

УДК 691.32; 691.714

**Смирнов Д.С.** – кандидат технических наук, доцент

E-mail: denis27111974@yandex.ru

**Камалова З.А.** – кандидат технических наук, доцент

**Рахимов Р.З.** – доктор технических наук, профессор

E-mail: rakhimov@kgasu.ru

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

Адрес организации: 420043, Россия, Казань, ул. Зеленая, д. 1

## Оценка коррозионной стойкости стальной арматуры в модифицированном бетоне

### Аннотация

Несмотря на спад производства бетона, вызванный мировым экономическим кризисом, он остается самым востребованным строительным материалом, а железобетонные конструкции являются базой современного индустриального наземного и подземного строительства. От других строительных материалов его отличает технологичность, высокие механические свойства и долговечность. Улучшить данные характеристики позволяет применение модифицирующих добавок. Однако, следует отметить, что некоторые из применяемых добавок способны оказывать негативное влияние на арматуру.

В данной статье приводятся результаты испытаний коррозионной стойкости стальной арматуры в бетоне содержащего добавку пластифицирующего и водоредуцирующего действия «Plast» производства ООО «ХимФрост».

**Ключевые слова:** железобетон, стальная арматура, коррозия арматуры, долговечность железобетонных конструкций, коррозионные испытания.

Железобетонные конструкции являются базой современного индустриального наземного и подземного строительства, а бетон и железобетон самым востребованным строительным материалом. Несмотря на спад производства бетона, вызванный мировым экономическим кризисом, пик которого пришелся на 2009 год, объемы производства остаются весьма внушительными и для России составляет десятки млн. т. в год. По сравнению с другими строительными материалами железобетон более долговечен. При правильной эксплуатации железобетонные конструкции могут служить неопределенно длительное время без снижения несущей способности. Объясняется это тем, что прочность с течением времени в отличие от других материалов возрастает, а сталь в бетоне защищена от коррозии.

Бетон как материал для железобетонных конструкций должен обладать вполне определенными, наперед заданными свойствами: необходимой прочностью, хорошим сцеплением с арматурой, морозостойкостью, достаточной плотностью (непроницаемостью) для защиты арматуры от коррозии [1-3]. Основные пути повышения качества бетона и долговечности железобетонных конструкций заключаются в использовании высокотехнологического оборудования, современных технологий производства, применения качественных материалов и добавок индивидуального и полифункционального действия. Использование последних является весьма эффективным и экономичным способом улучшения технологических и физико-механических свойств бетона [3-7]. На сегодняшний день практически весь бетон производится с применением модифицирующих добавок. Количество производимых в России и за рубежом модификаторов для бетона предоставляет технологам широчайший выбор для регулирования свойств бетонной смеси и бетона [8]. Одним из распространенных направлений улучшения качества бетона является повышение пластичности смеси с одновременным повышением плотности и прочности бетона. Большинство производителей товарного бетона и железобетонных конструкций решают эту задачу путем введения в состав бетона комплексных добавок или полифункциональных модификаторов (ПФМ) улучшающих целый ряд его физико-механических, а также реологических свойств или обеспечивающих синергетическое воздействие на одно из свойств. Однако выбор того или иного модификатора только с учетом основного эффекта действия на бетон является не совсем верным решением. Необходимо учитывать весь потенциал добавки. Некоторые из модификаторов способны оказывать побочное влияние на

свойства бетона или железобетонных конструкций, среди которых коррозионное воздействие на арматуру является, пожалуй, одним из самых опасных [9, 10].

В данной статье приводятся результаты испытаний коррозионной стойкости стальной арматуры в бетоне содержащего добавку пластифицирующего и водоредуцирующего действия «Plast» производства ООО «ХимФрост».

Для проведения исследований был использован метод коррозионных испытаний стальной арматуры в бетоне изложенный в ГОСТ 31383-2008 «Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Методы испытаний» и ГОСТ Р 52804-2007 «Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Методы испытаний». Оба стандарта практически дублируют друг друга, отличаясь лишь в количественных показателях при подготовке образцов к испытанию. Кроме того, в процессе испытаний отмечено ряд несоответствий имеющиеся в стандартной методике, устранение которых привело к необходимости внесения определенных корректировок при проведении работ.

