

УДК 624.046

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНГИБИТОРОВ КОРРОЗИИ
АРМАТУРЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

**ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ІНГІБІТОРІВ КОРОЗІЇ АРМАТУРИ
ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ**

**EVALUATION OF CORROSION INHIBITORS OF REINFORCEMENT IN
REINFORCED CONCRETE STRUCTURES**

Бондарь В.А., д. т. н., профессор (Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, г. Полтава), **Бондарь Л.В., к. т. н., доцент** (Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, г. Полтава)

Бондар В.О., д. т. н., професор (Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, м. Полтава), **Бондар Л.В., к. т. н., доцент** (Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, м. Полтава)

Bondar V.A., doctor of technical science, professor (Poltava national technical Yuri Kondratyuk university, Poltava), **Bondar L.V., candidate of technical science, associate professor** (Poltava national technical Yuri Kondratyuk university, Poltava)

Методом экспресс-анализа исследовано защитное действие отдельных ингибиторов, что позволило определить их эффективные концентрации в бетоне ЖБК. Определено максимальное пассивирующее действие некоторых ингибиторов коррозии на коррозионные процессы арматуры ЖБК в средах с хлоридами.

Методом експрес – аналізу досліджено захисну дію інгібіторів, що дало можливість визначити їх ефективні концентрації у бетоні ЗБК. Визначено максимальну пасивуючу дію деяких інгібіторів корозії на корозійні процеси арматури ЗБК в середовищах з хлоридами.

The authors developed a method of rapid analysis of the protective action some inhibitors. This method allowed us to determine their effective concentration in concrete structures. The article defined maximum neutralizing effect of some corrosion inhibitors given concentration on corrosion processes in reinforcement in environments with chlorides.

Ключевые слова:

Арматура железобетонных конструкций, ингибиторы коррозии, концентрации ингибиторов.

Арматура залізобетонних конструкцій, інгібітори корозії, концентрації інгібіторів.

Reinforcement, corrosion inhibitors, inhibitor concentration.

Одним из эффективных способов защиты арматуры от коррозии является использование ингибиторов коррозии металла как добавки к бетону, которые позволяют существенно снизить проницаемость бетона, повысить его пассивирующую способность.

Известно значительное количество таких добавок к бетону. К неорганическим ингибиторам относятся нитраты, хроматы, фосфаты, бораты, силикаты. Органичные ингибиторы коррозии – это вещества растительного и животного происхождения (агар-агар, желатин, крахмал и др.), органические вещества, что содержат полярные группы (амины и их соли), альдегиды и другие соединения.

На сегодняшний день выявлены их основные свойства, разработаны технологии их изготовления и введения. В виду значительного количества ингибиторов коррозии, их различных свойств, различных условий использования появляется задача определения их эффективности в тех или других условиях.

Выявить эффективность действия ингибиторов в условиях агрессивных сред возможно по мере потери веса фрагмента арматурных стержней в бетонных образцах, в состав бетона которых вводят различные виды ингибиторов. Сравнительные испытания проводят в режиме увлажнения теми или иными агрессивными растворами на протяжении 3, 6, 12 месяцев.

Учитывая, что процесс коррозии стали в бетоне имеет электрохимическую природу, выявить эффективность ингибиторов возможно используя электрохимические методы [3].

Наиболее распространенным является метод снятия поляризационных кривых. При этом фрагменты арматурных стержней в бетонных образцах с ингибитором коррозии, помещают в исследуемый агрессивный раствор и поляризуют постоянным электрическим током. Полученные таким образом поляризационные кривые позволяют определить стационарный потенциал арматуры, потенциал пассивации, потенциал пробоя пассивной пленки, ток пассивации. По данным параметрам разработаны критерии, характеризующие состояние арматуры в образце (пассивное, слабая коррозия, интенсивная коррозия).

Оценить защитное действие ингибитора возможно по замерам стационарных потенциалов арматуры в бетоне с ингибитором. Обычно измеряют разницу потенциалов поверхности арматуры и специального электрода сравнения (чаще медносльфатного).

По данным [4] сталь в бетоне с хлоридами остается пассивной, если потенциал по отношению к насыщенному колдомельному электроду выше $-0,22\text{В}$. По другим данным [5] вероятность коррозии арматуры складывает 95% при потенциалах ниже $-0,35\text{В}$ по отношению к медно сульфатному электроду сравнения.

