

# ПРИБОРЫ, ИНСТРУМЕНТЫ И МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ

УДК 624.012.45/.46:628.39

## МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ БЕТОНА ВОДООЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ И СПОСОБЫ ЕГО ЗАЩИТЫ ОТ БИОПОВРЕЖДЕНИЙ

А. В. ИГНАТЕНКО<sup>+</sup>, О. В. ОСТРОУХ

УО «Белорусский государственный технологический университет», ул. Свердлова, 13а, 220050 г. Минск, Беларусь.

*Проведены результаты физико-химического и микробиологического анализа состояния бетона конструкций Минской очистной станции и изучены способы его защиты от биоповреждений микроорганизмами. Апробированы биокалориметрический, биолюминесцентный и рН-метрический экспресс-методы контроля состояния бетона очистных сооружений. Изучена степень защиты бетона биоцидными веществами. Отмечено, что нанесение защитных веществ на поверхность бетона в составе покрытий эффективно защищает его от биоповреждений.*

### Введение

Городские очистные сооружения являются основным местом биологической очистки сточных вод от промышленных и бытовых загрязнений перед их сбросом в естественные водоемы.

Биоочистка сточных вод осуществляется за счет непрерывной работы организмов активного ила, проводящих деструкцию загрязняющих веществ до простых соединений и снижающих уровень загрязненности воды до безопасного для окружающей среды.

Благодаря большому содержанию разнообразных микроорганизмов и органических веществ, сточная вода является агрессивной биологической средой, действующей не только на загрязнения, но и на железобетонные конструкции водочистой станции.

Пористая структура бетона способствует вовлечению микроорганизмов в коррозионные процессы. Наличие пор сечением от  $10^{-4}$ – $10^{-7}$  м в микроструктуре цементного камня способствует фильтрации омывающей жидкости и задержке мелких частиц и микроорганизмов на поверхности бетона. Микроорганизмы размером 1–10 мкм могут также проникать внутрь структуры бетона.

В условиях, благоприятных для роста и размножения микроорганизмов они могут ускорять разрушение строительных материалов в десятки и сотни раз, по сравнению с действием атмосферно-климатических факторов [1]. При этом основными

деструкторами бетона могут выступать не только хемолитотрофные микроорганизмы развивающиеся на неорганических материалах, но и гетеротрофные микроорганизмы, использующие органические вещества присутствующие в достаточных количествах в сточных водах.

Один из механизмов биоповреждений бетонных сооружений связан с их разрушением вследствие химических реакций между цементным камнем и продуктами жизнедеятельности микроорганизмов. К основным агрессивным продуктам метаболизма микроорганизмов относятся: органические и минеральные кислоты, сульфиды, аммиак и др., которые вызывают разрушение бетона, а также арматуры.

В результате биокоррозии бетона и металла железобетонные конструкции быстро выходят из строя, требуют частого ремонта и больших затрат средств на его осуществление.

Несмотря на важную роль микроорганизмов сточных вод в биодеструкции железобетонных конструкций, их микробиологическое состояние, как правило, не контролируется, а фиксируется только факт видимых повреждений. Это в частности связано с отсутствием быстрых и эффективных методов контроля содержания и активности микроорганизмов на поверхности промышленных изделий, а также из-за сложности разделения влияния на объекты микробиологических, атмосферных и климатических факторов.

<sup>+</sup> Автор, с которым следует вести переписку.

Предотвратить возникновение биокоррозии гораздо легче, чем потом бороться с ее последствиями. Для защиты железобетонных конструкций от биоповреждений существует несколько подходов: использование водостойкого бетона, пропитка бетона гидрофобными материалами, покраска поверхности и др. [2].

Одним из основных способов защиты поверхности изделий от биоповреждений микроорганизмами является использование антимикробных препаратов в составе пропиток или покрытий для защиты оборудования, конструкций и сооружений от биокоррозии.

**Цель работы** – оценка состояния бетона очистных сооружений и выбор эффективных способов защиты бетона от биоповреждений микроорганизмами.

### Объекты и методы испытаний

В качестве объектов исследования служили образцы бетона, отобранные из бетонной стены 6-ой и 8-ой секций аэротенка Минской очистной станции (МОС), находившихся на профилактическом осмотре. Использовали также образцы бетона, приготовленные из компонентов: песок: цемент (марка А-500): вода при их соотношении: 3:1:1 без добавок биоцидов (контроль) и с добавками 0,5% биоцидов, введенных в объем и на поверхность материала (рабочие образцы).

