



БОРЬБА С БИОЛОГИЧЕСКИМИ ОБРАСТАНИЯМИ В СИСТЕМАХ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ОТКРЫТЫХ ВОДОЁМОВ

С.Н. Шаляпин, Директор Харьковской электротехнической компании,

Т.С. Шаляпина, аспирант Киевского национального университета строительства и архитектуры.

Биообрастания являются разновидностью развивающейся в воде биопленки. Они развиваются на поверхностях труб, насосов и на погруженных в воду поверхностях ёмкостей и технологического оборудования. В системе водоснабжения они ухудшают качество воды и санитарно - техническое состояние водопроводной сети, забивают сетки, решетки, фильтры и трубы. При биообрастании значительно снижается пропускная способность трубопроводов, ухудшается работа теплообменников, возрастают затраты энергии на перекачку воды.

Формирование биообрастаний начинается с осаждения клеток микроорганизмов на находящихся в воде технологических конструкциях, стенках каналов и т.п. Скорость развития обрастаний колеблется от 3 - 60 мг/м²·ч при пользовании водой из практически чистых водоёмов, и до 450 - 500 мг/м²·ч, при использовании загрязнённых вод. В результате развития сапрофитной микрофлоры, сульфатредукторов, нитрификаторов и железобактерий в воде повышаются концентрации ушлекислого газа, сероводорода, оксидов азота, понижается уровень рН, ускоряется коррозия бетона и металлов. По экспертным оценкам от 50 до 80% коррозионных повреждений трубопроводов и канализационных бетонных коллекторов вызвано деятельностью вышеперечисленных микроорганизмов.

Развитие биологических обрастаний в тепломагистралях приводит к их быстрому закупориванию и резкому снижению теплопередачи в теплообменных аппаратах. Так, например, появление в теплообменниках **биоплёнки толщиной 250 мкм снижает теплопередачу на 20 - 25%**. Биоплёнка служит основой для развития водорослей и моллюсков (например, *Dreissena polymorpha*), которые снижают пропускную способность трубопроводов систем оборотного водоснабжения металлургических комбинатов, тепловых и атомных электрических станций, приводя к локальному перегреву технологического оборудования и возникновению аварийных ситуаций.



Рис. 1. Биообрастания на наружной и внутренней поверхности водоподъемных труб скважин



Биологическое обрастание характерно не только для водопроводных коммуникаций, но и для открытых природных или искусственных водоёмов, когда в результате быстрого размножения микроводорослей происходит цветение воды. Под действием солнечного света в водоёмах начинают активно размножаться водоросли, которые со временем покрывают всё дно и стенки гидротехнических сооружений слоем зелени, при этом вода в водоеме становится мутной, а на стенках появляется темно – зелёный или красно - багряный слой растительности. Способность сине - зелёных водорослей к быстрому размножению приводит к резкому ухудшению качества воды, и в первую очередь к дефициту растворённого в воде кислорода, а также к быстрому накоплению в воде большого количества токсичных метаболитов, в результате чего вода водоёме становится непригодной для обитания животных и использования людьми.

Для борьбы с биообрастанием технологических водопроводов и резервуаров широко применяется метод их обеззараживания при помощи химических окислителей, в основном хлора и его соединений. Дозы хлора, время контакта и периодичность обработки зависят от типа и количества микроорганизмов, которые присутствуют в биообрастаниях. Однако применение хлора имеет ряд существенных ограничений, среди которых основным является величина предельной дозы хлора, необходимой для борьбы с биообрастанием. Проведённые исследования показали, что даже при применении хлора в количестве 4 - 6 мг/дм³ (по свободному хлору) при времени обработки 8 – 10 часов на обрабатываемой поверхности сохраняются до 20% микрофлоры биоплёнки, которая становится питательной средой для размножения микроорганизмов, которые создают эту же биоплёнку. Так же не следует забывать, что при взаимодействии хлора с органическими веществами биоплёнок в воде происходит образование опасных для человека хлорорганических соединений.