Оценивая рассмотренные методы возможно установить следующее. Гравиметрические методы исследований трудоемкие. Общая продолжительность испытаний может продолжаться от нескольких месяцев до нескольких лет.

Метод снятия поляризационных кривых более приемлемый для оценки пассивирующего действия бетона, однако он не дает информации о продолжительности пассивирующего действия и скорости коррозии арматуры в бетоне.

Относительно метода измерения стационарных потенциалов следует подчеркнуть, что величина стационарного потенциала есть результирующей от потенциалов анодных и катодных реакций, одновременно протекающих на поверхности металла. Изменение интенсивности какой-либо из них влияет на значения стационарного потенциала. Например, насыщение бетона водой замедляет подведение кислорода к поверхности стали в бетоне, затрудняет катодную реакцию и смещает стационарный потенциал в сторону значений потенциала анодных реакций, то есть снижает его [2]. Таким образом, стационарный потенциал не может служить однозначной характеристикой состояния стали в бетоне.

Как видно из анодной поляризационной кривой (рис. 1) [1] на стали под бетонным покрытием в растворах, например, хлоридов при потенциале $+300\text{ мВ}$ начинаются активные коррозионные процессы (плотность тока резко нарастает). Таким образом, эффективность действия ингибитора, возможно определить по времени удержания минимальной скорости коррозии (плотности тока).

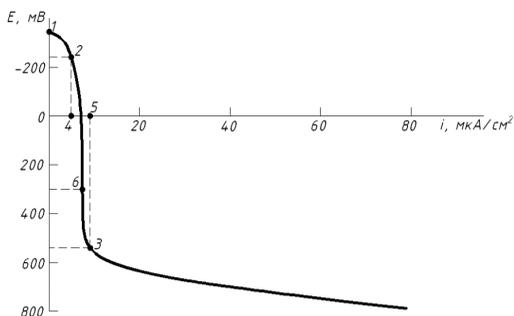


Рис. 1.- Анодная поляризационная кривая стали в бетоне.
1 – $E_{ст}$; 2 – $E_{пас}$; 3 – $E_{пр}$; 4 – $i_{пас}$; 5 – $i_{пр}$; 6 – $i_E = +300\text{ мВ}$ (ток при потенциале $+300\text{ мВ}$).

В данной работе исследовались три ингибитора: нитрит натрия (NaNO_2), ортофосфат натрия (Na_3PO_4) и бихромат калия ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) в хлоридной среде.

В качестве агрессивной среды выбрано хлорид кальция. Хлорид кальция выбранный в качестве агрессивной среды не случайно. Во-первых это стандартное общепринятое вещество для подобных исследований, во-вторых хлорид кальция часто используется в качестве ускорителя твердения бетона.

Установка для исследования (рис. 2) состоит из программатора ПР-8, потенциостата ПИ-50-1 и электрохимической ячейки.

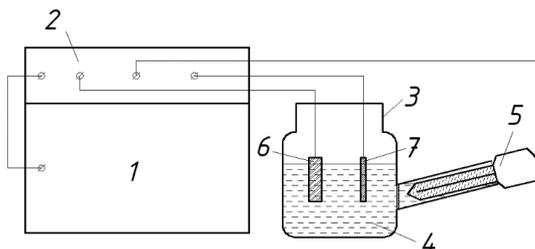


Рис. 2. Установка для проведения исследования

- 1 – программатор ПР-8; 2 – потенциостат ПИ-50-1; 3 – электрохимическая ячейка;
4 – насыщенный раствор $\text{Ca}(\text{OH})_2$ с ингибитором; 5 – электрод сравнения
заполненный насыщенным раствором KCl ; 6 – вспомогательный электрод;
7 – рабочий электрод.

Испытания проводили в щелочном растворе, близком по значениям pH к жидкой фазе бетона. Раствор $\text{Ca}(\text{OH})_2$ готовили за сутки до испытания и хранили в плотно закрытом сосуде. Для опыта было выделено 100 мл раствора $\text{Ca}(\text{OH})_2$, дополнительно вводили 1 – 2 г $\text{Ca}(\text{OH})_2$, в который добавляли расчетное количество раствора ингибитора. В качестве агрессивной среды использовали 3-х % хлорид кальция.

