

## СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА



УДК 691.587

### КОРРОЗИОННО-СТОЙКИЕ БЕТОННЫЕ СМЕСИ РЕМОНТНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

*А.С. Джабаров, В.В. Белов**Тверской государственный технический университет (г. Тверь)*

© Джабаров А.С., Белов В.В., 2021

**Аннотация.** В работе была рассмотрена одна из основных характеристик бетона, которая учитывается при ремонте и реконструкции строительных сооружений – коррозионная стойкость. Было выяснено, что для ее повышения нужно учитывать ряд необходимых требований к составу смеси. Помимо тяжелого бетона, для ремонтных работ также можно использовать мелкозернистый и порошковые бетоны, которые позволяют улучшить коррозионную стойкость.

**Ключевые слова:** коррозионная стойкость, минеральные добавки, ремонтные смеси, агрессивная среда, биологическая коррозия, кольматация.

**DOI: 10.46573/2658-7459-2021-6-13**

#### ВВЕДЕНИЕ

Эксплуатируемые строительные конструкции в разнообразных условиях (например, перепадов температуры и влажности), взаимодействующие с агрессивной средой, со временем могут терять свои свойства и разрушаться. Для ремонта и восстановления после таких разрушений в настоящее время используются сухие строительные смеси различного состава и назначения.

Выделяют сухие смеси для ремонтных работ:

поверхностно-восстановительные – применяются для заделывания небольших отверстий, трещин без восстановления несущей способности конструкций;

объемно-восстановительные – используются для восстановления несущей способности, защиты от агрессивных сред строительных конструкций;

инъекционные – применяются для быстрого восстановления монолитности бетона (заполнения трещин, пустот в бетонной конструкции, находящейся в различных условиях эксплуатации) [1].

Важными характеристиками при проектировании составов ремонтных смесей являются:

адгезия к ремонтируемому основанию;

коэффициент линейного расширения [2];

морозостойкость;

прочность материала, низкая усадка, трещиностойкость [3];

коррозионная стойкость в эксплуатируемой среде.

Цель данной работы заключается в изучении способов улучшения коррозионной стойкости бетона.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Коррозия бетона – это сложный физико-химический процесс взаимодействия составных компонентов бетона и внешней неблагоприятной среды, в результате которого в структуре бетона появляются новообразования и часть компонентов выводится, снижается прочность бетона и со временем происходит его разрушение.

Коррозионная стойкость бетона зависит от проницаемости бетона и способности цементного камня и заполнителей вступать в химическую реакцию с агрессивными веществами [4, 5].

«Перенос агрессивной среды в пористой структуре бетона осуществляется по механизму вязкого течения под действием градиента давления и капиллярных сил и по механизму диффузионного переноса при наличии градиента концентрации агрессивного вещества. При этом с уменьшением пористости бетона относительная доля вещества, переносимая по механизму вязкого течения, уменьшается, начинает преобладать диффузионный перенос» [5]. В бетонах с микроскопическими пораами агрессивная среда проникает по диффузионному механизму. На диффузионный перенос оказывает влияние заряд поверхности пор. Так, отрицательный заряд затрудняет диффузию ионов хлоридов и сульфатов.

Различают коррозии бетона следующих видов:

выщелачивание – вымывание гидроксида кальция ( $\text{CaOH}_2$ ) пресной чистой водой, которое ведет к разрушению силикатов и алюминатов цементного камня;

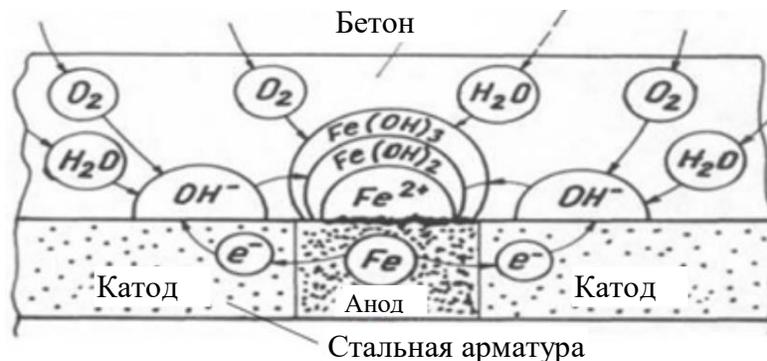
сульфатную – образование гипса и гидросульфалюминатов, увеличивающихся в объеме и разрушающих бетон, вследствие воздействия растворов сульфатов и использования заполнителей, содержащих примеси гипса;

