

УДК 691:620.179.1

### ВЛИЯНИЕ ДИАМЕТРА И МАРКИ СТАЛИ АРМАТУРЫ НА ЕЕ ФЕРРОМАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА

**Г.С. Чикулаев**

Белорусский национальный технический университет, Минск

e-mail: chikulaevgs@mail.ru

*Представлены результаты экспериментальных исследований влияния диаметра и марки стали арматуры на показания прибора, позволяющего определить степень коррозионного состояния арматуры в железобетоне неразрушающим методом. В основе данного метода неразрушающего контроля коррозионного состояния арматуры железобетонных изделий и конструкций лежит то что в определенной области генерируемых частот ферромагнитные свойства самой стали и продуктов ее коррозии различаются. В связи с этим целью проведенных экспериментов было выявление зависимостей при использовании прибора, основанного на частотно-ферромагнитном методе оценки коррозионного состояния арматуры.*

**Ключевые слова:** Коррозия арматуры, прибор, неразрушающий метод, диаметр арматуры, марка стали.

### INFLUENCE OF THE DIAMETER AND THE GRADE OF THE CONCRETE STEEL ON ITS FERROMAGNETIC PROPERTIES

**G. Chikulaev**

Belarusian National Technical University, Minsk

e-mail: chikulaevgs@mail.ru

*The article presents the results of experimental studies of the influence of the diameter and grade of the concrete steel on the instrument readings, which allows to determine the degree of corrosion state of reinforcement in reinforced concrete by a non-destructive method. The basis of this method of non-destructive testing of the corrosion state of reinforcement of reinforced concrete products and structures lies in the fact that in a certain region of the generated frequencies the ferromagnetic properties of the steel itself and its corrosion products differ. In this regard, the purpose of the experiments was to identify dependencies when using a device based on the frequency difference-ferromagnetic method for assessing the corrosion state of reinforcement.*

**Keywords:** Corrosion of reinforcement, device, non-destructive method, diameter of reinforcement, steel grade.

**Введение.** Железобетон – это строительный материал, который позволяет возводить различные здания и сооружения. Большинство железобетонных конструкций и сооружений возведенных в начале XX века хорошо сохранились до наших дней, что характеризует железобетон как достаточно долговечный материал. Но к сожалению, известны так же случаи как частичного так и полного разрушения железобетонных

конструкций. Чаще всего разрушение конструкций было вызвано воздействием внешних факторов. Разрушение конструкций может протекать по двум схемам. По первой схеме вначале следует разрушение бетона, который выполняет защитные функции по отношению к арматуре расположенной внутри тела бетона. После разрушения защитного слоя бетона происходит разрушение арматуры и последующего разрушения всей конструкции. По второй схеме вначале происходит разрушение арматуры, с последующим разрушением бетона. Арматура вызывает разрушение бетона из-за того, что в процессе коррозии выделяется ржавчина, которая в 2-3 раза занимает больший объем чем первоначальная арматура [1,4]. Данный процесс разрушения ржавчиной бетона является механическим. Коррозионное разрушение арматуры может проходить в виде (общей) коррозии, которая охватывает всю поверхность металла и бывает равномерной или неравномерной по глубине или местной коррозии, поражающей лишь отдельные участки поверхности арматуры (пятна, язвы, коррозионные трещины) [2,5]. Наиболее опасна коррозия, которая развивается вглубь арматуры, а не по поверхности, данный вид коррозии является питтинговой. С ростом объема ржавчины, растет количество трещин на поверхности конструкций, в результате растет скорость протекания коррозии арматуры и последующего разрушения конструкции.

На начальной стадии процесс разрушения арматуры визуально не виден, так как арматура расположена в массиве конструкции. Поэтому существует необходимость в оценивании коррозионного состояния арматуры в конструкции неразрушающим способом. На данный момент на кафедре «Технология бетона и строительные материалы» БНТУ разработан частотный разностно-ферромагнитный метод оценки коррозионного состояния арматуры. Данный метод основан на том что в определенной области генерируемых частот ферромагнитные свойства самой стали и продуктов ее коррозии различаются [3]. И этот факт позволяет установить зависимости ухода частоты от коррозионных потерь стали. На основе данного метода разрабатывается прибор «измеритель степени коррозии арматуры» (ИСКА), позволяющий осуществлять две функции – вначале устанавливается толщина защитного слоя бетона, а уже с ее учетом – степень коррозии арматуры.

