnikova N. V. // Praktika protivokorrozi. zashchity. 2007. № 1 (43). S. 39-43.
2. Popov K. I. Sravnitelnye laboratornye issledovaniya ingibiruyushchei sposobnosti v otnoshenii karbonatnykh i sulfatnykh otlozhenii novykh i traditsionnykh ingibitorov po mezhdunarodnomu protokolu NACE / K. I. Popov, M. A.

- Tysheva, V. E. Larchenko // *Energoberezhenie i vodopodgotovka*. 2017. № 6(110). S. 14-20.
3. Senatov S. N. O vozmozhnostiakh sovremennykh organicheskikh fosfonatov v kontekste tsentralizovannogo proizvodstva i potrebleniya teploty / S. N. Senatov, E. N. Dyu // *Energoberezhenie i vodopodgotovka*. 2015. № 4(96). S. 13-18.
4. Tendentsii v oblasti sozdaniya i primeneniya khimicheskikh reagentov dlya stabilizatsionnoy obrabotki vody s tselyu predotvrashcheniya soleotlozhenii i korrozii metallov sistem vodopolzovaniya / N. V. Tsurulnikova, B. N. Driker, T. S. Fetisova, A. G. Tarantaev // *Korroziya: materialy, zashchita*. 2011. № 7. S. 12-25.
5. Hoang T.A., Ang H.M., Rohl A.L. Investigation into the effects of phosphonic inhibitors on the formation of calcium sulfate scales // *Desalination and Water Treatment*. 2011. Vol. 29. P. 294–301.
6. Dyatlova N.M., Dytyuk L.T., Samakaev R.Kh. i dr. *Primenenie kompleksonov v neftepererabatyvayushchei promyshlennosti*. M.: NIITEKhim, 1983. S. 25–27.
7. Dergacheva T.S. Obosnovanie predelno dopustimoi kontsentratsii meddiammoniiinogo kompleksa oksietilidendifosfonovoi kisloty v vode vodoemov // *Gigiena i sanitariya*. 1981. №3. S. 72.
8. Kadirov, Bahodir Mahamadjanovich; Kadirov, Khasan Irgashevich; and Turobjonov, Sadritdin Makhamatdinovich (2018) "Composite inhibitors for water treatment systems of the Navoi Mining and Metallurgical Combine," *chemistry and chemical engineering*: Vol. 2018: No. 3, Article 11.
9. Patent № 2486139 C2 Rossiiskaya Federatsiya, MPK C02F 5/14, C23F 11/167. Sposob predotvrashcheniya soleotlozhenii i korrozii v sistemakh vodosnabzheniya: № 2011125749/05: zayavl. 22.06.2011 : opubl. 27.06.2013 / B. N. Driker, S. A. Tarasova, A. G. Tarantaev, A. N. Obozhin ; zayavitel Gosudarstvennoe obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego professionalnogo obrazovaniya Uralskii gosudarstvennyi lesotekhnicheskii universitet.
10. Antonogiannakis, E. Ispolzovanie pilotnoi sistemy teploobmennik-gradimya dlya otsenki effektivnosti ingibitorov mineralnykh otlozhenii / E. Antonogiannakis, E. Tzagkaraki, K. Demadis // *Korroziya: materialy, zashchita*. 2014. № 4. S. 25-32.
11. Ou H.-H. & Chiang Hsieh L.-H. (2016). A synergistic effect of sodium gluconate and 2-phosphonobutane-1,2,4-tricarboxylic acid on the inhibition of CaCO₃ scaling formation // *Powder Technology*, 302, 160–167.
12. Pat. PL 193763 B1 Польша. Inhibiting composition for protecting water-cooling systems, in particular compact ones, against corrosion and formation of deposits/ J. Olszewska, H. Zagrodnik, B. Pawlowska et al. 21.01.2001. Opybl. 30.03.2007, C.A. 2008. V. 148. 196512.
13. Popov K., Oshchepkov M., Afanas'eva E., Koltinova E., Dikareva Y., & Rönkkömäki, H. (2018). A new insight into the mechanism of the scale inhibition: DLS study of gypsum nucleation in presence of phosphonates using nanosilver dispersion as an internal light scattering intensity reference // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*.
14. Driker B.N. Predotvrashchenie mineralnykh otlozhenii i korrozii metalla v sistemakh vodnogo khozyaistva s ispolzovaniem fosforsoderzhashchikh kompleksonov. Doktorskaya dissertatsiya. M., MKhTI im. D.I. Mendeleeva, 1991. C. 459.
15. Prostakov, S.M. Opredelenie parametrov zarodysheobrazovaniya sulfata kaltsiya razlichnymi metodami / S.M. Prostakov, B.M. Driker, S.I. Rempel // *Zhurnal prikladnoi khimii*. 1982. № 11. S. 2576–2579.
16. Tarasova S.A. Predotvrashchenie soleotlozhenii, korrozii i bioobrastanii v sistemakh oborotnogo vodosnabzheniya: dissertatsiya na soiskanie uchenoi stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk / Tarasova Svetlana Anatolevna. Samara, 2012. S. 193.
17. Samakaev R.Kh. Kompleksoobrazuyushchaya sposobnost 2-oksipropilen-1, 3-diamino-N, N, N', N' - tetrametilenfosfonovoi kisloty s magniemi: avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoi stepeni kandidata khimicheskikh nauk. M., 1985. 24 s.
18. Kristallizatsiya i fiziko-khimicheskie svoystva kristallicheskikh veshchestv / E.V. Khamskii [i dr.]. L.: Nauka, 1969. 135 s.
19. Protazanov, A. A. Predotvrashchenie soleotlozhenii i korrozii v sistemakh vodosnabzheniya promyshlennykh predpriyatii / A. A. Protazanov // *Traditsii i innovatsii v stroitelstve i arkhitekture. Stroitelstvo i stroitelnye tekhnologii*. Samara: Samarskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2024. S. 522-527.
20. Vankov A.L. Issledovanie vozmozhnosti ispolzovaniya organofosfonatov i produktov ikh termoliza v vodopodgotovke promyshlennykh predpriyatii: avtoreferat dis. kandidata tekhnicheskikh nauk: 11.00.11. Ekaterinburg: Ur. gos. lesotekhn. akad., 2000. 16 s.
21. Martell, A. E., Motekaitis, R. J., Fried, A. R., Wilson, J. S., & MacMillan, D. T. (1975). Thermal decomposition of EDTA, NTA, and nitrilotrimethylenephosphonic acid in aqueous solution. *Canadian Journal of Chemistry*, 53(22), 3471–3476.

©Дрикер Б.Н., Мусихин Е.К. 2025