кислотную – при взаимодействии с растворами соляной, уксусной, муравьиной, серной и молочной кислот основные минералы цементного камня разрушаются, образуя соответствующие соли. Частным случаем кислотной коррозии является углекислотная – взаимодействие цементного камня с углекислотой;

биологическую – вызывается тионовыми бактериями в среде, содержащей сероводород, который преобразуется бактериями в серную кислоту. С повышением влажности при благоприятных условиях бетонная поверхность может поражаться грибами, соответственно, снижаются прочностные характеристики бетона и ухудшаются экологические условия. Разрушение же происходит из-за взаимодействия составляющих компонентов бетона и продуктов жизнедеятельности микроорганизмов [5, 6].

Не стоит забывать о коррозии стальной арматуры. В среде с содержанием значительного количества хлорида стальная арматура, которая в бетоне теряет свою защитную пленку, начинает корродировать. Разрушающим для самого бетона является продукт коррозии стальной арматуры – гидроксид железа  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , который имеет значительно больший объем (рисунок) относительно исходной арматуры.

Вокруг стальной арматуры возникает напряжение, и когда достигается предельное значение напряжения, бетон начинает разрушаться [7, 8].



Образование коррозионных микроэлементов в бетоне [7]

Повышать стойкость бетона к агрессивным средам можно несколькими способами.

Правильный подбор вяжущего для бетона, эксплуатирующегося в той или иной агрессивной среде, имеет важное значение. В качестве вяжущих применяются портландцемент, портландцемент с минеральными добавками, шлакопортландцемент, сульфатостойкие и глиноземистые цементы. По данным авторов [9], количество вяжущего должно составлять не менее 300 кг/м<sup>3</sup>.

С помощью рационального подбора зернового состава и пластифицирующих добавок эффективно можно снизить проницаемость бетона и улучшить коррозионную стойкость. Сам по себе цементный камень имеет минимальную проницаемость, а с добавлением мелкого и крупного заполнителя скорость торможения коррозии уменьшается. Крупный заполнитель способствует увеличению диффузии агрессивных сред в структуру бетона, так как контактные поверхности между цементным камнем и заполнителем являются слабыми частями бетонной матрицы. Авторы работы [10] считают, что использование мелкозернистого и порошкового бетона в условиях агрессивных сред наиболее рационально в силу повышенной коррозионной стойкости и минимизированной проницаемости [10–12].

Коррозионную стойкость бетона можно улучшить посредством введения высокоактивных алюмосиликатов и поликарбоксилатных полимеров. Такие реакционноспособные полимеры за счет повышения плотности бетона и гидратационной активности системы позволяют получить бетон с коэффициентом химической стойкости до  $K \geq 0,96$  в средах 5%-го раствора  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  и 5%-го раствора  $\text{MgCl}_2$  [13]. Ранее похожее исследование проводилось с применением сразу двух комплексных добавок:

на основе поликарбоксилатных полимеров, модифицированной веществами неорганической природы;

на основе труднорастворимых солей магния, модифицированной диоксидом кремния.

Результатом исследования был бетон с прочной и плотной структурой. В структуре наблюдались труднорастворимые гидросиликат кальция и карбонат магния, повышающие коэффициент коррозионной стойкости до 0,95 и более, в средах 5%-го раствора  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  и 5%-го раствора  $\text{MgCl}_2$  [14].

