

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО АВТОМАТИЧЕСКОМУ ПОДСЧЕТУ РЫБ В РЕКАХ И РЫБОХОДАХ

А. И. Марколия (ВНИРО)

В связи с необходимостью рационального ведения воспроизводства лососевых, осетровых, сиговых и других ценных промысловых объектов требуется разработка надежного метода учета рыб, проходящих в нерестовые водоемы. Не менее важной задачей является подсчет скатывающихся вниз по течению рек мальков, ежегодно выпускаемых рыборазводными заводами и нерестово-выростными хозяйствами.

Рыбосчетчики должны удовлетворять следующим требованиям: высокая скорость счета, малая погрешность, большая емкость счетчика, стабильность работы, высокая разрешающая способность по дальности.

Основные технические параметры акустических рыбосчетных устройств определяются областью их применения, размерами объектов счета, их концентрацией в водном потоке и конкретными характеристиками места установки приборов. Так, например, требования, предъявляемые к акустическим антеннам рыбосчетчиков, предназначенным для рыбоходов и водозаборных сооружений, зависят от геометрических размеров поперечного сечения потока воды. Для подсчета рыб, проходящих в естественных устьях рек, технические требования к установке акустической антенны, а также к параметрам самого рыбосчетного устройства определяются не только профилем поперечного сечения реки и характером речного грунта, но и колебаниями уровня воды, скоростью течения, а также загрязненностью реки ветками деревьев, тиной и др.

Способ учета рыб в рыбопропускных сооружениях, предложенный В. В. Протасовым и В. Р. Митрохиным (1959), предусматривает применение фотоэлементов и основан на использовании изменения оптической прозрачности воды при пересечении проплывающей рыбой луча, падающего на фотоэлемент. Основанное на этом принципе устройство, предназначенное для подсчета мальков, разработано в лаборатории механизации рыбоводных процессов АзНИИРХ. Это устройство обладает хорошей точностью счета ($\pm 5\%$), большой емкостью счетчика (10^6), но имеет и существенные недостатки, например, чувствительность датчиков зависит от прозрачности воды, так как их каналы быстро загрязняются илом.

В Англии разработано акустическое рыбосчетное устройство, предназначенное специально для количественного учета рыб в потоке воды (Д. Г. Такер и др., 1972). В устройстве использованы акустические преобразователи с веерообразными диаграммами направленности. Один преобразователь установлен на дне, а другой находится на поверхности воды и может перемещаться при изменении уровня воды. Для определения направления движения рыбы преобразователи могут быть также установлены попарно на противоположных берегах со смещением одной пары относительно другой в направлении течения. Преимущества этого рыбосчетчика по сравнению с другими заключаются в наличии специальной антенной системы, позволяющей приспосабливаться к конкретным условиям, и в автоматизации счета, недостатки — в сложности антенной системы (две пары преобразователей), наличии двух каналов усиления и предварительной обработки сигналов, в неуниверсальности прибора, обусловленной зависимостью числа каналов селекторного блока от ширины потока и размеров рыбы. Число кана-

лов может быть настолько велико (до 10^2 — 10^3), что применение прибора в потоке воды шириной более десяти метров оказывается невозможным.

В Советском Союзе разработка акустических рыбосчетных устройств (АРСУ) для речных рыб была начата в 1970 г. АРСУ предназначено для количественного учета рыб в естественном русле реки, рыбозаградительных сооружениях и рыбоходах. Устройство работает по принципу автоматической логической обработки эхо-сигналов от рыб, проходящих зону действия акустической антенны. Обработка эхо-сигналов от рыб происходит в каждом такте¹ работы гидролокатора, входящего в состав устройства. При этом количество эхо-контактов с каждой рыбой неограниченно. Первый действующий макет АРСУ-1 был предназначен для подсчета лососевых рыб, проходящих на нерест по реке с рыбозаградительным сооружением (река Озерная на Камчатке). В результате испытаний в натуральных условиях установлено, что приемлемые для речных условий варианты антенной системы рыбосчетчика должны удовлетворять двум противоречивым требованиям:

полностью перекрывать акустическим лучом поперечное сечение воды, чтобы не допустить пропуска рыбы из-за непопадания ее в зону действия антенны;

избавиться от акустических помех, возникающих при расширении диаграммы направленности антенны вследствие рассеяния звука от поверхности воды и неровностей дна водоема.

Действие акустического рыбосчетного устройства основано на использовании принципа гидролокации, но от рыбопоисковых приборов отличается блок-схемой, параметрами, конструкцией акустической антенны, методом обработки эхо-сигналов. Рассмотрим формирование зоны действия акустической антенны, обработку эхо-сигналов, функциональную схему и основные характеристики последней модели рыбосчетного устройства АРСУ-4 (рис. 1).

Акустическая антенна. Создать облучаемую зону необходимой конфигурации можно с помощью антенны, формирующей слабо расходящийся ультразвуковой луч в горизонтальной плоскости (и нерасходящийся в вертикальной плоскости), перекрывающий глубину потока воды. Для этого может быть использована линейная антенна, работающая в ближней, так называемой прожекторной зоне² (Горелик, 1959; Mikeska, Mekinpeu, 1979).

