

ЗАЩИТА ОТ ОБРАСТАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ И ПЕРВИЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МОРСКОЙ ВОДЫ

С.В. Казанцев, Т.В. Казанцева

Морской гидрофизический институт
НАН Украины
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2
E-mail: oaoimhi@inbox.ru

В статье приводятся общие сведения по обрастанию объектов, находящихся в морской воде, по опубликованным в печати материалам, а также на основании проведенных в МГИ НАН Украины исследований на примере опытной эксплуатации комплекса оборудования морской прибрежной станции БРИЗ-1. Кратко описаны основные обрастатели для черноморского региона, их жизненный цикл, а также основные методы борьбы с обрастанием и рекомендации комплексной защиты от обрастания гидрофизических приборов.

Существует множество морских объектов, вблизи или на которых необходимо контролировать ряд параметров окружающей среды (температура, электропроводность, давление, плотность, растворенный кислород, рН и т.д.) различными приборами и датчиками. Соответственно акцент делается на долгосрочные и мало обслуживаемые комплексы и датчики, позволяющие проводить соответствующие измерения. Одной из главных причин искажения показаний может быть стремительное обрастание, которое может возникнуть даже после нескольких дней эксплуатации.

Обрастание – это процесс, при котором сообщества животных и растений обитают на твердом субстрате. [1] Обычно в сообществе преобладают прикрепленные организмы, однако присутствуют и подвижные организмы, обитающие среди прикрепленных и использующие их в качестве пищи и убежища [1].

Для человека обрастание имеет целый ряд негативных факторов. На рис. 1 представлены примеры объектов, подвергнутых обрастанию. В судоходстве оно вызывает значительное снижение скорости судна (вплоть до 50%) и повышенный расход топлива [1], что приво-

дит к ежегодным многомиллионным затратам. Увеличение скорости коррозии металла и бетона в воде из-за биологического обрастания приводит к разрушению опор мостов, платформ и т.д. Еще одним негативным фактором является уменьшение просветов водоводов, что способствует коррозии, перегрузке и выходу из строя различных механизмов. Обрастание увеличивает массу буев и других плавучих объектов (понтонных, кранцев и т.д.), что нарушает их функционирование и выводит из строя. Кроме того, ухудшается качество работы и возникают отказы точных измерительных приборов и ряда датчиков. Даже за несколько дней эксплуатации возможно значительное ухудшение показаний приборов [2].



Р и с. 1. Объекты, подверженные обрастанию

Обрастание классифицируют по целому ряду факторов. Обычно его подразделяют на прибрежное, океаническое и глубоководное [1]. Первое характеризуется большим количеством видов, высокой скоростью и большой массой. Океаническое обрастание ограничено определенным числом видов, но встречается оно повсеместно, кроме покрытых льдом районов. Оно характеризуется небольшой биомассой, но высокими темпами роста. Глубоководное обрастание ограничено в видовом составе и характеризуется малой биомассой. Следует отметить, что на одинаковых широтах обрастание мало чем отличается, оно имеет схожие доминирующие формы, за

исключением некоторых частных случаев.

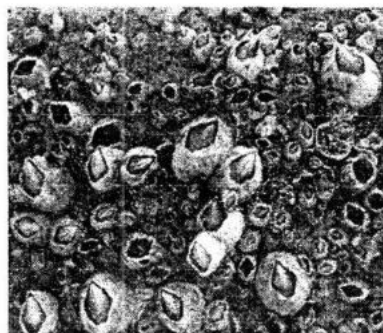
На скорость и состав обрастания влияет большое количество факторов. Например, в Черном море [1] для баянусов были выявлены прямые зависимости от мидий, мшанок, гетеротрофных бактерий перифитона, мертвых диатомовых и рН взвеси, растворенного органического вещества, трансформированного перифитоном, карбонатов в перифитоне, живых диатомовых в планктоне, аллохтонных углеводов, HCO_3 и CO_2 и обратные зависимости от гетеротрофных бактерий и карбонатов взвеси. Для гидридов – прямые зависимости от мертвых диатомовых планктона и рН воды, карбонатов на взвеси, O_2 , температуры и CO_2 воды и обратные зависимости от растворенного органического вещества.