Метод коррозионных испытаний стальной арматуры в бетоне является прямым методом и устанавливает характер коррозионных поражений стали в бетоне и массу корродированной стали. Метод распространяется на стальную арматуру и бетоны, приготовленные на цементе на основе портландцементного клинкера. Метод испытаний основан на оценке характера и степени коррозионного поражения стальной арматуры при хранении образцов в условиях переменного увлажнения и высушивания и сравнении полученных результатов с установленными критическими значениями.

На первом этапе исследований готовили бетонную смесь, состав которой приводится в табл. 1 и соответствует ТУ2610-037-02069622.

Таблица 1

#### Состав бетона

Материалы	Содержание материалов на 1 м <sup>3</sup> бетонной смеси	
	состав с добавкой	состав без добавки
Цемент ЦЕМ II 32,5 Б	350 кг	350 кг
Песок Мкр=2,5	800 кг	800 кг
Щебень 5-10 мм	1100 кг	1100 кг
Вода	203 л	203 л
Добавка «PLAST»	2,45л	-

Согласно требованиям стандартов, по которым проводились испытания на коррозионную стойкость арматуры в бетоне, размеры бетонных образцов должны составлять 70×70×140 мм (при наличии в бетоне фракций щебня до 10 мм) или 100×100×200 мм (при наличии в бетоне фракций щебня 10-20 мм) и соответствовать ГОСТ 22685-89 «Формы для изготовления контрольных образцов бетона. Технические условия» и ГОСТ 10180-90 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам».

Однако указанными стандартами формы и образцы таких размеров не предусмотрены. Поэтому нестандартные формы размером 70×70×140 мм были изготовлены в лабораторных условиях кафедры.

Зерна заполнителя размером более 10 мм отделяли из бетонной смеси на сите размером ячеек 10 мм. Из смеси формовали три образца без стержней, девять образцов бетона с добавкой и девять образцов бетона без добавки, каждый с двумя стержнями из арматурной стали. Стержни устанавливали на растворные призмы, изготовленные из цементно-песчаного раствора того же состава, что и растворная часть испытываемого бетона.

На втором этапе исследований готовили стальные стержни. Согласно требованиям ГОСТ 31383-2008 испытанию подвергаются стержни диаметром 4-6 мм и длиной (100 ± 2) мм для образцов размерами 70×70×140 мм и длиной (140 ± 2) мм – для образцов размерами 100×100×200 мм. При этом толщина защитного слоя составляет 20 и 30 мм соответственно.

По ГОСТ Р 52804-2007 испытываются стержни диаметром 3-6 мм и длиной (120 ± 2) в образцах размером 70×70×140 мм, а толщина защитного слоя составляет всего 10 мм. При проведении исследований при подготовке образцов приняты показатели по ГОСТ Р 52804-2007.

Для этого готовили 36 стальных стержней диаметром 4-5 мм и длиной 120 мм из высокопрочной проволоки класса Вр-I. Поверхность образцов, включая торцы стержня, шлифовали абразивной шкуркой до 7-го класса чистоты и перед укладкой в бетон обезжировали ацетоном. Образцы взвешивали с точностью до 0,0001 г.

Изготовленные бетонные образцы твердели в нормальных условиях при температуре 20°C и влажности 95 %.

На следующем этапе по истечении 28 суток твердения образцы испытывали в режиме переменного увлажнения и высушивания в течение 3 и 6 мес.

Для этого неармированные образцы взвешивали, помещали в питьевую воду и, периодически (один раз в сутки) извлекая из воды, взвешивали. Результаты приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Результаты водонасыщения образцов**

Периодичность испытаний	масса образцов с добавкой, гр.			масса образцов без добавки, гр.		
	1	2	3	1	2	3
до водонасыщения	1561,35	1504,91	1556,94	1551,62	1528,76	1557,27
через 12 ч	1587,91	1527,57	1581,93	1576,49	1558,07	1578,26
через 24 ч	1589,67	1528,84	1583,98	1578,26	1558,84	1580,64
через 36 ч	1590,17	1529,08	1583,84	1578,61	1558,89	1579,77
через 60 ч	1591,61	1530,92	1584,73	1578,7	1559,97	1580,97
увеличение массы, между последним и предпоследним испытаниями	0,09	0,12	0,06	0,01	0,07	0,08

Согласно ГОСТ Р 52804-2007 насыщение образцов водой продолжают до тех пор, пока масса образцов не перестанет увеличиваться более чем на 0,1 % первоначальной. Выполнить такие условия невозможно, т.к. уже через 12 часов масса образцов увеличивается более чем на 1,5 %, а периодичность взвешивания составляет 24 часа. Поэтому насыщение образцов водой продолжали до тех пор, пока масса образцов не перестала увеличиваться более чем на 0,1 % от последнего взвешивания. Этот период приняли как продолжительность насыщения образцов. Согласно полученным результатам период насыщения приняли равным 3 суткам.