Навески бетона, массой 1 г взвешивали на весах СЦ-2020, вносили в 3 см<sup>3</sup> дистиллированной воды и регистрировали величину рН растворов с помощью рН-340. Измерение и расчет карбонатной составляющей бетонов (КС) проводили в соответствии с [2].

Отбор проб для микробиологического анализа поверхности бетона секций аэротенка проводили методом высверливания образцов победитовым сверлом на глубине 0–50 мм, а также путем «соскоба» проб. Для этого с  $S = 100 \text{ см}^2$  в 4-х участках соскабливали слой материала с микроорганизмами и помещали в 100 мл стерильной воды. После перемешивания 1 мл взвеси или ее десятикратных разведений помещали в чашку Петри и заливали питательным агаром. Чашки культивировали при 30 °С в течение 3-х суток и подсчитывали общее содержание клеток, бактерий и грибов [1]. Параллельно проводили биокалориметрический анализ образцов бетона с помощью микрокалориметра МКМ-Ц в соответствии с [3]. Билюминесцентные измерения выполняли на люминометре «SystemSure II» с устройством «Ultrasnap<sup>TM</sup> ATP» (Hygiene LLC, Великобритания) [4].

Для защиты материалов от биоповреждений применяли следующие способы: пропитывание образцов бетона биоцидами, окрашивание полиакриловой краской без и с добавками биоцидов, введение биоцидов в объем цементного раствора при получении бетона. В качестве биоцидов использовали 0,5% препараты ИП Инкраслав

(РФ/РБ): «Инкрасепт», «Диактин».

Так как наибольшую опасность для сохранности свойств лакокрасочных покрытий представляет плесневое поражение, критерием их биостойкости была выбрана фунгитоксичность по отношению к плесневым грибам.

Для испытаний готовили по 15 образцов каждого вида, из которых три контрольных. Лакокрасочные композиции получали путем введения в их состав расчетного количества биоцида с последующим перемешиванием смеси на бисерной мельнице.

Краску без и с биоцидами наносили на анализируемые образцы кистью. В качестве контрольного образца использовали незащищенные материалы.

Биостойкость бетона и защитных покрытий проверяли с использованием почвенного метода по ГОСТ 9.048–89 и методом «агаровых блоков» [5, 6].

В методе «агаровых блоков» на поверхность образцов, помещенных в чашки Петри, наносили по центру блоки питательной среды со сплошным газоном чистой тест-культуры гриба *Aspergillus niger*, диаметром 6 мм. Чашки Петри инкубировали в термостате при  $T = 30 \text{ °С}$  в течение 28 сут.

Для анализа образцов почвенным методом подготовленные материалы вносили в лоток, заполненный почвой и помещенный в закрытый эксикатор. Образцы выдерживали в эксикаторе при  $(29 \pm 2) \text{ °С}$  и относительной влажности 90% в течение 28 сут. После чего образцы исследовали визуально и микроскопически на предмет роста и развития грибов и степени заражения поверхности материала микроорганизмами.

Оценку биостойкости объектов проводили в баллах в соответствии с ГОСТ 9.048–89. Полученные значения усредняли по 3 образцам и округляли до 0,5 балла.

### Результаты эксперимента и их обсуждение

На рис. 1 приведено визуально наблюдаемое разрушение защитного слоя бетонной плиты с оголением железной арматуры.



Рис. 1. Повреждение защитного слоя железобетонной конструкции

Использование физико-химических методов анализа позволяет регистрировать начальные стадии повреждений материалов и конструкций и своевременно защищать их от коррозии и биокоррозии.

Физико-химические свойства бетонов определяются, прежде всего, содержанием в них карбонатов и ионов водорода. Величина pH поровой влаги цементсодержащих материалов является одним из наиболее важных физико-химических показателей, определяющих состояние бетонов. Как известно, свежий бетон имеет pH 12,5–13 [2]. В процессе эксплуатации бетона с течением времени происходит увеличение содержания карбонатов, в результате чего pH бетонов может снижаться до pH 7–8.

Анализ карбонатной составляющей и pH образцов бетона секций азротенка МОС представлен на рис. 2, 3.