Условно процесс обрастания разделяют на 5 стадий [3], однако некоторые стадии могут отсутствовать и иметь другую последовательность или же происходить параллельно:

- адсорбция органических и неорганических частиц, формирующих пленки практически сразу после погружения;
- развитие на пленках микроорганизмов;
- развитие на поверхности бактериальных пленок;
- развитие комплексного сообщества, в основе которого лежат микроводоросли и другие растительные формы;
- прикрепление крупных организмов с преобладанием беспозвоночных, раков, мидий и макро водорослей.

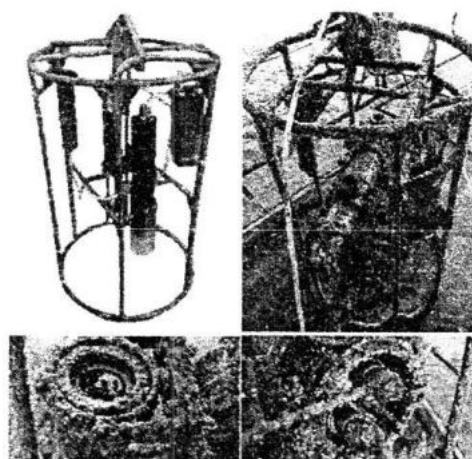
Всего на антропогенных субстратах различают около 3000 видов обрастателей, а на природных – около 20000 [1]. Основных обрастателей классифицируют следующим образом: бактерии, грибы, водоросли, губки, кишечнополостные, полихеты, мшанки, моллюски, ракообразные, насекомые, иглокожие, оболочники [1].

В Черном море [1] руководящими формами обрастателей являются *Balanus improvisus* (рис. 2) и *Balanus eburneus*, мидии, *Cordylophora caspia* и *Perigonimus megas*. Биомасса обрастания значительна везде, кроме сильно опресненных районов. Высокий темп роста обрастателей, оседание личинок происходят в течение большей части года, иногда почти весь год [1].



Р и с. 2. *Balanus improvisus*

За время сезонной эксплуатации морской прибрежной станции БРИЗ-1 (с 7 октября по 18 ноября 2010 года) произошло ее интенсивное обрастание усоногими раками баянусами, что повлекло за собой ряд негативных последствий, которые выражаются в нарушении нормальной работы оптического канала, канала электропроводности, концентрации растворенного кислорода, рН [4]. На рисунке 3 представлена фотография станции после эксплуатации, на которой виден уровень обрастания.



Р и с. 3. Обрастание морской прибрежной станции БРИЗ-1 (период постановки с 7 октября по 18 ноября 2010 года)

Баянусы – это усоногие раки, которые имеют три стадии развития: наупис (свободно плавающая личинка), циприс (ползающая стадия развития) и взрослая особь [5]. Баянусы появляются на поверхности уже после 1 – 2 недель постановок и первыми садятся на защищенные (отравленные) поверхности. Они являются эврибионтами, т.е. способны переносить изменения состава воды, загрязнения, перепады температур, более устойчивы к медным соединениям отно-

сительно других обрастателей [5]. Баянусы имеют свойство крепко прикрепляться к поверхности при помощи выделяемого клея, сходного по качеству с синтетическими водостойкими клеями, устойчивыми к воздействию щелочей и кислот [5]. По мере роста они наносят повреждения слою краски на поверхности. Склонны к колонизации и выделяют вещества, приманивающие других особей, что способствует лучшему их укреплению на поверхности субстрата [5]. Помимо перекрестного оплодотворения баянусы способны к самооплодотворению, а размножение может происходить практически весь год. Основными их конкурентами являются моллюски, которые начинают вытеснять их через 1–2 года, иногда быстрее в зависимости от некоторых климатических особенностей.

