



**ЛУЩЕНКО В.Г.**, начальник машинного цеха ДнепроГЭС,  
**САВЧЕНКО Ю.В.**, начальник ПТС ДнепроГЭС

## ПРОБЛЕМЫ БОРЬБЫ С МОЛЛЮСКАМИ НА ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ

**С**пециалисты, эксплуатирующие гидроэнергетическое оборудование, знают, сколько неприятностей доставляют скапливающиеся в трубопроводах, засоряющие фильтры и охладители, нарастающие на соросдерживающих решетках и затворах ракушки дрейссены. Эти проблемы особенно актуальны на гидростанциях нижнего течения Днепра, где температура воды летом достигает 26 °С и выше. В частности, на Днепровской ГЭС-1 в летний период из-за перекрытия моллюсками каналов воздухоохлаждателей генераторов и маслоохлаждателей трансформаторов происходит их перегрев, что вынуждает проводить еженедельную очистку охладителей. Заращение ракушками водяных коллекторов уплотнений вала турбины приводит к срабатыванию гидромеханической защиты и отключениям гидроагрегатов под нагрузкой. Проникновение зародышей моллюсков в рабочие камеры углеграфитных уплотнений приводит к их преждевременному износу и увеличению утечек воды.

Существующие системы очистки в техническом водоснабжении гидроагрегатов ДнепроГЭС-1 малоэффективны: при размере личинок дрейссены 0,1...0,25 мм ячейки полнопоточных фильтров диаметром 3...4 мм не в состоянии их задержать, также малоэффективны применяемые гидроциклоны. Применение систем тонкой очистки воды [2] приводит к существенному удорожанию конструкции и эксплуатации систем ТВС и снижению надежности работы гидроагрегата в целом (Фото 1).

Борьба с размножением моллюсков в гидроэнергетических системах приобрела поистине мировые масштабы.

Предлагаем вашему вниманию перевод материалов публикаций одного из авторитетных мировых специалистов по вопросам контроля за распространением моллюсков в гидроэнергетике – Дж. Гаммера [1]. Джон Гаммер (J.H. Gummer) получил образование в Лондонском и Бристольском университетах в Великобритании, более 40 лет работает над крупнейшими проектами гидроэлектростанций и ГАЭС по всему миру. После ухода с гидроэлектростанции Итайпу, где он был главным механиком координационной группы IESCO-ELC, он выступал в качестве консультанта Всемирного банка, ОПР и многих ведущих инже-

нерных организаций. Он – член редакционной коллегии Международного журнала по гидроэнергетике и плотинам, является заместителем председателя Постоянного комитета по технологии и является автором более 40 статей по гидроэнергетике и динамике жидкостей.

### Борьба с пресноводными моллюсками на гидроэлектрических станциях

(J.H. Gummer. Combating fresh water mussels at hydropower plants)

#### Введение

Ухудшение производительности гидроэлектростанций вследствие заражения пресноводными моллюсками является относительно новой проблемой. Исторически колонии пресноводных моллюсков спокойно существовали в устьях многих рек мира, но обычно, размер их колоний и миграция вверх по течению зависели только от природных хищников. Расширение глобального судоходства вместе с практикой очистки судовых балластных цистерн в речных портах привело к распространению моллюсков в районах, где природные хищники отсутствуют, что позволило колониям моллюсков свободно размножаться и мигрировать.

На востоке Северной Америки и Северной Европы источниками проблем являются ракушки – зебры, которые в Северной Америке проделали свой путь от Великих озер до основных гидроэлектростанций в США и Канаде. В Южной Америке – это золотые ракушки, стартовавшие из морских портов в устье Ривер Плейт; сейчас их обнаруживают на водопаде Игуаку – далеко вверх по течению реки Парана. Золотые ракушки появились также в Гонконге, Японии и на Тайване. Кузен дрейссены, моллюск Quagga, распространен во всех Великих озерах и восточной части США и Канады. Он очень похож на дрейссену и эти два типа различаются только формой и цветом своих оболочек.

