

**Н. В. КОНДРАТЬЕВА**  
**А. Ю. АЛФИМЕНКОВА**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

**RESEARCH OF WAYS TO INCREASE CORROSION RESISTANCE IN REINFORCED CONCRETE CONSTRUCTIONS**

*Приведены результаты первых двух серий исследований способов повышения коррозионной стойкости железобетонных конструкций с первичной защитой в виде добавки ацетоноформальдегидной смолы АЦФ-75 и с вторичной защитой двухкомпонентной смолой Биндер ЭП 11 Тиксо. Исследования показали, что добавка АЦФ-75 приводит к значительному повышению прочности бетона. Результатами лабораторных испытаний было доказано, что применение бетона с добавкой АЦФ-75 недопустимо в железобетонных конструкциях, эксплуатирующихся в средах, содержащих серную и азотную кислоты, без дополнительной антикоррозионной защиты поверхности. В ходе исследования было доказано, что образцы, покрытые в три слоя смолой Биндер ЭП11 Тиксо, оказались стойкими к 5 %-му раствору азотной кислоты.*

**Ключевые слова:** химическая коррозия, железобетонные конструкции, коррозионная стойкость, ацетоноформальдегидная смола, эпоксидная смола

Испытательный Центр «Самарастройиспытания» СамГТУ выполняет обследования зданий и сооружений различных назначений [1]. При обследовании объектов на нефтеперерабатывающих или химических предприятиях выявляется большое количество железобетонных конструкций, подверженных коррозионным процессам. Дефекты в виде коррозии арматуры и бетона приводят к значительному снижению несущей способности конструкций [2, 3]. Исследование воздействия агрессивных сред на бетон железобетонных конструкций, разработка результативных методик по восстановлению их несущей способности, а также выбор эффективных материалов при первичной и вторичной защите конструкций от коррозии являются актуальными задачами [4–9].

Целью настоящего исследования является разработка новых методик восстановления несущей способности поврежденных конструкций, а также оценка эффективности антикоррозионных материалов.

Агрессивными средами для проведения испытаний выбраны 5 %-й раствор серной кис-

*The results of the first two series of studies of ways to increase the corrosion resistance of reinforced concrete structures with primary protection in the form of an additive of acetone-formaldehyde resin ACF-75 and with secondary protection with a two-component resin Binder EP 11 Tikso are presented. Studies have shown that the addition of ACF-75 leads to a significant increase in the strength of concrete. The results of laboratory tests have shown that the use of concrete with the addition of ACF-75 is unacceptable in reinforced concrete structures operating in environments containing sulfuric and nitric acids, without additional corrosion protection of the surface. In the course of the study, it was proved that the samples coated in three layers with Binder EP11 Thixo resin were resistant to a 5 % solution of nitric acid.*

**Keywords:** chemical corrosion, reinforced concrete, fastness to staining, acetone-formaldehyde resin, epoxide

лоты и 5 %-й раствор азотной кислоты. В качестве меры первичной защиты исследуется эффективность применения ацетоноформальдегидной смолы АЦФ-75 в виде добавки к бетону в количестве 2 % от объема бетонной смеси. В качестве меры вторичной защиты исследуется эффективность двухкомпонентной смолы Биндер ЭП 11 Тиксо, а также сравниваются результаты ее нанесения на бетонные образцы по праймеру ЭП 01 Грунт и без праймера.

### **Программа испытаний**

Для проведения испытаний были изготовлены 56 бетонных кубиков класса В25 с размерами 70x70x70 мм на гранитном щебне фракции 5-10 мм. Цемент использовался марки ПЦ400.

Образцы были разделены на 4 группы по 14 штук:

- 1-я группа (14 шт.) – бетонные образцы без добавок (рис. 1, а);
- 2-я группа (14 шт.) – бетонные образцы, покрытые в три слоя смолой Биндер ЭП11 Тиксо по праймеру ЭП 01 Грунт (рис. 1, б);

• 3-я группа (14 шт.) – бетонные образцы, покрытые в три слоя смолой Биндер ЭП11 Тиксо без предварительной грунтовки бетонной поверхности (рис. 1, в);

• 4-я группа (14 шт.) – бетонные образцы с добавкой АЦФ-75 в количестве 2 % от объема бетона (рис. 1, г).