Для улучшения коррозионной стойкости бетона с успехом применяют такие активные минеральные добавки, как зола-уноса [15], микрокремнезем, способные связывать образующийся при гидратации цемента гидроксид кальция в низкоосновные кристаллические соединения.

Важно помнить, что количество таких добавок сверх нормы может ухудшать характеристики бетона. Так, излишнее введение золы-уноса из-за наличия органических остатков может снизить коррозионную стойкость и морозостойкость [4]. В работе [4] был достигнут коэффициент коррозионной стойкости  $K \geq 0,8$  в среде, имитирующей магниальную (5%-й раствор  $MgCl_2$ ) и кислотную коррозию (0,1 н  $HCl$ ). В работе [15] прочность образцов с добавлением 20 и 30 % активированной золы повысилась от 11 до 21 %. Улучшение прочности объясняется тем, что у золы-уноса возрастает гидравлическая активность, усиливаются в цементной системе эффект микронаполнителя и зародышеобразование гидросиликатных фаз.

Механоактивированные активные минеральные добавки могут использоваться для уменьшения щелочной реакции заполнителя в бетоне с одновременным повышением сульфатостойкости [15]. Отмечается, что механоактивация добавок является экономически целесообразной, так как, например, механоактивация функциональных добавок снижает водопотребность цемента на 40 % и увеличивает активность в 2,5 раза.

Один из способов улучшения коррозионной стойкости бетона – кольматация, которая происходит при взаимодействии цементного камня и агрессивных сред. Кольматация представляет собой процесс проникновения частиц в поры, трещины бетона, а также физического и химического осаждения в нем с последующим торможением процесса коррозии [16, 17]. Поры и пустоты бетона при заполнении компонентами дают улучшенную структуру с меньшей проницаемостью и повышенной морозостойкостью. К примеру, воздействие углекислого газа на бетон при нескольких последовательных физико-химических процессах является источником образования двух кольматантов, малорастворимых в воде:  $CaCO_3$  и  $SiO_2 \cdot nH_2O \cdot CaCO_3$  [16]. Кольматанты способны повысить прочность материала [18].

С использованием модификатора на основе оксифенольных олигомеров, сернокислого натрия в оптимальном количестве можно придать строительным смесям на основе цементных вяжущих фунгицидные свойства [19, 20]. Оптимальное количество варьируется от 0,1 до 1,5 % от массы вяжущего вещества.

Коррозию стальной арматуры можно предотвратить несколькими способами:

- 1) добавлением в состав ингибиторов, способных отсрочить коррозию стальной арматуры;
- 2) покрытием бетона лакокрасочными материалами.

Повышение структурной плотности бетона также может оказать сопротивление воздействию факторов, вызывающих коррозию [5, 20].

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Бетонные смеси, предназначенные для ремонтных и реконструкционных работ, требуют тщательного подбора сырьевых материалов и внимательного подхода ко многим характеристикам бетона: водонепроницаемости, морозостойкости, адгезии к ремонтному основанию, коэффициенту температурного расширения и особенно коррозионной стойкости в эксплуатируемой среде.

