

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Весной 2003 года в Институт проблем морских технологий (ИПМТ ДВО РАН), основное направление деятельности которого – разработка подводных роботов и их систем, поступило неожиданное предложение: создать технику для отражения нападений касаток на суда-ярусоловы. Предложение исходило от ряда рыболовных компаний, озабоченных резким падением эффективности рыбодобычи из-за потерь, наносимых касатками. Ситуация имела ярко выраженную экономическую окраску – был создан специальный флот для ярусного лова, закуплены на долгосрочную перспективу квоты на вылов биоресурсов, а производительность судов упала в десятки раз. По мнению заказчиков, решить проблему могло бы применение мощных отпугивающих звуковых импульсов. Основные разработки ИПМТ в области гидроакустической техники касались систем подводных аппаратов – навигации, связи, поисковых гидролокаторов, поэтому предложение создать гидроакустические средства воздействия на морских хищников выглядело экзотическим. Но главным аргументом заказчиков была репутация ИПМТ – организации, которая имела значительный опыт эксплуатации и практической реализации надежной подводной техники. Естественно, о проблемах рыбаков на ярусном лове мы не имели представления, поэтому с большим интересом знакомились с информацией, накопленной специалистами.

Касатки – «киты-убийцы» (зубатый кит длиной до 11 м и массой до 9 т) – одни из самых смысленных обитателей морей. Любопытство, редкая сообразительность и удивительная спо-

БОДАЛСЯ ТЕЛЕНОК С ДУБОМ, ИЛИ ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ МОЩНОГО ЗВУКА ДЛЯ ЗАЩИТЫ СУДОВ ОТ НАПАДЕНИЯ КАСАТОК ПРИ ЯРУСНОМ ЛОВЕ

Ю.Г. Ларионов
Ю.В. Матвиенко

Институт проблем
морских технологий ДВО РАН
Владивосток

собность к обучению сделали касаток «звездами» морских цирков. Они живут семейными группами-стаями от 10 до 100 (и даже более) особей. Касатки – социальные животные, и стоит одному зверю в стае научиться снимать рыбу с ярусов, как через некоторое время этому обучатся все ее члены. В период, когда район «нового питания» одной стаи совпадает с районом охоты другой, происходит «обмен опытом»: касатки, видя находчивость сородичей, следуют их примеру (рис. 1).

По данным американских специалистов, в зал. Аляска и юго-восточной части Берингова моря касатки нередко просто преследовали суда на ярусном промысле и «снимали» с крючков до 60 % улова. Ущерб от «воровства» рыбы, снижения ее товарного вида и порчи ярусов в зал. Аляска в конце 1980-х годов составлял до 5 тыс. дол. США на судосутки. И это лишь прямые убытки без учета потерянного промыслового времени, горючего и пр. Данная проблема очень актуальна и для других



Рис. 1

районов рыболовства. В последние годы она коснулась российских рыбаков. Ярусоловы, добывавшие ранее за сутки до 10 т палтуса, теперь получали при выборке ярусов сплошные «челюсти», едва набирая до 300–500 кг нормальной продукции. Рыбаки как могли защищали свой улов, применяя различные способы борьбы. Способы эти были следующие.

- Применение взрыв-пакетов, стрелкового и крупнокалиберного оружия. Даже такие антигуманные методы абсолютно неэффективны. Их использование только усложняет задачу: рыбаки «заставляют» касаток «интенсивнее работать» («дрессируют» более жестко – те отходят на большие расстояния и ныряют на значительные глубины). В результате животные осваивают более трудоемкий способ получения пищи, затрачивают больше энергии на процесс питания и просто вынуждены снимать с яруса больше рыбы для восстановления собственных сил. Поэтому рыбаки напрасно тешат себя иллюзией «победы», получая «моральное удовлетворение» от ранения касаток и кратковременной «передышки».

- Использование химических веществ (их закладывали в выбрасываемую за борт приманку или непосредственно сливали в воду). Негуманность данного способа очевидна.