Попав однажды в речную систему без природных хищников, моллюски имеют свойство проникать в любые гидравлические коммуника-



**ЛУЩЕНКО В.Г.**



**САВЧЕНКО Ю.В.**



Фото 1. Сороудерживающая решетка Г-7 ДГЭС-1 после четырех лет работы



Фото 2. Колонии дрейссены на окрашенном затворе



Фото 3. Нарастание моллюсков внутри трубопровода "сырой" воды

ции гидротехнических сооружений, условия которых благоприятствуют их существованию. Моллюски обосновываются повсеместно, засоряя всасывающие патрубки, сороудерживающие решетки, системы охлаждения и фильтры.

Моллюски живут в многоуровневых колониях, способных создать серьезные ограничения потока воды даже на крупнейших гидростанциях.

Проблема моллюсков является актуальной и окончательного ее решения пока не найдено.

Заражение водных путей Северной и Южной Америки моллюсками широко распространено и является для гидросооружений настоящим мучением.

Большинство дискуссий о проблемах заражения речными моллюсками были сконцентрированы в экологических журналах и конференциях, в основном озабоченных общим загрязнением рек, не доходя до гидроэнергетического сообщества, которое должно разрабатывать эффективные меры борьбы с заражением моллюсками на будущее.

Данная статья сосредоточена на инженерных аспектах решения проблемы моллюсков, всестороннем рассмотрении мировых проблем заражения, обсуждении средств по борьбе с моллюсками, применяемых в настоящее время в гидроэнергетике.





## 1. Мировая проблематика заражения моллюсками

Мировое вторжение осуществляют четыре главных моллюска:

### 1.1. Ракушка — зебра (*Dreissena polymorpha*)

Заражение ракушкой — зebra (дрейссеной) является главной проблемой в восточной части США, Канаде и Северной Европе.

Случайно завезенные в Северную Америку через балластные воды на трансокеанских судах в середине 1980-х годов, они быстро распространились на все Великие озера и внутренние водные пути восточной части США и Канадских провинций.

В литературе существует огромное количество информации о дрейссене и многие крупные коммунальные учреждения США и Канады имеют постоянную программу по ее контролю. Из-за сходства между дрейссеной и золотой ракушкой большую часть работы, которая была проделана по дрейссене, можно применить к задаче золотой ракушки.

### 1.2. Золотая ракушка (*Limnoperna fortunea*)

Золотой ракушкой заражены водоемы в Южной Америке, Гонконге, Японии и на Тайване. Золотые ракушки — раздельнополые (различные мужские и женские особи) с внешним оплодотворением. Личинки прикрепляются к твердой поверхности и растут в течение 37 дней. Они достигают половой зрелости с 24 на 31 день. Взрослые особи имеют длину раковины до 35 мм. Размножение происходит в летнее время, продолжительность жизни — около двух лет.

Жизнь золотой ракушки очень похожа на жизнь дрейссены за исключением того, что она переносит более высокую соленость воды, выживает при более высоких температурах и сохраняет большую численность популяции в местах обитания. Она также допускает более низкий уровень кальция, чем дрейссена.

Из-за относительно недавнего появления золотой ракушки в Южной Америке литературы по ее распространению и последующему контролю по сравнению с литературой по дрейссене мало.

Уже есть опасения, что золотая ракушка вторгается в Северную Америку.

### 1.3. Ракушка куагга (*Dreissena bugensis*)

Куагга распространена во всем районе Великих озер и восточной части США и Канады. Это очень похожий на дрейссену моллюск, они могут быть дифференцированы по форме и цвету своих раковин. Все исследования, связанные с дрейссеной, могут быть отнесены и к ракушке куагга.

## 1.4. Азиатский моллюск

Родиной азиатских моллюсков является Юго-Восточная Азия, они были ввезены в Северную Америку в конце 19-го века. Они причиняют значительный вред на всей территории США путем засорения водозаборных сооружений, дренажных и ирригационных каналов, затрагивающих энерго- и водоснабжение, а также другие отрасли промышленности. Его способ размножения значительно отличается от вышеперечисленных, и, следовательно, большая часть работы по искоренению дрейссены неприменима к азиатским моллюскам.

