

УДК 620.193.2

## Защитные свойства ингибитора коррозии стальной арматуры в бетоне ИФХАН–80

И.А. Гедвилло,<sup>1</sup> А.С. Жмакина,<sup>1</sup> В.А. Карпов,<sup>2</sup> Д.С. Микуров<sup>2</sup>  
и Н.Н. Андреев<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН,  
Ленинский проспект 31, корп. 4, Москва, 119071

<sup>2</sup>Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН,  
Ленинский проспект 33, Москва, 119071

\*E-mail: [n.andreev@mail.ru](mailto:n.andreev@mail.ru)

### Аннотация

Сотрудниками Института физической химии и электрохимии Российской академии наук разработан ингибитор коррозии арматурной стали в бетоне ИФХАН–80. Это нетоксичный и негорючий состав, на основе отечественного сырья. Его функциональные свойства были детально изучены в лабораторных и полевых условиях умеренного климата. ИФХАН–80 широко используется на практике, но опыта его применения в тропиках не было. В данной работе коррозионными и электрохимическими методами была изучена способность ИФХАН–80 к контактной защите стальной арматуры в тропических условиях. Была показана высокая эффективность ингибитора даже для бетонов с высоким содержанием хлоридов.

**Ключевые слова:** бетон, коррозия арматуры, ингибиторы коррозии ИФХАН–80, натурные испытания, тропики.

Поступила в редакцию 10.11.2023 г.; После доработки 20.11.2023 г.; Принята к публикации 20.11.2023 г.

doi: [10.61852/2949-3412-2023-1-4-142-150](https://doi.org/10.61852/2949-3412-2023-1-4-142-150)

### Введение

Защита от коррозии стальной арматуры в бетоне – важная техническая задача [1, 2].

Поровая жидкость бетона характеризуется высокой щелочностью, обеспечивающей в обычных условиях пассивность металла. Однако снижения  $pH$  среды в порах бетона из-за его карбонизации, проникновение в бетон химических реагентов (в первую очередь хлоридов) извне, а также нарушение технологии бетонных работ могут привести к инициированию коррозии.

На сегодняшний день разработаны различные способы и материалы, позволяющие замедлить коррозию арматуры в бетоне и продлить срок службы сооружений. Важное место среди них занимают ингибиторы коррозии – соединения и их композиции, способные при введении в агрессивную среду тормозить коррозию, не меняя при этом концентрации основных агрессивных веществ [3].

Ингибиторы коррозии стальной арматуры в бетоне бывают контактные и мигрирующие [4–6]. Контактные ингибиторы вводятся в бетон с водой затворения при создании железобетонных конструкций, предназначенных для эксплуатации в жестких условиях. Мигрирующие ингибиторы наносятся на поверхность бетона при ремонтно–восстановительных работах, впитываются в него и, достигая стальной арматуры, замедляют ее коррозию.

Сотрудниками Института физической химии и электрохимии РАН разработан эффективный ингибитор коррозии стальной арматуры в бетоне ИФХАН–80. Это нетоксичный и негорючий препарат на основе российского сырья. Товарной формой продукта является 30% водный раствор ингибитора. Он универсален и может использоваться и как контактный, и в качестве мигрирующего ингибитора. Его функциональные свойства подробно изучены в лабораторных и натурных условиях средней полосы [7–13]. Разработчики считают, что ИФХАН–80 может применяться, по крайней мере, для контактной защиты стальной арматуры в бетоне и в тропиках. Однако тропический климат весьма специфичен и отличается высокой коррозивностью, а прямое подтверждение эффективности ИФХАН–80 в этих условиях отсутствовало. На восполнение этого пробела направлено данное исследование. Его цель – натурные испытания эффективности ИФХАН–80 как контактного ингибитора в условиях тропиков. Защитные свойства этого препарата как мигрирующего ингибитора будут рассмотрены нами в отдельной публикации.