Нами был изучен накопленный за последние годы обширный материал по оценке влияния гидроакустических сигналов на поведение касаток. Из этого материала наибольший интерес вызывали свидетельства офицеров ВМС США, имевших возможность наблюдать действие мощных звуковых сигналов, создаваемых гидроакустическими станциями их боевых кораблей, на поведение касаток. Ряд данных был получен от морских биологов США

в процессе исследования схожей проблемы. Суммируя, можно дать следующие сведения о физиологии слуха и поведении касаток, на основании которых далее были сформулированы требования к аппаратуре.

- Максимум чувствительности слуха касатки приходится на звуковой диапазон частот от 3 до 15 кГц.

- Акустический сигнал с уровнем звука 120 дБ в точке нахождения животных вызывает только тревогу, но кормление продолжается.

- Акустический сигнал с уровнем звука 140–145 дБ в точке нахождения касаток вызывает дискомфортное для слуха состояние.

- Акустический сигнал с уровнем звука 180–185 дБ в точке нахождения касаток вызывает гарантированный немедленный уход касаток из данной точки.

- Акустический сигнал с уровнем звука 192 дБ вызывает постоянную потерю слуха.

- Акустический сигнал с уровнем звука 235 дБ вызывает немедленный летальный исход для животного.

Однако разработка технических средств, генерирующих названные уровни звука (уровни в дБ определены относительно давления 1 мкПа), представлялась весьма проблематичной, поскольку уровень в 180 дБ в точке нахождения хищника соответствует уровню 220–230 дБ излучения источника мощных сигналов, приведенному к расстоянию 1 м. Уровню 220 дБ (100 кПа) соответствует примерно 100 кВт акустической мощности для ненаправленного источника. С учётом электроакустического КПД (обычно не более 0,6–0,7) это потребует не менее 150 кВт электрической мощности. Американские мощные акустические источники (235 дБ при высокой направлен-

ности излучающей антенны) занимают объемную носовую бульбу современного эсминца. Однако известно, при уровне сигнала 235 дБ касатки, а также другие дельфинообразные и представители китовых немедленно уходят на значительное расстояние от места излучения. Эти факты имеют как документальное подтверждение ученых США и Канады, так и признание морских офицеров, которые вынуждены под давлением экологов сообщать данные об уровнях и частотах сигналов.

Для рыболовного судна такие габариты и мощности неприемлемы, т. е. задача разработки представлялась достаточно сложной. Однако заказчик был настойчив, и в процессе обсуждения этой проблемы родился договор о разработке макета тракта излучения мощных гидроакустических сигналов и проведении натурального эксперимента для оценки возможности разработки устройства с целью отпугивания морских хищников, которое можно было бы применять с борта рыболовного судна.

На основании этих данных в процессе выполнения договора к осени 2003 года мы подготовили к испытанию в условиях промысла два описанных ниже излучающих тракта ТИ1 и ТИ2.

ИЗЛУЧАЮЩИЕ ТРАКТЫ 2003

В состав каждого излучающего тракта ТИ1 и ТИ2 входит бортовое и погружное оборудование. Последнее монтируется на несущей платформе вместе с компенсатором гидростатического давления и соединяется с бортовым оборудованием через кабель-трос КГЗ. Для создания дополнительного заглубляющего усилия при буксировке используется динамический заглубитель (рис. 2).

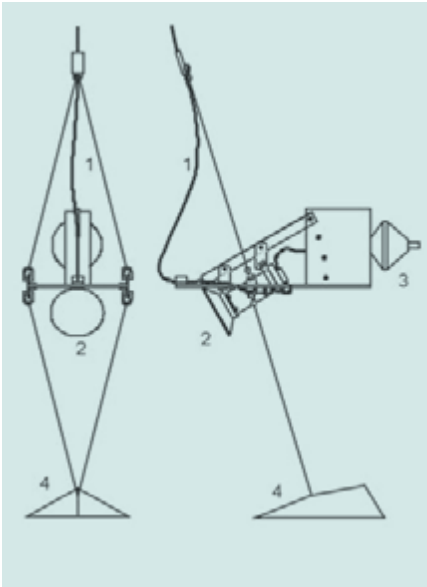


Рис. 2
Снаряженное погружное оборудование тракта ТИ1.
1 – кабель-трос КГЗ, 2 – излучатель, 3 – компенсатор гидростатического давления, 4 – динамический заглубитель

