

УДК 620.197.3

Сравнение защитных свойств мигрирующих ингибиторов хлоридной коррозии стальной арматуры в бетоне

А.М. Хвастин,^{1,2} А.С. Тарасов,² В.Ф. Степанова,³ и Н.Н. Андреев^{1,*}

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук, 119071, г. Москва, Ленинский проспект, д. 31, корп. 4, Россия

²АО «МСС», 109147, г. Москва, ул. Воронцовская, д. 35, Россия

³НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, 109428, г. Москва, ул. 2- Институтская, д. 6, корп. 5, Россия

*E-mail: n.andreev@mail.ru

Аннотация

Статья продолжает серию публикаций, посвященных мигрирующему ингибитору коррозии стальной арматуры в бетоне НАЕНЫТЕХ Protectoseal CI. В ней коррозионно-электрохимическими методами анализируется способность мигрирующих ингибиторов разных марок защищать арматурную сталь от хлоридной коррозии. Полученные данные свидетельствуют о высокой и соизмеримой эффективности материалов Sika Ferroguard-903, ИФХАН-80 и НАЕНЫТЕХ Protectoseal Ci. MCI 2020 уступает перечисленным мигрирующим ингибиторам.

Ключевые слова: бетон, стальная арматура, коррозия, мигрирующие ингибиторы, MCI 2020, Sika FerroGard-903, ИФХАН-80, НАЕНЫТЕХ Protectoseal Ci.

Поступила в редакцию 17.02.2026 г. После доработки 18.02.2026 г.; Принята к публикации 18.02.2026 г.

doi: [10.61852/2949-3412-2026-4-1-47-54](https://doi.org/10.61852/2949-3412-2026-4-1-47-54)

Введение

Прочность, долговечность, технологичность и низкая стоимость делают железобетон основным конструкционным материалом почти во всех областях строительства.

Обычно из-за щелочности поровой жидкости стальная арматура в бетоне пассивна. Однако жесткие условия эксплуатации конструкций могут приводить к ее коррозии. Именно коррозия арматуры часто ограничивает сроки службы зданий и сооружений. Основная причина депассивации арматуры – загрязнение бетона хлоридами.

Эффективным способом борьбы с этим видом коррозии стальной арматуры в бетоне является использование ингибиторов. Их делят на контактные и мигрирующие (МИК). Контактные ингибиторы вводят в бетон с водой затвердения. Их ассортимент велик, механизмы и особенности защиты ими арматуры всесторонне исследованы [1–14]. Менее распространены МИК. Они наносятся на поверхность конструкций, впитываются в бетонный камень, мигрируют через него к стальной арматуре, адсорбируются на ней и формируют защитные слои.

Это направление ингибиторной защиты арматуры интенсивно развивается последнюю четверть века [14–21]. Однако особенности действия МИК слабо изучены, а спектр промышленных препаратов этого типа узок. На мировом рынке сейчас присутствуют около десятка МИК. В нашей стране распространение получили составы: MCI 2020 (Cortec Corporation, США), Sika FerroGard-903 (Sika, Швейцария) и ИФХАН-80 (ООО «ИФХАН», Россия).

Импортные препараты хорошо зарекомендовали себя на практике, но в связи с санкциями их поставки в нашу страну затруднены. Производство отечественного смесового МИК – ИФХАН-80 – приостановлено в связи перебоями поставок некоторых компонентов.

Несколько лет назад в компании АО «ХАНИ МАСТЕР» на базе российского сырья разработан МИК НАЕНЫТЕХ® Protectoseal Si, потенциально решающий проблему импортозамещения. Однако промышленному использованию этого МИК препятствовало отсутствие систематических исследований его свойств. На первом этапе этой работы необходимо было сравнить эффективность МИК (отечественных и импортных) при защите стальной арматуры в бетоне от хлоридной коррозии.

Такое сравнение было целью настоящей работы. Ее результаты должны были, по мнению авторов, определить целесообразность детального анализа свойств НАЕНЫТЕХ® Protectoseal Si, определяющего возможность его использования на практике.