### Методика эксперимента

Для испытаний были изготовлены железобетонные образцы размером 160×40×40 мм, с сердечниками из стальных прутков диаметром 6,5 мм и длиной 120 мм. Использовали цемент Старооскольского завода (РФ), песок, просеянный через сито с размером ячейки 2 мм, и арматурную сталь 08пс. Стальные стержни были полностью скрыты слоем бетона. В его состав во всех случаях вводили хлорид натрия в количестве 3% от массы цемента. Такое содержание хлорида, превышающее обычно встречающееся на практике, было выбрано для оценки предельных возможностей ингибитора. В третью часть образцов дополнительно с водой затворения вводили 1,5% (в пересчете на активное вещество) ИФХАН–80. Еще одна треть образцов содержала 3% ингибитора.

Образцы экспонировали под навесом на коррозионной станции (Вьетнам) на протяжении 31 или 44 месяцев. После экспозиции коррозионно–электрохимическое состояние стали оценивали в соответствии с ГОСТ 31383–2008 [14].

Для этого образцы выдерживали сутки в водопроводной воде под вакуумом. Далее, скалывая бетон, обнажали с одного края образцов арматурные стержни, помещали образцы в электрохимическую ячейку с водой, подключали к ним потенциостат П–5848 и снимали анодные поляризационные кривые. Все величины потенциалов ( $E$ ) фиксировали относительно хлоридсеребряного электрода. Вспомогательным электродом служила пластина из нержавеющей стали. Поляризацию проводили, смещая  $E$  на 0,1 В каждую минуту от стационарного значения до 1 В. После достижения этого  $E$  поляризацию отключали.

В ходе опытов фиксировали плотность анодного тока при  $E=0,3$  В ( $i^*$ ) и значения  $E$  арматурной стали спустя минуту после отключения поляризации ( $E^*$ ). Значения  $i^*$  и  $E^*$  в соответствии с [6] служат критериями при оценке состояния арматуры. Если  $i^*>25$  мкА/см<sup>2</sup>, а  $E^*<0,005$  В считается, что арматура находится в активном состоянии. При  $i^*<10$  мкА/см<sup>2</sup>, и  $E^*>0,005$  В принято говорить о пассивном состоянии арматуры.  $i^*$  лежащие в диапазоне от 10 до 25 мкА/см<sup>2</sup> свидетельствуют о промежуточном (активно–пассивном) состоянии стали.

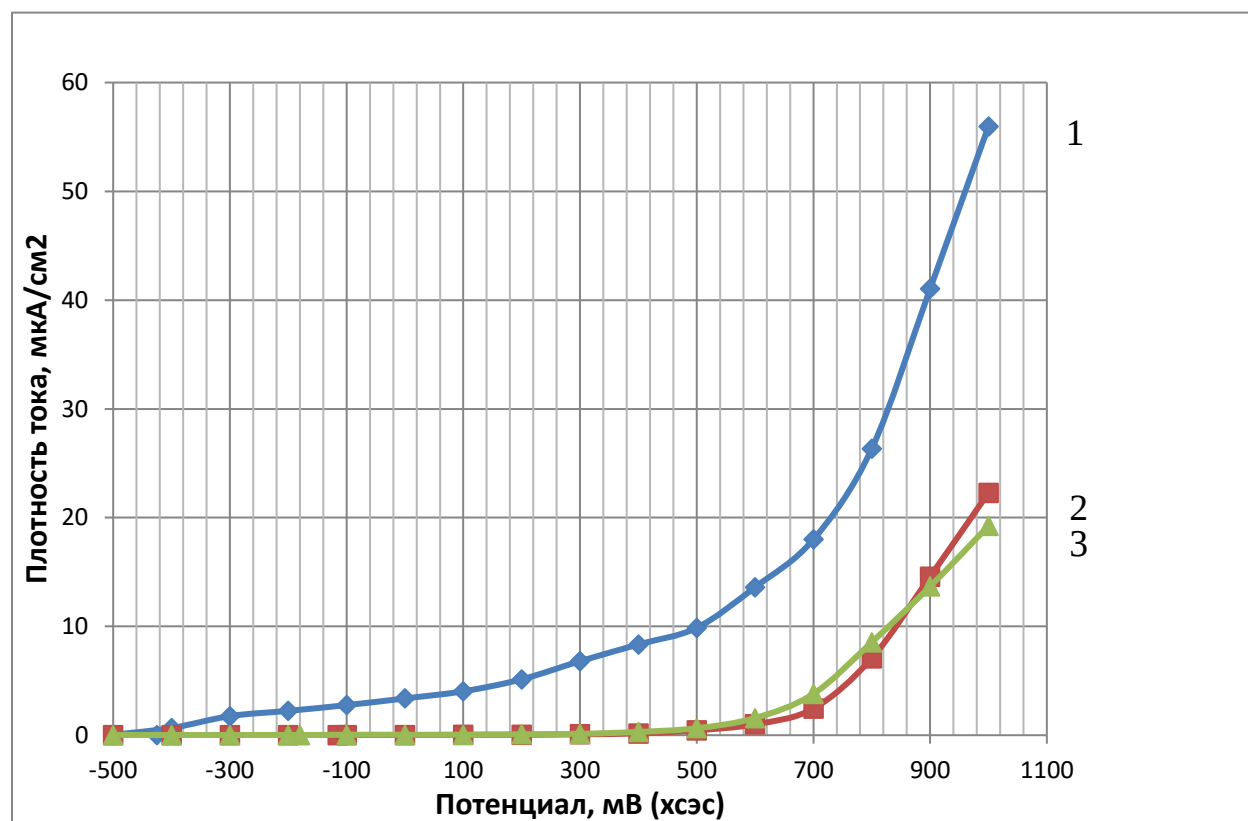
Кроме электрохимической оценки, об эффективности ингибиторов судили по состоянию поверхности стальных стержней после экспозиции образцов в коррозивных условиях. Бетон с арматуры скалывали полностью и определяли площади прокорродировавшей поверхности металла