Затем образцы помещали в сушильный шкаф при температуре 60°C и, периодически взвешивая, высушивали до первоначальной массы. Результаты приведены в табл. 3.

Таблица 3

**Результаты высушивания образцов**

Периодичность испытаний	масса образцов с добавкой, гр.			масса образцов без добавки, гр.		
	1	2	3	1	2	3
после водонасыщения	1591,61	1530,92	1584,73	1578,7	1559,97	1580,97
через 12 ч	1545,65	1488,68	1541,11	1534,98	1511,94	1536,91
через 24 ч	1541,89	1483,12	1538,26	1531,98	1508,91	1534,03

Этот период приняли как продолжительность высушивания образцов. Период высушивания составил 24 часа.

Через 28 суток после изготовления, а также через 3 и 6 мес. хранения в условиях увлажнения и высушивания из трех образцов бетона извлекали стержни и оценивали характер коррозионного поражения арматуры и массу образцов.

При описании характера коррозионного поражения фиксировалась площадь коррозионного поражения в % общей площади поверхности, наличие налета и/или слоистой ржавчины, язвенного поражения, глубину коррозионного поражения.

Продукты коррозии и остатки цементного камня на поверхности стальных стержней удаляли травлением в течение  $(25 \pm 5)$  мин в 10 %-ном растворе соляной кислоты с добавлением 1 % ингибитора уротропина от массы соляной кислоты. После растворения продуктов коррозии стержни промывали дистиллированной водой и погружали на 5 мин в насыщенный раствор ингибитора нитрита натрия. Образцы извлекали из раствора, осушали поверхность фильтровальной бумагой и высушивали.

Одновременно с испытуемыми стержнями в травильный раствор укладывали три аналогичных предварительно взвешенных, не подвергавшихся испытаниям контрольных стержней. По завершении травления основных образцов контрольные образцы также промывали, погружали на 5 мин в насыщенный раствор нитрита натрия, осушали тканью, высушивали и взвешивали.

Образцы взвешивали с точностью 0,0001 г.

Площадь поверхности стального стержня, соприкасающуюся с бетоном  $S$ , см<sup>2</sup>, рассчитывали по формуле:

$$S = \pi D l + 2\pi D^2,$$

где  $D$  – диаметр стального стержня, см;  $l$  – длина стального стержня, см.

Рассчитывали среднюю потерю массы контрольных образцов в процессе травления. Для этого определяли среднюю разность массы контрольных стержней до и после травления.

По результатам взвешивания испытуемых образцов до и после испытаний определяли потерю массы образцов за время испытаний. Результаты испытаний в возрасте 28 суток и 6 месяцев приведены в табл. 4 и 5 соответственно.

Таблица 4

#### Результаты испытаний после 28 суток хранения

№ обр.	Длина стержня, см	Диаметр стержня, см	Площадь стержня, см <sup>2</sup>	Площадь коррозионного поражения		масса образцов, гр.		Потеря массы при травлении, гр.	Средняя потеря массы, гр/м <sup>2</sup>
				см <sup>2</sup>	%	до испытания	после испытания		
стальные стержни, извлеченные из бетона с добавками									
1	12,2	0,5	20,72	0,35	1,689	16,6988	16,6951	0,0017	2,6057
2	12,3	0,5	20,88	0,25	1,197	16,6252	16,6203		2,3466
3	12,2	0,5	20,72	0,32	1,544	16,3786	16,3732		2,6057
4	12,3	0,5	20,88	0,43	2,059	16,5075	16,5017		2,7776
5	12,3	0,5	20,88	0,23	1,101	16,5268	16,522		2,2987
6	12,1	0,5	20,57	0,31	1,507	16,5621	16,5568		2,5769
					1,516	16,550	16,545		2,5352
стальные стержни, извлеченные из бетона без добавок									
1	12,3	0,5	20,881	0,36	1,724	16,8067	16,8021	0,0017	3,0171
2	12,1	0,5	20,567	0,24	1,167	16,5046	16,4987		2,8687
3	12,2	0,5	20,724	0,27	1,303	16,6069	16,6008		2,9434
4	12,3	0,5	20,881	0,19	0,910	16,8386	16,8342		2,1072
5	12,3	0,4	16,4536	0,19	1,155	10,7801	10,7756		2,7350
6	12,3	0,4	16,4536	0,25	1,519	10,6141	10,6093		2,9173
					1,296	14,692	14,687		2,7648