Точность оценки коррозионного состояния арматуры (степени ее поражения) данным прибором непосредственно зависит от различных факторов, связанных с состоянием арматуры (наличие или отсутствие коррозии, разновидности образующихся продуктов коррозии и плотности коррозионных «новообразований») в бетоне, особенностями ее химического состава (содержанием в железе углерода и легирующих добавок, отражаемого маркой стали), различием в диаметре сечения арматурных элементов, а также толщины защитного слоя бетона конструкции.

**Влияние диаметра и марки стали арматуры на ее ферромагнитные свойства.** Для выявления оказываемого влияния диаметра арматуры на ее ферромагнитные свойства были проведены испытания. Из арматурной стали Ст.3, Ст.5 с начальным диаметром 30 мм были изготовлены стержни (по три стержня для удобства эксперимента) следующих диаметров: 2мм, 4мм, 6мм, 8мм, 10 мм, 12мм, 14мм, 16мм, 18 мм, 20мм, 24мм и 30 мм с длиной 300 мм. Данные стержни поочередно устанавливались по центру площадки и при помощи датчика прибора ИСКА, устанавливаемого на оргстекло, снимались показания измерительного прибора на каждом стержне. В результате были получены следующие данные (таблица 1).

Таблица 1. – Влияние диаметра и марки стали на измерение степени коррозии

Диаметр стержня, мм	Сталь Ст.3		Сталь Ст.5	
	Показания прибора $x_i$ , мг	$ \bar{x} - x_i $ , мг	Показания прибора $x_i$ , мг	$ \bar{x} - x_i $ , мг
2	49	9,7	51	9,8
4	50	8,7	52	8,8
6	51	7,7	53	7,8
8	52	6,7	54	6,8
10	53	5,7	55	5,8
12	55	3,7	57	3,8
14	57	1,7	59	1,8
16	59	0,3	61	0,2
18	61	2,3	63	2,2
20	64	5,3	66	5,2
24	70	11,3	73	12,2
30	83	24,3	85	24,2

Как видно из полученных данных мы получили разброс показаний в пределах 12–15% в связи с изменением диаметра образцов.

Для стали Ст.3 среднее арифметическое показаний прибора для разных диаметров стали получилось равным 58,7 мг. В результате погрешность измерения прибором ИСКА, учитывающая разные диаметры для стали Ст.3, составила:

$$\Delta x = \frac{\sum_{i=1}^n |x - x_i|}{n} = \frac{87,4}{12} = 7,28 \text{ мг.} \quad (1)$$

Для стали Ст.5 среднее арифметическое показаний прибора для разных диаметров стали получилось равным 60,8 мг, а погрешность измерения прибором ИСКА, учитывающая разные диаметры для стали Ст.5 составила:

$$\Delta x = \frac{\sum_{i=1}^n |x - x_i|}{n} = \frac{88,6}{12} = 7,38 \text{ мг.} \quad (2)$$

Из графика рисунка 3.5 следует, что при изменении диаметра арматуры от 2 до 10 мм показания прибора существенно не изменяются. Сравнительно малая погрешность измерений при изменении диаметра арматуры в пределах 2-10 мм объясняется, в первую очередь, относительно небольшим изменением зазора между датчиком и измеряемым стержнем.

В пределах изменения диаметра 12-30 мм погрешность измерений существенно возрастает вследствие двух причин: во-первых, значительного уменьшения зазора между датчиком и измеряемым стержнем и, во-вторых, резкого возрастания (из-за большой массы стержня) вносимых в контур измерительного генератора активных потерь, т.е. за счет уменьшения добротности контура.

Для изучения влияния вида и марки арматуры на ее ферромагнитные свойства были взяты стержни арматуры Ст.3, Ст.5, 35ГС, 18Г2С и 25Г2С диаметром 10мм и длиной 300мм.