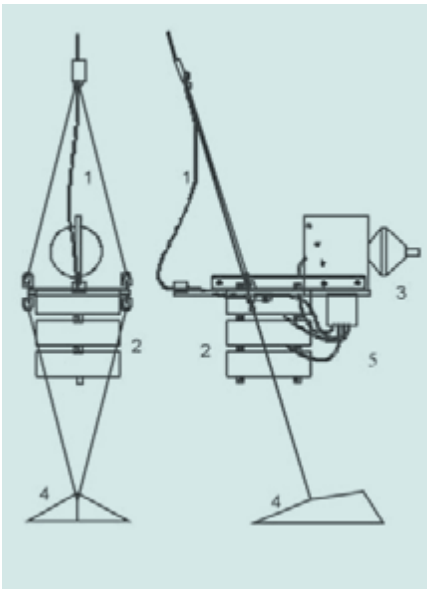


Рис. 3
Снаряженное погружное оборудование тракта ТИ2.
1 – кабель-трос КГЗ, 2 – излучатель, 3 – компенсатор давления, 4 – динамический заглубитель, 5 – коммутационная коробка

Несущая платформа, компенсатор гидростатического давления, динамический заглубитель и кабель-трос КГЗ являются общими для обоих трактов. Платформа обеспечивает стабильную ориентацию излу-

чателей по горизонту и по курсу. Компенсатор гидростатического давления создает во внутренних маслonaполненных объёмах погружного оборудования избыточное гидростатическое давление для обеспечения большей безопасности электрических соединений.

Излучающим прибором в составе ТИ1 является узкополосный стержневой пьезокерамический излучатель с резонансной частотой 8 кГц. Он имеет одностороннюю диаграмму направленности с раскрытием около 60° по уровню 0,7, чувствительность в режиме излучения на резонансной частоте около 90 Па/В на расстоянии 1 м и импеданс около 60 Ом.

Источником электрического сигнала является имеющий звуковую плату стандартный компьютер. Сигнал с выхода звуковой платы усиливается усилителем мощности и через кабель связи и кабель-трос подается на излучатель.

Для регулировки мощности излучения напряжение на выпрямитель выходного каскада подается с внешнего автотрансформатора.

Принудительное охлаждение усилителя не предусмотрено, и при больших выходных мощностях излучение возможно только в виде звуковых импульсов. Максимальная выходная мощность усилителя составляет около 4000 ВА, но при этом длительность импульса не должна превышать 1 с, а период повторения импульсов – не менее 7 с.

Излучающим прибором в составе тракта ТИ2 (рис. 3) является широкополосный цилиндрический излучатель с резонансной частотой около 6 кГц. Он имеет кольцевую диаграмму направленности с шириной около 40° по уровню 0,7, чувствительность в режиме излучения на резонансной частоте около 30 Па/В на расстоянии 1 м и импеданс около 160 Ом.

В качестве усилителя используется трансляционный усилитель, имеющий два канала мощностью до 3200 ВА на канал на нагрузке в 2 Ома. Усилитель используется в режиме мостового включения каналов, при этом его максимальная мощность достигает 6400 ВА на нагрузке 4 Ома. Для согласования выходного сопротивления с нагрузкой усилителя используется внешний выходной трансформатор.

С этой аппаратурой осенью-зимой 2003 г. проводился натурный эксперимент в районе промысла на борту промыслового судна-ярусолова.

Ниже приведены выдержки из записей, которые велись при выполнении экспериментов.

Оценка влияния излучения тракта ТИ1 на поведение морских хищников

Оценка проводилась в декабре 2003 г. на борту судна-ярусолова во время выборки яруса в присутствии морских хищников. Излучатель был установлен на платформе с наклоном 30° к горизонту. Погружное оборудование опускалось с кормы. Длина вытравленного кабель-троса составляла 65 м, из них 60 м троса находилось в воде. Судно двигалось со скоростью около 1,5 узла. Отклонение кабель-троса от вертикали составляло менее 30°.

Излучались звуковые импульсы в двух режимах: 1 – длительность импульса 0,5 с, период следования импульсов 3,5 с, частота излучения 8 кГц. 2 – длительность импульса 50 мс, период следования импульсов 350 мс, частота 8 кГц.

Звуковое давление рассчитывалось в характерных точках (1–4). Они определялись на вертикали, проходящей через точку выборки яруса. Направления и дальности определялись из геометрической конфигурации (см. рис. 4).