### Экспериментальные данные и их обсуждение

Кривые анодной поляризации арматурной стали после 31 месяца выдержки образцов в коррозивных условиях приведены на Рисунке 1, а характеризующие состояние стали величины  $i^*$  и  $E^*$  в Таблице 1.

Как видно на Рисунке 1 на анодных поляризационных кривых стали фоновых образцов, не содержащих в своем составе ингибитор, отсутствует выраженная область пассивности. Смещение потенциала в положительную сторону ведет к резкой интенсификации растворения металла. При этом значение  $i^*$ , хотя и лежит в диапазоне значений, характеризующих пассивный металл, близко к его верхней границе (Таблица 1).

После отключения поляризации  $E$  падал и через минуту достигал значения  $-0,220$  В, которое характеризует активное состояние металла.



**Рисунок 1.** Кривые анодной поляризации арматурной стали образцов содержащих 3% хлорида натрия и добавки ингибитора ИФХАН–80: 0% (кр.1), 1,5% (кр.2) и 3% (кр.3), выдержанных в коррозивных условиях 31 месяц.

**Таблица 1.** Характеристические значения кривых анодной поляризации арматурной стали для образцов, выдержанных в коррозивных условиях 31 месяц.

| Способ обработки бетона и дозировка ингибитора   | $i^*$ , мкА/см <sup>2</sup> | $E^*$ , В |
|--------------------------------------------------|-----------------------------|-----------|
| Образцы, не подвергавшиеся обработке ингибитором | 6,8                         | –0,220    |
| 1,5% ИФХАН–80, введенного с водой затворения     | 0,1                         | 0,490     |
| 3% ИФХАН–80, введенного с водой затворения       | 0,1                         | 0,470     |

