

УДК 691.3

**УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ДИАГНОСТИКА ДЕСТРУКЦИИ БЕТОНА
В СИЛЬНО АГРЕССИВНОЙ СРЕДЕ****ULTRASOUND DIAGNOSTICS OF CONCRETE DESTRUCTION IN A
HIGHLY AGGRESSIVE ENVIRONMENT****Данилов Д.Ю., Чашин Д.Ю.****Научный руководитель: Толыпина Н.М., д.т.н, проф.****Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия**

Аннотация: В силу малого уровня исследованности применения ультразвуковой диагностики для изучения процессов кислотной коррозии бетона целесообразно изучить ее возможности в подобных условиях. Для этого использовали образцы бетона размером 2,5х2,5х10 см и 2,5х2,5х16 см, подвергавшиеся периодическим испытаниям на приборе ультразвуковой диагностики и гидравлическом прессе. По их итогам выявлено несоответствие показаний ультразвуковой диагностики и реального изменения прочности.

Ключевые слова: бетон, ультразвуковая диагностика, коррозия бетона, агрессивная среда, прочность.

Abstract: Due to the low level of research on the use of ultrasound diagnostics to study the processes of acid corrosion of concrete, it is advisable to study its capabilities in such conditions. For this purpose, concrete samples measuring 2.5x2.5x10 cm and 2.5x2.5x16 cm were used, which were subjected to periodic tests on an ultrasound diagnostic device and a hydraulic press. According to their results, the discrepancy between the indications of ultrasound diagnostics and the actual change in strength was revealed.

Keywords: concrete, ultrasound diagnostics, concrete corrosion, aggressive environment, strength.

Ультразвуковой метод исследования может служить разным целям [1-3], в том числе и для наблюдения коррозионных процессов бетона [4-5]. Этот опыт целесообразно апробировать для исследования коррозии образцов бетона, твердевших в сильно агрессивных средах, например, кислоте. Как известно, портландцемент сам по себе не обладает стойкостью к воздействию кислот, так как составляющие цементного камня активно взаимодействуют с ними, приводя к полному его разрушению, и чем больше концентрация кислоты в растворе, тем быстрее это происходит [6-7]. Проведено большое количество исследований, касающихся вопросов кинетики коррозии в кислых средах [8-9], увеличения кислотостойкости бетонов [10-11], но вопрос применения

ультразвуковой диагностики для изучения процессов кислотной коррозии не исследован. В этой связи целью данной работы является определение возможности применения ультразвуковой диагностики образцов, твердевших в условиях кислотной среды.

Для проведения исследования формовались образцы состава цемент:песок в соотношении 1:3. Были использованы среднеалюминатный портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н ЗАО «Осколцемент» ($\tau_{н.схв}=230$ мин; НГ=26 %, $C_3S=61,59$ %, $C_2S=14,2$ %, $C_3A=6,83$ %, $C_4AF=3,73$ %) и кварцевый песок ($M_{кр}=2,15$, ГОСТ 8736-2014). Изготовлено два типа образцов: $2,5 \times 2,5 \times 10$ см и $2,5 \times 2,5 \times 16$ см – для испытаний на прочность на гидравлическом прессе и ультразвуковым методом соответственно.

Образцы после изготовления 2 недели твердели в нормальных условиях, после чего были разделены на две группы: одни остались храниться в воде, другие поместили в 2%-ный раствор серной кислоты. Каждые 2 недели среды хранения обновлялись, образцы осматривались, и проводились испытания разрушающим способом на гидравлическом прессе и ультразвуковым методом. Результаты разрушающих испытаний представлены в табл. 1.

Табл. 1. Кинетика твердения образцов бетона в различных средах

№ п/п	Среда хранения	Предел прочности при сжатии $R_{сж}$, МПа, в сроки				
		2 нед. (н.у.)	4 нед.	6 нед.	8 нед.	10 нед.
1	H ₂ O	19,88	24,06	28,50	27,67	23,32
2	p-p H ₂ SO ₄		5,46	3,38	2,96	2,32

Как следует из экспериментальных данных, уже две недели нахождения в кислотной среде критически отразились на прочности образцов – ее снижение составило 72,5%. Далее с каждой неделей прочность продолжала уменьшаться, параллельно наблюдалось уменьшение сечения и, соответственно, массы образцов (рис. 1а, 1б).