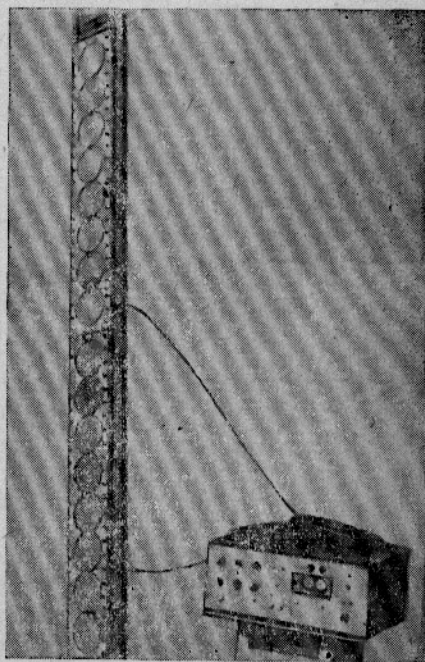


Рис. 1. Общий вид прибора АРСУ-4 и его акустической антенны (две секции).

¹ Такт работы гидролокатора — время между двумя последовательными посылками зондирующих импульсов.

² Ближняя (прожекторная) зона характеризуется плоским фронтом звуковой волны, в пределах которого волна не расходится. За пределами ближней зоны начинают формироваться диаграмма направленности излучателя.

Размер прожекторной зоны излучателя L определяется по формуле

$$L \approx \frac{d^2}{\lambda},$$

где d — апертура излучателя, т. е. линейный размер излучателя в рассматриваемой плоскости;
 λ — длина звуковой волны.

Для рыбосчетного устройства была изготовлена многоэлементная синфазная (линейная) антенна с размерами зеркала 118×1000 мм.

Антенна представляет собой набор из дисков пьезокерамики титаната бария диаметром 118 мм и толщиной 9 мм, смонтированных в герметичном корпусе (рис. 2). Элементы (диски) подобраны по резонансной частоте (300 кГц) и соединены параллельно. Выбор столь высокой рабочей частоты обусловлен требованиями высокого разрешения по дальности (2,5 см), достигнутого за счет применения коротких импульсов ($\tau_{\text{и}} = 30$ мксек). Диаграмма направленности антенны в горизонтальной плоскости (на уровне 0,7 по давлению) около 5° , а в вертикальной плоскости около $0,5^\circ$. В вертикальной плоскости на резонансной частоте 300 кГц антенна имела прожекторную зону длиной около 200 м. Таким образом зона действия антенны представляет собой сектор с углом 5° и вертикальной протяженностью,

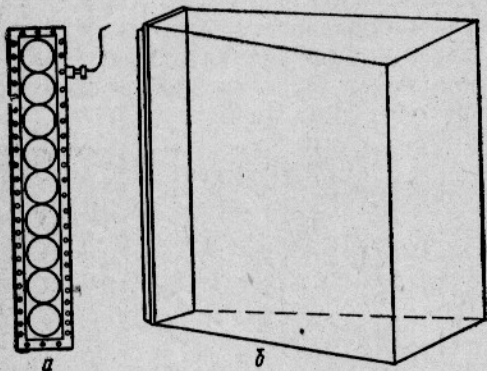


Рис. 2. Общий вид акустической антенны (а) и форма ее зоны действия (б) (ближняя зона).

соответствующей длине антенны (см. рис. 2), т. е. 1 м при одной секции или 2 м при использовании двух секций, размещенных одна над другой.

Следует иметь в виду, что акустическое поле в прожекторной зоне крайне неравномерно вследствие интерференционных явлений. Но для описанной выше акустической антенны не были обнаружены участки в пределах зоны действия, где бы отсутствовала цель (пустотелый шарик диаметром 33 мм) не давала эхо-сигнала, но флюктуации его были значительными. Такой результат, по всей видимости, обусловлен тем, что каждый пьезокерамический диск, входящий в состав акустической антенны, представляет собой механически самостоятельную систему. Хотя излучение элементов антенны является синфазным, суммарное поле, создаваемое в пространстве всей антенной, не имеет точек нулевого давления. В силу этого пропусков в регистрации рыбы при прохождении ее через зону действия антенны не должно быть, что и подтвердилось экспериментами в аквариуме. В дальнейшем целесообразно провести детальные измерения акустического поля в прожекторной зоне, которые дали бы точную информацию о распределении акустического давления в пространстве.

Обработка эхо-сигналов. В приборах АРСУ была применена схема логической обработки эхо-сигналов, позволившая автоматически подсчитывать число рыб при их многократном лоцировании. В действующем макете АРСУ-4 счетная система состоит из четырех регистров и счетчика. За время действия строб-импульса (см. рис. 3, Б), определяюще-

го дальность контролируемой зоны, запоминается число эхо-сигналов N_k , соответствующее количеству рыб, которые находились в этой зоне в течение данного такта. В следующем $(k+1)$ такте вычисляется количество рыб Δ_{k+1} , вновь вошедших в зону действия антенны в течение этого такта: $\Delta_{k+1} = N_{k+1} - N_k$. Если $N_{k+1} \leq N_k$, то $\Delta_{k+1} = 0$. Таким образом, счетчик регистрирует только тех рыб, которые впервые появляются в облучаемой ультразвуковым импульсом зоне. Общее количество рыб, прошедших через зону действия антенны в течение всех n тактов, будет

$$N = \sum_{k=1}^n \Delta_k. \quad (1)$$

Ошибки в подсчете рыб возможны в двух случаях:

рыбы проходят настолько близко одна от другой, что их отражения сливаются в один эхо-сигнал;

одна рыба входит в зону действия в тот момент, когда вторая рыба выходит из этой зоны, тогда число эхо-сигналов в облучаемой зоне остается прежним и $\Delta_k = 0$.