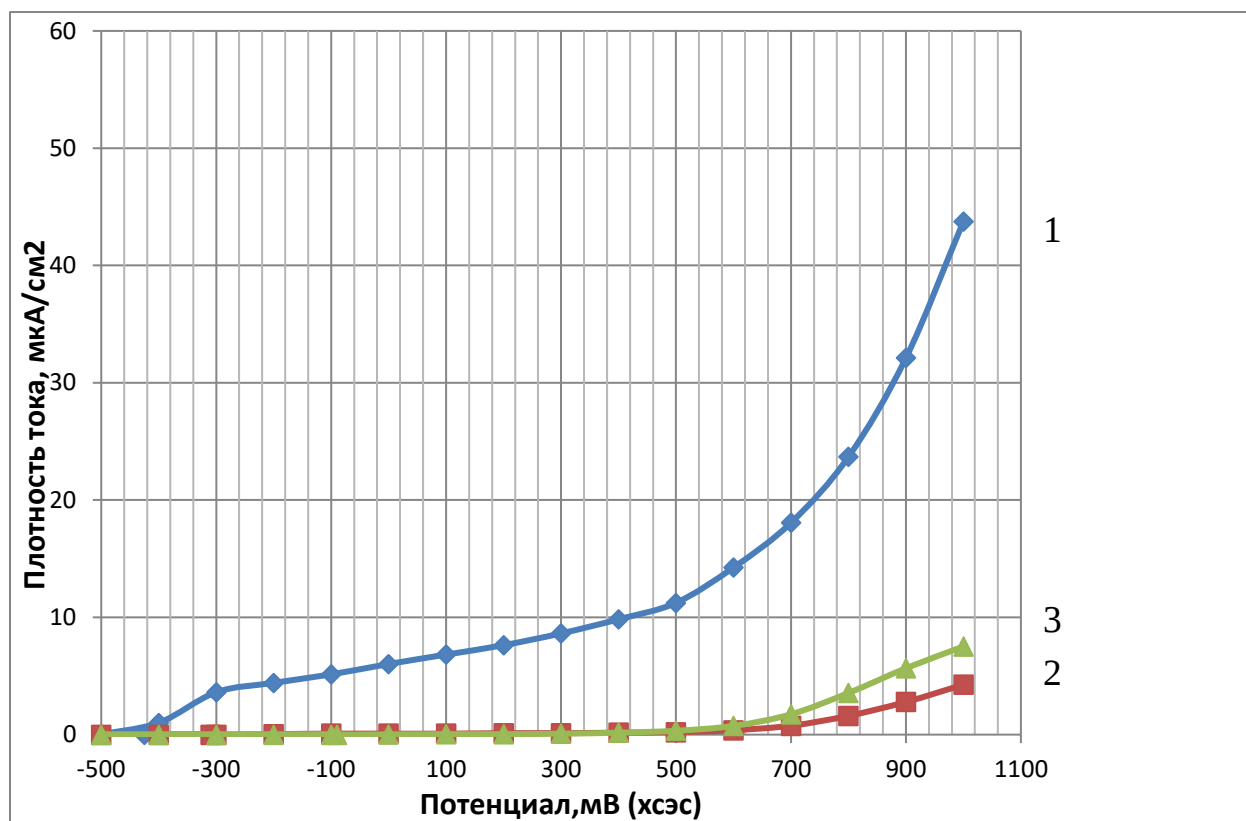
Таким образом, по одному из предложенных /е/ критериев ( $E^*$ ) состояние металла фоновых образцов характеризуется как активное, по другому ( $i^*$ ) – как пассивное, близкое к активно–пассивному. Опыт работ авторов свидетельствует: если хотя бы один из рассматриваемых критериев указывает на активное состояние металла, его следует считать активным.

Этот вывод подтверждается результатом осмотра стальных стержней фоновых образцов после испытаний. После экспозиции в течение 31 месяца в коррозивной среде образцы продолжали ржаветь. Спустя 31 месяц экспозиции образцов на станции

коррозионные поражения занимали 29% поверхности образца, а спустя 44 месяца – уже 37%.

Введение ИФХАН–80 в бетон заметно снижало токи анодного растворения стали. На поляризационных кривых присутствовали области пассивности. Состояние металла, оцененное по величинам  $i^*$  и  $E^*$ , также характеризуется как пассивное.

Кривые анодной поляризации арматурной стали после 44 месяца выдержки образцов в коррозивных условиях приведены на Рисунке 2, а величины  $i^*$  и  $E^*$  в Таблице 2.



**Рисунок 2.** Кривые анодной поляризации арматурной стали для образцов содержащих 3% хлорида натрия и добавки ингибитора ИФХАН–80: 0% (кр.1), 1,5% (кр.2) и 3% (кр.3), выдержанных в коррозивных условиях 44 месяца.