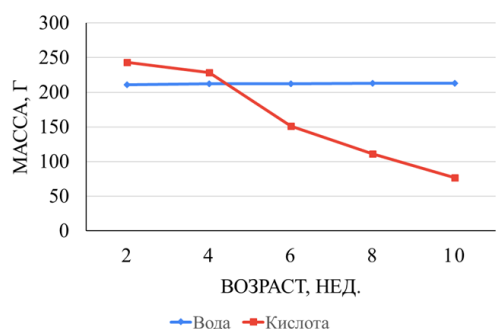


Рис. 1а (слева). Изменение массы образцов с течением времени.
Рис. 1б (справа). Внешний вид образцов в конце срока наблюдений:
образец слева – из кислотной среды, справа – из воды

Воздействие кислотной среды на образец происходило в направлении от поверхности к центру сечения. Поверхность разрушалась, образуя рыхлый слой, который по большей части осыпался самостоятельно. Происходит это в результате кристаллизации продуктов взаимодействия сульфат-ионов с ионами кальция и частичного выщелачивания кальция из цементного камня.

Как уже отмечалось ранее, образцы также подвергались испытаниям с помощью УЗ диагностики, результаты которой нанесены на график (рис. 2) с результатами изменения прочности. При испытании сильно корродированных образцов можно отметить следующий фактор: при приставлении датчиков поверхностного прозвучивания они проникали сквозь рыхлый слой и, упираясь в твердую часть под ним, фактически измеряли время прохождения УЗ-импульса в пока не разрушенной части сечения. Это могло послужить одним из факторов некоторого несоответствия, описанного в следующем абзаце.

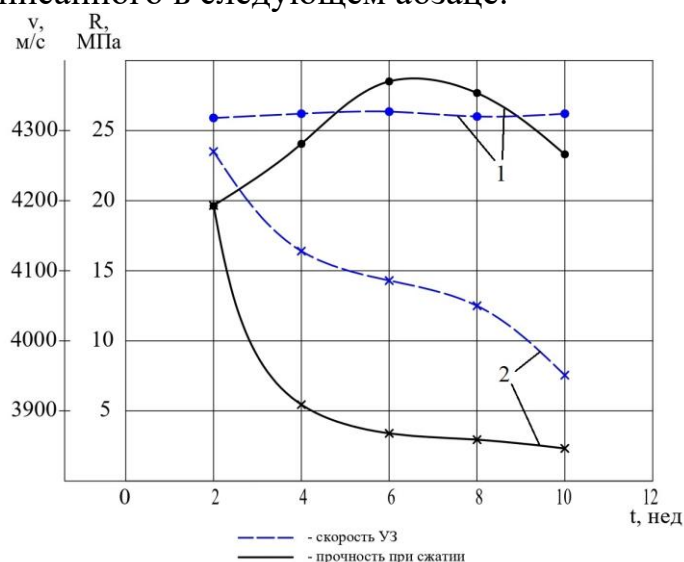


Рис. 2. Изменение прочности образцов с течением времени, выявленное посредством испытаний на гидравлическом прессе и при использовании УЗ диагностики (1 – образцы, твердевшие в воде; 2 – образцы, твердевшие в 2 %-м р-ре серной кислоты).

Из графических данных можно увидеть, что конфигурация кривой скорости прохождения УЗ импульса по направлению и форме схожа с кривой изменения прочности при сжатии. Однако относительное изменение этих величин сильно отличается друг от друга. Падение скорости прохождения УЗ в период с 2 недели по 10 недели составило всего 7,5%, что почти в 10 раз меньше относительного падения прочности при сжатии. Возможно, частично это связано с тем, что излучатель и приемник прибора располагались на твердой части сечения, практически минуя самую корродированную ее часть. В таком случае, вероятно, стоило прибегнуть не к поверхностному, а сквозному прозвучиванию образцов.