Существует целый ряд методов борьбы с обрастанием корпусов приборов и датчиков – подбор материалов, стойких к коррозии и обрастанию; обработка поверхности различными красками и покрытиями; полировка и механическая очистка поверхностей; использование импульсов тока и различных видов облучения; хлорирование чувствительных элементов датчиков; применение различных виброустройств и биологических веществ, отпугивающих обрастателей.

На основе жизненного цикла основного вида обрастателей и негативного влияния на них различных факторов антропогенного характера можно выработать стратегию защиты от обрастания. Прежде всего, необходимо защитить чувствительный элемент датчика, повреждение которого наиболее критично и зачастую необратимо [5]. Во-вторых, следует защитить элементы корпуса, так как морские организмы склонны к колонизации и в первую очередь заселяются на свободных открытых поверхностях, а затем расселяются и на чувствительные элементы датчиков [5]. Следовательно, если большая часть поверхности непригодна для заселения организмами, то значительно снижается вероятность быстрого образования обрастателей и на чувствительной области датчиков. Кроме того, существует необходимость в легкой и быстрой очистке поверхности, так как макрообрастание может изменять физические и биологические свойства воды вблизи чувствительных зон датчиков, тем самым влияя на результа-

ты измерений гидрофизических параметров (особенно pH и растворенного кислорода) [3].

Условно выделяют три группы методов борьбы с обрастанием, нашедшие применение *in situ* [3]:

– механические, то есть устройства, механически очищающие поверхности;

– управляемые биоцид-выделяющие или противoadгезионные методы, которые могут применяться совместно (использование меди, олова, выщелачиваемых красок и различных покрытий на силикатной, эпоксидной, тефлоновой основе, которые препятствуют прикреплению организмов);

– управляемые биоцид-выделяющие системы, в основе действия которых лежит выделение хлора или кислот вблизи измерительной области.

Выработан целый ряд методов исследования темпов возникновения обрастания, в т.ч. и в лабораторных условиях, однако невозможно охватить весь спектр условий, при которых происходит обрастание и учесть доминирующих обрастателей каждого региона, поэтому всегда требуется испытывать тот или иной метод борьбы *in situ* в будущих условиях эксплуатации. Кроме приведенных выше так называемых классических вариантов борьбы с обрастанием были испытаны и показали высокую эффективность следующие методы и способы борьбы, по тем или иным причинам не получившие широкого распространения [3]: медные экранирующие сетки над чувствительной областью (что может вносить значительные погрешности в результаты измерений); покрытия с фотокалитическими материалами (эффективны на глубинах до 1 м); природные вещества, отпугивающие обрастателей (наиболее интересный метод, но малоизученный); вибраторы (требуют энергетических затрат и амплитуды, создаваемой за счет корпуса); затенение датчика; использование токовых импульсов (для эффективности требуются значительные затраты энергии); использование УФ и других видов излучения (очень малая локальность при большой выделяемой мощности). Очень удачной концепцией [3] считается использовать экранированную измерительную камеру или ячейку, в которую будет закачиваться вода, при этом сторонние влияния сводятся к минимуму. Однако с конструкторской точки зрения

такая концепция трудно реализуема (например, SBE, США [6]).

Помимо общей концепции защиты приборов от обрастания существуют определенные требования к защите чувствительного элемента датчика. Такая защита не должна влиять на чувствительную область и потреблять большое количество энергии (особенно при долговременных постановках), а также должна сохранять свои защитные свойства при агрессивном воздействии морской воды. Например, для большинства оптических датчиков, мембранных (рН и др.) и электрохимических датчиков невозможно применение защитных красок, и единственной альтернативой является местная защита, такая как хлорирование и др., примененная соответственно в тех случаях и таким образом, чтобы она не влияла на показания измерений.