В рамках исследовательской работы предполагается проведение нескольких серий испытаний с определением основных характеристик объектов в заранее обозначенных контрольных точках, представленных в таблице.

В период с мая по июль 2019 г. на подготовительном этапе были проведены работы по изготовлению бетонных образцов. Все образцы были разделены по группам и промаркированы.

На нулевой контрольной точке в августе 2019 г. были проведены испытания контрольных образцов с целью определения следующих параметров:

• масса и объем;

• водопоглощение образцов 1-й и 4-й групп по ГОСТ 12730.3-78;

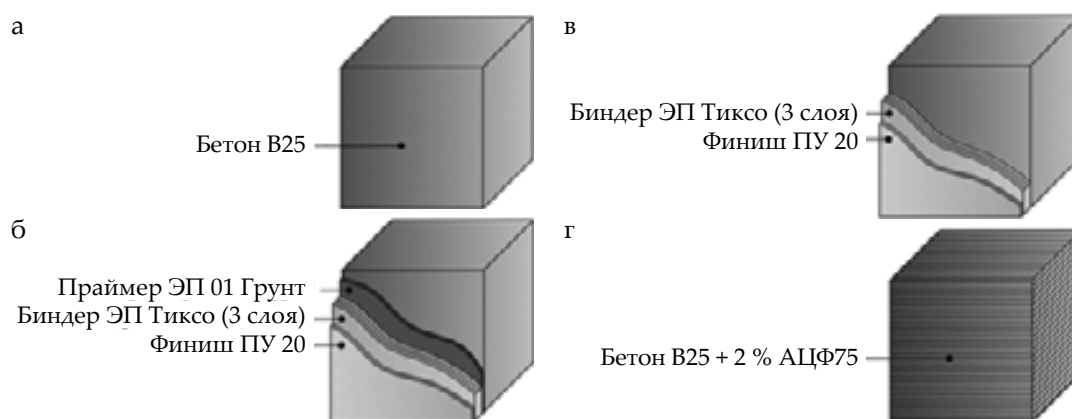


Рис. 1. Бетонный образец:  
а – 1-й группы; б – 2-й группы; в – 3-й группы; г – 4-й группы

#### График испытания образцов

Группа образцов	Определяемые характеристики	08.2019	09.2019	11.2019	02.2020
		Нулевая контрольная точка	Первая контрольная точка	Вторая контрольная точка	Третья контрольная точка
		Количество испытываемых образцов, шт.			
1	Масса	16	4	4	4
	Объем	16	4	4	4
	Водопоглощение	4	–	–	–
	Прочность	4	4	4	4
2	Масса	16	4	4	4
	Объем	16	4	4	4
	Адгезия	4	4	4	4
	Прочность	4	4	4	4
3	Масса	16	4	4	4
	Объем	16	4	4	4
	Адгезия	4	4	4	4
	Прочность	4	4	4	4
4	Масса	16	4	4	4
	Объем	16	4	4	4
	Водопоглощение	4	–	–	–
	Прочность	4	4	4	4

- прочность сцепления защитного покрытия с бетоном образцов 2-й и 3-й групп в соответствии с ГОСТ 32299-2013 (ISO 4624:2002);

- прочность при испытании образцов на сжатие по ГОСТ 10180-2012.

Основные образцы были разделены на две группы по 24 шт. в каждой. Первая была погружена в контейнер с 5 %-м раствором серной кислоты, вторая – в контейнер с 5 %-м раствором азотной кислоты. Контроль кислотности растворов проводился регулярно.

На *первой* (в сентябре 2019 г.) и *второй* (в ноябре 2019 г.) контрольных точках был произведен отбор 16 образцов (по 2 шт. из каждой подгруппы). Фиксировался внешний вид образцов, а также состояние растворов. Были определены следующие параметры образцов:

- масса и объем;
- прочность сцепления бетона с защитным покрытием образцов 2-й и 3-й групп в соответствии с ГОСТ 32299-2013 (ISO 4624:2002);
- прочность при испытании образцов на сжатие по ГОСТ 10180-2012.