Однако этот способ нечасто применим на практике, поэтому в нашем исследовании участвовал только один вариант прозвучивания.

В работе [4] наглядно показано, что ультразвуковая диагностика действительно может служить для выявления коррозионных процессов в солевых растворах. Проверка этого же метода для изучения коррозии в кислотной среде привела к неоднозначному результату – с одной стороны, снижение показанных УЗ-прибором показателей очевидно, но с другой – их относительное снижение не соответствует реальному изменению прочности образца. Таким образом, УЗ диагностика для образцов бетона с сильно корродированной поверхностью может дать неадекватные результаты, но для полной уверенности в этом требуются дополнительные исследования.

Список литературы

1. Сериков, Я. А. Информационно-измерительная система для исследования структуры монолитного бетона ультразвуковым методом / Я. А. Сериков // Территория науки. – 2017. – № 3. – С. 96-100

2. Мирский, К. В. Скорость ультразвука как критерий морозостойкости цементного бетона / К. В. Мирский, А. А. Панчина, В. А. Мирский, И. П. Терешкин // XLVI Огарёвские чтения : Материалы научной конференции: В 3-х частях, Саранск, 06–13 декабря 2017 года / Ответственный за выпуск П.В. Сенин. Том Часть 1. – Саранск: Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва. - 2018. – С. 184-191.

3. Флегонтов, Д. В. Термический анализ как способ установления скрытых повреждений / Д. В. Флегонтов, М. В. Акулова, А. В. Петров // Пожарная и аварийная безопасность. – 2019. – № 2(13). – С. 11-15.

4. Толыпина, Н. М. Ультразвуковая диагностика деструкции бетона под воздействием агрессивных сред / Н. М. Толыпина, Д. Ю. Данилов // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2024. – Т. 21, № 4(98). – С. 628-638. – DOI 10.26518/2071-7296-2024-21-4-628-638.

5. Толыпина, Н. М. Влияние микронаполнителей на эффективность суперпластификаторов и прочность бетонов с низким содержанием цемента / Н. М. Толыпина, Е. Н. Хахалева, Д. Ю. Данилов, Д. Ю. Чашин // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2023. – № 8. – С. 8-15. – DOI 10.34031/2071-7318-2023-8-8-8-15.

6. Федосов, С. В. Исследование начального этапа кислотной коррозии цементного камня / С. В. Федосов, В. Е. Румянцева, В. С. Коновалова, Н. С. Касьяненко // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования Российской академии архитектуры и строительных наук по

научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2019 году : Сборник научных трудов РААСН / Российская академия архитектуры и строительных наук. Том 2. – Москва : Издательство АСВ, 2020. – С. 454-460.

7. Селяев, В. П. и др. Изучение процессов повреждения цементного камня растворами серной кислоты различной концентрации // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2015. – № 3 (11). – С. 61-68.

8. Рахимбаев, Ш. М. Термодинамический анализ кислотной коррозии / Ш. М. Рахимбаев, Н. М. Толыпина // Эффективные строительные композиты : Научно-практическая конференция к 85-летию заслуженного деятеля науки РФ, академика РААСН, доктора технических наук Баженова Юрия Михайловича, Белгород, 02–03 апреля 2015 года / Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2015. – С. 549-552.

9. Ерошкина, Н. А. Сернокислотная коррозия геополимерных бетонов с минеральными добавками на основе отходов / Н. А. Ерошкина, М. Ю. Чамурлиев, М. О. Коровкин // Транспортные сооружения. – 2019. – Т. 6, № 3. – С. 25.

10. Щигорева, Е. М. Исследование кислотной коррозии цементных бетонов с обычным и химически активным заполнителем / Е. М. Щигорева, Д. С. Щигорев // Наука и инновации в строительстве : (к 45-летию кафедры строительства и городского хозяйства): сборник докладов Международной научно-практической конференции, Белгород, 21 апреля 2017 года / Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Том 2. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2017. – С. 226-231.

11. Русина, В. В. Кислотостойкие мелкозернистые бетоны на основе техногенных отходов / В. В. Русина, Е. В. Корда, С. А. Львова // Технологии бетонов. – 2013. – № 8(85). – С. 22-23.