Методика эксперимента

Исследовали влияние MCI 2020, Sika FerroGard-903, ИФХАН-80 и НАЕНЫТЕХ® Protectoseal Si на коррозионно-электрохимическое поведение арматуры железобетона.

Состав бетона (в кг/м³): портландцемент ЦЕМ I 42.5Н – 400, песок – 1200, NaCl – 12, вода – 176. Для опытов готовили железобетонные образцы в форме параллелепипедов 40×40×160 мм. Арматурные стержни образцов изготавливали из стали СтЗпс. Их длина составляла 120 мм, а диаметр – 10 мм.

Арматурные стержни зачищали наждачной бумагой, обезжиривали спиртом, размещали по центру опалубок и заливали бетоном. Спустя 2 сут. после изготовления железобетонные образцы извлекали из опалубок и выдерживали 28 сут. в камере нормального твердения. Затем на их поверхность наносили МИК. Дозировка МИК составляла 0.6 л/м². Через месяц после нанесения ингибиторов железобетонные

образцы на год помещали в коррозионные условия (6 мес. выдержки в боксе со 100% влажностью и еще 6 при влажности 75%).

По окончании экспозиции в коррозионных условиях образцы насыщали водой в вакуумной камере. Далее скалывали бетон с одного их края, обнажая концы арматуры. К ней подключали потенциостат П-5848 и анодно поляризовали металл от стационарного потенциала (E), смещая его на 50 мВ каждые 2.5 мин. В качестве вспомогательного электрода использовали пластины нержавеющей стали. Измерения E проводили относительно насыщенного хлоридсеребряного электрода.

В ходе испытаний фиксировали плотность анодного тока (i). Величины i при потенциале +300 мВ (i^*) служили одним критерием коррозионного поведения стали. В соответствии с ГОСТ 31383-2008 значения $i^* \leq 10$ мкА/см² позволяют определить, что сталь на момент проведения опыта находится в пассивном состоянии (ПС). При i^* в интервале от 10 до 25 мкА/см² состояние стали характеризуется как неустойчивое пассивное (НПС). $i^* \geq 25$ мкА/см² свидетельствует об активном состоянии стали (АС) и протекании ее коррозии.

По достижении $E = +1000$ мВ поляризацию отключали. Спустя минуту после этого измеряли величины E стали (E^*), которые также использовали как критерий ее коррозионного состояния. В соответствии с ГОСТ 31383-2008 при $E^* > +5$ мВ сталь на момент испытаний пассивна, а при $E^* < +5$ мВ – активна и подвержена коррозии.

После окончания электрохимического эксперимента бетон скалывали и осматривали поверхность стали. Наличие на ней очагов коррозии свидетельствовало о том, что на одном из этапов подготовки образцов сталь подвергалась разрушению.

Экспериментальные результаты и их обсуждение

Результаты электрохимических измерений и основанные на них выводы о состоянии стальной арматуры приведены в Таблице 1.

Образцы, не обработанные МИК, во всех экспериментах характеризовались значениями i^* , превышающими 10 мкА/см², что свидетельствует об АС и коррозии стали. Это положение подтверждается величинами E^* , которые были значительно меньше +5 мВ, и результатами осмотра арматурных стержней после завершения тестов. На их поверхности присутствовали продукты коррозии.

Все образцы, обработанные МИК, характеризовались низкими величинами i^* , что свидетельствует о ПС арматуры. Однако средние i^* заметно различались в зависимости от марки МИК. Наименьшее торможение (примерно в 25 раз) наблюдали для образцов, обработанных МСИ 2020. Остальные МИК тормозили анодное растворение более чем в 100 раз. При этом различия величин i^* для них были невелики.