Как показывает практика борьбы с обрастанием [5], наиболее доступными средствами для постоянного использования являются противообрастающие краски и покрытия. Они имеют определенную классификацию. К первой группе можно отнести краски с содержанием так называемых биоцидов (отравляющих веществ) на основе олова, меди, цинка, свинца, ртути и хлора, озона и мышьяка. Самыми эффективным и когда-то самыми распространенными из отравляющих красок являлись краски с оловоорганическими биоцидами. Однако из-за их пагубного влияния на окружающую среду они были запрещены во многих странах [5] и на данный момент почти не производятся. Им на смену пришли медь-содержащие краски, которые в настоящее время довольно доступны, но их применение ограничено во многих районах и странах из-за негативного влияния на окружающую среду. На смену медным краскам в настоящее время приходят краски с цинковым сополимером и специальными биоцидами. Краски же на ртутной основе являются эффективными, но не используются массово и мало доступны.

К отдельной группе красок можно отнести отслаивающиеся краски. Однако они не могут полностью предотвратить обрастание, обладая малой эффективностью при применении на неподвижных объектах. Довольно часто для повышения эффективности в них добавляются биоциды.

Следует отметить группу красок, которая вызвала большое одобрение критиков и принесла успех её изготовителю, фирме International в 1970 году [5], это так называемые самополирующиеся краски на основе тефлона, иногда с карбоксилсодержащими цинковым сополимером или другим биоцидом. После покраски поверхности этими красками во время эксплуатации уменьшается её шероховатость, что особенно эффективно в потоке или при движении, когда возникает усилие сдвига, достаточное чтобы организмы отделились от поверхности. Действие этих красок можно усилить добавлением биоцида.

К отдельной группе можно отнести покрытия и мастики, имеющие предотвращающие адгезию свойства. Такими свойствами обладают следующие полимеры: оксицеллюлоза, полиэтиленоксид, гидрофильные акриловые смолы, фторированный графит, эпоксидные смолы, кремнийорганические полимеры. Однако они не всегда бывают эффективными без применения биоцидов. Исследования Мельничука Е.П. в 1970 [5] году показали, что возможна длительная защита от обрастания в условиях Черного моря при использовании специальной мастики на основе парафина и вазелинового масла. Согласно результатам, поверхности, покрытые данной мастикой, не обрастали на протяжении года, наилучшие результаты показали составы с 13 – 30% масла. В данном способе эффект, препятствующий обрастанию, связан с синергическим механизмом, заключающемся в выпотевании масла на поверхность покрытия. Соответственно покрытая инертной жидкостью поверхность препятствует прикреплению на нее организмов.

Также к одному из способов защиты гидрофизических приборов можно отнести выбор материалов, стойких к обрастанию, за счет гидрофобности материала. Стойкость к обрастанию таких материалов можно увеличить давно известным и относительно доступным способом – уменьшением шероховатости поверхности путем шлифования, притирки и доводки. К таким материалам относятся конструкционные пластики и материалы на арамидной основе.

Исходя из описанных выше особенностей защиты от обрастания, для создания наиболее подходящей конструкции измерительного комплекса можно пред-

ложить ряд рекомендаций. Измерительный комплекс должен иметь обособленную ячейку с обновлением воды в ней при помощи помпы или насоса. Помимо этого ячейка также должна быть защищена от обрастания, как и сам корпус прибора. Как вариант оптимальной защиты от обрастания может выступать компоновка корпуса, представленная на

рисунке 4. Она включает в себя цилиндрический корпус, в вырезе которого установлены такие датчики, как датчик электропроводности, температуры, давления и растворенного кислорода. Сам вырез накрыт медной сеткой, которая отравляет промываемую при помощи помпы и или насоса вырезанную полость.