Необходимое количество полимерных добавок и активных минеральных добавок (золы-уноса, микрокремнезема, суперпластификатора, многофункциональной добавки) и рациональный подбор состава заполнителей, наполнителей и других компонентов могут значительно улучшить коррозионную стойкость бетона и стальной арматуры в нем.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Демиденко Е.И., Гурова Е.В. Сухие смеси для ремонтных работ // *Сборник материалов III Международной научно-практической конференции*. Омск: СибАДИ, 2019. С. 361–364.
2. Хританков В.Ф., Пичугин А.П., Смирнова О.Е., Шаталов А.А., Пичугин М.А. Использование наноразмерных добавок в бетонах и строительных растворах для обеспечения адгезии при ремонтных работах // *Наука о Земле: XI Международная конференция «Нанотехнологии в строительстве»*. 2019. С. 131–137.
3. Коровкин М.О., Короткова А.А., Ерошкина Е.А. Ремонтные сухие строительные смеси для восстановления геометрических характеристик железобетонных конструкций // *Образование и наука в современном мире, инновации*. 2020. № 5 (30). С. 122–128.
4. Петрик И.Ю., Губарь В.Н., Корниенко С.В. Коррозионная стойкость бетона с высоким содержанием золы-уноса ТЭС // *Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры*. 2017. № 4 (126). С. 103–107.
5. Розенталь Н.К., Степанова В.Ф., Чехний Г.В. Бетоны высокой коррозионной стойкости и нормирование их характеристик // *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*. 2017. № 3-4. С. 14–19.
6. Чеснокова Т.В., Киселев В.А. Оценка влияния различных видов биологической коррозии на бетон // *Актуальные вопросы естествознания: сборник материалов III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием*. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2018. С. 68–70.
7. Suvash C.P., Adewumi J.B. A Review on reinforcement corrosion mechanism and measurement methods in concrete // *Civil Engineering Research Journal*. 2018. No. 5 (3): 555661, pp. 80–90.
8. Karavokyros L., Batis G., Katsiotis N., Tzani E., Beazi-Katsioti M. Durability of reinforced concrete beams under simultaneous flexural load in corrosive environment // *Journal of Materials Science and Chemical Engineering*. 2020. No. 8, pp. 32–45.
9. Бруссер М.И., Подмазова С.А. Проектирование составов тяжелого и мелкозернистого бетона. Пути развития // *Бетон и железобетон*. 2021. № 2 (604). С. 3–7.
10. Рахимбаев Ш.М., Толыпина Н.М., Толыпин Д.А. Сравнительная стойкость бетонов с заполнителем различных размеров и без него // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2017. № 11. С. 43–47.
11. Кузьмина В.П. Составы и способы получения сухих строительных смесей // *Сухие строительные смеси*. 2018. № 5. С. 25–30.
12. Алиев С.А., Узаева А.А., Габазов И.А., Гуламов Х.Н. Исследование удобоукладываемости ремонтной модифицированной мелкозернистой смеси // *VIII Международный научный форум молодых ученых, инноваторов, студентов и школьников*. Астрахань: АГАСУ, 2019. С. 181–186.
13. Соловьева В.Я., Степанова И.В., Соловьев Д.А., Ершиков Н.В. Бетон повышенной коррозионной стойкости для транспортного строительства // *Транспортное строительство*. 2019. № 3. С. 20–22.
14. Соловьева В.Я., Масленникова Л.Л., Махмуд Абу-Хасан, Степанова И.В., Ершиков Н.В., Бойкова Т.И., Макаров В.В., Касаткин С.П. Физико-химические основы процессов твердения инновационного бетона для дорожных покрытий // *Естественные и технические науки*. 2017. № 2. С. 150–155.

15. Сафаров К.Б., Степанова В.Ф., Фаликман В.Р. Влияние механоактивированной низкокальциевой золы-уноса на коррозионную стойкость гидротехнических бетонов Рогунской ГЭС // *Строительные материалы*. 2017. № 9. С. 20–24.
16. Федосов С.В., Румянцева В.Е., Коновалова В.С., Евсяков А.С. К вопросам теории кольматации цементных бетонов // *Информационная среда вуза*. 2017. № 1 (24). С. 403–407.
17. Селяев В.П., Алимов М.Ф., Колотушкин А.В., Кечуткина Е.Л. Влияние наполнителей и пластификаторов на химическое сопротивление цементных композитов водным растворам, содержащим ионы хлора // *Региональная архитектура и строительство*. 2018. № 1 (36). С. 14–22.
18. Федосов С.В., Румянцева В.Е., Коновалова В.С., Караваев И.В. Жидкостная коррозия бетонов в среде с различной степенью агрессивности // *Вестник гражданских инженеров*. 2017. № 4 (63). С. 113–118.
19. Денисова Ю.В., Полуэктова В.А., Строкова В.В. Фунгицидные свойства оксифенольных модификаторов // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2016. № 8. С. 13–18.
20. Толстой А.Д. Мелкозернистый бетон повышенной прочности // *Строительные материалы и изделия*. 2020. Т. 3. № 1. С. 39–43.