Уровень излучения на расстоянии 1 м составлял: $p_{1м} = 211$ дБ	
Точка 1 вблизи поверхности: $D = 79$ м, $p = 159$ дБ	
Точка 2 на горизонте платформы: $D = 56$ м, $p = 173$ дБ	
Точка 3 на оси излучателя: $D = 65$ м, $p = 175$ дБ	
Точка 4 на глубине 150 м: $D = 113$ м, $p = 167$ дБ	

Оценка влияния излучения тракта производилась сравнением количества продукции на ярусе при излучении и в отсутствие излучения за одинаковый промежуток времени при априорном присутствии морских хищников вблизи судна и визуально по расположению их на поверхности вблизи судна. Поскольку ярус выходил пустым, то количество продукции не изменялось.

До применения излучения ТИ1 хищники наблюдались вблизи борта судна и по курсу на расстоянии в несколько десятков метров. После применения ТИГ их видели на расстояниях около 100 м по траверзу и чуть дальше по курсу судна.

Поскольку влияние излучения ТИ1 на поведение наблюдалось только в изменении конфигурации расположения морских хищников на поверхности вблизи судна, но не в изменении количества продукции на ярусе, то параметры тракта излучения ТИ1 недостаточны для отпугивания морских хищников.

Оценка влияния излучения тракта ТИ2 на поведение морских хищников

Оценка проводилась в декабре 2003 г. на борту судна-ярусолова во время выборки трех ярусов в присутствии морских хищников. Погружное оборудование опускалось с палубы бака с левого борта судна. Длина вытравленного кабель-троса варьировалась от 30 до 70 м. Судно двигалось со скоростью около 1,5 узла. Отклонение кабель-троса от вертикали составляло около 30°.

Режимы излучения были следующими.

1. Режим излучения – периодический. Длительность излучения – от 1 до 4 с, период повторения – от 5 до 10 с, частота излучения – 6 кГц.

2. Режим излучения – периодический. Длительность излучения – 4 с, период повторения – 10 с, частота излучения – 10 кГц.

3. Режим излучения – непрерывный с линейной частотной модуляцией. Диапазон качания частоты: 5,5–7 кГц, период качания – 3 с.

Дальность при расчете звукового давления определялась из геометрической конфигурации (см. рис. 5). Расчетное звуковое давление в точке нахождения яруса на горизонте излучателя составило следующие величины:

- для режима 1: $p = 181$ дБ
- для режима 2: $p = 175$ дБ
- для режима 3: $p = 175$ дБ
- для режима 4: $p = 179$ дБ

Оценка влияния производилась сравнением количества продукции на ярусе в отсутствие излучения и при излучении за 10-минутный интервал времени. При каждом изменении режима излучения отмечалось присутствие морских хищников вблизи судна, в т. ч. и по расположению их на поверхности. В процессе работы по отмет-

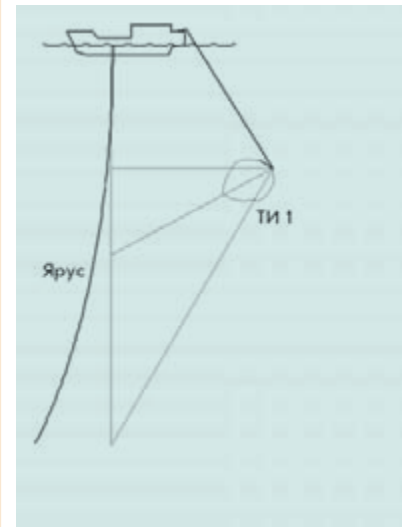


Рис. 4
Схема работы ТИ1

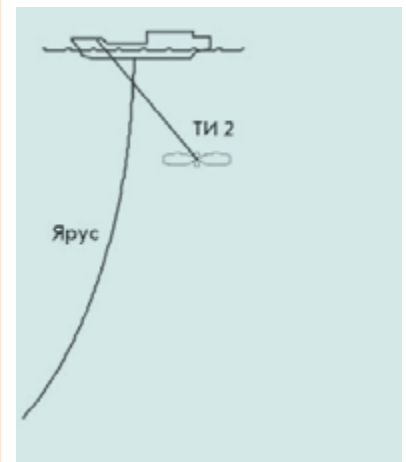


Рис. 5
Схема работы ТИ2

кам на эхолоте касатки отмечены на глубинах до 200 м.