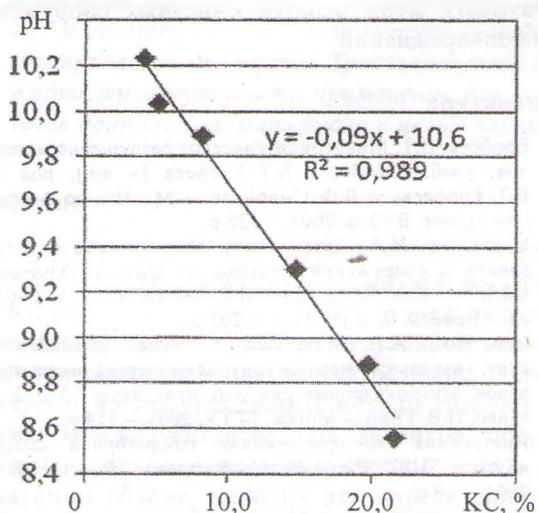


Рис. 2. Зависимость карбонатной составляющей от значения pH поровой влаги образцов бетона

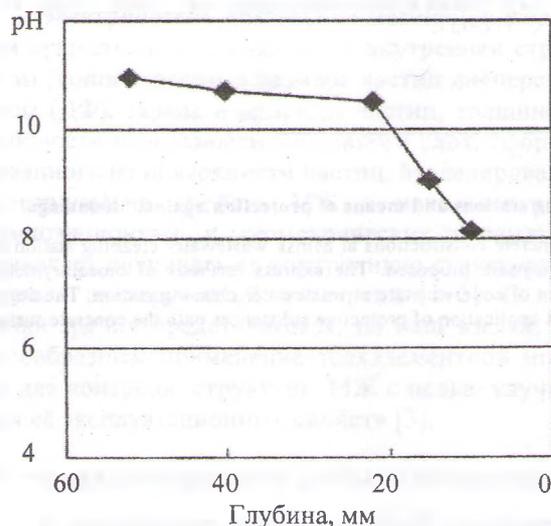


Рис. 3. Изменение pH образцов по глубине бетона

Как видно из рис. 2, между изменениями величин КС и pH существует обратно пропорциональная зависимость. Это позволяет по измеренным значениям pH быстро определять величину КС бетонов и выделять их критические и опасные участки.

В соответствии с градацией состояний бетонов по карбонатной составляющей при КС > 20 бетон находится в критическом состоянии, при 15 < КС < 20 – в опасном состоянии, при 10 < КС < 15 – в ослабленном состоянии, при КС < 10 в нормальном состоянии [2].

Рост КС бетона способствует смещению границы его защитных свойств с поверхности вглубь материала, что приведет к биокоррозии арматуры железобетонных конструкций.

Анализ величины pH поровой влаги по глубине бетона приведен на рис. 3. Как видно из рис. 3, поверхностный слой бетона глубиной менее 20 мм быстро теряет свои защитные свойства.

Показатель pH поровой влаги бетона отражает действие как атмосферно-климатических, так и микробиологических факторов. Методом pH-метрии невозможно разделить вклад химической и микробиологической составляющей в изменение величины pH поровой влаги бетонов. Для наблюдения за содержанием и жизнедеятельностью микроорганизмов на поверхности бетона использовали метод культивирования проб на агаре [1], а также биофизические экспресс-методы: биокалометрии и биолюминесценции (табл. 1).

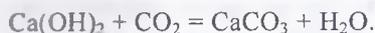
Таблица 1. Микробиологические, биофизические и физико-химические показатели образцов бетона секций азротенка Минской очистной станции

Образцы	pH	Уровень загрязненности поверхности бетона микроорганизмами		
		Метод посева, кл/см <sup>2</sup>	q, мкВт	I, отн. ед.
Образец № 1	8,4	1,28·10 <sup>7</sup>	3636	4057
Образец № 2	9,3	2,87·10 <sup>6</sup>	675,8	435
Образец № 3	9,4	1,28·10 <sup>6</sup>	327,3	311

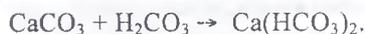
Как видно из табл. 1, уровень загрязненности поверхности образцов бетона микроорганизмами и их физиологическая активность коррелируют с величиной pH поровой влаги бетона. Благодаря высокому значению pH, обусловленному присутствием Ca(OH)<sub>2</sub>, свежий бетон сам себя защищает от развития микроорганизмов. Однако в процессе атмосферной карбонизации бетона или гидратационного обмена между поровой влагой и сточными водами pH поверхности бетона снижается, что способствует его колонизации щелочустойчивыми хемолитотрофами и органотрофами, поглощающими органические соединения из сточных вод.