На *третьей* контрольной точке предполагается определение тех же параметров, что и на первых двух, с целью определения динамики изменения характеристик образцов.

### Результаты испытаний по определению водопоглощения контрольных образцов

Испытания контрольных образцов проводились по ГОСТ 12730.3-78 «Бетоны. Метод определения водопоглощения». Водопоглощение по массе определялось отношением массы поглощенной и удержанной образцов воды к массе сухого образца (рис. 2).

Анализ результатов испытаний контрольных образцов с целью определения водопоглощения показывает, что водопоглощение об-

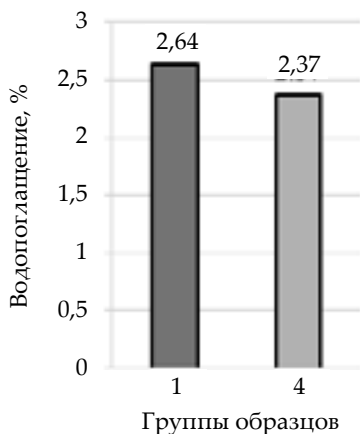


Рис. 2. Гистограмма водопоглощения контрольных образцов 1-й и 4-й групп

разцов 4-й группы с добавкой АЦФ-75 ниже на 11 %, чем у образцов 1-й группы.

### Результаты визуального обследования

При проведении визуального обследования образцов четырех групп, погруженных в 5 %-й раствор серной кислоты, был выявлен ряд особенностей:

1) нерастворимые продукты (сульфат кальция), образованные в процессе химической реакции взаимодействия гидроксида кальция и серной кислоты, выпали в осадок в виде аморфных масс (рис. 3, б, в, 4, а);

2) у образцов 1-й и 4-й групп оголились зерна гранитного щебня в результате растворения наружного слоя цементного камня в растворе серной кислоты (рис. 4, б);

3) у образцов 2-й и 3-й групп обнаружены трещины в покрытии, преимущественно вдоль ребер (рис 5, а, б).

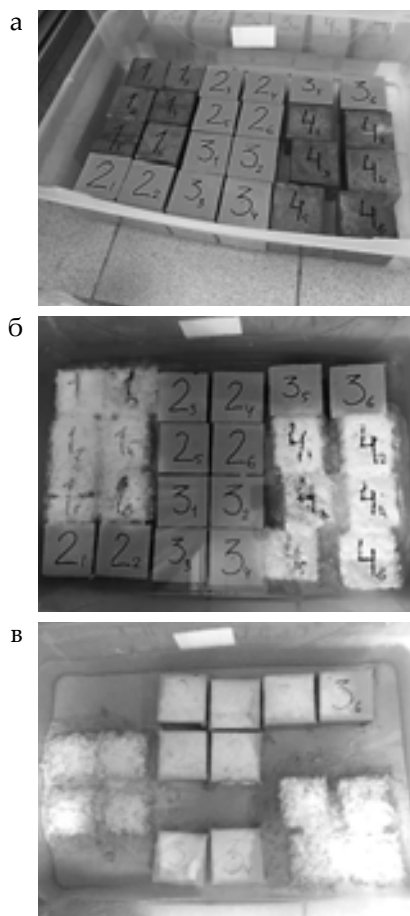


Рис. 3. Контейнер с 5 %-м раствором серной кислоты: а – состояние на момент погружения образцов в раствор; б – состояние по прошествии одного месяца со дня погружения; в – состояние по прошествии трех месяцев

По результатам визуального обследования образцов четырех групп, погруженных в 5 %-й раствор азотной кислоты, были выявлены следующие особенности:

1) в результате реакции взаимодействия образцов 4-й группы с добавкой АЦФ-75 с 5 %-м раствором азотной кислоты наблюдалось значительное пенообразование (рис. 6, а), вероятно, связанное с ее большей активностью относительно серной кислоты;

2) бетонные образцы 1-й и 4-й групп, находившиеся в растворе азотной кислоты, приобрели ржавый оттенок и имели незначительные повреждения цементного камня вдоль ребер (рис. 6, б, в; 7, а);

3) образцы 2-й и 3-й групп видимых дефектов в покрытии не имели (рис. 7, б).