Первая ошибка зависит от разрешающей способности гидролокатора, и вероятность ее появления будет тем меньше, чем меньше длительность излучаемого импульса. Ошибка второго рода обусловлена вероятностью одновременного входа и выхода объекта из облучаемой зоны в течение одного такта и может быть уменьшена, если повысить тактовую частоту (число излучаемых импульсов в секунду F).

Эта вероятность может быть подсчитана следующим образом. Если в единицу времени облучаемую зону пересекает один объект, то вероятность появления эхо-сигнала от нее в данном такте равна $\frac{1}{F}$. Такова же вероятность выхода его из облучаемой зоны в данном такте. Если вероятность входа рыбы в зону действия и выхода из нее в течение одного такта независимы, то вероятность ошибки счета $P_{\text{ош}}$ можно определить по формуле:

$$P_{\text{ош}} = \left(\frac{m}{F} \right)^2, \quad (2)$$

где m — математическое ожидание числа рыб, пересекающих зону действия рыбосчетчика за единицу времени.

При $m = 1 \text{ с}^{-1}$ и $F = 10 \text{ Гц}$ вероятность ошибки будет равна 0,01. Для достижения такой точности при других значениях тактовой частоты должно выполняться условие $F > 10 m$.

Функциональная схема и основные характеристики АРСУ. (Кенигсбергер Г. В., Марколия А. И., Сизов И. И., 1976). На рис. 3 показана блок-схема рыбосчетного устройства и временные диаграммы, поясняющие его работу в течение одного такта. Пути прохождения сигналов обозначены в блок-схеме сплошными линиями, а команд, управляющих работой счетно-логической схемы, — штриховыми. Блоки 1—3 составляют гидролокатор; блоки 4—9 относятся к счетно-логической схеме. Передающий тракт 3 содержит генератор тактового импульса, задающий генератор и усилитель мощности на транзисторах.

С приходом запускающего импульса задающий генератор вырабатывает синусоидальное напряжение частотой 300 кГц. Импульсы длительностью 30 мкс подаются на акустическую антенну. Излучаемый импульс используется также для запуска схемы временной автомати-

ческой регулировки усиления ВАРУ, которая начинает работать после окончания излучения, а также для генерации строб-импульса, определяющего контролируемую зону по дальности. С окончанием строб-импульса начинает работать счетно-логическая схема.

Приемный тракт содержит усилитель с регулируемым коэффициентом усиления и детектор. После детектирования эхо-сигналы через

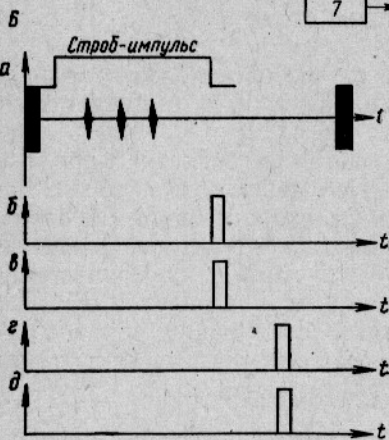
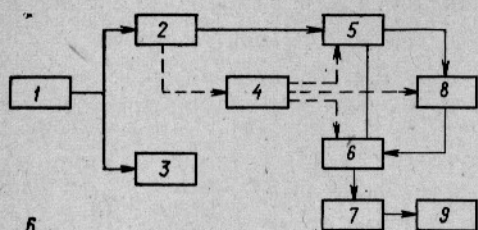


Рис. 3. Функциональная схема АРСУ-4 (А) и временные диаграммы (Б), поясняющие ее работу:

1 — гидроакустическая антенна; 2 — приемный тракт; 3 — передающий тракт; 4 — блок управления; 5 — регистр счета; 6 — регистр вычитания; 7 — регистр суммирования; 8 — регистр запоминания; 9 — электромеханический счетчик; а — зондирующий импульс гидролокатора и эхо-сигналы от рыб; б — сигнал об окончании работы приемного тракта; команда: в — вычитание; г — запоминание; д — суммирование.

запускается блок управления 4, который последовательно выдает в соответствующие регистры команды: вычитание — в, запоминание — г и суммирование — д (см. рис. 3, Б).