## 2. Зоны риска для гидроэлектростанций

Зонами потенциального риска загрязнения пресноводными моллюсками гидроэнергетических объектов являются:

- переборки, водозаборы, сороудерживающие решетки и затворы отводящих каналов;
- напорные трубопроводы, спиральные камеры, статоры турбин;
- крышки турбин и уплотнения вала;
- отсасывающие трубы;
- пазы и пороги затворов;
- системы водяного охлаждения на речной ("сырой") воде;
- дренажные насосные системы;
- все приборы и трубы, находящиеся в контакте с "сырой" водой.

## 3. Общие соображения по поводу заражения моллюсками

Средства для борьбы с заражением моллюсками называют реактивными при уничтожении, удалении и очистке уже существующих моллюсков и активными, когда они применяются для предотвращения их самовоспроизведения. В любом конкретном случае могут быть использованы и реактивные, и активные меры.

Одной из основных проблем применения активных мер является потенциальное загрязнение водотока и убийства местных видов рыбы и других моллюсков, особенно если используются химические средства. По этой причине упреждающие меры с использованием химических веществ применяются только во время нереста и оплодотворения зародышей моллюсков.

В этих случаях должна применяться система контроля наличия зародышей моллюсков в воде.

Недостатками реактивных мер являются потери эффективности оборудования между очистками и необходимость обеспечения утилизации



больших количеств погибших и разлагающихся моллюсков.

Реактивные меры можно условно разделить на три категории — механические, химические и другие:

1. Щеточная или вакуумная очистка живых или мертвых моллюсков с поверхности;
2. Подача сжатого воздуха или воды под давлением через трубопровод для удаления живых или мертвых моллюсков;
3. Удаление воды и осушение поверхности; моллюски умирают через три дня и затем могут быть механически очищены;
4. Очистка поверхности горячей водой или паром. Дрейссена умирает около 35 °С. Промывка горячей водой температурой в 45 °С гарантирует быструю 100% смертность.
5. Применение горячего воздуха для очистки поверхности. Дрейссена погибает быстрее, чем при промывке горячей водой в результате двойного действия факторов температуры и высушивания. 100% гибели моллюсков гарантируется при температуре 45 °С и выдержке 1,5 часа. Как и в случае с промывкой горячей водой представляется, что для гарантированного уничтожения золотых моллюсков температура должна быть несколько выше.

*Активными механическими методами являются:*

1. Использование тонких (размер ячеек менее 40 мкм) фильтров. Несмотря на эффективность фильтрации зародышей, загрязнение и автоматическая очистка таких фильтров являются большой проблемой. Сомнительно, что этот метод может быть применен для сильно загрязненной воды.
2. Применение материалов, которые токсичны для моллюсков. Восприимчивость различных материалов к обрастанию моллюсками приведена в Табл. 1. Из этих данных видно, что наибольшим сопротивлением к обрастанию обладают медь и алюминий, и, что удивительно, в наименьшей степени — нержавеющая сталь. К сведению, если защищаемые от моллюсков поверхности сильно загрязнены органическими отложениями, ограниченные колонии моллюсков могут повторно поселиться даже на самых защищенных поверхностях.

Отсюда — необходимость периодической очистки и промывки.

3. Использование покрытий, которые токсичны для моллюсков. Они включают в себя горячее цинкование, напыление или плазменное

покрытие металлическим цинком, нанесение краски против обрастания, обычно на медной или цинковой основе.

4. Поскольку нержавеющие стали представляют для моллюсков благоприятную поверхность, как следует из сравнительных испытаний материалов, их применения следует избегать и отдавать предпочтение оцинкованным поверхностям, устойчивость которых к обрастанию несколько хуже, чем у меди, но лучше, чем у алюминия.

5. Проектирование систем со скоростью течения воды не менее 2,5 м/с. Зародыши моллюсков очень плохо прикрепляются к поверхности при таких скоростях потока.

6. Предпочтение охлаждению неочищенной водой и другим методам охлаждения. Например, применение воздушного охлаждения трансформаторов и компрессоров вместо водяного охлаждения. Также, использование замкнутого контура чистой воды в системах с водяным охлаждением или градирнях.

7. Проектирование систем таким образом, чтобы моллюски могли быть легко очищены или локализованы. Яркий пример этого — замена открытого контура водяного охлаждения на охлаждение с замкнутым контуром.