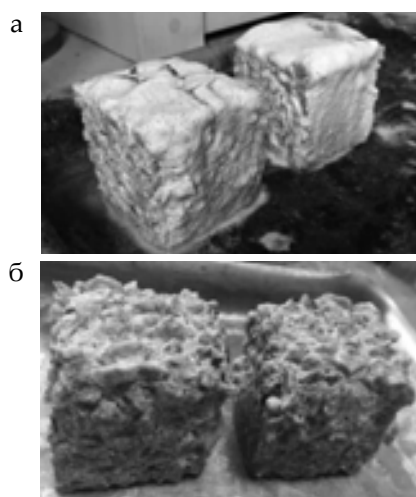


Рис. 4. Образцы 1-й и 4-й групп после выдержки в растворе серной кислоты:  
а – в течение одного месяца;  
б – в течение трех месяцев

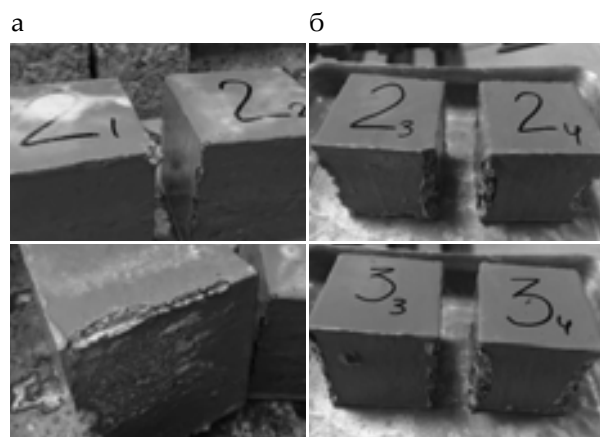


Рис. 5. Образцы 2-й и 3-й групп после выдержки в растворе серной кислоты:  
а – в течение одного месяца;  
б – в течение трех месяцев

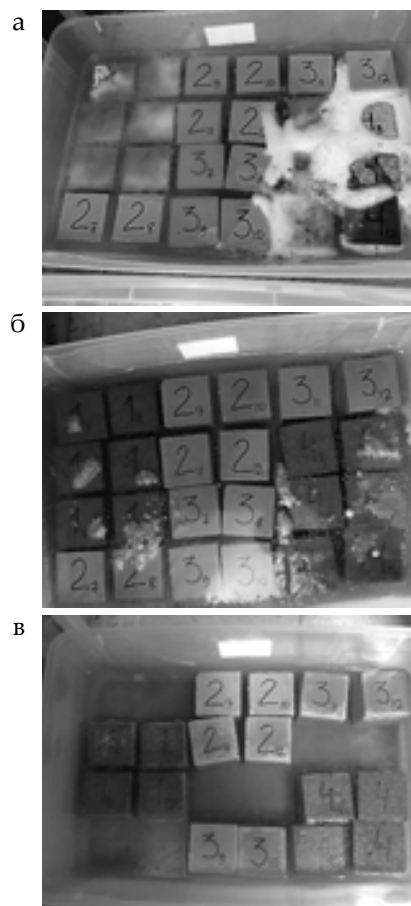


Рис. 6. Контейнер с 5 %-м раствором азотной кислоты:  
а – состояние на момент погружения образцов в раствор; б – состояние по прошествии одного месяца со дня погружения; в – состояние по прошествии трех месяцев