Таблица 2. Характеристические значения кривых анодной поляризации арматурной стали для образцов, выдержанных в коррозивных условиях 44 месяца.

| Способ обработки бетона и дозировка ингибитора   | $i^*$ , мкА/см <sup>2</sup> | $E^*$ , В |
|--------------------------------------------------|-----------------------------|-----------|
| Образцы, не подвергавшиеся обработке ингибитором | 8,6                         | –0,010    |
| 1,5% ИФХАН–80, введенного с водой затворения     | 0,1                         | 0,400     |
| 3% ИФХАН–80, введенного с водой затворения       | 0,1                         | 0,480     |

Вид поляризационных кривых спустя 44 месяца экспозиции в коррозивных условиях фактически повторяет вид зависимостей на Рисунке 2. Для фоновых образцов характерны достаточно высокие значения плотностей тока растворения стали. Введение в бетон ингибитора резко тормозило анодный процесс.

Состояние металла, фоновых образцов по величинам  $E^*$  характеризуется как активное, а по  $i^*$  – как пассивное. Тем не менее, значения  $i^*$  близки показателям, свойственным активно–пассивному состоянию.

Величины  $E^*$  и  $i^*$  свидетельствуют о пассивности арматурной стали образцов, содержащих ИФХАН–80.

Дополнительную информацию об эффективности ИФХАН–80 дает осмотр арматурных стержней после экспозиции в течение 44 месяцев в коррозивных условиях. Фотографии стержней приведены на Рисунке 3.

В отсутствии ингибитора сталь в хлоридсодержащем бетоне интенсивно корродировала. По окончании опыта продукты коррозии покрывали 37% поверхности. Введение в бетон ИФХАН–80 значительно улучшало коррозионное состояние металла. Площадь прокорродировавшей поверхности сокращалась до 5% при концентрации ингибитора 1,5% и до 0,6% при концентрации 3%.



**Рисунок 3.** Внешний вид арматурных стержней после 44 месяцев экспозиции образцов с 3% хлорида натрия в тропиках. 1 – образцы, не содержащие ингибитора, 2 – образцы, содержащие 1,5% ингибитора, 3 – образцы, содержащие 3% ингибитора.

Таким образом, результаты натурных испытаний подтверждают эффективность ингибитора коррозии ИФХАН–80 в хлоридсодержащем бетоне в условиях тропиков.

## Вывод

Ингибитор ИФХАН–80 в условиях тропиков обеспечивает эффективную контактную защиту от коррозии стальной арматуры железобетонных изделий с высоким содержанием хлоридов.

## Список литературы

1. С.Н. Алексеев, *Коррозия и защита арматуры в бетоне*, М.: Изд. литературы по строительству, 1968, 231 с.
2. С.Н. Алексеев, В.Б. Ратинов, Н.К. Розенталь и Н.М. Кашурников, *Ингибиторы коррозии стали в железобетонных конструкциях*, М.: Стройиздат, 1985, 272 с.
3. ISO 8044–1989 Corrosion of metals and alloys, Vocabulary, [www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:8044:ed-5:v1:en](http://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:8044:ed-5:v1:en).
4. B. Mikšić, L. Gelner, D. Bjegović and L. Sipos, Migrating Corrosion Inhibitors for Reinforced Concrete, *In Proceedings of the 8th European Symposium on Concrete Inhibitors*, University of Ferrara, Italy, 1995.
5. J. Tritthart, Transport of a surface–applied corrosion inhibitor in cement paste and concrete, *Cem. Concr. Res.*, 2003, 33, no 6, 829–834. doi: [10.1016/S0008-8846\(02\)01067-0](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(02)01067-0).
6. N.N. Andreev, E.V. Starovoitova, I.A. Gedvillo and A.S. Zhmakina., Physicochemical principles for the creation of migrating corrosion inhibitors, *Eurocorr 2010. The European corrosion congress, From the Earth's Depths to Space Heights, 13–17 September 2010 Congress Center of World Trade Center Moscow, European Federation of Corrosion Event*, 2010, no 324, p. 303.
7. Е.В. Старовойтова, Н.Н. Андреев, И.А. Гедвилло, А.С. Жмакина, В.Ф. Степанова, Л.П. Харитоновна и Т.Л. Зими́на, О влиянии мигрирующего ингибитора коррозии ИФХАН–80 на электрохимическое поведение арматурной стали в бетоне, *Коррозия: материалы, защита*, 2010, no 8, 31–32.
8. N.N. Andreev, D.S. Bulgakov, I.A. Gedvillo, A.S. Zhmakina and S.S. Vesely, On penetration of IFKhAN–80 migrating corrosion inhibitor into cement stone, *Int. J. Corros. Scale Inhib.*, 2014, 3, no 4, 238–245. doi: [10.17675/2305-6894-2014-3-4-238-245](https://doi.org/10.17675/2305-6894-2014-3-4-238-245).
9. Н.Н. Андреев, Д.С. Булгаков, И.А. Гедвилло и А.С. Жмакина, О проникновении в цементный камень мигрирующего ингибитора коррозии ИФХАН–80, *Коррозия: материалы, защита*, 2014, no 12, 24–28.