Величины E^* свидетельствуют о протекании коррозии арматуры в образцах, обработанных МСИ 2020. Значения E^* для них лежали в отрицательной области. Стальные стержни образцов, обработанных Sika Ferrogard-903, ИФХАН-80 и НАЕНЫТЕХ® Protectoseal Ci, были пассивны. Характеристические значения E^* для

этих МИК положительны. При этом максимальное значение E^* (+595 мВ) наблюдалось при использовании в качестве ингибитора НАЕНЫТЕХ® Protectoseal Ci.

Таблица 1. Результаты электрохимических испытаний свойств СAr образцов, не подвергавшихся обработке ингибиторами и обработанных МИК различных марок.

Образцы, не обработанные МИК	
i^* , мкА/см ²	77.00 АС
E^* , мВ	<–1500 АС
Образцы, обработанные ингибитором МСИ 2020	
i^* , мкА/см ²	3.00 ПС
E^* , мВ	–235 АС
Образцы, обработанные ингибитором Sika Ferrogard-903	
i^* , мкА/см ²	0.48 ПС
E^* , мВ	+400 ПС
Образцы, обработанные ингибитором ИФХАН-80	
i^* , мкА/см ²	0.24 ПС
E^* , мВ	+330 ПС
Образцы, обработанные ингибитором НАЕНЫТЕХ® Protectoseal Ci	
i^* , мкА/см ²	0.65 ПС
E^* , мВ	+595 ПС

Результаты осмотра поверхности арматурных стержней образцов, не подвергавшихся обработке МИК, свидетельствуют, что сталь корродирует уже в процессе твердения хлоридсодержащего бетона. Это объясняет наличие продуктов коррозии на арматуре образцов, обработанных МИК, после электрохимических опытов. Отметим, что для образцов, взаимодействующих с МСИ 2020, коррозия носила характер глубоких язв. Последнее подтверждает заключение о протекании коррозии стали, сделанное на основании величин E^* .

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о высокой и соизмеримой эффективности препаратов Sika Ferrogard-903, ИФХАН-80 и НАЕНЫТЕХ® Protectoseal Ci. МСИ 2020 уступает перечисленным мигрирующим ингибиторам.

Заключение

МИК НАЕНЫТЕХ® Protectoseal Ci при защите стальной арматуры железобетонных изделий от хлоридной коррозии по меньшей мере не уступает лучшим мировым

аналогам. Это, а также результаты изучения способности НАЕНЫТЕХ® Protectoseal Ci проникать в бетонный камень [22] делает актуальным детальное исследование его функциональных свойств, определяющих возможность использования этого МИК на практике. С точки зрения авторов такие исследования должны включать, как минимум, изучение влияния:

– продуктов коррозии арматурной стали на защитные свойства НАЕНЫТЕХ® Protectoseal Ci;

– НАЕНЫТЕХ Protectoseal® Ci на защиту арматурной стали в карбонизированном бетоне;

– циклов замораживания–оттаивания бетона на защитные свойства НАЕНЫТЕХ® Protectoseal Ci;

– подготовки поверхности бетона на эффективность защитного действия НАЕНЫТЕХ® Protectoseal Ci;

– НАЕНЫТЕХ® Protectoseal Ci на адгезию лакокрасочных покрытий;

– НАЕНЫТЕХ® Protectoseal Ci на прочность бетона.

