

УДК 66.097.8:669.14.018.291

DOI: 10.17277/voprosy.2016.01.pp.029-034

### **ВЛИЯНИЕ ИНГИБИТОРОВ, ВВОДИМЫХ В БЕТОНЫ, НА КОРРОЗИЮ СТАЛЬНОЙ АРМАТУРЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОНОВ**

**В. Е. Румянцева, В. С. Коновалова**

*ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет», г. Иваново*

*Рецензент д-р техн. наук, профессор М. В. Акулова*

**Ключевые слова:** арматура; железобетон; ингибиторы коррозии; коррозия.

**Аннотация:** Рассмотрено влияние ингибиторов, вводимых в бетоны, на анодное поведение и коррозионную стойкость сталей. С помощью электрохимических методов исследования получены поляризационные диаграммы, анализ которых позволил рассчитать основные показатели скорости коррозии. Проведен сравнительный анализ показателей скорости коррозии арматурной стали в растворах, содержащих различные ингибиторы. Проведенные исследования и полученные данные позволяют прогнозировать возможность введения в коррозионную среду ингибиторов, а также дают представление об анодном поведении стальной арматуры в различных средах и служат основой для прояснения особенностей коррозии и способов ее устранения в системе арматура-бетон.

Бетон обеспечивает длительную сохранность арматуры в условиях действия сред, вызывающих коррозию незащищенной стали и требующих специальной защиты стальных конструкций. Многолетний опыт применения железобетона и многочисленные исследования показали, что стойкость бетона, его способность защищать арматуру относительно и зависят от большого числа как внешних, так и внутренних факторов [1].

Практически все бетоны в той или иной степени проницаемы для хлоридов, которые вызывают коррозию арматуры даже при сохранении высокой щелочности жидкой фазы.

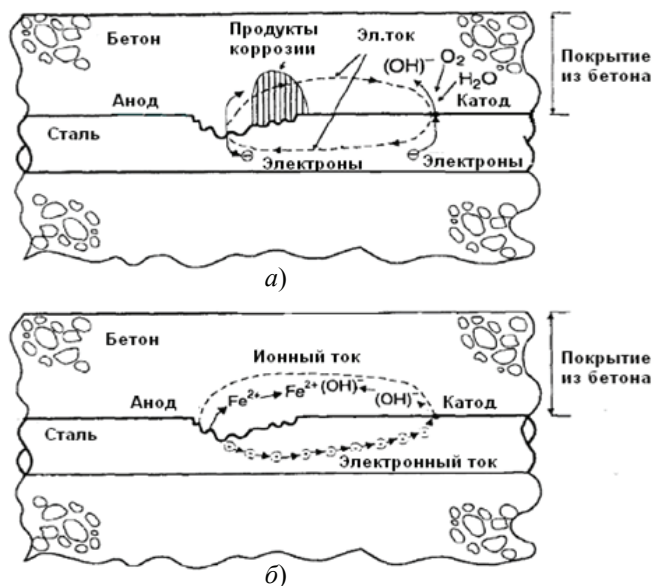
---

Румянцева Варвара Евгеньевна – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Химия, экология и микробиология», e-mail: vargum@gmail.com; Коновалова Виктория Сергеевна – аспирант кафедры «Химия, экология и микробиология», ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет», г. Иваново.

Электрохимическое и коррозионное состояние стали в бетоне зависит в первую очередь от особенностей его состава и составляющих в смысле формирования среды, в которую помещается арматура при изготовлении конструкции и которая изменяется в результате длительных процессов гидролиза и гидратации вяжущего в бетоне, взаимодействия его с заполнителем и бетона в целом с окружающей средой. Важно также, чтобы исходные материалы для приготовления бетона не содержали агрессивных к стали веществ, в частности хлористых солей.

Хлорид-ионы имеют маленький радиус и являются наиболее подвижными, легко диффундируют к поверхности, вытесняют кислород и взаимодействуют с металлом, способствуя его ионизации. В растворах хлорида натрия процесс коррозии развивается интенсивнее. В присутствии хлоридов коррозия стали развивается вследствие разрушения хлорид-ионами защитной пленки на металле. Согласно принятым представлениям [2], хлорид-ионы преобразуют защитную пленку из оксида железа в растворимый хлорид железа. Механизм коррозии включает адсорбцию хлорид-иона и образование комплекса на поверхности стали.

На рисунке 1 представлено схематическое изображение процесса коррозии арматуры внутри бетона [3]. До наступления коррозионного процесса арматура и бетон работают в единой системе – железобетон. Когда арматура корродирует, связь стали с бетоном нарушается и система разрушается. В качестве меры, предотвращающей первоначальное коррозионное поражение арматуры, может служить использование добавок – ингибиторов в бетоне с недостаточным собственным пассивирующим действием. Коррозия стали предотвращается, если в растворе имеются в необходимом количестве ионы, способные вытеснить хлорид-ионы с поверхности металла.