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

*ДЖАБАРОВ Амирджон Султонджонович* – аспирант, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22.

*БЕЛОВ Владимир Владимирович* – советник РААСН, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22. E-mail: vladim-bel@yandex.ru

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Джабаров А.С., Белов В.В. Коррозионно-стойкие бетонные смеси ремонтного назначения // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2021. № 3 (11). С. 6–13.

---

## CORROSION RESISTANCE OF REPAIR BUILDING MIXES

*A.S. Dzhabarov, V.V. Belov*  
*Tver State Technical University (Tver)*

**Abstract.** In this paper one of the main characteristics of concrete intended for the repair and reconstruction of building structures, corrosion resistance, was considered. It was found out that to increase this characteristic of concrete, it is necessary to take into account a number of necessary requirements for the composition of the mixture. In addition to using heavy concrete for repair work, fine-grained and powdered concrete can also be used, which can improve corrosion resistance.

**Keywords:** corrosion resistance, mineral additives, repair mixtures, aggressive environment, biological corrosion, colmatation.

## REFERENCES

1. Demidenko E.I., Gurova E.V. Dry mixtures for repair work. *Collection of Materials of the III International Scientific and Practical Conference*. 2019, pp. 361–364. (In Russian).
2. Khritankov V.F., Pichugin A.P., Smirnova O.E., Shatalov A.A., Pichugin M.A. The use of nanoscale additives in concrete and building solutions to ensure adhesion during repair work. *Earth Science. XI International Conference «Nanotechnologies in Construction»*. 2019, pp. 131–137. (In Russian).
3. Korovkin M.O., Korotkova A.A., Eroshkina E.A. Repair dry building mixtures for restoring the geometric characteristics of reinforced concrete structures. *Obrazovanie i nauka v sovremennom mire, innovacii*. 2020. No. 5 (30), pp. 122–128. (In Russian).
4. Petrik I.Yu., Gubar V.N., Kornienko S.V. Corrosion resistance of concrete with a high content of ash-fly ash TPP. *Vestnik Donbasskoy nacional'noy akademii stroitel'stva i arhitekturi*. 2017. No. 4 (126), pp. 103–107. (In Russian).
5. Rosenthal N.K., Stepanova V.F., Chekhniy G.V. High corrosion resistance concretes and normalization of their characteristics. *Stroitel'nie materialy, oborudovanie, tehnologii XXI veka*. 2017. No. 3-4, pp. 14–19. (In Russian).
6. Chesnokova T.V., Kiselev V.A. Assessment of the impact of various types of biological corrosion on concrete. *Topical Issues of Natural Science. Collection of Materials of the III All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation*. 2018, pp. 68–70. (In Russian).
7. Suvash C.P., Adewumi J.B. A Review on reinforcement corrosion mechanism and measurement methods in concrete. *Civil Engineering Research Journal*. 2018. No. 5 (3): 555661, pp. 80–90.
8. Karavokyros L., Batis G., Katsiotis N., Tzani E., Beazi-Katsioti M. Durability of reinforced concrete beams under simultaneous flexural load in corrosive environment. *Journal of Materials Science and Chemical Engineering*. 2020. No. 8, pp. 32–45.
9. Brousser M.I., Podmazova S.A. Design of heavy and fine concrete compositions. Development routes. *Beton i zhelezobeton*. 2021. No. 2 (604), pp. 3–7. (In Russian).
10. Rakhimbayev Sh.M., Tolykina N.M., Tolykin D.A. Comparative resistance of concrete with aggregate of various sizes and without it. *Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova*. 2017. No. 11, pp. 43–47. (In Russian).
11. Kuzmina V.P. Compositions and methods of producing dry building mixtures. *Suchye stroitel'nye smesy*. 2018. No. 5, pp. 25–30. (In Russian).
12. Aliyev S.A., Uzaeva A.A., Gabazov I.A., Gulamov Kh.N. Study of the convenience of repair modified fine-grained mixture. *VIII International Scientific Forum of Young Scientists, Innovators, Students and Schoolchildren*. 2019, pp. 181–186. (In Russian).
13. Solovyova V.Ya., Stepanova I.V., Solovyov D.A., Yershikov N.V. Concrete of increased corrosion resistance for transport construction. *Transportnoe stroitel'stvo*. 2019. No. 3, pp. 20–22. (In Russian).
14. Solovyova V.Ya., Maslennikova L.L., Mahmoud Abu-Hasan, Stepanova I.V., Yershikov N.V., Boykova T.I., Makarov V.V., Kasatkin S.P. Physico-chemical foundations of hardening processes of innovative concrete for road surfaces. *Estestvennye i technicheskiye nauky*. 2017. No. 2, pp. 150–155. (In Russian).
15. Safarov K.B., Stepanova V.F., Falikman V.R. Influence of mechanically activated low-calcium fly ash on corrosion resistance of hydraulic concrete of rogun HPP. *Stroitel'nye materialy*. 2017. No. 9, pp. 20–24. (In Russian).