Финансирование

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Список литературы

1. H.S. Lee, V. Saraswathy, S.J. Kwon, and S. Karthick, Corrosion inhibitors for reinforced concrete: A review, *Corrosion inhibitors, principles and recent applications*, 2018, 95–120. doi: [10.5772/intechopen.72572](https://doi.org/10.5772/intechopen.72572)
2. C. Venkatesh, S.K. Mohiddin, and N. Ruben, Corrosion inhibitors behaviour on reinforced concrete – a review, *Sustainable Construction and Building Materials. Lecture Notes in Civil Engineering*, 2018, **25**, 127–134. doi: [10.1007/978-981-13-3317-0_11](https://doi.org/10.1007/978-981-13-3317-0_11)
3. O. Agboola, K.W. Kupolati, O.S.I. Fayomi, A.O. Ayeni, A. Ayodeji, J.J. Akinmolayemi, O. Olagoke, R. Sadiku, and K.M. Oluwasegun, A review on corrosion in concrete structure: Inhibiting admixtures and their compatibility in concrete, *Journal of Bio- and Tribo-Corrosion*, 2022, **8**, 25. doi: [10.1007/s40735-021-00624-2](https://doi.org/10.1007/s40735-021-00624-2)
4. S. Yuvaraj, K. Nirmalkumar, V.R. Kumar, R. Gayathri, K. Mukilan, and S. Shubikksha, Influence of corrosion inhibitors in reinforced concrete – A state of art of review, *Materials Today: Proceedings*, 2022, **68**, part 6, 2406–2412. doi: [10.1016/j.matpr.2022.09.118](https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.09.118)
5. F. Bolzoni, A. Brenna, and M. Ormellese, Recent advances in the use of inhibitors to prevent chloride-induced corrosion in reinforced concrete, *Cement and Concrete Research*, 2022, **154**, 106719. doi: [10.1016/j.cemconres.2022.106719](https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2022.106719)

6. A. Zomorodian and A. Behnood, Review of corrosion inhibitors in reinforced concrete: Conventional and green materials, *Buildings*, 2023, **13**, no. 5. 1170. doi: [10.3390/buildings13051170](https://doi.org/10.3390/buildings13051170)
7. C.L. Page, V.T. Ngala, and M.M. Page, Corrosion inhibitors in concrete repair systems, *Magazine of Concrete Research*, 2000, **52**, no. 1, 25–37. doi: [10.1680/macr.2000.52.1.25](https://doi.org/10.1680/macr.2000.52.1.25)
8. Shehnazdeep and B. Pradhan, A study on effectiveness of inorganic and organic corrosion inhibitors on rebar corrosion in concrete: A review, *Materials Today: Proceedings*, 2022, **65**, part 2, 1360–1366. doi: [10.1016/j.matpr.2022.04.296](https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.296)
9. L.X. Alvarez, O. Troconis de Rincón, J. Escribano, and B.C. Rincon Troconis, Organic compounds as corrosion inhibitors for reinforced concrete: A review, *Corrosion Reviews*, 2023, **41**, no. 6, 617–634. doi: [10.1515/corrrev-2023-0017](https://doi.org/10.1515/corrrev-2023-0017)
10. D.M. Bastidas, U. Martin, J.M. Bastidas, and J. Ress, Corrosion inhibition mechanism of steel reinforcements in mortar using soluble phosphates: A critical review, *Materials*, 2021, **14**, no. 20, 6168. doi: [10.3390/ma14206168](https://doi.org/10.3390/ma14206168)
11. A. Rawat, S.R. Karade, and P.C. Thapliyal, Mechanism of inhibitors in control of corrosion of steel in concrete, *Materials Today: Proceedings*, 2023, doi: [10.1016/j.matpr.2023.06.210](https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.06.210)
12. Y. Song, J. Liu, H. Wang, and H. Shu, Research progress of nitrite corrosion inhibitor in concrete, *International Journal of Corrosion*, 2019, **2019**, no. 1, 3060869. doi: [10.1155/2019/3060869](https://doi.org/10.1155/2019/3060869)
13. M.K. Tweek and S.A. Abdulsada, Improvement corrosion properties of reinforcement concrete by corrosion inhibitors: A brief review, *Koroze a Ochrana Materialu*, 2023, **67**, no. 1, 50–58. doi: [10.2478/kom-2023-0007](https://doi.org/10.2478/kom-2023-0007)
14. C.M. Hansson, L. Mammoliti, and B.B. Hope, Corrosion inhibitors in concrete – Part I: The principles, *Cement and concrete research*, 1998, **28**, no. 12, 1775–1781. doi: [10.1016/S0008-8846\(98\)00142-2](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(98)00142-2)
15. B. Elsener, M. Büchler, F. Stalder, and H. Böhni, Migrating corrosion inhibitor blend for reinforced concrete: Part 1 – prevention of corrosion, *Corrosion*, 1999, **55**, no. 12, 1155–1163. doi: [10.5006/1.3283953](https://doi.org/10.5006/1.3283953)
16. A.K. Tiwari, P. Dogra, S. Goyal, and V. Luxami, Evaluation of different migratory corrosion inhibitors as repair strategy for reinforced concrete, *ACI Materials Journal*, 2025, **122**, no. 4, 29–44. doi: [10.14359/51746804](https://doi.org/10.14359/51746804)
17. B. Elsener, M. Büchler, and H. Böhm, Corrosion inhibitors for steel in concrete, *Corrosion of Reinforcement in Concrete (EFC 25)*, 2020, 54–69. doi: [10.1201/9781003076957-6](https://doi.org/10.1201/9781003076957-6)
18. M.L.S. Rivetti, J. Netto, M.A. Junior, and D.V. Ribeiro, Corrosion inhibitors for reinforced concrete, *Corrosion inhibitors, principles and recent applications*, 2018, 35–58. doi: [10.5772/intechopen.72772](https://doi.org/10.5772/intechopen.72772)