В качестве альтернативных методов борьбы с биообрастанием изучалось применение гипохлорита натрия, диоксида хлора, озона, пероксида водорода, ультрафиолетового излучения. Однако применение этих методов сталкивалось с рядом технологических затруднений. Так, например, применение гипохлорита натрия или пероксида водорода приводит к существенному увеличению расхода этих реагентов. Использование озона сдерживается довольно таки большими энергозатратами на получение озона и сложностью озонирующего оборудования. Применение ультрафиолетового излучения до недавнего времени было ограничено отсутствием надёжных и высокоэффективных источников УФ излучения. Наиболее эффективным из вышперечисленных альтернативных методов борьбы с биообрастанием является метод, который основан на применении диоксида хлора. По своему обеззараживающему эффекту диоксид хлора в 4 раза превосходит эффективность воздействия хлора. Однако, учитывая, что диоксид хлора получают на месте его применения из раствора соляной кислоты и гипохлорита натрия, его применение требует соблюдения строгих мер техники безопасности и соблюдения действующего законодательства Украины,

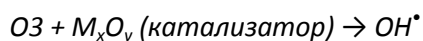
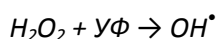
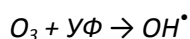


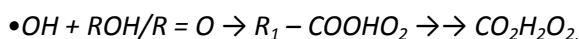
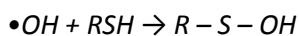
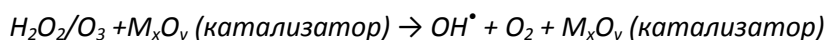
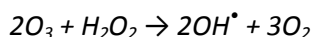
ограничивающего применение соляной кислоты. Также необходимо учитывать, что использование для борьбы с биообрастанием токсичных химических веществ далеко не всегда является оправданным, так они являются довольно агрессивными (I – III класс опасности) и приводят к коррозии всей системы оборотного водоснабжения. Ещё одним фактором, ограничивающим применение химических методов борьбы с биологическими обрастаниями, является токсичность применяемых препаратов, что делает невозможным применение этих методов для борьбы с биообрастанием открытых водоёмов.

В последнее время для борьбы с биообрастанием систем оборотного водоснабжения стала активно применяться технология активного окисления (Advanced Oxidation Process). Суть этой технологии сводится к фотолитической деструкции (фотохимическому окислению) находящихся в воде органических соединений, бактерий, сине – зелёных водорослей и т.п. гидроксильными ионами OH^\bullet , которые образуются в результате облучения воды, в которую предварительно введён экологически безопасный окислитель (озон или пероксид водорода), ультрафиолетовым излучением. В результате такой обработки происходит эффективное разрушение образующих биоплёнку микроорганизмов, в том числе и вызывающих цветение воды сине – зелёных водорослей, а также гибель личинок простейших микроорганизмов и малюсков. Вода приобретает хорошую прозрачность и окраску, при этом полностью устраняются присущие застойной воде специфические запахи.

Одним из основных преимуществ технологии активного окисления является возможность полного или частичного разрушения органических соединений, из которых состоят биологические отложения, при температуре окружающей среды путём преобразования их в различные безвредные промежуточные или конечные продукты, например, в карбоновые кислоты, двуокись углерода. Основными окислителями в технологии активного окисления выступают гидроксильные радикалы и озон, которые могут эффективно реагировать с органическими соединениями при очень высоких скоростях реакций окисления (более $10^9 \text{ м}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$).

Сущность процесса борьбы с биообрастанием технологических водопроводов, насосного оборудования и регулирующей арматуры заключается во внедрении в систему оборотного водоснабжения специального фотохимического деструктора, который обеспечивает эффективное разрушение содержащихся в воде органических соединений. Основные окислительные реакции, которые протекают внутри фотохимического деструктора можно описать следующими формулами:





где R – органический компонент.

Обработка технологических режимов установки для фотохимического разрушения биологических обрастаний проводилась путём внедрения фотохимического деструктора в систему оборотного водоснабжения промышленного кондиционера. Расход воды в системе оборотного водоснабжения составил 10 м³/ч. Средняя температура воды в системе оборотного водоснабжения составляла 24°С. Результаты предварительных испытаний приведены на рис. 1.