По команде «вычитание» с выхода регистра запоминания 8 на вход регистра вычитания 6 поступает число N_{k-1} , равное количеству принятых эхо-сигналов в предыдущем ($k-1$) такте работы гидролокатора. Результатом выполнения команды вычитание является число $\Delta_k = N_k - N_{k-1}$, равное разности между числом эхо-сигналов, принятых в настоящем k -м такте, и числом эхо-сигналов, принятых в предыдущем ($k-1$)-м такте работы гидролокатора. Операция вычитания производится по следующему правилу:

$$\Delta_k = 0, \text{ если } N_k \leq N_{k-1}$$

$$\Delta_k > 0, \text{ если } N_k > N_{k-1}$$

По команде «запоминание» с выхода регистра счета 5 на вход регистра запоминания поступает число N_k и запоминается в нем до следующего $(k + 1)$ -го такта.

По команде «суммирование» с выхода регистра вычитания 6 на вход регистра суммирования 7 поступает число Δ_k , которое складывается с суммой разностей за все предыдущие такты, равной

$$\Sigma_{k-1} = \Delta_{k-1} + \Delta_{k-2} + \dots + \Delta_1.$$

Полученное в результате сложения число $\Sigma_k = \Sigma_{k-1} + \Delta_k$ отображается на табло электромеханического счетчика 9. Число Σ_k , таким образом, равно количеству рыб, прошедших через зоны действия акустической антенны 1 за все k -тактов работы гидролокатора.

Основные технические характеристики действующего макета прибора АРСУ-4

Дальность действия, м	20
Разрешающая способность по дальности, см	2,5
Производительность (при тактовой частоте 50 Гц), шт./ч	$2,10^4$
Емкость счетчика, шт.	10^4
Рабочая частота, кГц	300
Длительность зондирующего импульса, мкс	30
Тактовая частота, Гц	4—50
Полоса пропускания приемного тракта, кГц	40
Угол направленности акустической антенны (на уровне 0,7 по давлению)	
в горизонтальной плоскости	5°
в вертикальной плоскости	$0,5^\circ$
Электрическая мощность (в импульсе), Вт	40
Потребляемая мощность, Вт	4
Напряжение питания	
от аккумулятора, В	12
от сети переменного тока, В, Гц	220, 50
Масса прибора, кг	6
Масса акустической антенны, кг	8
Габариты прибора, мм	$450 \times 300 \times 150$

Отработка различных вариантов счетчика и акустической антенны производилась в акустическом бассейне на моделях, а также в натуральных условиях.

Экспериментальные исследования по автоматическому подсчету рыб в аквариуме предусматривали прежде всего выявление работоспособности рыбосчетного устройства, применимости его к реальным условиям и величину погрешности в подсчете рыб. Для выявления величины погрешностей проводились экспериментальные исследования в аквариуме, где легко было сопоставить результаты визуального подсчета рыб, пересекавших зону действия акустической антенны, с показаниями рыбосчетчика.

Эксперименты проводились в Батуми (Грузинская рыбхозстанция ВНИРО). В аквариум размером $5 \times 2 \times 1,5$ м было помещено 30 рыб: 27 смарид длиной 12—15 см, две ставриды длиной 15 см и один морской карась длиной 8 см.

Передняя стенка аквариума имела три больших окна, через которые можно было вести визуальные наблюдения за рыбой (рис. 4). В течение нескольких дней рыбы адаптировались к новым условиям, после этого рыбы вели себя спокойно, ходили стаей (а иногда несколькими стайками) при скорости передвижения около $0,5 \div 0,1$ м/сек. Акустическая антенна была установлена вертикально у задней стенки аквариума напротив среднего окна. Работа прибора АРСУ-4 контролировалась осциллографом С1-68, подключенным к приемному тракту. Глубина воды

в аквариуме составляла 1,3 м. Антенна перекрывала толщу воды глубиной 1 м, начиная от дна. Рыбы медленно передвигались вдоль аквариума, причем ни одна из них не поднималась выше антенны. При прохождении стаи через зону, перекрываемую лучом антенны, на экране осциллографа были видны четкие эхо-сигналы и одновременно срабатывал счетчик.

Для выяснения зависимости точности подсчета рыб от частоты повторения зондирующих импульсов были проведены описанные ниже три серии измерений.

Опыт 1. Рыбы свободно и медленно передвигаются вдоль аквариума, пересекая зону действия антенны. Зондирующие импульсы посылаются с частотой $F = 50$ имп/сек. Включается счетчик и одновременно визуально подсчитывается количество, рыб, пересекающих зону действия антенны. Результаты приведены ниже.

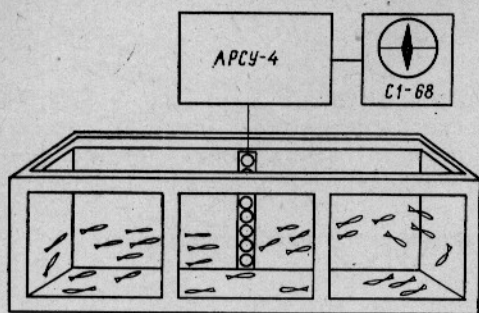


Рис. 4. Схема эксперимента по подсчету рыб в аквариуме.

