



АКУСТИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ СЧЕТА МОЛОДИ РЫБ

Канд. техн. наук А.И. Марколия – ВНИРО



Количественный учет рыб в реках и прибрежном шельфе моря, в частности, в устьях крупных рек, является одной из задач экологического мониторинга моря. Кроме того, в связи с необходимостью рационального воспроизводства лососевых, осетровых, сиговых и других ценных промысловых объектов требуется разработка надежного метода учета рыб, идущих в нерестовые реки. Не менее важная задача – подсчет скатывающихся вниз по течению рек мальков, ежегодно выпускаемых рыболовными заводами.

Существуют различные методы (и приборы) для подсчета рыб: весовые, тактильные, электромагнитные, инфракрасные, телевизионные, устойчивая работа которых зависит от засоренности, прозрачности, солёности воды. Авторы отдают предпочтение акустическим методам, как более информативным.

Рыбосчетчики должны удовлетворять следующим требованиям: высокая скорость счета, малая погрешность, высокая разрешающая способность по дальности. Основные технические параметры акустических рыбосчетных устройств определяются областью их применения, размерами объектов счета, их концентрацией в водном потоке и характеристиками места установки приборов. Так, например, требования, предъявляемые к акустическим антеннам рыбосчетчиков для рыбоходов и водозаборных сооружений, зависят от геометрических размеров и формы поперечного сечения потока воды.

Первый действующий макет акустического рыбосчетного устройства (АРСУ) был предназначен для подсчета лососевых рыб, проходящих на нерест через рыбозаградительное сооружение (р. Озерная на Камчатке). В результате испытаний было установлено, что приемлемые для речных условий варианты антенной системы должны удовлетворять двум противоречивым требованиям: полностью перекрывать акустическим лучом поперечное сечение потока воды, чтобы не допустить пропуска рыбы из-за непопадания ее в зону действия антенны; ис-

ключить возникновение помех при акустических контактах с неровностями дна и поверхностью воды.

Создать облучаемую зону необходимой конфигурации можно с помощью антенны, формирующей слабо расходящийся ультразвуковой луч в горизонтальной плоскости и нерасходящийся – в вертикальной, перекрывающий всю глубину потока воды. Для этого может быть использована антенна, работающая в ближней, так называемой прожекторной, зоне. Размер прожекторной зоны излучателя L определяется по приближенной формуле $L = d^2/4\lambda$, где d – апертура антенны в рассматриваемой плоскости, λ – длина звуковой волны.

Для рыбосчетного устройства была изготовлена антенна с размерами зеркала 118х1000 мм. Антенна представляет собой линейный набор дисков пьезокерамики титаната бария, смонтированных в герметичном корпусе. Элементы (диски) подобраны по резонансной частоте (300 кГц) и соединены параллельно. Выбор рабочей частоты обусловлен требованиями высокого разрешения по дальности (5 см), достигнутого за счет применения коротких импульсов ($\tau = 30$ мкс). Диаграмма направленности антенны в горизонтальной плоскости имеет раствор (на уровне 0,7 по давлению) около 5° , а в вертикальной плоскости – около $0,5^\circ$. В вертикальной плоскости антенна на резонансной частоте обладает прожекторной зоной протяженностью 50 м. В вертикальной плоскости размер зоны чувствительности антенны равен приблизительно 1 м при использовании одной секции, при использовании двух секций он соответственно удваивается и т.д.

Следует иметь в виду, что акустическое поле в прожекторной зоне неоднородно вследствие интерференции. Однако в поле такой антенны не обнаружено участков, где бы искусственная цель (пустотелый шарик диаметром 33 мм) не давала эхо-сигнала, но флюктуации его были значительными.

В приборах АРСУ применена схема логической обработки эхо-сигналов, по-

зволяющая автоматически подсчитывать рыб при их многократном лоцировании. Ошибки возможны в двух случаях: рыбы проходят настолько близко одна к другой, что их эхо-сигналы сливаются в один; одна рыба входит в зону действия антенны в тот момент, когда другая рыба выходит из нее, – тогда число эхо-сигналов остается прежним. Первая ошибка зависит от разрешающей способности гидролокатора, и вероятность ее возникновения тем меньше, чем меньше длительность излучаемого импульса. Другая ошибка может быть уменьшена, если повысить частоту посылок зондирующих импульсов.