Стальной электрод заглубляли в раствор $\text{Ca}(\text{OH})_2$ с ингибитором определенной концентрации. С помощью программатора через потенциостат накладывали потенциал +300 мВ по хлорсеребряному электроду.

Через 10 мин. определяли потенциал рабочего электрода (10 мин. – минимальное время, на протяжении которого наблюдается относительная стабилизация потенциала) и накладывали потенциал +300 мВ относительно хлорсеребряного электрода сравнения и измеряли плотность тока, который протекает через поверхность электрода. Через 25 мин. добавляли раствор CaCl_2 отдельными порциями так, чтобы концентрация CaCl_2 в растворе электролита увеличивалась на 0,03 % через каждую минуту и устанавливали ту концентрацию CaCl_2 , при которой плотность тока резко увеличивается, что свидетельствует о развитии коррозионного процесса.

Было установлено, что сразу после накладывания потенциалу +300 мВ плотность тока резко падает до номинального значения (для NaNO_2 – 0,52 – 1,06 mA/cm^2 ; для Na_3PO_4 – 0,27 – 0,61 mA/cm^2 ; для $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ – 0,36 – 6,11

мА/см²). Далее, несмотря на увеличение концентрации CaCl₂, наблюдается постоянная величина плотности тока, по времени удержания которого можно судить о пассивирующих свойствах данного ингибитора. Так для NaNO₂ при концентрациях 1, 2 и 3% соответственно 5, 8 и 10 мин.; для Na₃PO₄ – соответственно 3, 4 и 11 мин.; для K₂Cr₂O₇ – соответственно 3, 3 и 5 мин.

Дальнейшее увеличение концентрации CaCl₂ приводит к росту плотности тока, что свидетельствует о нарушении пассивирующей пленки и коррозии арматуры. Максимально допустимой считают такую концентрацию хлоридов, при которой величина тока начинает увеличиваться. Показания миллиамперметра снимали каждую минуту. При плотности тока 15 – 20 мА/см², что отвечает активному растворению металла и появлению ржавчины, эксперимент останавливали.

В таблице 1 приведены результаты исследований, которые показывают при каких концентрациях CaCl₂ сталь в растворах с ингибиторами пассивна.

Таблица 1

Концентрации ингибиторов для пассивации стали

Ингибитор	Концентрация ингибитора		
	1%	2%	3%
NaNO ₂	0,35	0,9	0,9
Na ₃ PO ₄	0,24	0,12	0,9
K ₂ Cr ₂ O	0,3	0,33	0,15

Из полученных данных можно сделать вывод, что нитрит натрия имеет наилучшее пассивирующее действие в исследуемой среде. Лишь при концентрации 3% он незначительно уступает ортофосфату натрия.

Бихромат калия показал наихудшие значения во всех трех экспериментах, поэтому его использование в данных условиях можно считать нецелесообразным.

Таким образом, разработано сравнительно быстрый метод оценки эффективности ингибиторов коррозии арматуры железобетонных конструкций в агрессивных средах. Метод позволяет определить количество агрессивного компонента (в данном случае CaCl₂), который вызывает коррозию арматуры при заданном составе ингибитора в бетоне. Так же метод позволяет определить количество ингибитора, который необходимо ввести в бетон для исключения коррозионного процесса на арматуре.

1. Алексеев С.Н., Розенталь Н.К., Катаев И.Г. Изучение коррозии стали в бетоне, погруженном в раствор электролита. – В кн.: Защита от коррозии строительных конструкций и повышение их долговечности. М., 1969. 2. Алексеев С.Н., Розенталь Н.К. Коррозионная стойкость железобетонных конструкций в агрессивной промышленной среде. М., 1976. 3. Розенфельд И.Л., Жигалова К.А. Ускоренные методы коррозионных испытаний металлов (теория и практика). М., 1966. 4. Stratfull R.F. Half-cell potentials and the corrosion of steel in concrete. USA California, 1973. 5. Van Daveer I.R. Techniques of Evaluating Reinforced Concrete Bridge Decks. I.A.C.I., 1975.

