

технологии. – 2020. – № 1. – С. 26–31. – Режим доступа: <https://cloud.mail.ru/public/xeуP/gxLhGxHET>, свободный.

–  
Заглавие с экрана. – Яз. рус.

10. Продоус О. А. Прогнозирование возможности продолжения эксплуатации самотечных сетей водоотведения с отложениями в лотковой части труб / О. А. Продоус, Д. И. Шлычков // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2021. – Т. 11, № 4. – С. 646–653. – Режим доступа: <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-4-646-653>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.

11. Водоснабжение и водоотведение на железнодорожном транспорте : учебник / под ред. проф. В. С. Дикаревского. – 2-е изд., переработ. – Москва : Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2009. – 447 с.

12. Алексеев М. И. Эксплуатация систем водоснабжения и канализации : учебное пособие / М. И. Алексеев, В. Д. Дмитриев, Б. Г. Мишуков. – Москва : Высшая школа, 1993. – 60 с.

13. Калицун В. И., Ласков Ю. М. Гидравлика, водоснабжение и канализация : учебное пособие / В. И. Калицун, Ю. М. Ласков. – Москва : Стройиздат, 2000. – 417 с.

14. Чупин Р. В. Оптимизация развивающихся систем водоотведения : монография / Р. В. Чупин. – Иркутск : Иркутский государственный технологический университет, 2015. – 418 с.

15. Мельник Е. А., Рублевская О. Н. Пути решения проблемы энергосбережения в системах водоснабжения и канализации Санкт-Петербурга / Е. А. Мельник, О. Н. Рублевская // Водоснабжение и санитарная техника. – 2012. – № 12. – С. 45–51.

© О. А. Продоус, П. П. Якубчик, Д. И. Шлычков

#### Ссылка для цитирования:

Продоус О. А., Якубчик П. П., Шлычков Д. И. Прогнозирование характеристик гидравлического потенциала изношенных сетей водоснабжения и водоотведения по коэффициенту эффективности их работы // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2023. № 2 (44). С. 29–33.

УДК 691.32:620

DOI 10.52684/2312-3702-2023-44-2-33-37

## ИСПЫТАНИЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ РАСТВОРОВ ИНДИКАТОРОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕЙТРАЛИЗОВАННОГО СЛОЯ БЕТОНА В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

*И. Н. Гоглев, С. А. Логинова*

**Гоглев Илья Николаевич**, технический специалист направления «Инженерная гидроизоляция и PLANTER», Корпорация «ТЕХНОНИКОЛЬ», г. Москва, Российская Федерация, тел.: +7 (926) 012-97-99; e-mail: azidplumbum00@mail.ru;

**Логинова Светлана Андреевна**, кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций, Ярославский государственный технический университет, г. Ярославль, Российская Федерация, тел.: +7 (906) 617-12-27; e-mail: sl79066171227@yandex.ru

В статье рассматривается широко применяемый в практике обследований бетонных и железобетонных строительных конструкций метод фенолфталеиновой пробы. Данный метод эффективен только при  $8 \leq \text{pH} \leq 10$  бетона. В связи с этим актуальным является вопрос о расширении границ применения технологии фенолфталеиновой пробы. Одним из решений данной проблемы является модернизация метода, то есть добавление к фенолфталеину других индикаторов в целях определения различных pH зон в бетоне. Авторами статьи предлагается использовать дополнительные растворы кислотно-основных индикаторов ализарина и нейтрального красного. Представлены результаты экспериментов по измерению поверхностного нейтрализованного слоя бетона спиртовыми растворами кислотно-основных индикаторов ализарина и нейтрального красного на бетонных образцах различного возраста и размера.

**Ключевые слова:** бетон, железобетон, нейтрализация, карбонизация, колориметрический метод, индикаторный метод.

## FIELD TESTING OF ALTERNATIVE INDICATOR SOLUTIONS TO DETERMINE THE NEUTRALIZED LAYER OF CONCRETE

*I. N. Goglev, S. A. Loginova*

**Goglev Ilya Nikolayevich**, Technical specialist of the Direction "Engineering Waterproofing and PLANTER", TECHNONICOL Corporation, Moscow, Russian Federation, phone: +7 (926) 012-97-99; e-mail: azidplumbum00@mail.ru;

**Loginova Svetlana Andreyevna**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Building Structures, Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russian Federation, phone: +7 (906) 617-12-27; e-mail: sl79066171227@yandex.ru

The article discusses the method of phenolphthalein test, widely used in the practice of examining concrete and reinforced concrete building structures. This method is effective only at  $8 \leq \text{pH} \leq 10$  for concrete. In this regard, the issue of expanding the boundaries of application of the phenolphthalein test method is relevant. One of the solutions to this problem is the modernization of the method, i.e., adding other indicators to phenolphthalein in order to determine different pH zones in concrete. The authors of the article propose a way to modernize the phenolphthalein test method by using additional solutions of acid-base indicators alizarin and neutral red. The results of experiments on measuring the surface neutralized layer of concrete with alcohol solutions of acid-base indicators alizarin and neutral red on concrete samples of various ages and sizes are presented.