Таблица 5

**Результаты испытаний после 90 суток хранения  
в условиях попеременного увлажнения и высушивания**

№ обр.	Длина стержня, см	Диаметр стержня, см	Площадь стержня, см <sup>2</sup>	Площадь коррозионного поражения		масса образцов, гр.		Потеря массы при травлении, гр.	Средняя потеря массы, гр/м <sup>2</sup>
				см <sup>2</sup>	%	до испытания	после испытания		
<b>стальные стержни, извлеченные из бетона с добавками</b>									
1	12,2	0,5	20,72	1,42	6,852	16,5335	16,5284	0,014	8,9831
2	12,3	0,5	20,88	0,84	4,023	16,676	16,6626		6,4173
3	12,35	0,5	20,96	0,81	3,865	16,6574	16,6412		7,7292
4	12,3	0,5	20,88	1,11	5,316	16,7241	16,7082		7,6146
5	12,3	0,5	20,88	1,07	5,124	16,7714	16,7527		8,9555
6	12,2	0,5	20,72	0,6	2,895	16,7005	16,6887		5,6939
					4,679	16,677	16,664		7,5656
<b>стальные стержни, извлеченные из бетона без добавок</b>									
1	12,15	0,4	16,2652	0,495	3,043	10,5624	10,5542	0,012	12,3269
2	12,2	0,5	20,724	0,625	3,016	16,8702	16,854		7,8170
3	12,2	0,4	16,328	0,48	2,940	10,6387	10,617		13,2901
4	12,12	0,4	16,22752	0,54	3,328	10,5423	10,5337		5,2996
5	12,2	0,5	20,724	0,36	1,737	16,7421	16,7341		3,8603
6	12,2	0,4	16,328	0,21	1,286	10,6295	10,6211		5,1445
					2,558	12,664	12,652		7,9564

Полученные результаты корректировали с учетом потери массы стержней при травлении кислотой. Для этого из рассчитанной потери массы основных образцов вычитали среднее значение потери массы контрольных образцов.

По результатам коррозионных испытаний можно сделать заключение о защитном действии бетона по отношению к стальной арматуре. Согласно ГОСТ Р 52804-2007 бетон обладает защитным действием по отношению к стальной арматуре, если после 6 мес. испытаний стальная арматура не имеет на поверхности налета ржавчины и коррозионных язв, а потеря массы – не превышает  $10^{-3}$  г/см<sup>2</sup> (10 г/м<sup>2</sup>).

### **Заключение**

Согласно полученным результатам, добавка «PLAST» пластифицирующего и водоредуцирующего действия не оказывает отрицательного влияния на коррозионную стойкость арматуры в бетоне. Потеря массы для образцов арматуры в бетоне без добавки через 180 суток составила 9,1356 г/м<sup>2</sup>, а в бетоне с добавкой 9,3878 г/м<sup>2</sup>. Для обоих образцов результаты испытаний соответствуют требованиям ГОСТ Р 52804-2007 и не превышает 10 г/м<sup>2</sup>. Незначительно большая потеря массы образцов арматуры в бетоне с добавкой «PLAST» очевидно связана с тем, что при пластификации высвобождается иммобилизованная вода, что в дальнейшем приводит к перераспределению пористости в сторону увеличения капиллярных пор, а это, в свою очередь, увеличивает и проницаемость бетона.

### **Список библиографических ссылок**

1. Баженов Ю.М., Алимов Л.А. и др. Технология бетона, строительных изделий и конструкций. – М.: Изд-во АСВ, 2004. – 256 с.
2. Производство бетонных и железобетонных конструкций // Справочник. – М.: Новый век, 1998. – 384 с.