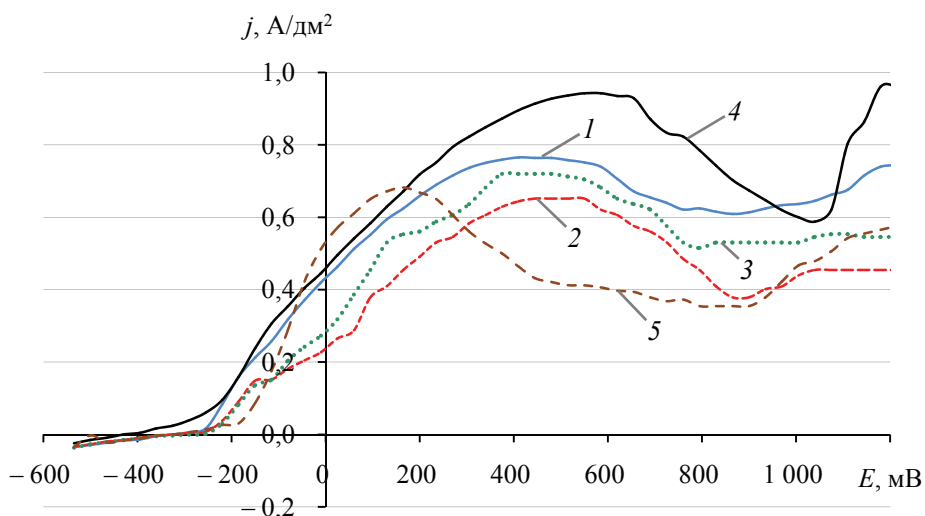


Нитрит и фосфат натрия, нитрат кальция, будучи солями сильных оснований и слабых кислот, в щелочной среде бетона способствуют пассивации арматуры. Эти добавки рекомендуются [3] к использованию в плотных бетонах, защитная способность которых оказывается недостаточной в условиях присутствия в них хлоридов, вводимых в смесь в качестве ускорителей твердения или проникающих в бетон конструкции из окружающей среды. Применение смесей добавок для ускорения твердения бетона и ингибирования коррозии арматурной стали способствует быстрому связыванию хлорид-ионов в труднорастворимые комплексные соединения [4].

Нитрит натрия является классическим пассиватором [5]. Он замедляет анодный процесс, но не участвует в катодном процессе, то есть является анодным ингибитором. Потенциал стали в его присутствии смещается в сторону положительных значений. Пассивирующее действие нитрит-ионов связывают с образованием на поверхности железа оксидной пленки из  $Fe_2O_3$ .

Вследствие гидролиза  $Na_3PO_4$  образуется щелочь и слабая кислота, в результате pH увеличивается, что способствует пассивации металла. Определенное пассивирующее действие оказывают и анионы, которые образуют слабо растворимые соединения на поверхности металла. В присутствии ортофосфата, являющегося анодным ингибитором, и кислорода образуются оксиды железа, но обнаруживается и фосфат железа.

О степени влияния на скорость коррозии арматуры железобетона можно судить по анодным поляризационным кривым, полученным в растворах с ингибиторами (рис. 2). В растворе агрессивного к стали электролита (кривая 4) пассивация к стали электролита начинается в том случае, если потенциал  $E$  сильно смещается в сторону положительных значений, а ток пассивного состояния имеет небольшую величину.



**Рис. 2. Поляризационные кривые для образцов Ст3 в 10%-м растворе NaCl с добавками:**  
 1 – 0,5 %  $Ca(NO_3)_2$ ; 2 – 0,5 %  $NaNO_2$ ; 3 – 0,5 %  $Na_3PO_4$ ; 4 – без добавок;  
 5 – с защитным фосфатным покрытием

Так как весь материальный эффект электрохимической коррозии металла является результатом анодного процесса, интенсивность которого определяется величиной протекающего коррозионного тока  $I$ , А, между анодными и катодными участками корродирующей поверхности металла, то скорость электрохимической коррозии металлов можно выразить через плотность коррозионного тока или токовый показатель коррозии  $j$ , А/дм<sup>2</sup>,

$$j = \frac{I}{S_a}, \quad (1)$$

где  $S_a$  – корродирующая поверхность металла (поверхность анодных участков), дм<sup>2</sup>.

Таким образом, скорость коррозии определяется изменением веса образца за единицу времени, отнесенного к единице его поверхности.

При использовании ингибиторов анодного действия вследствие торможения анодного процесса стационарный потенциал смещается в область положительных значений. При смещении потенциала до значения, не достигающего потенциала полной пассивации, плотность коррозионного тока увеличивается, и скорость коррозии возрастает. Защитный эффект проявляется в случае смещения потенциала в область полной пассивации при добавлении в агрессивную среду ингибитора.

Концентрация ингибитора оказывает немалое влияние на развитие коррозии стали. Оптимальная концентрация ингибиторов находится в пределах 0,5 – 1,2 % [3]. При недостатке ингибитора потенциал стали смещается незначительно, а коррозионный ток сильно возрастает, в результате скорость коррозии увеличивается. В больших количествах добавки могут стать активаторами процесса коррозии, поэтому применение их в концентрации более 1% нецелесообразно.