Данные стержни поочередно устанавливались по центру площадки и при помощи датчика, устанавливаемого на оргстекло, снимались показания измерительного прибора на каждом стержне. В результате были получены следующие данные (таблица 2).

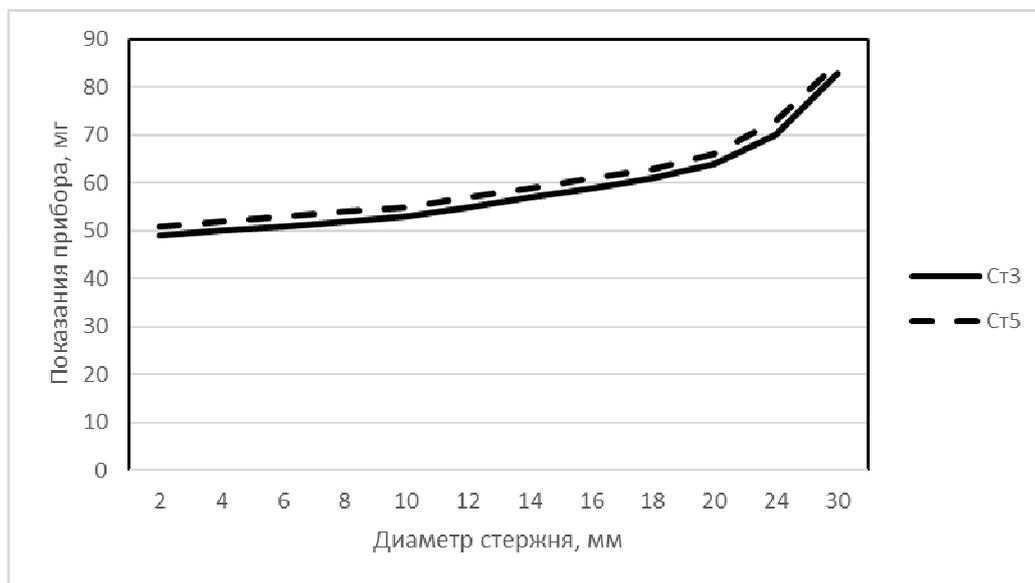


Рисунок 1. – Влияние диаметра стержня и марки стали на показания прибора

Таблица 2. – Влияние марки стали на измерение степени коррозии

Марка стали	Показания прибора $x_i$ для образца, мг					Среднее арифметическое показаний прибора, мг
	№1	№2	№3	№4	№5	
Ст.3	64	62	63	62	64	63,0
Ст.5	66	68	67	66	65	66,4
35ГС	71	72	72	71	72	71,6
18Г2С	73	74	75	74	74	75,0
25Г2С	76	77	77	78	80	77,6

Как видно из полученных данных начальные показания прибора для стержней из углеродистых и легированных сталей 35ГС, 18Г2С, 25Г2С были выше, чем для обычных конструкционных Ст.3, Ст.5. Это можно объяснить тем что электропроводность стали тем ниже, чем выше содержание углерода, перешедшего в твердый раствор. Аналогичное действие оказывают легирующие добавки. Поэтому в случае исследования углеродистых и легированных сталей, благодаря меньшим потерям на вихревые токи магнитная проницаемость их будет выше, чем для широко применяемых обычных конструкционных сталей Ст.3 и Ст.5.

**Заключение.** Проведенные эксперименты выявили что диаметр арматуры оказывает влияние на ферромагнитные свойства арматуры, так с увеличением диаметра увеличивается и показания прибора из-за резкого возрастания вносимых в контур измери-

тельного генератора активных потерь. Так же было выявлено что арматура из углеродистых и легированных сталей оказывает большее влияние на показания прибора чем конструкционные.