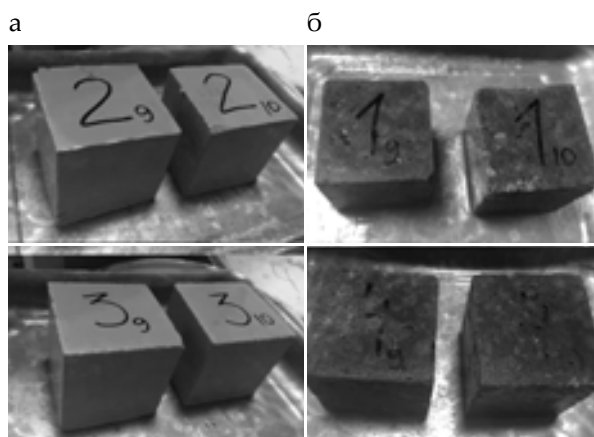


Рис. 7. Состояние образцов после выдержки в растворе азотной кислоты в течение трех месяцев:  
а – 1-й и 4-й групп;  
б – 2-й и 3-й групп

### Результаты исследования

Результаты изменения массы образцов приведены на рис. 8, 9. Анализ результатов на момент второй контрольной точки позволяет сделать следующие выводы:

1) Образцы 1-й и 4-й групп прореагировали с раствором серной кислоты, что привело к снижению массы на 20,4 и 21,4 % соответственно.

2) Реакция взаимодействия бетонных образцов 1-й и 4-й групп и азотной кислоты оказалась слабее реакции с раствором серной кислоты. Потеря массы 1-й группы составила 1,3 %, 4-й группы – 1,5 %.

3) Массы образцов 2-й и 3-й групп, погруженных в раствор серной кислоты, уменьшились на 1,8 и 2,3 % соответственно.

4) Образцы 2-й и 3-й групп, погруженные в раствор азотной кислоты, не имели значительных изменений в исследуемом параметре.

Опираясь на полученные данные испытаний, отраженные на рис. 10, 11, можно сделать следующие выводы:

1) Добавка АЦФ-75 позволила получить бетон повышенной плотности и, соответственно, большей прочности на сжатие, значение которой на 18-29 % выше прочности контрольных бетонных образцов 1-3-й групп.

2) Выявлено, что за три месяца воздействия 5 %-х растворов серной и азотной кислот прочность образцов 4-й группы снизилась на 48 и 39 % соответственно, что говорит о недопустимости использования данной добавки в железобетонных конструкциях, подвергающихся воздействию серной и азотной кислот, без дополнительной защиты поверхности.

3) Снижение прочности бетонных образцов 1-й группы в растворе азотной кислоты оказалось наименьшим – 12 %, в растворе серной кислоты – 39 %.

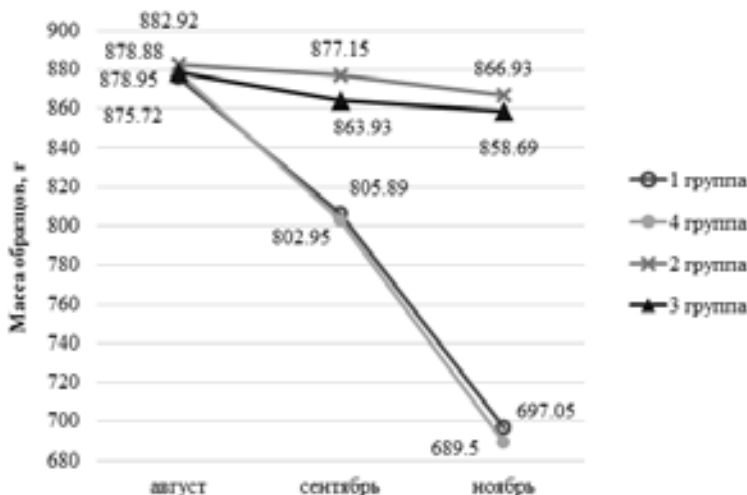


Рис. 8. График изменения массы образцов четырех групп после погружения в 5 %-й раствор серной кислоты