На двух первых ярусах наблюдалось следующее.

По субъективным оценкам добывающей бригады, наполняемость второй половины второго яруса была почти нормальной. После применения излучения ТИ2 хищники наблюдались

Без излучения – 0+0+6+0.	Среднее за интервал – 1,5 шт.
Режим 1 – 2+16+4+4+16.	Среднее за интервал – 8,4 шт.
Режим 2 – 2.	Среднее за интервал – 2 шт.
Режим 3 – 6+0.	Среднее за интервал – 3 шт.

визуально только с помощью бинокля на расстояниях около 500 м по курсу судна.

ВЫВОД: в процессе выборки ярусов в присутствии излучения ТИ2 морские хищники приспособились к создаваемой конфигурации звукового поля, т.е. параметры тракта излучения ТИ2 недостаточны для их отпугивания.

Поскольку по предварительным данным требуемый для гарантированного ухода касаток из зоны выборки яруса звуковой уровень составлял не менее 180 дБ, а в ходе натурального эксперимента он был достигнут на горизонте только для режима 1 излучателя тракта ТИ2, то на основании полученных результатов натурального эксперимента были сделаны следующие выводы.

■ Массогабаритные, энергетические и эксплуатационные характеристики аппаратуры позволяют оперативно разворачивать её на борту промыслового судна, занятого на ярусном лове, и использовать аппаратуру при промысле.

■ Влияние уровня звукового давления на поведение морских хищников в целом подтверждается и соответствует сделанным ранее предположениям: при уровне 180 дБ касатка немедленно уходит из зоны облучения, уровень 150 дБ не влияет на ее поведение. Оценки выполнены на частотах 6 и 8 кГц.

■ Излучатели разработанных трактов излучения ТИ1 и ТИ2 создают конфигурацию звукового поля, недостаточную для отпугивания морских хищников по всей длине выбираемого яруса.

■ Для отпугивания морских хищников необходимо создание гарантированного уровня звукового давления 170–180 дБ в приповерхностной зоне выборки яруса (предположительно такой зоной может быть цилиндрическая область пространства от поверхности до глубины 200–250 м диаметром 50–100 м).

■ На основании этих выводов было принято решение продолжить разработку аппаратуры. Предполагались следующие направления дальнейшей работы.

■ Увеличение излучаемой мощности за счет роста числа модулей в составе трактов, их специальное конфигурирование для создания необходимой направленности с поочередным включением модулей. Предварительные оценки показали, что в этом случае необходимо увеличить потребляемую мощность до 20–30 кВт.

■ Создание распределенного по высоте цилиндрического излучателя, состоящего из одиночных модулей тракта излучения ТИ2, равномерно распределенных по всей высоте зоны выборки. Если число одиночных цилиндрических модулей составит не менее шести, с уровнем излучения на каждом до 206 дБ, с поочередным их включением, то можно решить

задачу при энергетическом потреблении около 4 кВт.

Эффективность этих предложений предполагалось тщательно рассчитать в рамках новой работы. Кроме того, предлагалось провести дополнительные изыскания в специальной литературе, сформулировать требования и разработать аппаратуру, которая создавала бы значительную шумовую помеху существующим у касаток гидроакустическим средствам обнаружения объектов промысла. По данным биоакустиков, для лоцирования китообразные используют сигналы в диапазоне до 100 кГц. Реализация аппаратуры создания помехи на таких частотах представляется достаточно простой как по энергетике и экологии, так и, в будущем, при эксплуатации. Однако заказчиком это направление было сочтено бесперспективным. Поэтому была продолжена разработка аппаратуры, обеспечивающей создание отпугивающих болевых уровней звукового давления в зоне выборки, за основу были взяты разработанные тракты излучения ТИ1 и ТИ2 с доработкой вопросов формирования необходимой направленности излучателей и увеличением излучаемой мощности.

К осени 2004 г. нами были разработаны и изготовлены два излучающих тракта с управляемой направленностью.

ИЗЛУЧАЮЩИЕ ТРАКТЫ ТИ И ТИЗ 2004 г.