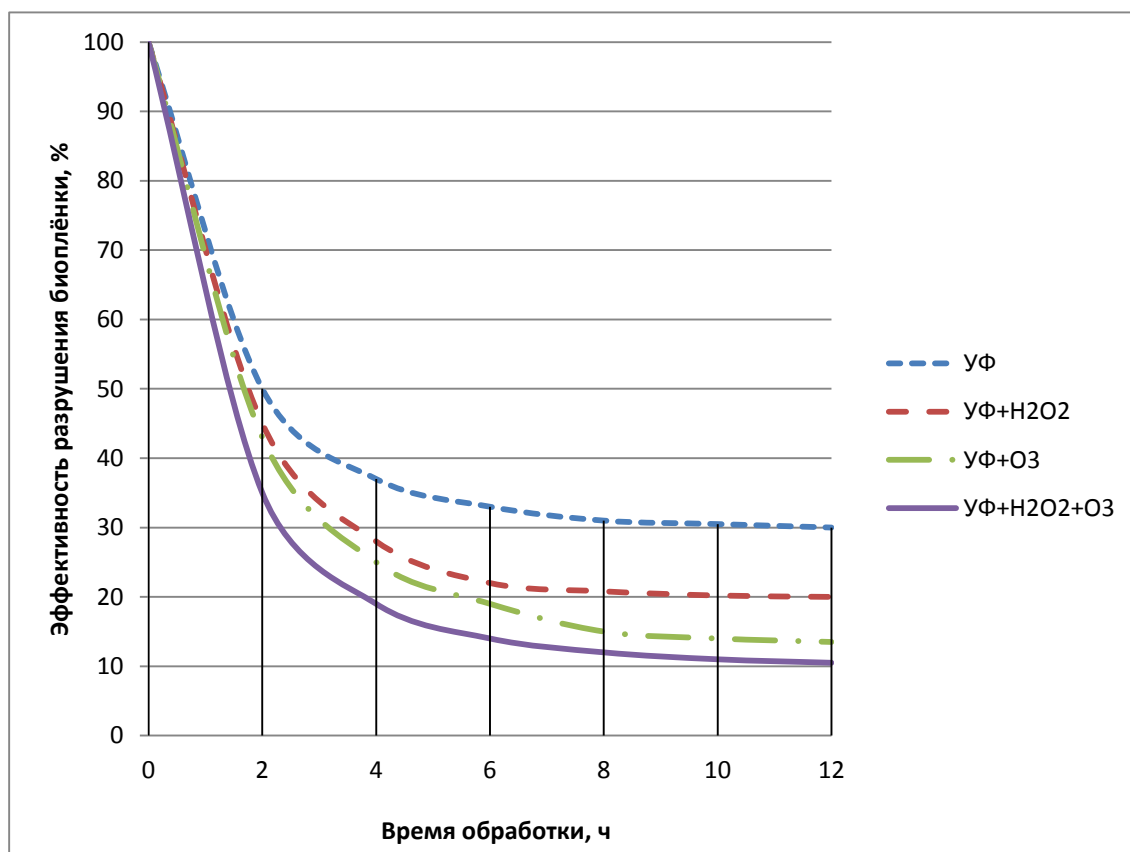


Рис. 1 – Эффективность разрушения биологической плёнки в системе оборотного водоснабжения (водоохлаждения) промышленного кондиционера.

Как видно из рисунка 1 особенно высокая эффективность разрушения биоплёнки была достигнута при одновременном введении в фотохимический деструктор перекиси



водорода и озона. Эффективность разрушения биоплёнки составила 87 - 90%, что позволяет судить о перспективности применения метода активного окисления для эффективной очистки систем оборотного водоснабжения. Как показали проведённые эксперименты, эффективность работы установки можно значительно повысить, однако при этом следует не забывать об экономической целесообразности. Для эффективной работы системы оборотного водоснабжения необходимо выбрать такой режим работы фотохимического деструктора, при котором бы обеспечивалась не только высокая эффективность работы всей системы, но и затраты на её обслуживание не были бы обременительными.