Замкнутая система сама охлаждается "сырой" водой, но конструкция контура "сырой" воды может обеспечивать простую очистку и достаточное резервирование, чтобы не препятствовать нормальной эксплуатации оборудования.

Химические методы могут быть активными или реактивными и представляют собой инъекции химических веществ, наносящих вред моллюскам.

Активные инъекции могут выполняться небольшими дозами в течение продолжительного

Таблица 1. Рост моллюсков на различных материалах

Материал	Общее количество моллюсков на 1 м <sup>2</sup> после 3-х месяцев выдержки в воде
Медь	0
Алюминий	2324
Акриловый пластик	6896
Поливинилхлорид	7471
Тефлон	8593
Винил	12068
Прессованная древесина	15255
Углеродистая сталь	15420
Сосна	16117
Полипропилен	17554
Асбест	21333
Нержавеющая сталь	21812



времени, или большой дозой прерывисто — в зависимости от режима работы оборудования, законов об охране окружающей среды и экономических соображений. Активные инъекции обычно используются для уничтожения зародышей с последующим контролем отсутствия роста моллюсков. Реактивные химические инъекции предназначены для периодического уничтожения взрослых моллюсков перед механической очисткой. Моллюски закрываются, реагируя на некоторые химические соединения (хлориды), и в этом случае должна быть применена прерывистая дозировка. Химические методы требуют определенных средств дозировки и хранения токсических веществ. Вообще, вызывает беспокойство токсичность этих методов по отношению к другим формам жизни; использование химикатов строго контролируется.

Применяют следующие химические вещества:

*Хлориды* (газ, жидкий гипохлорид натрия, порошок гипохлорида кальция);

Дозировка хлоридов наиболее популярна и активно используется в Северной Америке для борьбы с дрейссеной. Хлорирование использовалось как аварийные временные меры в Онтарио Гидро для контроля загрязнения дрейссеной, но, несмотря на исследования по поиску менее спорной обработки оно все еще используется и будет применяться в обозримом будущем. Проблема хлорирования — потенциальное загрязнение водных путей, в частности, вызывающее рак. Однако, в силу широкой доступности этого метода многие авторитетные специалисты считают применение хлорирования оправданным.

*Диоксид хлора* — почти такой же результат, как у хлоридов, но диоксид хлора не канцерогенен и также эффективен.

*Бромиды* — менее токсичны, чем хлориды, но при определенных условиях могут быть более эффективными.

*Перманганат калия* — не столь эффективен, как хлориды, но не вызывает образования канцерогенов и, как следствие, иногда используется в системах питьевой воды. По некоторым сведениям, его применение дешевле, чем хлорирование. Передозировка может вызывать эффект "розовой воды".

*Озон* — мало используется, но, несомненно, эффективен.

*Хлористый натрий* — в стадии исследований. Эффективен, но требует больших доз.

*Ионы меди* — по предложению МакроТех Инк. Метод МакроТех использует разложение образцов меди, этот метод по — видимому, эф-

фективен, если допускается присутствие ионов меди в воде.

*Эндод* — это натуральная нетоксичная смесь из Африки. За пределами Африки используется редко.

*Высокомолекулярные полимеры* — по всей видимости, эффективны, но широко не используются.

*Неокисляющие методы борьбы с моллюсками:*

- они используются под различными торговыми марками; их применяют в ситуациях, когда наиболее распространенные методы, как хлорирование, неприемлемы. Преимущество некоторых из них в том, что взрослые моллюски не распознают их и не закрывают створки раковин.

Никто не приветствует инъекции токсичных химических веществ в воду и большинство авторитетных специалистов, которые в настоящее время используют химические методы борьбы с моллюсками, предпочитают им более экологически чистые способы. Во всем мире постоянно действуют программы поиска таких способов.

Таковыми методами являются:

*Импульсно — плазменный* (Корпус Инженеров Американской Армии): в этом методе внешняя батарея конденсаторов заряжается от стационарной сети и затем разряжается на два электрода, находящихся в водном потоке. Между электродами образуется жгут плазмы, в результате действия которого возникает паровой пузырь и ультрафиолетовое излучение, убивающее моллюсков, отрывающее их с поверхности оборудования и препятствующее нарастанию новых.