Номер серии опытов	Визуально	Показания счетчика	Номер серии опытов	Визуально	Показания счетчика
1	3	4	17	2	3
2	6	5	18	13	13
3	13	16	19	4	3
4	7	13	20	5	2
5	4	9	21	7	5
6	9	12	22	4	3
7	15	19	23	4	2
8	20	18	24	4	2
9	4	4	25	12	8
10	14	15	26	14	20
11	1	1	27	19	13
12	1	1	28	16	12
13	5	3	29	12	15
14	5	3	30	3	3
15	10	11	31	10	15
16	20	21	32	9	10
			Всего	278	284

В течение опыта 1 визуально подсчитано, что рыбы пересекли зону действия антенны 278 раз. При этом суммарное показание счетчика было 284 шт. Таким образом, ошибка рыбосчетчика составила около 2%.

Опыт 2. Условия те же, что в опыте 1, но частота посылок $F = 25$ имп/сек. Результаты опыта приведены ниже.

Номер серии опытов	Визуально	Показания счетчика	Номер серии опытов	Визуально	Показания счетчика
1	8	9	14	15	12
2	5	4	15	11	12
3	3	3	16	7	8
4	7	7	17	20	18
5	10	10	18	3	3
6	5	4	19	8	8
7	1	1	20	10	9
8	11	10	21	13	10
9	12	12	22	13	10
10	11	8	23	16	16

11	4	4	24	16	16
12	11	9	25	5	4
13	8	5	26	8	8
			27	12	10
			Всего	242	228

Визуально подсчитано 242 рыбы. Суммарное показание счетчика 228. Ошибка рыбосчетчика около 6%.

Опыт 3. Условия те же, что в опытах 1 и 2.

Частота посылок $F = 5$ имп/сек.

Номер серии опытов	Визуально	Показания счетчика	Номер серии опытов	Визуально	Показания счетчика
1	14	7	13	11	6
2	10	7	14	17	10
3	9	9	15	17	13
4	9	6	16	15	9
5	10	6	17	4	3
6	4	3	18	8	5
7	5	4	19	20	12
8	9	6	20	16	10
9	9	6	21	15	13
10	10	6	22	8	4
11	7	6	23	10	7
12	13	5	24	11	10
			Всего	256	172

Визуально подсчитано 256 рыб. Суммарное показание счетчика 172 рыбы. Ошибка подсчета составила 33%. Такая ошибка обусловлена низкой частотой посылок. Из приведенных данных видно, что в результате сопоставления количества рыб, наблюдаемых визуально и подсчитанных рыбосчетчиком, ошибки были как в сторону завышения, так и в сторону занижения.

Завышение показания происходит по следующей причине. Как описано выше, принцип работы счетно-логической схемы основан на регистрации рыб, впервые появляющихся в зоне действия антенны. Но при прохождении рыбой зоны действия антенны огибающая пачка отраженных эхо-сигналов от нее может быть как монотонной (возрастающей, а затем убывающей, что наблюдается в подавляющем большинстве случаев), так и изрезанной (с несколькими максимумами). Последнее и приводит к подсчету одной и той же рыбы несколько раз, так как наличие нескольких максимумов и провалов в огибающей пачке отраженных эхо-сигналов от одной рыбы равносильно появлению в зоне действия антенны других рыб.

Занижение показания счетчика обусловлено в основном значительным ослаблением эхо-сигнала, когда рыбы проходят под углом к лучу антенны и рыба не регистрируется (эхо-сигнал от нее не превышает порога срабатывания счетчика).

Пропуски регистрации бывают, если рыбы идут под углом и если одна рыба идет параллельно другой и экранирует ее, хотя они разрешаются по дальности. Эхо-сигнал от экранированной рыбы оказывается примерно на 20 дБ меньше, чем эхо-сигнал от экранирующей рыбы, вследствие потерь на проницаемость, вызванных тем, что сигнал дважды проходит тело экранируемой рыбы. Эхо-сигналы от карася длиной 8 см больше, чем смариды длиной 12 см, а от смариды больше, чем от ставриды длиной 15 см. Эти различия объясняются различием в конфигурации тела названных рыб.

Однако из этих же таблиц видно, что указанные ошибки зависят от частоты посылок. Следовательно, повышая частоту посылок, можно было бы свести суммарную ошибку к минимуму (рис. 5). Однако следует иметь в виду, что в общем случае оптимальная частота посылок зависит от конкретных условий подсчета рыб (размеров рыб, плотности хода, скорости перемещения и особенностей поведения рыб). Поэтому установку частоты повторения зондирующих импульсов необходимо производить, сообразуясь с вышеуказанными условиями.

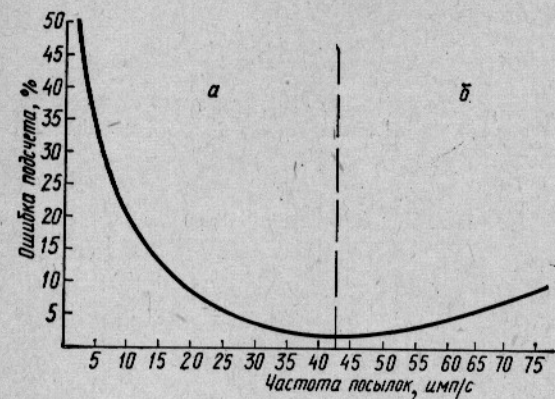


Рис. 5. График зависимости точности подсчета рыб от частоты посылок:

а — область ошибок из-за занижения показателей рыбосчетчика; б — область ошибок из-за завышения показаний рыбосчетчика.