Проведенные эксперименты по выявлению влияния диаметра и марки стали арматуры, оказываемого на показания прибора ИСКА, позволяют сделать вывод в перспективности использования прибора, основанного на частотном разностно-ферромагнитном методе оценки. Но необходимо дальнейшие проведения экспериментов для наработки большего массива данных которые позволят определять коррозионное состояние арматуры.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев, С.Н. Коррозия и защита арматуры в бетоне / С.Н. Алексеев. – Москва: Стройиздат, 1968. – 233 с.
2. Алексеев, С.Н. Долговечность железобетона в агрессивных средах/ С.Н. Алексеев, Ф.М. Иванов, С. Модры, П. Шиссль. – Москва: Стройиздат, 1990. – 320 с.
3. Барташевич, А.А. Новый неразрушающий метод контроля степени коррозии стальной арматуры / А.А. Барташевич, Л.Я. Френкель, В.В. Бабицкий // Бетон и железобетон. –1974. – № 12. – С. 36-38.
4. Жарский, И.М. Коррозия и защита металлических конструкций и оборудования / И.М. Жарский, Н.П. Иванова, Д.В. Куис, Н.А. Свидуневич. – Минск: Высшая школа, 2012. – 303 с.
5. Пухонто, Л.М. Долговечность железобетонных конструкций инженерных сооружений / Л.М. Пухонто. – Москва: Издательство АСВ, 2004. – 424 с.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС:  
ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ**

ЭЛЕКТРОННЫЙ СБОРНИК СТАТЕЙ  
II МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

(Новополоцк, 28–29 ноября 2019 г.)

Новополоцк  
Полоцкий государственный университет  
2020

УДК 72:624/628+69(082)

Редакционная коллегия:

Л. М. Парфенова (председатель),  
А. С. Катульская (отв. секретарь), Е. Д. Лазовский,  
Н. В. Давыденко, Р. М. Платонова

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС: ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ**  
[Электронный ресурс] : электронный сборник статей II международной научной конференции, Новополоцк, 28–29 нояб. 2019 г. / Полоцкий государственный университет ; под ред. Л. М. Парфеновой. – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т, 2020. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

ISBN 978-985-531-701-3.

Рассмотрены вопросы архитектуры и градостроительства в современных условиях, прогрессивные методы проведения инженерных изысканий и расчета строительных конструкций. Приведены результаты исследований ресурсо- и энергосберегающих строительных материалов и технологий, энергоресурсосберегающие и природоохранные инновационные решения в инженерных системах зданий и сооружений. Проанализированы организационные аспекты строительства и управления недвижимостью, проблемы высшего архитектурного и строительного образования.

Для научных и инженерно-технических работников исследовательских, проектных и производственных организаций, а также преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов строительных специальностей учреждений образования.

*Сборник включен в Государственный регистр информационного ресурса.  
Регистрационное свидетельство № 3671815379 от 26.04.2018.*

211440, ул. Блохина, 29, г. Новополоцк, Беларусь  
тел. 8 (0214) 53 53 92, e-mail: a.bakatovich@psu.by; l.parfenova@psu.by

**№ госрегистрации 3671815379.**

**ISBN 978-985-531-701-3**

@Полоцкий государственный университет, 2020

2 – дополнительный титульный экран – производственно-технические сведения

Для создания текстового электронного издания «Архитектурно-строительный комплекс: Проблемы, перспективы, инновации» использованы текстовый процессор Microsoft Word и программа Adobe Acrobat XI Pro для создания и просмотра электронных публикаций в формате PDF.

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС:  
ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ**

ЭЛЕКТРОННЫЙ СБОРНИК СТАТЕЙ  
II МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

(Новополоцк, 28–29 ноября 2019 г.)

Технический редактор *Т. А. Дарьянова*.  
Компьютерная верстка *Т. А. Дарьяновой*.  
Компьютерный дизайн обложки *Е. А. Балабуевой*.

---

Подписано к использованию 09.09.2020.  
Объем издания: 21,05 Мб. Тираж 3 диска. Заказ 420.

---

Издатель и полиграфическое исполнение:  
учреждение образования «Полоцкий государственный университет».

Свидетельство о государственной регистрации  
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/305 от 22.04.2014.

ЛП № 02330/278 от 08.05.2014.

211440, ул. Блохина, 29,  
г. Новополоцк,  
Тел. 8 (0214) 59-95-41, 59-95-44  
<http://www.psu.by>