**Keywords:** concrete, reinforced concrete, neutralization, carbonization, colorimetric method, indicator method.

### Введение.

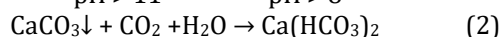
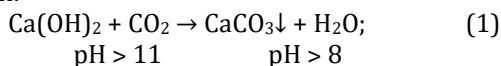
В практике обследования железобетонных строительных конструкций, эксплуатирующихся в условиях открытого воздуха и атмосферной влажности, часто выявляются участки повреждения защитного бетонного слоя [1]. Такие участки в меньшей степени обладают адгезией, что нередко приводит к проникновению атмосферной влаги и коррозии арматуры внутри тела бетона (рис. 1). Известно, что значительное влияние на пассивирующие свойства защитного бетонного слоя оказывает значение его водородного показателя pH.



Рис. 1. Пример карбонизации и выщелачивания бетона гидротехнической конструкции

Согласно данным литературных источников, величина водородного показателя бетона при потере пассивации составляет  $8 < \text{pH} < 9,5$  [2–4]. По некоторым данным, потеря пассивации бетоном стальной арматуры начинается уже при  $\text{pH} < 11$  [4, 5], поэтому данное утверждение является до сих пор дискуссионным.

Образование нейтрализованного слоя бетона – результат карбонизации и увлажнения. Этот процесс может протекать на протяжении длительного времени и связан с протеканием следующих реакций:



По реакции (1) образующийся карбонат кальция является малорастворимым соединением, он высаливается на поверхности и в порах бетона [2]. Вследствие этой реакции происходит нейтрализация щелочной среды бетона. В дальнейшем, при избыточном содержании углекислого газа во влажной среде (2) происходит образование гидрокарбоната кальция, который является растворимым соединением [3].

В результате понижения pH бетона происходит постепенное снижение долговечности

бетонных / железобетонных конструкций, ухудшение пассивирующих свойств бетона по отношению к стальной арматуре и уменьшение площади поперечного сечения арматуры в силу образования продуктов коррозии [3–5].

Наиболее используемым способом выявления карбонизации и фактического определения ее глубины и фронта в полевых условиях является метод фенолфталеиновой пробы [3–5]. Специалисты-обследователи могут привести пригодный раствор индикатора прямо на объект, благодаря чему определение карбонизации становится максимально доступным, независимо от удаленности объекта. Одним из существенных недостатков метода является один рабочий интервал pH перехода окраски раствора фенолфталеина. На данный момент отсутствует единое мнение о значениях pH бетона, при которых фиксируется потеря пассивирующих свойств по отношению к стальной арматуре [6–9], поэтому если потеря пассивации начинается уже при  $\text{pH} < 11$ , раствор фенолфталеина покажет указанную зону бетона как нормальную и формальных поводов для беспокойства нет.

Именно этим подтверждается актуальность модернизации метода фенолфталеиновой пробы, повышение его эргономичности или создание альтернативных полевых методов выявления карбонизации с высокими показателями точности при обследовании строительных конструкций зданий и сооружений.

### Постановка задачи

Наиболее остро недостатки метода фенолфталеиновой пробы (МФФП) проявляются при выявлении карбонизации на начальных и пограничных стадиях протекания процесса [7, 10]. Рабочий диапазон изменения окраски раствора фенолфталеина составляет примерно  $8 \leq \text{pH} \leq 10,1$ , что изначально определяет границы его применения. В диапазонах  $\text{pH} > 10$  и  $\text{pH} < 8$  использование данной технологии не эффективно, изменение окраски индикатора будет отсутствовать (формально окраска будет прозрачной с небольшим, едва заметным цветовым следом). Окрасивание в малиновый цвет по результатам индикаторной пробы бетона способствует выявлению участков некарбонизированного бетона (рис. 2).

В то же время отсутствие окраски говорит о карбонизации (рис. 2). В результате этого нередко случаются ошибки при определении нейтрализованного

слоя бетона (поскольку здоровый бетон с  $pH > 11$  будет отмечен зоной прозрачной окраски).