*Ультрафиолетовое излучение* (Онтарио Гидро, Акуатик Сайенс, Джeneral Дайнемик Бот Дивижн): зародыши и личинки моллюсков особенно чувствительны к коротким облучениям ультрафиолетом. В этом методе луч ультрафиолета концентрируется в критическом положении водного потока. В результате уменьшается движение зародышей и теряется их способность прикрепляться к поверхностям оборудования.

*Акустический* (Онтарио Гидро и Дэвидсон Лаботории) — этот метод является продолжением российских работ по борьбе с моллюсками. Существует три подхода: акустическое возбуждение кавитации, индуцирование акустических волн с помощью преобразователей в проточной воде и акустические удары по внешней поверхности трубы. Все три метода создают проблемы для зародышей и, в той или иной степени, не позволяют им прикрепляться к поверхности оборудования.

*Использование электрического тока* (Дельта Эшплайд технолоджи) — очень похож на им-





пульсно – плазменный, но с использованием гораздо более низкого напряжения. В потоке создается постоянное электрическое поле (в отличие от взрыва), которое убивает зародыши и личинки, когда они проходят через поле. Процент смертности личинок превышает 92%.

*Воздействие вакуума* (Университет Огайо) – поступление растворенного кислорода имеет важное значение для жизненной активности дрейссены. Под воздействием вакуума смертность моллюсков примерно в 3 раза выше, чем при наличии воздуха. С помощью вакуумного насоса в наивысшей точке системы охлаждения "сырой" водой откачивается воздух, в результате чего происходит ограничение роста моллюсков.

*Магнитная обработка воды* (Университет Пурдю) – в потоке воды создается мощное магнитное поле, которое не убивает зародыши, а замедляет их развитие настолько, что они не могут самостоятельно прикрепиться к поверхности.

Все эти методы являются, по большому счету, экспериментальными, и широко не используются. Ультрафиолетовое излучение, применение электрического тока и акустические методы являются эффективными, нетоксичными и, соответственно, имеют хорошие перспективы, заменив активные токсичные методы борьбы с моллюсками, такие как хлорирование или введение перманганата калия.

Однако по различным причинам (например, высокой стоимости) они до сих пор не используются в обычной практике.

#### 4. Средства, применяемые для борьбы с моллюсками на гидроэлектростанциях

##### 4.1. Водоводы, спиральные камеры и отсасывающие трубы

Моллюски плохо пристаю к поверхностям, когда скорость потока воды превышает 2,5 м/с. В типичном случае, при полной нагрузке гидротурбины средняя скорость воды в напорном трубопроводе превышает 10 м/с, а в спиральной камере турбины – еще больше. Напорные водоводы, спиральные камеры, статоры турбин, отсасывающие трубы должны иметь "иммунитет" против обрастания моллюсками. Однако, на практике, из-за наличия мертвых зон потока, больших толщин пограничного слоя в сочетании с остановками генерации это бывает редко, и моллюски в некотором количестве селятся на поверхностях таких узлов. Особенно уязвимыми из-за относительно шероховатых поверхностей являются бетонные водоводы и спиральные камеры низконапорных пропеллерных и поворотно-лопастных турбин.

Верхние части отсасывающих труб, включая сопрягающий пояс, обычно свободны от дрейссены, потому что там высокие скорости потока воды и очень низкое давление.

В общем, проточная часть гидротурбины очищается от ракушек при осушении во время ежегодных ремонтов ручным или вакуумным способом. Однако, для того, чтобы моллюски погибли, должно пройти несколько дней, и, при необходимости ускорить процесс очистки, применяют горячую воду или воздух.

##### 4.2 Сороудерживающие решетки, сетки водозаборов, подводные лестницы и площадки

Сороудерживающие решетки, подводные лестницы и площадки должны быть защищены горячим цинкованием, напылением цинка или обеими этими методами, т. к. цинк токсичен для моллюсков и они плохо прирастают к покрытым цинком поверхностям, когда они поддерживаются в достаточной чистоте. Если эти узлы окрашиваются, должна применяться специальная краска против обрастания.

Сетки водозаборов должны изготавливаться из стали с гальваническим покрытием и должна быть предусмотрена возможность их продувки сжатым воздухом и хлорирования.