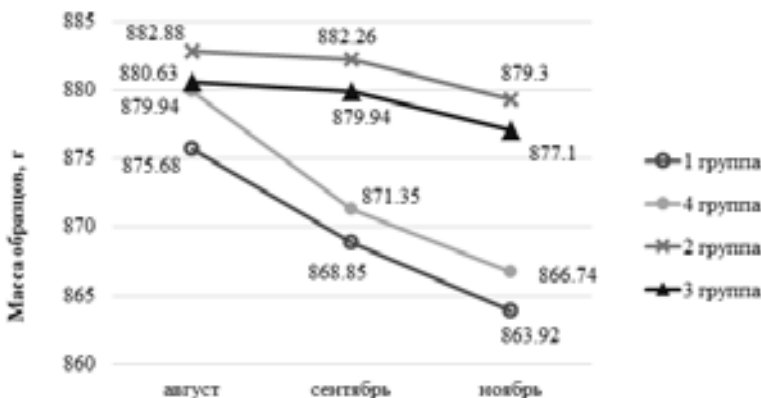


Рис. 9. График изменения массы образцов четырех групп после погружения в 5 %-й раствор азотной кислоты

4) За первый месяц испытаний серная кислота не оказала значительного влияния на образцы 2-й и 3-й групп с защитным покрытием, они продолжили набирать прочность, рост которой составил 3 и 7 % соответственно. Раствор серной кислоты, проникая через дефекты покрытия вглубь бетона, растворял цементный

камень, что в конечном счете привело к потере прочности образцов 2-й группы на 5 %, 3-й группы – на 13 %.

5) Раствор азотной кислоты не оказал отрицательного влияния на образцы 2-й и 3-й групп, рост прочности образцов составил 14 и 22 % соответственно.

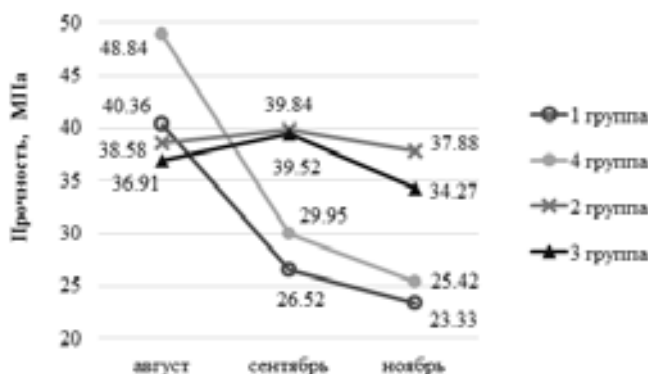


Рис. 10. График изменения прочности образцов четырех групп после погружения в раствор серной кислоты

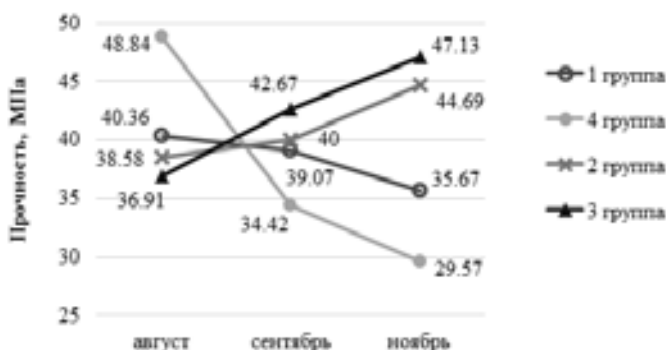


Рис. 11. График изменения прочности образцов четырех групп после погружения в раствор азотной кислоты

**Выводы.** 1. Исследования показали, что добавка АЦФ-75 в количестве 2 % от объема бетонной смеси приводит к повышению прочности бетона на 20 %. Добавка АЦФ-75 в количестве 2 % от объема бетонной смеси понижает водопоглощение бетона на 11 %.

2. Результатами лабораторных испытаний было доказано, что применение бетона с добавкой АЦФ-75 недопустимо в железобетонных конструкциях, эксплуатирующихся в средах, содержащих серную и азотную кислоты, без дополнительной антикоррозионной защиты поверхности.

3. Образцы 2-й группы, покрытые в три слоя смолой Биндер ЭП11 Тиксо по праймеру ЭП 01 Грунт, а также образцы 3-й группы, покрытые в три слоя смолой Биндер ЭП11 Тиксо без пред-

варительной грунтовки бетонной поверхности, оказались стойкими к 5 %-му раствору азотной кислоты. Они не имели видимых повреждений в покрытии и продолжили набирать прочность, рост которой составил 14 и 22 % соответственно.