тенны «незаметно». Увеличить усиление приемного тракта не представлялось возможным.

В результате опыта выявлены следующие недостатки облучения рыб сверху: амплитуда эхо-сигналов меньше, чем при боковом облучении; невозможен подсчет рыб, идущих у самого дна (эхо-сигнал от рыбы сливается с эхом от дна).

Эксперименты на морском шельфе. С целью выявления точности работы рыбосчетчика в 1974 г. были проведены эксперименты в морских условиях (Уссурийский залив Приморского края). В садок глубиной 6 м на грунт была поставлена подводная телевизионная установка и запущено несколько десятков рыб (морской окунь). Две секции акустической антенны были установлены вертикально. Визуальные наблюдения по телеэкрану подтвердили, что каждый раз при пересечении рыбой зоны действия акустической антенны срабатывал рыбосчетчик.

В другом эксперименте одна секция акустической антенны располагалась на дне моря горизонтально в устье ставного невода. Глубина моря в этом месте составляла 6 м. Звуковой луч был направлен вертикально вверх, а длина контролируемой зоны, устанавливаемой с помощью строга, была ограничена дном моря и поверхностью воды. Перед началом опыта производилась выборка невода. Рыбосчетчиком регистрировалась вся рыба, заходившая в ворота невода. Однако погрешность счета была значительной в результате попадания сетного полотна, раскачиваемого волнением моря, в зону действия акустической антенны.

При дальнейшем применении рыбосчетчика в подобных условиях необходимо обеспечивать жесткое закрепление сетного полотна в воротах ставного невода или другого орудия лова.

Результаты речных испытаний. Испытания состояли из следующих этапов: проверка работоспособности антенны и счетчика по искусственным целям; проверка срабатывания АРСУ-4 по рыбам; подтверждение биологической природы регистрируемых эхо-сигналов; выявление особенностей поведения рыб в зоне действия АРСУ-4; проверка дальности действия АРСУ-4.

Испытания рыбосчетчика проводились в сентябре 1974 г. в естественном русле р. Киевки (Приморский край). Ширина реки в месте испытаний около 70 м; глубина плавно уменьшалась от 4 м у правого берега до нуля у левого берега. Период испытаний предшествовал масовому ходу на нерест двух видов лосося: симы и кунджи.

Акустическая антенна, состоящая из двух секций, была установлена на растяжках 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 0,2 м и длиной 20 м (ширина основного потока).

Для проверки работоспособности антенны и счетчика в зону действия антенны бросали мелкие камни или погружали пустотелые шарики диаметром 33 мм. При этом наблюдали на экране осциллографа появление эхо-сигналов и их форму. При падении камней в зоне действия акустической антенны на расстоянии до 10 м от них наблюдался «шлейф» импульсных сигналов, затухавший примерно через 5 с. Такой затяжной характер эхо-сигнала объясняется тем, что вместе с падающим камнем в воду вносилась аэрированная струя. Многочисленные пузырьки создавали ревербирующий эхо-сигнал, длившийся до тех пор, пока все пузырьки не выходили из зоны действия антенны. Введение в зону действия антенны пустотелого шарика вызывало устойчивое срабатывание счетчика на расстоянии до 12 м.

При проверке АРСУ-4 от рыб наблюдались четкие эхо-сигналы, вызывающие устойчивое срабатывание счетчика. Эхо-сигналы следовали примерно через 3 с и имели характерную повторяющуюся форму. Иногда эхо-сигналы имели «размытую» форму с рваной вершиной. Предполагали, что их причиной были проплывавшие в воде ветки или трава, так как сигналы от рыбы всегда имели характерную форму зондирующего импульса. Эхо-сигналы от крупных рыб (сима длиной 50 см) имели большую амплитуду и несколько более затягивались, чем эхо-сигналы от более мелких рыб. После бросания камней в зону действия акустической антенны количество эхо-сигналов в единицу времени в течение последующих десяти минут сокращалось в несколько раз. Это свидетельствовало о том, что бросанием камней в воду рыб распугали, а причиной зарегистрированных до того эхо-сигналов действительно были рыбы. С помощью информации, полученной от АРСУ-4, удалось пронаблюдать некоторые особенности поведения рыб, мигрирующих по реке. Так, например, с наступлением темноты (19.30—20.30 ч) частота появления эхо-сигналов уменьшилась в 3—5 раз по сравнению с дневным временем. Это означает, что плотность хода рыб с наступлением сумерек в 3—5 раз меньше, чем в дневное. При поочередном включении нижней и верхней секций акустической антенны число эхо-сигналов при включении нижней секции антенны было несколько больше, чем при включении верхней секции. Это вызвано перемещением рыб по всему сечению реки с некоторым преобладанием в нижних слоях воды.

При проверке дальности действия АРСУ-4 было установлено, что рыба длиной 14 см (гольян) регистрировалась счетчиком на расстоянии до 12 м.

Из-за весьма разреженного хода лососей в период испытаний не удалось провести регулярный учет идущей на нерест рыбы.