- 
10. В.Ф. Степанова, Т.Л. Зимина и Л.П. Харитонов, О влиянии ингибитора коррозии ИФХАН–80 на коррозионно–электрохимическое поведение арматурной стали в бетоне. Сравнительные испытания, *Практика коррозионной защиты*, 2014, 1, по 71, 14–17.
  11. N.N. Andreev, I.A. Gedvillo, A.S. Zhmakina, D.S. Bulgakov and S.S. Vesely, Environmental testing of the efficiency of IFKhAN–80, an inhibitor for corrosion protection of steel, *Int. J. Corros. Scale Inhib.*, 2016, 5, no 4, 319–324. doi: [10.17675/2305-6894-2016-5-4-2](https://doi.org/10.17675/2305-6894-2016-5-4-2).
  12. Н.Н. Андреев, И.А. Гедвилло, А.С. Жмакина и Д.С. Булгаков, Натурные испытания эффективности ингибитора коррозии стальной арматуры в бетоне ИФХАН–80, *Коррозия: материалы, защита*, 2016, по 3, 21–24.
  13. И.А. Гедвилло, А.С. Жмакина и Н.Н. Андреев, Натурные испытания ингибиторов коррозии стальной арматуры в бетоне, *Международная конференция «Актуальные вопросы электрохимии, экологии и защиты от коррозии» посвященная памяти Вигдоровича В.И.* Тамбов: Изд-во ИП Чеснокова А.В., 2019, 92–95.
  14. ГОСТ 31383–2008, *Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Методы испытаний*, М.; Стандартинформ, 2010, 40с.

## Protective properties of the corrosion inhibitor of steel reinforcement in concrete IFKhAN–80

**I.A. Gedvillo,<sup>1</sup> A.S. Zhmakina,<sup>1</sup> V.A. Karpov,<sup>2</sup> D.S. Mikurov<sup>2</sup>  
and N.N. Andreev<sup>1\*</sup>**

<sup>1</sup>A.N. Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry,  
Russian Academy of Sciences, Leninsky pr. 31, 119071 Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup>A.N. Severtsev Institute of Ecology and Evolution Problems, Russian Academy of  
Sciences, Leninsky pr. 33, 119071 Moscow, Russian Federation

\*E-mail: [n.andreev@mail.ru](mailto:n.andreev@mail.ru)

### Abstract

The corrosion of reinforcement steel in concrete is a serious and widespread problem in construction. Inhibitors play an important role in protection against it. The Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry of the Russian Academy of Sciences has developed an inhibitor against corrosion of reinforcement steel in concrete named IFKhAN–80. It is a non–toxic and non–flammable formulation based on raw materials available in Russia. Its functional properties have been studied in detail under laboratory and field conditions of moderate climate. IFKhAN–80 is widely used in practice, but there was no experience of its application in the tropics. The ability of IFKhAN–80 to provide contact protection of reinforcement of steel reinforcement under tropical conditions has been studied in this work by corrosion and electrochemical methods. The high efficiency of the inhibitor even for concretes with high chloride content was shown.

**Keywords:** concrete, corrosion of steel reinforcement, corrosion inhibitors, IFKhAN–80, field tests, tropical climate.