Особый интерес представляет применение технологии активного окисления для борьбы с цветением открытых водоёмов, в том числе декоративных, плавательных или тех, которые предназначены для промышленного выращивания рыб. То есть для таких водоёмов, в которых для борьбы с цветением воды (биообрастанием) невозможно применять токсичные химические реагенты. Для реализации технологии активного окисления были применены специальные установки, обеспечивающие эффективную обработку оборотной воды ультрафиолетовым излучением с последующей её очисткой на скорых фильтрах с зернистой загрузкой. Для повышения эффективности борьбы с биообрастанием и обеспечения технологии активного окисления в воду добавлялась перекись водорода в количестве 2 – 4 мг/дм³. Упрощённая технологическая схема очистки воды от сине – зелёных водорослей показана на рисунке 3. Установка состоит из двух фотохимических реакторов (один - рабочий, второй – резервный) производительностью по 100 м³/ч каждый (рис. 4), системы для дозированного ввода пероксида водорода, насосов системы оборотного водоснабжения, системы насыщения воды кислородом воздуха, фильтров предварительной очистки воды и скорых фильтров с зернистой нагрузкой. Запуск установки производился в период активного цветения воды. Для ускорения процесса очистки воды одновременно были включены оба фотохимических реактора. На пятые сутки работы установки вода стала чистой и прозрачной, визуально хорошо наблюдалось дно водоёма и плавающие в воде декоративные рыбы. На шестые сутки один из фотохимических реакторов был выведен из эксплуатации и переведён в режим ожидания (в резерв). В дальнейшем фотохимические реакторы включались один – два раза в неделю на 12 – 16 часов, а также по мере необходимости. Удельный расход электроэнергии на очистку воды составил 70 Вт·ч/м³.



Рис. 2 – Зависимость прозрачности воды в водоёме от времени работы установки.

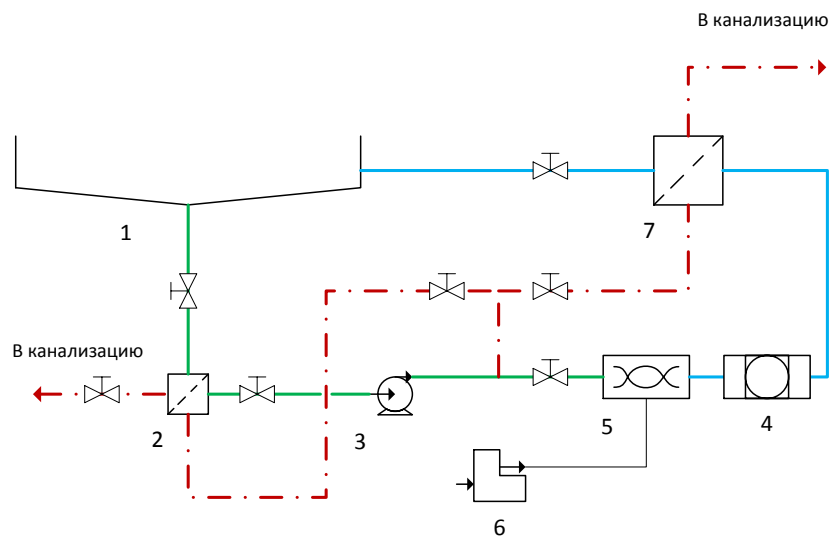


Рис. 1. Схема очистки воды от сине - зелёных водорослей: 1 - водоём, 2 - фильтр грубой очистки (сетчатый фильтр), 3 - насос, 4 - фотохимический деструктор, 5 - сепаратор, 6 - дозирующий насос, 7 - фильтр с зернистой загрузкой.

Рис. 3 - Технологическая схема установки для борьбы с биообрастанием декоративного пруда объёмом 870 м³ с применением технологии *активного окисления (Advanced Oxidation Process)*.



Рис. 4. Фотохимические реакторы в системе оборотного водоснабжения декоративного пруда. Харьков, Сокольники

Подводя итог, можно выделить несколько основных преимуществ технологии активного окисления, которые определяют перспективность применения технологии активного окисления для борьбы с биообрастанием технологических систем оборотного водоснабжения и открытых водоёмов, а именно

- ✓ *высокую экологическую безопасность (для очистки воды не применяются токсичные химические реагенты);*
- ✓ *отсутствие в воде вредных химических и органических веществ, вызывающих коррозию насосов, запорной арматуры и трубопроводов системы оборотного водоснабжения;*
- ✓ *высокую эффективность очистки (вода в системе становится чистой через несколько дней работы установки, при этом полностью исчезают болотные запахи и происходит дезинфекция воды, исчезает слизь на погружённых в воду трубах и металлоконструкциях);*
- ✓ *низкие эксплуатационные расходы.*

Проведённые работы по фотохимической деструкции биологических обрастаний трубопроводов, технологического оборудования и открытых водоёмов показали перспективность этого направления. Особенно большую целесообразность этот метод может получить для борьбы с биообрастанием открытых водоёмов, то есть там, где по экологическим соображениям нельзя применять химические методы борьбы с их биообрастанием.