

# МАКЕТЫ РЫБ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ГИДРОАГРЕГАТОВ

Доктор биологических наук А.Л. СУЗДАЛЕВА  
(НИУ МЭИ),  
доктор биологических наук В.Н. БЕЗНОСОВ  
(ООО "Альфамед 2000"),  
кандидат технических наук Д.В. МИНИН  
(АО "Акватик")

DOI: 10.7868/S0233361919010075

**О**дин из основных критериев экологической безопасности гидроагрегатов – вероятность травмирования и гибели рыб, вовлекаемых в них током воды<sup>1</sup>. Особенностью этого показателя является его очевидность. Распространение и восприятие подобной информации не требует наличия каких-либо специальных знаний, но вместе с тем, в силу хозяйственной значимости рыбных ресурсов, затрагивает интересы широкого круга лиц. Поэтому зачастую именно материалы по гибели и травмированию рыб формируют экологический имидж объекта гидроэнергетики и используются в качестве средства возбуждения общественного мнения, как правило, осуществляемого различными лицами в целях повышения собственной популярности<sup>2</sup>. Эта же проблема часто является предметом претензий со стороны органов исполнительной власти, осуществляющих надзорные и контрольные функции в сфере охраны окружающей среды в районах размещения гидроэлектростанций (ГЭС) и приливных электростанций (ПЭС), а также органов,

осуществляющих экологическую экспертизу проектов строительства новых объектов гидроэнергетики и оценку экологической безопасности новых видов гидроагрегатов (гидротурбин).

Гибель рыб при прохождении их через гидроагрегаты может быть вызвана несколькими причинами<sup>3</sup>. Однако на практике наибольшее внимание уделяется так называемому механическому травмированию, то есть видимым невооружённым глазом повреждениям, полученным рыбами при контакте с различными элементами гидравлического тракта, а также в результате воздействия турбулентности.

В настоящее время оценка уровня механического травмирования осуществляется двумя способами: подсчётом в водах, прошедших через гидроагрегаты ГЭС и ПЭС особей, имеющих повреждения, и расчётом вероятности, получения подобных повреждений<sup>4</sup>. Оба этих методологических подхода имеют существенные недостатки. Например, при определении процента травмированных

<sup>3</sup> Павлов Д.С., Лупандин А.И., Костин В.В. Покатная миграция рыб через плотины ГЭС. М., 1999.

<sup>4</sup> Логинов В.В., Клевакин А.А., Моисеев А.В. Определение вреда водным биологическим ресурсам на водозаборных сооружениях технического водоснабжения нижегородской ГЭС // Водное хозяйство России. 2016. № 1; Усачёв И.Н., Марфенин Н.Н. Экологическая безопасность приливных электростанций // Гидротехническое строительство. 1998. № 12.

<sup>1</sup> Суздалева А.Л., Горюнова С.В. Техногенез и деградация поверхностных водных объектов. М., 2014.

<sup>2</sup> Суздалева А.Л. Формирование экологического имиджа производственной организации и её продукции. М., 2016.

рыб не учитывается значительное количество особей, ставших добычей хищных рыб и птиц, обычно скапливающихся на участках выхода вод из гидроагрегатов. Существующие расчётные методы уровня травмирования рыб характеризуют только вероятность нанесения ударов лопастями гидротурбины<sup>5</sup> и, таким образом, исключают обширный спектр механических травм, получаемых при прохождении рыбами других участков турбинного тракта.

Более точная оценка механического травмирования может быть получена путём пропуска через гидроагрегаты макетов, имитирующих рыб. В зарубежной литературе для их обозначения используется не совсем удачный термин “искусственная рыба” (artificial fish), которым также обозначаются и мляжи рыб, изготавливаемые в качестве рыболовных снастей (блёсен) и в декоративных целях.

Макеты рыб ранее уже неоднократно использовались для определения уровня травмирования представителей ихтиофауны в гидроагрегатах при проведении натуральных и стендовых испытаний<sup>6</sup>. Очевидно, что данный метод также не лишён недостатков. Например, при использовании макетов рыб невозможно учесть воздействие таких важных факторов как компрессия и кавитация. Поэтому для всесторонней оценки травмирования рыб результаты, полученные с использованием макетов, должны быть скорректированы с учётом данных лабораторных исследований и натуральных наблюдений.