Колонии бактерий и грибов на поверхности бетона в процессе своей жизнедеятельности выделяют большое количество углекислого газа, кото-

рый наряду с атмосферным  $\text{CO}_2$  способствует усилению карбонизации бетона:



В свою очередь избыток углекислоты и влаги будет действовать на карбонатную пленку, образуя бикарбонат кальция, который хорошо растворим в поровой влаге:



Вследствие вымывания кальция уменьшается сила сцепления цементного материала и начинается его разрушение. Наряду с приведенным механизмом могут протекать и другие процессы биоповреждений бетона [1]. В условиях образования биопленок и биообрастания поверхности материала, наблюдаемых при содержании микроорганизмов  $10^5$ – $10^6$  кл/см<sup>2</sup> увеличивается выделение  $\text{CO}_2$  и роль биокоррозии значительно возрастает.

Для выбора наиболее эффективного способа защиты бетона от биоповреждений был проведен анализ биостойкости приготовленных образцов бетона с поверхностным применением биоцидов в свободном состоянии и в составе краски (табл. 2).

Таблица 2. Характеристика биостойкости образцов бетона

Образцы бетона	Метод агаровых блоков	Почвенный метод
1 Без защиты (контроль)	3,0	3,0
2 Обработка биоцидом «Инкрасепт»	2,0	2,5
3 Окрашивание без биоцида	1,5	1,5
4 Окрашивание с биоцидом «Инкрасепт»	1,0	1,5
5 Окрашивание с биоцидом «Диактин»	0,5	0,5

Как видно из табл. 2, наблюдается подавление развития микроорганизмов на цементсодержащих материалах при использовании биоцидов на поверхности образцов. Наилучший эффект достигается для образцов, покрытых краской с добавкой биоцида «Диактин».

## Выводы

В результате проведенного анализа можно сделать следующие выводы: 1) для защиты материалов и конструкций от биоповреждений микроорганизмами возможно поверхностное нанесение биоцидных препаратов; 2) биоцидные вещества лучше использовать в составе красочного покрытия, чем в свободном состоянии. Поверхностный способ нанесения биоцидов позволяет также достигнуть дополнительного экономического эффекта за счет уменьшения расхода защитных средств.

Методы pH-метрии, биокалориметрии и биолюминесценции позволяют оперативно следить за состоянием железобетонных конструкций и контролировать развитие микроорганизмов на их поверхности. Анализ микробиологического состояния поверхности конструкций дает возможность быстро оценивать степень их биокоррозии и разрабатывать меры защиты очистных сооружений от биоповреждений.

## Литература

- Ерофеев, В.Т. Микробиологическое разрушение материалов: учеб. пособие / В.Т. Ерофеев [и др.]; под ред. В.Т. Ерофеева и В.Ф. Смирнова. – М.: Изд-во Ассоциации строит. ВУЗов, 2008. – 128 с.
- Кудрявцев, И.А. Диагностика, эксплуатация и ремонт зданий и сооружений: пособие по спец. «Технический надзор» / И.А. Кудрявцев, М.В. Беспалова, А.А. Васильев. – Гомель: БелГут, 2003. – 265 с.
- Игнатенко, А.В. Микробиологические, органолептические, визуальные методы контроля качества пищевых товаров. Микрокалориметрия: лаб. практикум / А.В. Игнатенко, Н.В. Гриц. – Минск: БГТУ, 2003. – 114 с.
- Инструкция по применению лабораторной системы «System SURE II». – Великобритания: Hygiene LLC. – 2004. – 59 с.
- Изделия технические. Методы лабораторных испытаний на стойкость к воздействию плесневых грибов. ГОСТ 9.048–89 – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 9 с.
- Белясова, Н.А. Исследование биоцидных свойств защитных покрытий // Н.А. Белясова [и др.]. – Труды БГТУ. – Сер. Химия и технологии орган. в-в. – 2003. – Вып. XI. – С. 112–117.

Ignatenko A. V. and Ostroukh O. V.

Methods of control over concrete condition at wastewater cleaning stations and means of protection against biodamage.

The results of physico-chemical and microbiological analyses of concrete constructions at Minsk wastewater cleaning station are given and the means of protection against biodamages by micro-organisms are proposed. The express methods of biocalorimetric, bioluminescence and pH-metrical control have been tested for estimation of concrete state at wastewater cleaning station. The degree of concrete protection by biocidal substances was studied. It was noted that application of protective substances onto the concrete surface in paint compositions is highly efficient.

Поступила в редакцию 22.11.2011.

© А. В. Игнатенко, О. В. Остроух, 2012.