16. Fedosov S.V., Rummyantseva V.E., Konovalova V.S., Evsyakov A.S. On the theory of colmatation of cement concrete. *Informatsionnaya sreda vuza*. 2017. No. 1 (24), pp. 403–407. (In Russian).
17. Selyaev V.P., Alimov M.F., Kolotushkin A.V., Kechutkina E.L. Influence of fillers and plasticizers on chemical resistance of cement composites to aqueous solutions containing chlorine ions. *Regionalaya architectura i stroitel'stvo*. 2018. No. 1 (36), pp. 14–22. (In Russian).
18. Fedosov S.V., Rummyantseva V.E., Konovalova V.S., Karavaev I.V. Liquid corrosion of concrete in an environment with varying degrees of aggressiveness. *Vestnik grazhdanskich inzhenerov*. 2017. No. 4 (63), pp. 113–118. (In Russian).
19. Denisova Yu.V., Poluektova V.A., Strokova V.V. Fungicidal properties of oxyphenol modifiers. *Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova*. 2016. No. 8, pp. 13–18. (In Russian).
20. Tolstoy A.D. Fine-grained concrete of increased strength. *Stroitelnye materialy i izdeliya*. 2020. Vol. 3. No. 1, pp. 39–43. (In Russian).

### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*DZHABAROV Amirdzhon Sultondzhonovich* – Postgraduate Student, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia.

*BELOV Vladimir Vladimirovich* – Adviser of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Building Materials and Structures Production, Tver State Technical University, 22, embankment of Af. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: vladim-bel@yandex.ru

### CITATION FOR AN ARTICLE

Dzhabarov A.S., Belov V.V. Corrosion resistance of repair building mixes // *Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology»*. 2021. No. 3 (11), pp. 6–13.

УДК 331.45:693

## АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ НОВОВВЕДЕНИЙ В ПРАВИЛАХ ПО ОХРАНЕ ТРУДА ПРИ РАБОТЕ НА ВЫСОТЕ

*А.М. Пузырев, Л.В. Козырева*

*Тверской государственной технической университет (г. Тверь)*

© Пузырев А.М., Козырева Л.В., 2021

**Аннотация.** В статье рассмотрены Правила по охране труда при работе на высоте, утвержденные Приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 16.11.2020 № 782н: выявлены основные изменения в Правилах по охране труда при работе на высоте; описаны требования к работникам, допускаемым к производству на высоте; указан возрастной и образовательный ценз при установлении групп безопасности; рассмотрено документальное оформление работ на высоте. Сделаны выводы в целом об изменениях, которым были подвергнуты Правила по охране труда при работе на высоте. Статья может быть полезна широкому кругу специалистов по охране труда в качестве аналитического материала.