-
19. C.K. Nmai, Multi-functional organic corrosion inhibitor, *Cement and Concrete Composites*, 2004, **26**, no. 3, 199–207. doi: [10.1016/S0958-9465\(03\)00039-8](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(03)00039-8)
 20. M. Ormellese, F. Bolzoni, E.R. Perez, and S. Goidanich, Migrating corrosion inhibitors for reinforced concrete structures, *NACE - International Corrosion Conference Series*, 2007, 1–16.
 21. N.L. Cao, D.S. Shevtsov, V.C. Nguyen, D.A. Nguyen, H.Q. Le, V.T. Tran, V.T. Nguyen, N.H. Nguyen, I.D. Zartsyn, and E.S. Briyalovskaya, Migrating corrosion inhibitors for steel reinforcement in concrete under chloride activation: A review, *Int. J. Corros. Scale Inhib.*, 2025, **14**, no. 2, 469–490. doi: [10.17675/2305-6894-2025-14-2-4](https://doi.org/10.17675/2305-6894-2025-14-2-4)
 22. A.S. Tarasov, M.A. Khvastin, I.A. Gedvillo, A.S. Zhmakina, S.S. Vesely, N.N. Andreev, and M.A. Chayko, On the depth of penetration of migrating corrosion inhibitor HAENYTEX Protectoseal CI into concrete, *Int. J. Corros. Scale Inhib.*, 2023, **12**, no. 4, 2327–2332. doi: [10.17675/2305-6894-2023-12-4-46](https://doi.org/10.17675/2305-6894-2023-12-4-46)

Comparison of the protective properties of migrating inhibitors of chloride-induced corrosion of steel reinforcement in concrete

M.A. Khvastin,^{1,2} A.S. Tarasov², V.F. Stepanova³ and N.N. Andreev^{1,*}

¹A.N. Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry, Russian Academy of Sciences, 31-4, Leninsky prospect, 119071 Moscow, Russia

²JSC “MSS”, Vorontsovskaya street, 35, 109147 Moscow, Russia

³Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete (NIIZHB) named after A.A. Gvozdev, 2-Institutskaya street, 6-5, 109428 Moscow, Russia

*E-mail: n.andreev@mail.ru

Abstract

The article continues a series of publications dealing with the migrating corrosion inhibitor HAENYTEX Protectoseal Ci for steel reinforcement in concrete. The ability of migrating inhibitors of various brands to protect reinforcing steel against chloride-induced corrosion is analyzed by corrosion-electrochemical methods. The data obtained indicate that Sika FerroGard-903, IFKhAN-80, and HAENYTEX Protectoseal Ci manifest high and comparable efficiency. MCI 2020 is inferior to all the migrating inhibitors mentioned above.

Keywords: concrete, steel reinforcement, corrosion, migrating inhibitors, MCI 2020, Sika FerroGard-903, IFKhAN-80, HAENYTEX Protectoseal Ci.