Р и с. 4. Компоновка прибора со средствами борьбы с обрастанием

Если обратиться к общей защите корпуса, то лучше всего использовать нетоксичный метод, действие которого при необходимости будет возможно усилить добавлением биоцидов. При этом цена покрытия не должна быть высокой, а также должны отсутствовать трудности с очисткой. Согласно рассмотренным выше методам защиты наиболее подходящим средством является мастика на основе парафина и вазелинового масла, по ряду следующих преимуществ:

- отсутствие токсичности, вследствие чего покрытие может отвечать самым жестким экологическим требованиям;
- длительное время действия;
- возможность нанесения покрытия в полевых условиях;
- легкая очистка поверхности;
- химическая совместимость с очень большим количеством материалов и покрытий, возможно даже нанесение на изоленту или скотч [3], в который может быть обмотан прибор;
- возможность совместного использования с токсичными веществами;
- доступность, низкая цена, высокое качество и чистота используемых материалов.

Для проверки действия состава на основе парафина и вазелинового масла с целью возможного его применения для морской прибрежной станции БРИЗ-1 был проведен практический эксперимент, подготовленный авторами при непосредственной поддержке в технологической части и в части постановки коллективом отдела АОИ МГИ НАНУ. Непосредственно в месте постановки станции, на океанографической платформе МГИ НАНУ в пос. Качивели, были погружены на глубину 5 метров заготовки, покрытые противообрастающим составом. Заготовка была выполнена из плексигласа и представляла собой цилиндр, диаметром 40 мм и длиной 320 мм (рисунок 5, а), причем одна часть цилиндра по длине была тщательно отшлифована, а другая имела высокую шероховатость.

Перед погружением цилиндр был покрыт расплавом парафина с 30%-тами вазелинового масла. Согласно рекомендациям по нанесению противообрастающих покрытий [2], цилиндр покрывался несколькими слоями, причем одна половина цилиндра по диаметру была покрыта тремя слоями, а другая шестью.



Р и с. 5. Экспериментальная заготовка

Эксперимент проводился с 1 июля до 1 октября 2011 года. Результаты представлены на рисунках 5 б, в). На половине с шестью слоями покрытия присутствует значительное количество обрастателей, в то время как на половине с тремя слоями количество баянусов мало численно. Данная картина подтверждает действие синергического механизма выпотевания масла. При этом качество обработки поверхности не сказывается на действии механизма. На половине с большим количеством слоев данный механизм нарушен, из-за чего баянусы смогли углубиться в покрытие и достигнуть поверхности заготовки, в то время как поверхность с тремя слоями работала, на ней выделялось масло, вследствие чего баянусы не смогли закрепиться. Однако после прекращения действия механизма баянусы укрепились и успели развиться в крупных особей, как и на противоположной стороне. Следовательно, чтобы добиться максимального действия данного способа защиты, необходимо провести еще целый ряд лабораторных и натуральных экспериментов для выявления оптимального состава мастики, способа и технологии нанесения.

Таким образом, возможным наиболее приемлемым вариантом может быть совокупное использование описанной выше конструкции корпуса с промываемой затемненной изолированной медной

шторкой ячейки, находящейся в корпусе, покрытом мастикой с возможным добавлением биоцида.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зевина Г.Б. Обрастания в морях СССР. – М.: Изд-во МГУ. – 1972. – 214 с.
2. Герасименко А.А. Защита от коррозии, старения и биоповреждений машин, оборудования и сооружений: Справочник: в 2 т. – М.: Машиностроение, 1987. – 784 с.
3. Delauney L., Compère C. and Lehaitre M. Biofouling protection for marine environmental sensors. *Ocean Sci. Discuss.*, 6, 2993 - 3018, 2009.
4. Гайский П.В., Дмитриев О.Ф., Забурдаев В.И., Клименко А.В., Кузьмин К.А., Казанцев С.В. Методические, программно-алгоритмические и технологические аспекты обеспечения работоспособности гидролого-химического модуля морской прибрежной станции БРИЗ-1. Системы контроля окружающей среды // Сб. науч. тр., НАН Украины, МГИ. – Севастополь. 2011. – Выпуск 15. – С. 69–76.
5. Раулкин А.И. Процессы колонизации и защита от биообрастания. СПб: Изд. СПб университета. 1998. 272 с.
6. *International Ocean Systems*. July