Для решения задач, сформулированных после экспериментов 2003 г., был разработан новый стержневой пьезокерамический излучатель (идея которого предложена Б.А. Касаткиным), изготовлен второй цилиндрический излучатель, реализована двухканальная схема возбуждения излучателей для

управления их характеристиками направленности в вертикальной плоскости. Основная идея управления направленностью – быстрое качание основного луча излучателей в вертикальной плоскости для создания максимально широкой зоны озвучения максимальными звуковыми уровнями за минимальное время (до 5–10 с). Такая звуковая завеса должна была полностью закрывать зону вы-

борки яруса. Разработанные излучатели на своих рабочих частотах могут вырабатывать высоконаправленное излучение с возможностью создания на оси характеристики направленности (ХН) уровней звукового давления, достаточных для решения задачи при умеренных требованиях по уровню потребляемой мощности.

В состав каждого излучающего тракта ТИ и ТИЗ входит бор-

товое и погружное оборудование. Последнее соединяется с бортовым оборудованием при помощи кабель-троса КГ7. Для создания дополнительного заглубляющего усилия при буксировке используется динамический заглубитель, который, как и кабель-трос КГ7 длиной 110 м, общий для обоих трактов. В бортовом оборудовании используются два трансляционных усилителя мощностью 6400 Вт каждый и коммутатор для управления направленностью. Управление коммутатором и формирование излучаемого сигнала осуществлялись компьютером.

Излучающими элементами в составе излучателя тракта ТИЗ являются 7 пьезостержней с резонансной частотой 7 кГц. При синфазном включении пьезостержней на резонансной частоте излучатель имеет в направлении, перпендикулярном оси, кольцевую диаграмму направленности с шириной около 10° по уровню 0,7 и чувствительность в режиме излучения около 110 Па/В на расстоянии 1 м; в направлении торцов – около 30° по уровню 0,7, чувствительность в режиме излучения около 170 Па/В на расстоянии 1 м, и импеданс около 11 Ом.

Управление направленностью излучателя осуществляется сочетанием синфазного и противофазного включения пьезостержней (рис. 6).

Излучающими элементами тракта ТИ являются пьезокольца с резонансной частотой 6 кГц. В состав тракта ТИ входят два одинаковых цилиндрических излучателя.

Для получения большего разнообразия конфигураций акустического поля предусмотрено два варианта использования излучателей – сосредоточенный и распределенный. Излучатели электрически соединены между собой 50-метровым кабель-тросом.

При синфазном включении пьезоэлектрических колец на

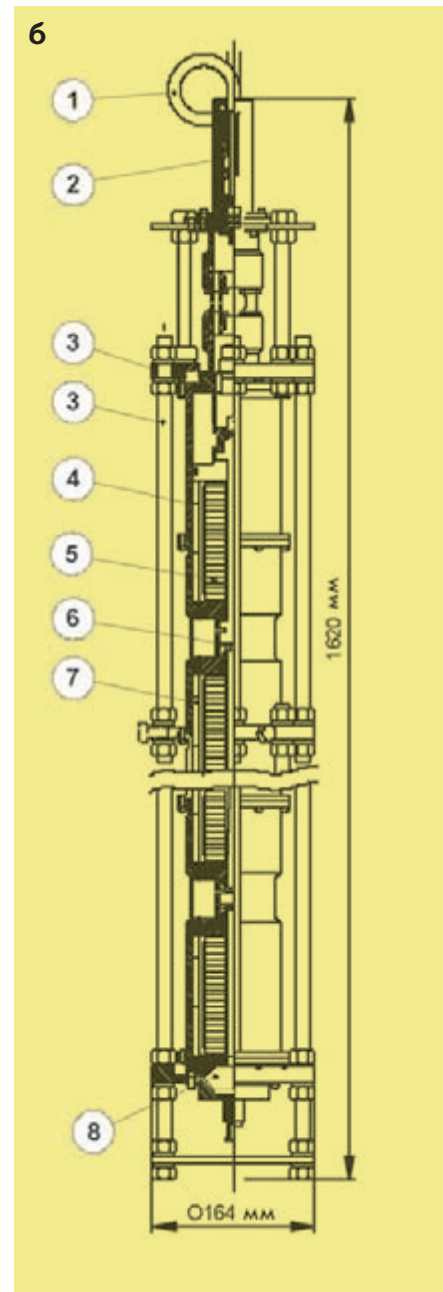


Рис. 6
а – общий вид,
б – конструктивная схема.