Кривая 5 (см. рис. 2) показывает, что модифицированные фосфатные покрытия благоприятствуют быстрому снижению плотности тока при меньшем, по сравнению с образцами без покрытий, смещении потенциала арматуры в положительную сторону. Увеличение плотности тока при больших значениях потенциала арматурной стали свидетельствует о значительной поляризации, обеспечивающей пассивацию стали в растворах электролитов.

Для наибольшего достигнутого значения тока рассчитаны показатели коррозии арматурных стержней (табл. 1): показатель изменения массы – изменение массы образца металла в результате коррозии, отнесенное к единице поверхности металла и к единице времени,  $K_m^-$ , г/(м<sup>2</sup>·ч), и глубинный показатель коррозии – средняя или максимальная глубина коррозионного разрушения металла в единицу времени,  $K_h$ , мм/год. Полученные результаты свидетельствуют о том, что введение ингибирующих добавок замедляет анодное растворение арматурной стали. Наилучшим ингибирующим действием обладает добавка нитрита натрия, поскольку в этом растворе уменьшение массы образцов происходило наиболее медленно. Стоит отметить, что для арматуры, защищенной модифицированным фосфатным покрытием,  $K_m^- = 0,916$  г/(м<sup>2</sup>·ч),  $K_h = 0,992$  мм/год.

Таблица 1

**Показатели коррозии Ст3 в растворах NaCl 10 %  
с 0,5%-ми добавками**

Добавка 0,5 %	Показатель изменения массы $K_m^-$ г/(м <sup>2</sup> ·ч)	Глубинный показатель коррозии $K_h \cdot 10^3$ , мм/год
Без добавки	4,55	6,82
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	1,32	1,48
NaNO <sub>2</sub>	0,785	0,86
Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1,22	1,35

Данные исследования открывают перспективы для дальнейшего изучения ингибирующего действия добавок, вводимых в бетонную смесь, на коррозию арматурной стали. Отметим, что фосфатные покрытия, осаждаемые из модифицированных растворов холодного фосфатирования, являются хорошей альтернативой применению ингибиторов коррозии.

*Список литературы*

1. Степанова, В. Ф. Защита от коррозии строительных конструкций – основа обеспечения долговечности зданий и сооружений / В. Ф. Степанова // Строит. материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2005. – № 3. – С. 16 – 19.
2. Румянцева, В. Е. Некоторые теоретические и прикладные аспекты противокоррозионной защиты арматурной стали / В. Е. Румянцева, С. В. Федосов // Строит. материалы. – 2010. – № 5. – С. 57 – 60.
3. Ингибиторы коррозии стали в железобетонных конструкциях / С. Н. Алексеев [и др.]. – М. : Стройиздат, 1985. – 272 с.
4. Томашев, Н. Д. Пассивность и защита металлов от коррозии / Н. Д. Томашев, Г. П. Чернова. – М. : Наука, 1965. – 208 с.
5. Розенфельд, И. Л. Ингибиторы коррозии / И. Л. Розенфельд. – М. : Химия, 1977. – 352 с.

*References*

1. Stepanova V.F. [The corrosion protection of structural elements is the basis for a long performance period for buildings and structures], *Stroitelnyie materialyi, oborudovanie, tehnologii XXI veka* [Construction materials, the equipment, technologies of XXI century], 2005, no. 3, pp. 16-19. (In Russ.)
2. Rumyantseva V.E., Fedosov S.V. [Some theoretical and applied aspects of anticorrosive protection of reinforcing steel], *Stroitelnyie materialyi* [Construction materials], 2010, no. 5, pp. 57-60. (In Russ.)
3. Alekseev S.N., Ratinov V.B., Rozental N.K., Kashurnikov N.M. *Ingibitoryi korrozii stali v zhelezobetonnyih konstruktsiyah* [Inhibitors of steel corrosion in reinforced concrete structures], Moscow: Stroyizdat, 1985, 272 p. (In Russ.)
4. Tomashev N.D., Chernova G.P. *Passivnost i zaschita metallov ot korrozii* [Passivity and protection of metals from corrosion], Moscow: Nauka, 1965, 208 p. (In Russ.)
5. Rozenfeld I.L. *Ingibitoryi korrozii* [Corrosion inhibitors], Moscow: Khimiya, 1977, 352 p. (In Russ.)

## **The Effect of Inhibitors Introduced into Concrete on Corrosion of Concrete Steel Reinforcement**

**V. E. Rumyantseva, V. S. Konovalova**

*Ivanovo State Polytechnic University, Ivanovo*

**Keywords:** concrete; corrosion; corrosion inhibitors; steel reinforcement.

**Abstract:** The influence of inhibitors introduced into the concrete on the anodic behavior and corrosion resistance of steels is considered. Using electrochemical methods polarization diagrams were obtained, the analysis of which allowed calculating key indicators of the corrosion rate. A comparative analysis of corrosion rate indicators of reinforced steel in solutions containing various inhibitors was made. The conducted studies and obtained data made it possible to predict the possibility of introducing inhibitors in an aggressive environment, give an idea of the anodic behavior of steel reinforcement in different environments and serve as a basis for clarifying the features of corrosion and ways of its elimination in reinforced concrete.

---

© В. Е. Румянцева, В.С. Коновалова, 2016