3. Баженов Ю.М. Технология бетона. – М.: Изд-во АСВ, 2000. – 500 с.
4. Касторных Л.И. Добавки в бетоны и строительные растворы. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2005. – 221 с.
5. Смирнов Д.С. Проектирование высокопрочных водонепроницаемых бетонов для Казанского метрополитена // Материалы 50-й Республиканской НТК. – Казань: КГАСА, 1999. – С. 65-67.
6. Рахимов Р.З., Габидуллин М.Г., Смирнов Д.С. Опыт подбора состава и технология твердения высококачественных бетонов для блоков кольца обделки Казанского метрополитена // Вестник отделения строительных наук: РААСН. – М., 2000, Вып. 3. – С. 158-162.
7. Rachimov R.Z., Gabidullin M.G., Rachimova N.R., Rachimov M.M., Smirnov D.S. Hoop's blocks for the tube railway tunnel lining the base of the different kinds of the concretes and their production technology // International Conference Non-traditional cement & concrete. © Bilek and Keršner (eds). – Brno, 2011.
8. Изотов В.С., Соколова Ю.А. Химические добавки для модификации бетона. – М.: Изд-во «Палеотип», 2006. – 243 с.
9. Смирнов Д.С., Камалова З.А. Исследования и разработка мероприятий по восстановлению конструкций градирни // Известия КГАСУ, 2011, № 4. – С. 233-238.
10. Москвин В.М., Иванов Ф.М., Алексеев С.Н., Гузеев Е.А. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты. – М.: Стройиздат, 1980. – 536 с.

**Smirnov D.S.** – candidate of technical science, associate professor

E-mail: denis27111974@yandex.ru

**Kamalova Z.A.** – candidate of technical science, associate professor

**Rachimov R.Z.** – doctor of technical science, professor

E-mail: rakhimov@kgasu.ru

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

## Assessment of corrosion resistance of the steel armature in a modified concrete

### Resume

Despite the decline in the production of concrete caused by the global economic crisis, remains the most popular building material and concrete structures are the basis of modern industrial structural and civil engineering. From other building materials he has process ability, good mechanical properties and durability. Improved properties of concrete can be used modifiers. However, in this case, some of the additives used may have a negative impact on the steel of reinforcement.

This article presents the results of testing the corrosion resistance of reinforcement in concrete containing additives «Plast», production company «HimFrost», that reduce water consumption in concrete.

According to the obtained results, plasticizer «PLAST» has no adverse effects on the corrosion of reinforcement in concrete. Weight loss for samples of reinforcement in concrete without additives after 180 days amounted 9,1356 gr/m<sup>2</sup>, and in the concrete with the additive 9,3878 gr/m<sup>2</sup>. For both samples, the results of the test match the requirements of GOST R 52804-2007 and does not exceed 10 g/m<sup>2</sup>. Higher loss of mass of the samples reinforcement in the concrete with the additive «PLAST» is obviously connected with the fact that when plasticization is released water, which further leads to the redistribution of porosity increase of capillary pores, and this, in turn, increases the permeability of concrete.

**Keywords:** reinforced concrete, steel, corrosion of armature, durability of concrete structures, corrosion testing.

**Reference list**

1. Bazhenov Yu.M., Alimov L.A. Technology of concrete, building wares and constructions. – M.: ACB, 2004. – 256 p.
2. A production of concrete and reinforce-concrete constructions // Reference Book. – M.: the New century, 1998. – 384 p.
3. Bazhenov Yu.M. Technology of concrete. – M.: ACB, 2000. – 500 p.
4. Kastornich L.I. Additions in concretes and building solutions. – Rostov-on-Don: Phoenix, 2005. – 221 p.
5. Smirnov D.S. Design of high-strength waterproof concrete for the Kazan metro // materials of the 50-th Republican STC. – Kazan: KGASU, 1999. – P. 65-67.
6. Rachimov R.Z., Gabidullin M.G., Smirnov D.S. Experience of selection of composition and technology of hardening of high-quality concretes for the blocks of ring of lining of Kazan underground passage // Announcer of separation of building sciences, RAABS. – M., 2000, № 3. – P. 158-162.
7. Rachimov R.Z., Gabidullin M.G., Rachimova N.R., Rachimov M.M., Smirnov D.S. Hoop's blocks for the tube railway tunnel lining the base of the different kinds of the concretes and their production technology // International Conference Non-traditional cement & concrete. © Bilek and Keršner (eds). – Brno, 2011.
8. Izotov V.S., Sokolova Yu.A. Chemical additions for modification of concrete – M.: «Palaeotype», 2006. – 243 p.
9. Smirnov D.S., Kamalova Z.A. Research and development of measures for the restoration of concrete structures of cooling towers // News of the KSUAE, 2011, № 4. – P. 233-238.
10. Moskvин V.M., Ivanov F.M., Alekseev S.N., Guzeev E.A. Corrosion of concrete and reinforced concrete, methods of their protection. – M.: Stroyizdat, 1980. – 536 p.