##### 4.3 Затворы и шандорные заграждения

Со временем моллюски накапливаются на подводных окрашенных поверхностях и своими выделениями разрушают краску. Следовательно, нормально находящиеся под водой затворы должны быть покрыты краской против обрастания, обычно, на основе эпоксидных композиций (Фото 2.).

Как правило, колеса колесных затворов сейчас изготавливаются из нержавеющей стали для предотвращения коррозии. Также как и закладные части уплотнений затворов и колесные пути.

Так как нержавеющие стали плохо зарекомендовали себя с точки зрения поселения колоний моллюсков, альтернативой может быть углеродистая сталь, устойчивость которой к обрастанию немного выше, но хуже сопротивление коррозии.

Таким образом, с точки зрения коррозионной устойчивости для колес затворов, уплотнений и колесных путей все же должна применяться нержавеющая сталь.

Сервомоторы колесных затворов не должны погружаться под воду и должны стоять выше рабочей панели затвора.

Радиальные (сегментные) затворы, используемые на водосбросах, не являются привлекатель-



ными для моллюсков, т. к. через них проходит очень маленький поток и, следовательно, недостаточное количество питательных веществ, необходимых для существования колонии.

Шандоры не должны храниться в своих пазах, если при этом они погружены в воду. Сухое хранение должно быть обеспечено либо в специальных пазах, либо отдельно, выше уровня земли.

#### **4.4 Главные части турбины, соприкасающиеся с потоком воды**

Если гидростанция расположена в месте, где расход воды низкий, то крышка турбины, особенно нижняя поверхность крышки турбины Френсиса, должна быть покрыта краской, предотвращающей обрастание моллюсками. Высокая скорость прохождения воды предохраняет лопатки направляющего аппарата и колонны статора турбины от обрастания моллюсками. В настоящее время на крупных турбинах рабочие колеса изготавливаются из нержавеющей стали для обеспечения коррозионной и кавитационной стойкости. При том, что нержавеющая сталь имеет очень плохую сопротивляемость обрастанию колониями моллюсков, рабочие колеса из нержавеющей стали защищены от обрастания, т. к. высокие скорости воды делают невозможным закрепление моллюсков. Когда турбина простаивает достаточно продолжительное время — больше года — нарастание колоний моллюсков может вызвать точечную коррозию на рабочем колесе и лопатках направляющего аппарата, если они выполнены из нержавеющей стали; на работающей турбине это маловероятно.

#### **4.5 Дренажная система**

Дренажные колодцы должны регулярно осушаться, приемки и насосы — механически очищаться от моллюсков. Бетонные поверхности должны окрашиваться краской против обрастания, также следует смачивать наружные поверхности погружных дренажных насосов. Дренажные и выпускные трубопроводы необходимо делать из оцинкованной стали. Самотечные дренажные трубы должны быть защищены от заражения моллюсками, т. к. вода в них редко течет полным потоком и они пересыхают. Застойные зоны в самотечных дренажных трубах непригодны для роста моллюсков, поскольку они нуждаются в постоянном притоке воды, обогащенной кислородом.

#### **4.6. Системы водяного охлаждения**

Наибольшую озабоченность на гидроэнергетических объектах вызывают системы охлаждения с использованием "сырой" воды. Наиболее авторитетные организации, как Онтарио Гидро и

Квебек Гидро, вынуждены с неохотой прибегать к активному хлорированию своих систем охлаждения — либо постоянно на низком уровне (0,5 промилле хлора), либо импульсно — более двух промилле хлора. TVA использует химические реактивы в высоких дозах или термическое воздействие. Во избежание образования канцерогенных веществ некоторые операторы применяют диоксид хлора или перманганат калия. Все же, хотя и с большим нежеланием, чаще используется хлорирование (Фото 3).

Такие статические системы, как пожаротушение, меньше подвержены риску заражения, поскольку моллюски не выживают в застойной воде.

Там, где предполагаются проблемы с заражением систем охлаждения моллюсками, необходимо использовать замкнутые системы. Если для охлаждения замкнутой системы и используется "сырая" вода, то этот контур должен быть спроектирован с резервированием, позволяющим производить его очистку независимо от замкнутой системы. При этом загрязнение внешней системы охлаждения не должно влиять на работу гидроагрегата в целом. Система охлаждения "сырой" водой должна периодически очищаться с применением больших доз химических веществ и механических методов.