Для получения сравнимых результатов процедура изготовления этих макетов должна быть стандартизирована. В противном случае закономерно возникают вопросы: будет ли наблюдаться тот же процент и характер травмирования, если при испытаниях будут использоваться макеты других конструкций или размеров? Насколько выбранная форма (конструкция) макетов соответствует

габаритам тела (габитусу) массовых видов ихтиофауны в районе эксплуатации гидроагрегата? В какой мере материал и конструкция макетов соответствуют эластичности и механической прочности тела рыб?

С целью решения данной проблемы в Центре гидравлических исследований ОАО “НИИЭС” в 2012–2013 гг. была осуществлена разработка макетов рыб и их апробация, в ходе которых мы руководствовались следующими соображениями.

1. Макеты должны быть относительно просты в изготовлении и состоять только из легкодоступных (и, в определённой мере, взаимозаменяемых) материалов.

2. Макеты должны обладать способностью к упругому изгибу в продольном направлении, свойственной телу живых рыб.

3. Макеты должны обладать слабой положительной плавучестью, которая, с одной стороны, допускает их засасывание с током воды в гидроагрегаты, а с другой стороны, гарантирует всплытие их (а в случае разрушения макета – его основных частей) к поверхности после прохождения через гидроагрегаты.

4. Поверхность макетов должна быть изготовлена из материала, на котором остаются хорошо заметные следы от ударов о твёрдые поверхности, соответствующие травмам, получаемым в этих же условиях живыми рыбами. Вместе с тем этот материал не должен под воздействием этих ударов распадаться на мелкие фрагменты.

5. Макеты должны быть снабжены специальными деталями, имитирующими плавники. Они должны обладать прочностью и эластичностью близкой к плавникам живых рыб. Использование макетов лишённых подобных элементов не может дать адекватной оценки уровня травмирования рыб, поскольку именно плавники являются одной из наиболее уязвимых частей тела.

Кроме того, для получения сравнимых результатов необходима стандартизация формы и размеров макетов. Предлагаемые стандартные параметры рыб представлены в таблице. При их разработке мы основывались на следующих соображениях:

<sup>5</sup>См. сноску<sup>3</sup>

<sup>6</sup>Hydropower R&D: Recent Advances in Turbine Passage Technology. Prepared for the U.S. Department of Energy Idaho Operations Office. 2000.

– в гидроагрегаты попадают главным образом рыбы, обитающие в толще воды и имеющие веретеновидную или сплюснутую с боков форму тела (в таблице они обозначены как форма “сёмга” и форма “лещ”);

– степень и характер травмирования рыб разного размера (разных возрастных стадий), как правило, существенно различаются.

На основании этого, а также анализа материалов исследований по травмированию ихтиофауны в районах размещения различных объектов гидроэнергетики, мы пришли к заключению, что для получения адекватной оценки при проведении испытаний гидроагрегатов можно ограничиться 3 размерными группами и 3 формами тела рыб.

В наибольшей степени этим требованиям подошли макеты, изготовленные из плотного пенопласта (рис. 1). Макет “малёк” предназначен для использования при проведении стендовых испытаний. Остальные типы макетов могут быть также использованы при проведении натурных исследований.

Способность макета к упругому изгибу достигается путём его изготовления из отдельных сегментов, соединённых эластичной проволокой в пластиковой оболочке (за исключением макета “малёк”, изготавливаемого в форме цельного куска).

Ниже приводится инструкция по изготовлению макетов рыб.

1. Макеты изготавливаются из отдельных сегментов (рис. 2), для чего рекомендуется использовать плотный мелкопористый (не крошащийся) пенопласт. Макеты – “мелкоразмерная фракция ихтиофауны” формируются из 3 сегментов, макеты – “крупноразмерная фракция ихтиофауны” формируются из 4–5 сегментов.

2. Для изготовления макетов пластина пенопласта распиливается на бруски, в который вписывается макет рыбы определённой конфигурации и размера (рис. 2).

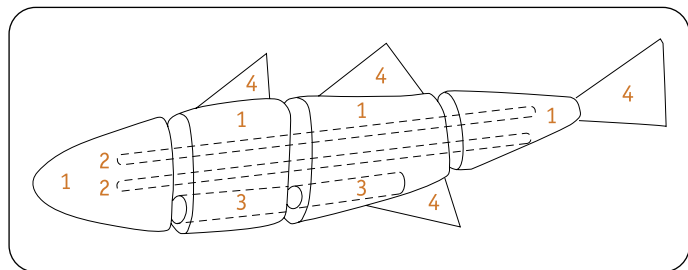
3. Каждый брусок на станке для резки пенопласта распиливается на части (сегменты), которым придаётся соответствующая форма. Поверхность сегмента, контактирующая в экспериментах с внешними предметами, должна быть гладкой, чтобы следы от ударов были хорошо заметны.