Экспериментальные исследования в аквариуме глубиной 1,3 м позволили определить величину погрешности в подсчете рыб. При прохождении нескольких сотен рыб ошибка не превышает 6 %. Эксперименты на морском шельфе (Уссурийский залив Приморского края) на глубине 6 м с использованием садка и телевизионной установки подтвердили, что каждый раз при пересечении рыбой зоны действия антенны срабатывал счетчик.

В дальнейшем испытания проводились в естественном русле р. Киевка (Приморский край). Ширина реки составляла 70 м, глубина плавно уменьшалась от 4 м у правого берега до нуля – у левого. Период испытаний предшествовал массовому ходу на нерест лосося. Акустическая антенна, состоящая из двух секций, была установлена у правого берега так, что верхняя часть зеркала находилась ниже уровня воды на 0,2 м. Таким образом, рыбосчетчиком контролировалась зона высотой 2 м, шириной около 20 см и длиной 20 м (ширина основного потока). После проверки работоспособности рыбосчетчика определялось количество проходящих рыб с одновременной регистрацией времени. Установлено, что секционная антенна прожекторного типа пригодна для работы в естественном русле реки и прибор может долгое время работать автономно.

В последние годы на Каспийском бассейне разведением осетровых помимо

России стали заниматься Иран, Казахстан и Азербайджан. Следовательно, актуальной становится задача объективного учета количества молоди для справедливого определения квот вылова (ОДУ) осетровых каждой страной.

Биотехнология разведения и выращивания молоди осетровых на Каспии имеет полуторавековую историю и отличается высокой рентабельностью, так как молодь подрачивают в прудах на естественной кормовой базе. Выпуск молоди в естественный водоем происходит одновременно с осушением пруда, когда поднимают задвижку на сбросной трубе. Далее молодь сносится потоком воды по сбросному каналу и либо скатывается в русло реки, либо перекачивается центробежным рыбонасосом в накопительный бункер для последующего вывоза в Северный Каспий.

Подсчет рыб совпадает обычно с перегрузочными операциями. В связи с этим возникла задача подсчета рыб в трубопроводе рыбонасосной установки. Во время предварительных экспериментов установлена необходимость перейти от гидролокационного принципа работы к теневому, т.е. экранированию подсчитываемым объектом акустического луча.

Прибор APCY-TM может иметь конструкцию, как показано на рис. 1, в виде единого блока, который присоединяется к напорному трубопроводу рыбонасоса и является его продолжением. Прходной диаметр трубопровода – 100 мм. Рыба, перемещаемая потоком воды, попадает в отцеживающий диффузор, в котором при некотором замедлении потока происходит отделение мелкодисперсной воздушной фракции. Затем рыба при прохождении акустического датчика регистрируется электронным блоком и с потоком воды выносится в накопительный бункер.

Конструкция акустического датчика показана на рис. 2 и состоит из корпуса 1, излучающих 2 и приемных 3 преобразователей, фигурного отверстия 4, образованного поверхностями акустической линзы, и входного и выходного патрубков. Радиус кривизны поверхностей выбран таким образом, чтобы акустические лучи, проходящие от излучателей, преломлялись на границе раздела корпус – вода и фокусировались в области потока воды. Расчет производится по формуле:

$$a \approx R/n - 1,$$

где a – расстояние от точки фокусировки до центра кривизны; R – радиус

кривизны; n – отношение скоростей звука (коэффициент преломления) на границе корпуса и воды.

Скорость звука в материале корпуса можно принять 6000 м/с, а в воде – 1400 м/с. Тогда $n = 4$, и при расчете акустической линзы можно принять $a \approx R/3$. Длина волны $\lambda = c/f = 2 \cdot 10^{-3}$ м. Радиус кривизны $R = 36 \cdot 10^{-3}$ м, следовательно $R/\lambda = 18$. Поэтому в выбранной точке фокусировки образуется область с характерным размером, порядка длины волны, где плотность энергии акустической волны максимальна. Использование фокусировки акустических лучей повышает чувствительность теневого метода, что позволяет регистрировать рыб, размеры которых существенно меньше диаметра излучателей и приемников.