4. Образцы 2-й и 3-й групп, выдержанные в 5 %-м растворе серной кислоты, имели повреждения в покрытии, преимущественно вдоль ребер, но несмотря на это за первый месяц их прочность увеличилась на 3 и 7 % соответственно, к третьему месяцу испытаний снизилась на 5 и 13 % соответственно.

5. Окончательные выводы об эффективности применения двухкомпонентной смолы Биндер ЭП 11 Тиксо можно будет сделать после анализа результатов испытаний на третьей контрольной точке.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кондратьева Н.В. Анализ причин разрушения бетона железобетонных несущих конструкций грануляционной башни № 2 ОАО «Тольяттиазот» // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре: сборник статей. Самара: СамГТУ, 2017. С. 70–73.
2. Москвин В.М. Коррозия бетона в агрессивных средах. М.: Стройиздат, 1971. 223 с.
3. Москвин В.М. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты. М.: Стройиздат, 1980. 536 с.
4. Jinfeng Chi, Guoliang Zhang, Qingyi Xie, Chunfeng Ma, Guangzhao Zhang, High performance epoxy coating with cross-linkable solvent via Diels-Alder reaction for anti-corrosion of concrete, *Progress in Organic Coatings*, 2020, vol. 139. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0300944019313165>.
5. Qian Hui Xiao, Qiang Li, Zhi Yuan Cao, Wei Yu Tian, The deterioration law of recycled concrete under the combined effects of freeze-thaw and sulfate attack, *Construction and Building Materials*, 2019, vol. 200, pp. 344–355. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061818330460>.
6. Changlin Zhou, Zheming Zhu, Aijun Zhu, Lei Zhou, Yong Fan, Lin Lang, Deterioration of mode II fracture toughness, compressive strength and elastic modulus of concrete under the environment of acid rain and cyclic wetting-drying, *Construction and Building Materials*, 2019, vol. 228. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061819322391>.
7. Guoliang Zhang, Qingyi Xie, Chunfeng Ma, Guangzhao Zhang, Permeable epoxy coating with reactive solvent for anticorrosion of concrete, *Progress in Organic Coatings*, 2018, vol. 17, pp. 29–34. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0300944017304150>.
8. Tailong Zhang, Jianming Gao, Xuan Deng, Yanling Liu, Graft copolymerization of black liquor and sulfonated acetone formaldehyde and research on concrete performance, *Construction and Building Materials*, 2015, vol. 83, pp. 308–313. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061815002937>.
9. Mahmoud A.A.M., Shehab M.S.H., El-Dieb A.S., Concrete mixtures incorporating synthesized sulfonated acetophenone–formaldehyde resin as superplasticizer, *Cement and Concrete Composites*, 2010, vol. 32, i. 5, pp. 392–397. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958946510000326>.
2. Moskvin V.M. *Korroziya betona v agressivnyh sredah* [Corrosion of concrete in aggressive environments]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1971. 223 p.
3. Moskvin V.M. *Korroziya betona i zhelezobetona, metody ih zashchity* [Corrosion of concrete and reinforced concrete, methods for their protection]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1980. 536 p.
4. Jinfeng Chi, Guoliang Zhang, Qingyi Xie, Chunfeng Ma, Guangzhao Zhang, High performance epoxy coating with cross-linkable solvent via Diels-Alder reaction for anti-corrosion of concrete. *Progress in Organic Coatings*, 2020, vol. 139. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0300944019313165>
5. Qian Hui Xiao, Qiang Li, Zhi Yuan Cao, Wei Yu Tian, The deterioration law of recycled concrete under the combined effects of freeze-thaw and sulfate attack. *Construction and Building Materials*, 2019, vol. 200, pp. 344–355. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061818330460>
6. Changlin Zhou, Zheming Zhu, Aijun Zhu, Lei Zhou, Yong Fan, Lin Lang, Deterioration of mode II fracture toughness, compressive strength and elastic modulus of concrete under the environment of acid rain and cyclic wetting-drying. *Construction and Building Materials*, 2019, vol. 228. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061819322391>
7. Guoliang Zhang, Qingyi Xie, Chunfeng Ma, Guangzhao Zhang, Permeable epoxy coating with reactive solvent for anticorrosion of concrete. *Progress in Organic Coatings*, 2018, vol. 17, pp. 29–34. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0300944017304150>
8. Tailong Zhang, Jianming Gao, Xuan Deng, Yanling Liu, Graft copolymerization of black liquor and sulfonated acetone formaldehyde and research on concrete performance. *Construction and Building Materials*, 2015, vol. 83, pp. 308–313. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061815002937>
9. Mahmoud A.A.M., Shehab M.S.H., El-Dieb A.S., Concrete mixtures incorporating synthesized sulfonated acetophenone–formaldehyde resin as superplasticizer. *Cement and Concrete Composites*, 2010, vol. 32, i. 5, pp. 392–397. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958946510000326>