Трубопроводы "сырой" воды, везде, где это возможно, должны легко разбираться для очистки. Должна быть обеспечена возможность хлорирования контура "сырой" воды как в режиме разомкнутого контура, так и в режиме принудительной циркуляции. В контуре "сырой" воды должны использоваться оцинкованные трубы, а скорость течения воды должна быть не менее 2,5 м/с. Там, где оцинковка сварных швов невозможна, должны использоваться фланцевые соединения.

Для измерения давления часто используются трубки из нержавеющей стали.

Так как эти трубки имеют малый диаметр и вода в них застаивается, рост моллюсков в них маловероятен, преимущества коррозионной стойкости этих труб превышают ущерб от заражения моллюсками, и для этого по-прежнему должна использоваться нержавеющая сталь. Для трубопроводов больших диаметров, где применение оцинкованных труб нецелесообразно, должны применяться трубы из меди.

## **5. Выводы и рекомендации**

Если пресноводные моллюски уже находятся в речной системе, опыт показывает, что существует большая вероятность того, что они достигнут пока не зараженных существующих гидростан-



ций или станций, планируемых к строительству выше по течению.

Соответственно, системы сдерживания роста моллюсков должны быть включены в процедуры эксплуатации и ремонта существующих станций до того, как появятся моллюски и необходимые меры – активные и реактивные – будут разработаны на новых станциях, исходя из предположения, что в конечном итоге моллюски появятся и там.

Методы, используемые для существующих станций, как правило, включают хлорирование, регулярную осушку и механическую очистку.

На новых объектах следует применять следующие меры:

- Необрастающие покрытия на отдельных поверхностях металла, контактирующих с "сырой" водой. Обычно, компоненты турбин в местах с высокой скоростью воды, таких как отсасывающие трубы, спиральные камеры, статоры и т.д., не требуют специальной защиты.

- Необрастающие покрытия отдельных бетонных поверхностей, таких как дренажные колодцы и отстойники.

- Цинковое покрытие сороудерживающих решеток, лестниц и площадок, постоянно находящихся в воде.

- Химическая обработка систем водоснабжения "сырой" воды.

- Поддержание относительно высоких скоростей потока в системах водяного охлаждения "сырой" водой.

- Применение стальных оцинкованных или медных труб (в зависимости от диаметра) в системах водяного охлаждения "сырой" водой.

- Применение замкнутых контуров системы охлаждения подшипников и воздухоохладителей генераторов.

- Хороший доступ ко всему оборудованию и поверхностям для осушения и очистки.

Анализ и рекомендации, приведенные в публикациях Дж. Гаммера, являются актуальными для инженерно – технического персонала ГЭС, занимающегося эксплуатацией и ремонтом гидроагрегатов. Длительный опыт борьбы с моллюсками на ДГЭС (в т.ч. с применением ультразвуковых методов и токсичных покрытий) показал их недостаточную эффективность. В настоящее время на ДнепроГЭС используется как механическая очистка поверхностей, загрязненных дрейссеной, так и очистка гидромеханического оборудования струей воды под высоким давлением.

При разработке технических спецификаций на замену гидротурбинного и гидрогенераторного оборудования Днепровской ГЭС специалистами обращается особое внимание на необходимость применения более эффективных методов защиты оборудования от обрастания дрейссеной на стадии проектирования и изготовления. Более чем шестидесятилетняя эксплуатация генераторов АТ-1-W-72 производства фирмы General Electric, имеющих водяные коллекторы, изготовленные из меди, подтверждает правильность выводов Дж. Гаммера.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Gummer J.H.* Combating fresh water mussels at hydropower plants – Hydropower & Dams, Issue Three, 2010.

2. *Михайлов М.Г.* Опыт эксплуатации рабочего углеграфитового уплотнения вала торцевого типа на ГЭС Урра-1 в Колумбии//Гидротехническое строительство. – 2004. – № 4.

© Луценко В.Г., Савченко Ю.В., 2012