Рис. 2. Карбонизация бетона на образце-керне

В полевых условиях зачастую затруднен доступ к лабораторным способам определения солей в атмосферных и грунтовых водах, а также содержания катионов кальция в растворе. В связи с этим встает вопрос о расширении границ применения МФФП.

Цель исследования – модернизация МФФП путем использования дополнительных растворов кислотно-основных индикаторов (КОИ) с целью расширения границ его применения, точности и эргономичности.

Задача исследования – теоретически и практически обосновать эффективность внедрения указанных растворов КОИ путем сравнения технико-экономических показателей новых составов индикатора с исходным.

#### Методы исследования

Поиск решений по улучшению и модернизации МФФП проводился логическим путем, что определило возможность применения дополнительных КОИ в дополнение к раствору фенолфталеина. В качестве дополнительных индикаторов были выбраны ализарин (1,2-дигидроксиантрахинон) и нейтральный красный (3-амино-7-диметиламино-2-метилфеназина гидрохлорид).

Объектами исследования служили образцы кубической формы размером  $10 \times 10 \times 10$  см, изготовленные из тяжелого бетона класса прочности В30, марки по водонепроницаемости W6 и мелко-размерные образцы кубической формы размером  $3 \times 3 \times 3$  см из мелкозернистого бетона на основе ЦЕМ I 42,5 с В/Ц = 0,3. Величина отклонения геометрических размеров испытуемых образцов не превышала  $\pm 1,5$  мм, возраст образцов размером  $10 \times 10 \times 10$  см составлял от 3 ~ 5 лет, возраст образцов размером  $3 \times 3 \times 3$  см не превышал 180 сут.

Для проведения экспериментальных исследований использовались следующие приборы и оборудование: измеритель влажности Testo 606-1, портативный электрометрический pH-метр Testo 206-pH1, цифровая зеркальная фотокамера Canon 1200D, аппарат для газирования очищенной и дистиллированной воды модели Oursson OS1000SK, перфоратор аккумуляторный DeWALT DCH133M1. Дополнительно для подкисления применяли 1%-й раствор плавиковой кислоты (HF).

В лабораторных испытаниях применялась разработанная авторская методика создания искусственных условий нейтрализации «свободного» гидроксида кальция (приближенная к условиям реальной эксплуатации конструкций). Лабораторные образцы предварительно поверхностно смачивались дистиллированной водой и погружались в открытый пластиковый сосуд, который устанавливался в закрытый герметичный сосуд большего размера. В закрытом сосуде находилась активная коррозионная среда – дистиллированная вода, насыщенная углекислым газом (рис. 3). Для подкисления раствора дополнительно добавлялось небольшое количество 1%-го раствора HF. Срок нахождения образцов в среде углекислого газа составлял 28 сут., после чего образцы вынимались и помещались непосредственно в раствор угольной кислоты сроком на 120 сут.



Рис. 3. Исследуемые образцы в среде углекислого газа

Растворы индикаторов ализарина и нейтрального красного поучаи в соответствии с требованиями приготовления ализаринсодержащих и других индикаторов пункта 5, а также таблицы 1 (п. 29) ГОСТ 4919.1-2016 «Реактивы и особо чистые вещества». Методы приготовления растворов индикаторов, используемых для определения pH различных сред. Применялись 0,1 и 1%-е растворы ализарина и нейтрального красного в этиловом спирте. Спирт был изготовлен в соответствии с ГОСТ 5962-2013 «Спирт этиловый ректификованный из пищевого сырья. Технические условия».

#### Обсуждение результатов

Определение карбонизации проводили традиционным и модернизированным методами. Для этого, 0,1 и 1%-й растворы ализарина / нейтрального красного в этиловом спирте наносили на поверхность бетона в местах скола, после предварительного покрытия раствором фенолфталеина. При этом поверхность бетонных кубиков заранее очищалась от пыли и увлажнялась дистиллированной водой для очистки. Наносить растворы индикаторов на грязную и пыльную поверхность не рекомендуется.

Согласно ГОСТ 4919.1-2016 «Реактивы и особо чистые вещества», спиртовой раствор ализарина имеет три интервала перехода окраски, благодаря чему появляется возможность определять границы зон высокощелочного бетона с  $12 \geq pH \geq 10,1$  и нейтрализованного или подкисленного

с  $pH < 7,5$  (рис. 4 а). В реальности на раствор ализарина выпадали два интервала перехода окраски, а именно:  $12 \geq pH \geq 10,1$  и  $9,6 \geq pH \geq 7,1$ . Следует отметить, что теоретически предполагалось, что цвет окраски перехода ализарина будет заметнее, чем окраска фенолфталеина, поскольку он имеет более выраженный сиреневый оттенок (рис. 4а).