В результате проведенных испытаний установлено, что секционная акустическая антенна прожекторного типа пригодна для работы в естественном русле реки и прибор может длительное время работать автономно (без оператора).

В нижнем течении р. Раздольной (Приморский край) в 1975 г. были продолжены испытания модели АРСУ-4. При этом наблюдались в основном следующие виды рыб: карась, пиленгас, красноперка. Проводилась отработка режимов рыбосчетного устройства, в частности, выбор тактовой частоты при подсчете рыбы, проходившей в прибрежные орудия лова с сетными ловушками. Акустический луч перекрывал входное отверстие ловушки. Контроль осуществлялся путем сравнения количества имевшейся в садке рыбы с показаниями счетчика после выхода всей рыбы из садка. Режим работы счетчика был следующим: тактовая частота 40 имп/с, дистанция счета от 1,5 до 2,5 м. Антенна имела 1 секцию. Показания счетчика совпадали с количеством рыбы, выходящей из садка.

Экспериментальные исследования в натуральных условиях с целью подсчета числа рыб, идущих на нерест с использованием рыбосчетного устройства АРСУ-4, выверенного предварительно в аквариальных условиях, проводились автором в марте — апреле 1977 г.* на нижнем течении р. Терек, вытекающей из Аракумского водоема (Дагестанская АССР). Средняя скорость течения реки 1—1,5 м/с, ширина протоки 30—35 м, глубина от 1 до 2,5 м. Для питания аппаратуры был использован танковый аккумулятор с напряжением 12 В (100 ач). Схема участка протоки показана на рис. 6.

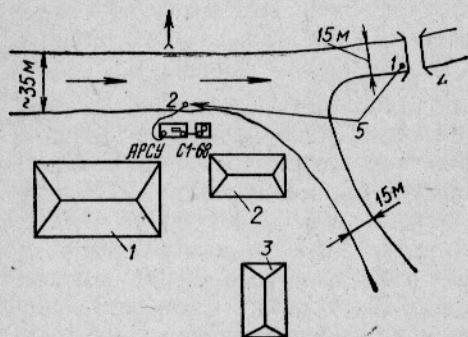


Рис. 6. Схема участка протоки, где производился подсчет рыб.

1 — жилой дом; 2 — подсобное помещение; 3 — кухня.

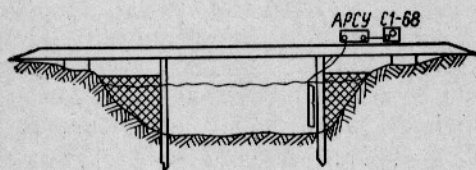


Рис. 7. Схема установки акустической антенны под мостом.

Пробные отловы показали, что в протоке имелись следующие основные виды рыб: вобла ($l \approx 20$ см), сазан ($l \approx 35$ см), лещ ($l \approx 30$ см), жерех ($l \approx 25 \div 30$ см).

Автоматический подсчет рыб проводился в двух вариантах. В первом случае акустическая антенна устанавливалась около моста так, что излучение было направлено поперек потока воды шириной 15 м. Часть потока у обоих берегов перекрывалась металлической сеткой (рис. 7). Во втором случае акустическая антенна устанавливалась таким образом, чтобы контролировалась половина потока воды (см. рис. 6, позиция 2).

Работа рыбосчетчика АРСУ-4 контролировалась с помощью осциллографа, подключенного к приемному тракту. Опыт проводился при тактовой частоте 5 имп./с. Малая прозрачность воды не позволила про-

* В проведении экспериментов на Аракумском водоеме автору оказали содействие научный сотрудник О. П. Омаров и инженер Д. Г. Радулов.

вести счет рыбы с визуальным контролем. Контрольный облов не дал желаемых результатов, поскольку рыбы пугались орудия лова (плавная сеть, трехстенка), и уходили вниз по течению. Если сеть поднимали из воды, то спустя некоторое время возобновлялся ход рыбы против течения, о чем свидетельствовали показания рыбосчетчика. Расстояние от акустической антенны рыбосчетчика до сети составляло около 20 м.

С такого расстояния рыбы реагировали на орудие лова, несмотря на низкую прозрачность воды.

Отрицательная реакция рыбы на орудие лова подтвердилась работой счетчика: при опускании сети в воду счетчик начинал учащенно постукивать, срабатывая от непрерывно следовавших один за другим эхо-сигналов от рыб, стремительно покидавших опасную для них зону. Затем наступало затишье, означавшее, что все ранее проплывшие мимо антенны рыбы вернулись и ушли вниз по течению.