Блок-схема устройства APCY-TM показана на рис. 3. Преобразователи 1 и 2 излучают импульсные акустические сигналы, генерируемые передающим трактом 3. Сигналы, проходя через поток воды, попадают на приемные преобразователи 4 и 5, затем усиливаются и детектируются устройствами 6 и 7. С их выходов импульсы попадают на пороговые устройства 8 и 9. Уровень порога выставляется таким образом, чтобы при отсутствии рыбы устройства 8 и 9 выдавали прямоугольные импульсы, соответствующие сигналам, принятым преобразователями 4 и 5. При прохождении рыб уменьшение сигнала ниже выставленного порога фиксируется и подается на счетно-логическую схему 10. При исчезновении сигнала хотя бы в одном из двух каналов счетно-логическая схема посылает импульс счета на электромеханический счетчик 11. Нормальная работа счетно-логической схемы обеспечивается даже при многократном облучении рыбы, т.е. результат счета не зависит от скорости прохождения рыб.

Испытания устройства проводились на Бертульском осетровом рыбозаводе. Среднеквадратичная ошибка – в пределах 10 % с достоверностью 95 %. Во время испытаний в потоке воды помимо молоди осетра отмечено большое количество молоди частиковых, головастика, беспозвоночных из отряда жаброногих, водной и наземной растительности.

Представляется очевидным, что для проведения метрологической сертификации прибора необходимо иметь испытательный стенд, который также был сконструирован и реализован.

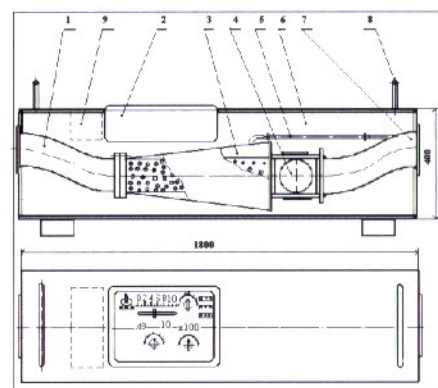


Рис. 1. Акустическое устройство для счета молоди рыб в трубопроводе:
1 – входной патрубок; 2 – электронный блок; 3 – сепаратор воздуха; 4 – датчик акустический; 5 – байпас; 6 – кожух; 7 – выходной патрубок; 8 – рукоятка; 9 – место для аккумуляторной батареи

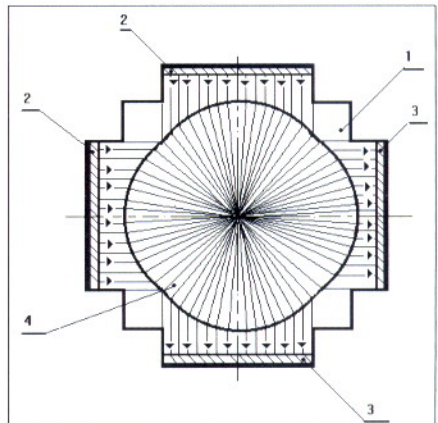


Рис. 2. Конструкция акустического датчика

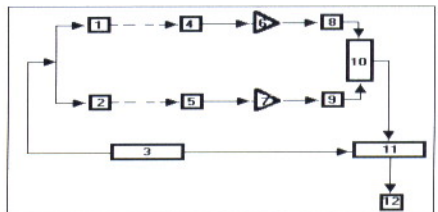


Рис. 3. Блок-схема рыбосчетного устройства

В настоящее время по заданию рыбозаводов-практиков разрабатывается акустическое устройство для подсчета рыбы при ее выпуске из пруда во время его осушения.

Markoliya A.I.
Acoustic devices for fish counting

The present study shows scientific and practical foundations of acoustic methods used for the quantitative counting of fish in the water flow as highly promising. The problem of objective counting of sturgeon juveniles released into the Caspian Sea in various countries is shown to be of vital importance for sturgeons catch quota assessment in each country.