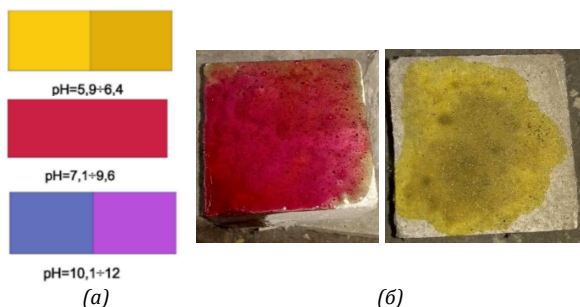


Рис. 4. Окрашивание:

а – раствора индикатора ализарина в зависимости от  $pH$  среды;  
б – поверхности нейтрализованного бетона

Спиртовой раствор нейтрального красного имеет один интервал перехода окраски, но в сторону

меньшего значения  $pH$  бетона с  $6,8 \leq pH < 8,0$ . При чем смена окраски индикатора настолько явная (переход осуществляется из карминово-красного цвета к желтому), что позволяет контролировать состояние поверхности бетона (рис. 4 б). Раствор нейтрального красного предполагалось использовать как дополнение к фенолфталеину, которое будет увеличить возможность определения нейтрализованного бетона в зонах со сниженным  $pH$ .

Фактическую глубину карбонизации (нейтрализации) определяли растворами кислотно-основных индикаторов по зонам видимых областей характерного окрашивания (рис. 5). Для сравнения точности и границ применения методов проводили определение фактической глубины карбонизации бетона [11] у нескольких образцов (табл.).

По результатам проведенных измерений (табл.) отмечено, что раствор индикатора нейтрального красного способствовал улучшению показателей точности метода фенолфталеиновой пробы, поскольку расширял границы применимости исходного индикатора.

Таблица

**Сравнение показателей исходного метода фенолфталеиновой пробы и модифицированного (с применением дополнительных индикаторов)**

Наименование лабораторных образцов, ст-рона	Среда эксплуатации	Фактическая глубина карбонизации X, мм		
		Исходный МФФП	Модифиц. МФФП	
<b>Образцы 3 × 3 × 3 см</b>				
Куб № 1	Агр. CO <sub>2</sub> , раствор	Верхняя и боковые грани	~ 4,0	3,7
		Нижняя грань	3,9	3,8
Куб № 2	Агр. CO <sub>2</sub> , раствор	Верхняя и боковые грани	4,2	4,0
		Нижняя грань	3,8	3,5
Куб № 3	Агр. CO <sub>2</sub> , раствор	Верхняя и боковые грани	4,0	3,8
		Нижняя грань	3,7	3,7
Куб № 4	Агр. CO <sub>2</sub> , раствор	Верхняя и боковые грани	3,9	3,9
		Нижняя грань	4,1	3,9
Куб № 5	Агр. CO <sub>2</sub> , раствор	Верхняя и боковые грани	4,0	4,0
		Нижняя грань	4,0	3,8
Куб № 6	Агр. CO <sub>2</sub> , раствор	Верхняя и боковые грани	4,2	3,8
		Нижняя грань	4,0	3,6



Рис. 5. Окрашивание щелочных зон бетона раствором ализарина по стенкам контрольных отверстий на образцах – бетонных кубиках 10 × 10 × 10 см

Так, в зонах повышенной карбонизации бетонных образцов-кубиков 3 × 3 × 3 см (кубики №№ 2 и 6) точность модифицированного метода была выше, поскольку были участки с  $pH$  бетона, выходящим за границы применения раствора фенолфталеина, которые определялись уже добавленным индикатором. Подобная ситуация

наблюдается при использовании раствора универсального индикатора [1].

Окраска раствора ализарина была слишком тусклой, поэтому не позволила модифицировать (увеличить точность) исходный метод фенолфталеиновой пробы.