## REFERENCES

1. Kondrat'eva N.V. Analysis of the reasons for the destruction of concrete of reinforced concrete supporting structures of the granulation tower No. 2 of Togliattiazot OJSC. *Tradicii i innovacii v stroitel'stve i arhitekture. Sbornik statej* [Traditions and innovations in construction and architecture. Collection of articles]. Samara, Samara State University of Architecture and Civil Engineering Publ., 2017. pp. 70–73. (in Russian)

Об авторах:

**КОНДРАТЬЕВА Надежда Владимировна**

кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций  
Самарский государственный технический университет  
Академия строительства и архитектуры  
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244  
E-mail: samstroyisp@gmail.com

**KONDRATYEVA Nadezhda V.**

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Building Structures Chair  
Samara State Technical University  
Academy of Architecture and Civil Engineering  
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244  
E-mail: samstroyisp@gmail.com

**АЛФИМЕНКОВА Александра Юрьевна**

магистрант кафедры строительных конструкций  
Самарский государственный технический университет  
Академия строительства и архитектуры  
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244  
E-mail: alfimenkova.ay@samgtu.ru

**ALFIMENKOVA Alexandra Yu.**

Master's Degree Student of the Building Structures Chair  
Samara State Technical University  
Academy of Architecture and Civil Engineering  
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244  
E-mail: alfimenkova.ay@samgtu.ru

Для цитирования: Кондратьева Н.В., Алфименкова А.Ю. Исследование способов повышения коррозионной стойкости железобетонных конструкций // Градостроительство и архитектура. 2020. Т. 10, № 1. С. 16–23. DOI: 10.17673/Vestnik.2020.01.3.

For citation: Kondratyeva N.V., Alfimenkova A.Yu. Research of ways to increase corrosion resistance in reinforced concrete constructions. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2020, Vol. 10, no. 1, Pp. 16–23. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2020.01.3.

---

Уважаемые читатели!

Испытательный центр «Самарастройиспытания» приглашает к сотрудничеству.

Основные направления деятельности Центра:

- проведение сертификационных испытаний строительной продукции в соответствии с закрепленной областью аккредитации
- испытание экспериментальных образцов строительной продукции
- испытание опытных образцов при постановке промышленной продукции на производство
- испытание зданий и сооружений в процессе приемки и эксплуатации
- испытание серийно выпускаемой продукции
- периодические испытания образцов, взятых в торговле
- контроль качества строительной продукции
- периодическая проверка состояния производства
- обследование зданий и сооружений
- выполнение судебных экспертиз в области строительства
- анализ состояния производства продукции
- разработка технических условий
- проведение аттестаций испытательных строительных лабораторий
- испытания по признанию иностранных сертификатов соответствия
- совершенствование методик испытаний
- освоение и внедрение новых стандартных методов испытаний
- организация повышения квалификации и аттестации сотрудников строительных предприятий и организаций
- участие в разработке нормативных документов

Руководитель *Зубков Владимир Александрович*

Контакты:

443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, корпус 12 (АСА СамГТУ), каб. 315  
тел./факс (846) 242-50-87, 242-32-84  
E-mail: samstroyisp@gmail.com