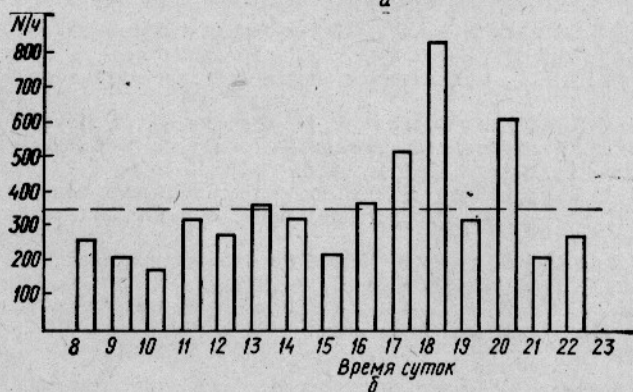
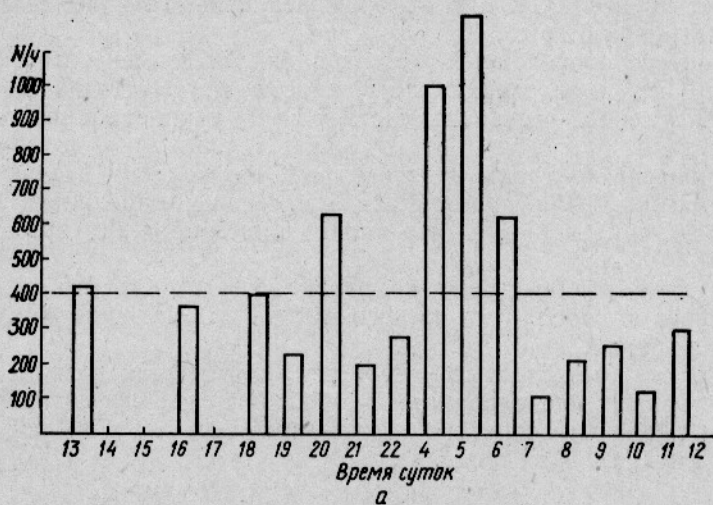


Рис. 8. График плотности хода рыбы в разное время суток при размещении акустической антенны в пункте 1 (а) и в пункте 2 (б) (положение пунктов 1 и 2 обозначено на рис. 6).

В этот же период нами проводились эксперименты по определению динамики плотности хода рыбы в течение суток. Результаты этих наблюдений приведены на рис. 8.

Если предположить, что плотность хода рыбы по второй (не перекрытой) половине протока такая же, как в контролируемой, то через

все сечение протока проходит 1420 рыб/ч, из которых через рукав с мостом проходит 800 рыб/ч. Однако в ходе экспериментов было замечено свободное перемещение рыбы вдоль берегов, что приводило к регистрации одной и той же рыбы несколько раз.

В дальнейшем предстоит работа по усовершенствованию рыбосчетного устройства, а также разработка устройства для подсчета плотно идущих мальков, выпускаемых рыбопроизводными хозяйствами, для чего необходимо принципиально новое решение метода обработки эхо-сигналов.

Выводы

1. В процессе теоретических и экспериментальных исследований по созданию акустического рыбосчетного устройства определены основные требования к параметрам рыбосчетного устройства и его функциональной схеме.

Разработано и изготовлено принципиально новое акустическое рыбосчетное устройство АРСУ, в котором реализован новый метод обработки эхо-сигналов от рыб.

2. В процессе проведенных исследований выполнены методические проработки по определению погрешности рыбосчетчика, непосредственный визуальный контроль счета рыб в крупногабаритном аквариуме:

телевизионный контроль подсчета рыб на морском шельфе.

Обе методики были практически применены, определена погрешность рыбосчетчика в 2—5%, что вполне приемлемо для практических применений.

3. Испытания рыбосчетчика показали возможность и целесообразность применения гидроакустического метода для подсчета проходящих в водном потоке рыб.

Акустические рыбосчетные устройства могут быть использованы в рыбохозяйственных исследованиях, при испытаниях эффективности новых орудий лова, рыбоотпугивающих и привлекающих средств, а также в этологических исследованиях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Горелик Г. О. Колебания и волны. — М.: Физматгиз, 1959. — с.

Кенигсбергер Г. В., Марколия А. И., Радулов Д. Г. Акустическое рыбосчетное устройство АРСУ. — Техническое описание и инструкция по эксплуатации. — Сухуми: 1976. с.

Кенигсбергер Г. В., Марколия А. И., Сизов И. И. Акустические устройства для подсчета рыб в реках и рыбоходах. — Доклад на V Всесоюзной конференции по рыбопониговой технике, Таганрог, 1976.

Протасов В. Р., Митрохин В. Р. Способ учета рыб в рыбопропускных сооружениях, А, с. 122992. — Б. И. Изобретения, пром. образцы, тов. знаки, № 19, 1959.

Такер Д. С., Брейтуайт Х. В. Устройство для количественного учета рыб в потоке воды. / Пат. СССР № 352431, А 01 61/00, 1972.

Mikeska E. E., C. M. McKinney. Relationship of transducer apertures and separation to the directivity patterns in the near field region. Iasa, 1974, v. 56, Nr. 5, Nov. p. 1418—1422.

Experiments with fish-counting devices in rivers and fishways.

Markoliya A. I.

SUMMARY

The results of theoretical investigations and experiments made to design an acoustic fish-counting device are described. A review of known domestic and foreign methods and engineering devices is presented.

A new hydroacoustic device is designed. It is equipped with an antenna operating in the near zone. The pilot and field tests of the device were made in a large aquarium controlled visually and on the sea shelf by means of a submerged television set. The error was 2÷5%. It is concluded that the device may be use for counting fish in the flow.