**Вывод**

В результате проведенных экспериментов были сформулированы следующие выводы:

- модернизированный метод фенолфталеиновой пробы обладает повышенной точностью (более чем на 8–10 % в некоторых случаях и 15–20 %) определения зон карбонизованного бетона в сравнении с обычным методом;
- метод возможно применять для выявления участков уже нейтрализованного бетона с  $pH < 8$  (как правило такие показатели  $pH$  могут быть



у конструкций, эксплуатируемых длительный срок в зонах кислых газов и углекислотных сред);

- раствор нейтрального красного дает возможность расширить применение метода фенолфталеиновой пробы для определения зон бетона с  $pH < 8$  (окрашивание заметное); ситуация с улучшением эргономики метода для полевых обследований аналогична раствору универсального индикатора [1];

- установлено, что использование ализарина в дополнение к раствору фенолфталеина является затруднительным, поскольку раствор индикатора имеет слишком тусклое сиреневое окрашивание, вследствие чего определение зон сильнощелочного бетона является неточным (окраска фенолфталеина перекрывает окраску ализарина, из-за этого границы применения метода не увеличиваются).

#### Список литературы

1. Гоглев И.Н. Новый индикаторный метод определения зон карбонизации в бетонных и железобетонных конструкциях / И. Н. Гоглев, С. А. Логинова // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. – 2022. – № 8. – С. 8–16.
2. Васильев А. А. Об оценке карбонизации железобетонных конструкций / А. А. Васильев // Вестник Белгородского государственного университета транспорта: наука и транспорт. – 2005. – № 1 (10). – С. 37–41.
3. Румянцева В. Е. Применение полевых и лабораторных методов определения карбонизации, хлоридной и сульфатной коррозии при обследовании строительных конструкций зданий и сооружений / В. Е. Румянцева, И. Н. Гоглев, С. А. Логинова // Строительство и техногенная безопасность. – 2019. – № 15 (67). – С. 51–58.
4. Леонович С. Н. Прогнозирование долговечности железобетонных конструкции при карбонизации / С. Н. Леонович, О. Ю. Чернякевич // Строительные материалы. – 2013. – № 1. – С. 28–31.
5. Шалый Е. Е. Железобетон при воздействии / Е. Е. Шалый, Л. В. Ким, С. Н. Леонович // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. – 2018. – № 6. – С. 5–14.
6. Васильев А. А. Карбонизация и оценка поврежденности железобетонных конструкций / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2012. – 263 с.
7. Пастухов Ю. В. Контроль коррозии при эксплуатации зданий и сооружений в особых условиях / Ю. В. Пастухов, О. П. Сидельникова // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Стр-во и архит. – 2007. – № 7 (26). – С. 42–43.
8. Москвичева А. В. Разработка мероприятий по снижению коррозии оборудования водохозяйственного комплекса / А. В. Москвичева, Е. В. Федулова, А. Ю. Гильгенберг, О. В. Коновалов, Г. Л. Гиззатова // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2021. – № 4 (38). – С. 36–40.
9. Васильев А. А. Исследование механизма и кинетики карбонизации железобетонных конструкций / А. А. Васильев // Строительная наука и техника. – 2006. – № 1 (4). – С. 52–57.
10. Староконь И. В. Применение тепловых методов контроля для оценки уровня опасности коррозионных дефектов морских стационарных платформ / И. В. Староконь // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2020. – № 2 (32). – С. 120–123.
11. Долманюк Р. Ю. Прогнозирование долговечности железобетонных конструкций с помощью вероятностного расчета глубины и скорости карбонизации / Р. Ю. Долманюк, К. В. Махаев // Современные научные исследования и разработки. – 2018. – № 1 (18). – С. 132–135.

© И. Н. Гоглев, С. А. Логинова

#### Ссылка для цитирования:

Гоглев И. Н., Логинова С. А. Испытание альтернативных растворов индикаторов для определения нейтрального слоя бетона в полевых условиях // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2023. № 2 (44). С. 33–37.

УДК 624.154  
DOI 10.52684/2312-3702-2023-44-2-37-41

## СПОСОБ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЙ ГРАНУЛЯЦИИ СЕРОЦЕМЕНТА

*Н. В. Купчикова, Р. И. Шаяхмедов*

**Купчикова Наталья Викторовна**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой экспертизы, эксплуатации и управления недвижимостью, проректор по научной работе и международной деятельности, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань, Российская Федерация; e-mail: kupchikova79@mail.ru;

**Шаяхмедов Растам Ирфагильевич**, кандидат экономических наук, доцент кафедры экспертизы, эксплуатации и управления недвижимостью, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань, Российская Федерация, тел.: + 7 (917) 091-53-34; e-mail: rastams@mail.ru

Цель исследования – создание безопасного способа грануляции серого цемента, не сопровождаемого избыточной влажностью получаемых гранул. Задачи исследования: достичь равномерного распределения