4. В центре каждого сегмента делаются 2 отверстия для соединительных стержней. В центральных сегментах отверстия – сквозные, в концевых (головном и хвостовом) – глухие. Кроме того, в нижней части центральных сегментов сверлится ещё одно отверстие большего диаметра для грузика. В соответствующих местах сегментов прорезаются отверстия для установления плавников.

5. Грузики могут быть изготовлены из отрезков железного или свинцового прута. Их масса и расположение должны обеспечивать слабоположительную

**Стандартные размеры рыб (макетов рыб), рекомендуемые для расчётов и экспериментов**

№№	Объект	Форма тела	Размеры, мм		
			Длина	Высота	Толщина
1	Малёк	Веретеновидная	10	3	3
2	Мелкоразмерная фракция ихтиофауны	Веретеновидная	100	20	10
3	Крупноразмерная фракция ихтиофауны	Форма “Сёмга”	300	40	30
		Форма “Лещ”	300	100	20



**Рис. 1.**  
**Схема макета рыбы.**  
 1 – тело сегмента;  
 2 – соединительные стержни;  
 3 – грузики;  
 4 – плавники.

плавучесть всего макета и его ориентацию, сходную с ориентацией плавающей рыбы. Для проверки грузики вставляются в приготовленные для них отверстия (пазы), но не закрепляются до результатов испытания макета в целом.

6. Сегменты соединяются с помощью эластичных стержней, которые могут быть изготовлены из пластика или проволоки. В любом случае они должны обеспечивать упругий изгиб макета не менее чем на  $30^\circ$ , но не более чем на  $45^\circ$  (верхний порог изгиба может быть отрегулирован изменением расстояния между сегментами) без его повреждения. При первичной сборке стержни вставляются в предназначенные для них отверстия без жёсткого закрепления.

7. Макет помещается в сосуд с водой, в котором путём манипуляций с грузиками регулируется его плавучесть и ориентация, испытывается способность конструкции к упругому изгибу в установленных пределах.

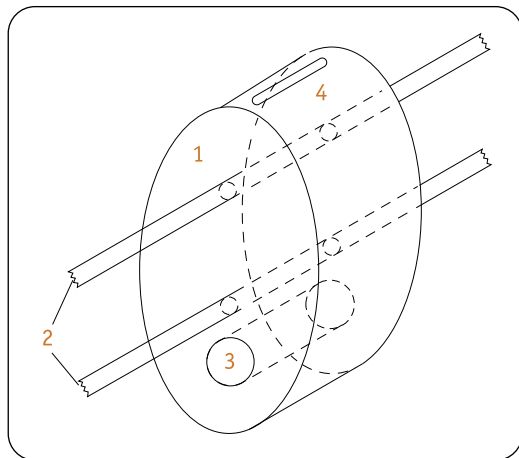
8. По достижении нужных свойств макет разбирается и (после просушки) грузики и соединительные стержни прочно закрепляются в своих пазах с помощью эпоксидного клея. Этим же способом в предназначенных для них пазах закрепляются плавники, для изготовления которых рекомендуется использовать тонкий упругий пластик.

Нередко вход в турбинный тракт расположен на глубине, исключающей возможность засасывания в гидроагрегаты

макетов из поверхностного слоя воды. В этих случаях для доставки макетов в нужный горизонт водной толщи можно использовать батометр<sup>7</sup> большой ёмкости или специально сконструированный контейнер, спускаемый на тросе на определённую глубину и раскрывающийся аналогично батометру с помощью посыльного груза<sup>8</sup>.

<sup>7</sup>Батометр – гидрологический прибор, пробоотборник для взятия проб воды с различных глубин водоёма с целью исследования её физических и химических свойств, а также содержащихся в ней органических и неорганических включений.

<sup>8</sup>Посыльный груз – это цилиндрический латунный металлический груз со сквозным отверстием, диаметром 2.5 см и длиной 7.5 см. Его надевают на трос и отпускают тогда, когда батометр опущен на нужную глубину. Груз скользит по тросу и, ударяясь об установленный на заданной глубине прибор о специальное приспособление на батометре, заставляет его срабатывать. Батометр при этом переворачивается, а счётчик морской вертушки включается либо выключается, открывается или закрывается (в зависимости от конструкции).



**Рис. 2.**  
**Схема сегмента макета рыбы.**  
 1 – тело сегмента;  
 2 – соединительные стержни;  
 3 – грузик;  
 4 – прорезь для установки плавника.