Излучатель тракта ТИЗ.
1 – кабель-трос КГ7,
2 – кабельный разъём,
3 – элементы ограждения,
3 – корпус, 5 – пьезостержень,
6 – пружинная вставка,
7 – акустическое размягчение,
8 – компенсатор давления

резонансной частоте излучатель имеет в направлении, перпендикулярном оси, кольцевую диаграмму направленности с шириной около 45° по уровню 0,7 с чувствительностью в режиме излучения около 22 Па/В на расстоянии 1 м и импеданс около 140 Ом.

Управление направленностью излучателя осуществляется сочетанием синфазного и противофазного включения пьезоэлектрических колец.

Цилиндрический излучатель при электрическом возбуждении

разделяется на три вертикально установленные пьезокольца (в соответствии с обозначениями на рис. 7 называемые секциями А, В и С. Рассматриваются три возможных варианта фазового распределения: а) секции А, В, С – в фазе; б) секции А и С – в фазе, секция В – в противофазе; в) секции А, В – в фазе, секция С – в противофазе. На рис. 8 приведены расчетные характеристики при коммутации режимов работы.

Последовательно коммутируя режимы «а-в» в течение

короткого времени (единицы секунд) можно на основе излучателя с выраженной направленностью сформировать ненаправленный излучатель. ХН такого излучателя – огибающая на рис. 8.

В состав тракта излучения входят два рассмотренных и идентично управляемых излучателя, разнесенных по вертикали вдоль хребтины яруса, со значительным расширением зоны высокого уровня звука.

Расчёт достижимых уровней звукового давления

Активная составляющая импеданса излучения 3-элементной антенны (тракта ТИ2) в последовательной эквивалентной схеме на частоте 6 кГц равна 80 Ом. При выходной мощности усилителей около $W = 9000$ Вт. Тогда на антенну можно подавать напряжение до 600 В.

При этом уровень звукового давления на акустической оси на расстоянии 1 м от антенны может достичь 210 дБ.

Для наглядности просчитаем протяжённость зоны, где будет обеспечен уровень звукового давления не менее 180 дБ при применении двух трехэлементных излучателей с фазированием. В соответствии с ХН на рис. 8 один излучатель обеспечивает формирование уровня более 180 дБ практически в области пространства, ограниченного сферой диаметром примерно 45 м. При применении двух излучателей, разнесенных на вешивающем кабеле на расстояние 40–45 м, можно сформировать зону необходимого уровня звука с размерами $2h = 80$ м, $r = 22$ м. ($2h$ – высота, r – радиус цилиндрической зоны).

Сравним с 3-элементной антенной тракта ТИ2 во время

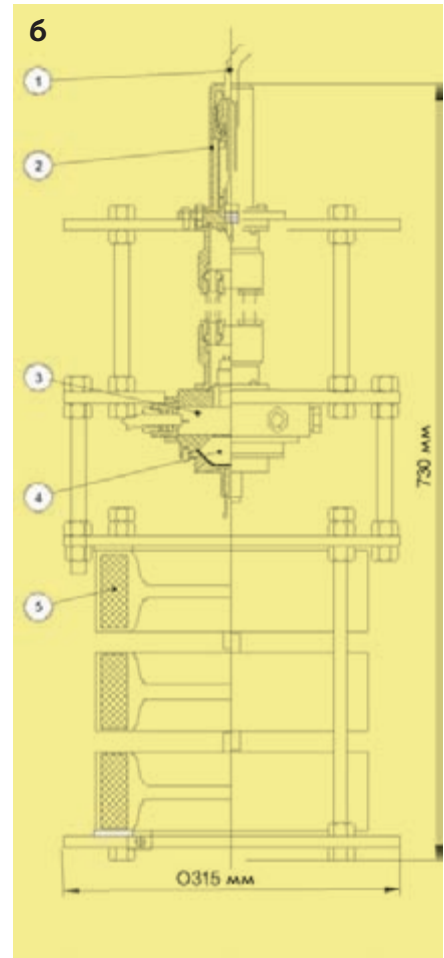
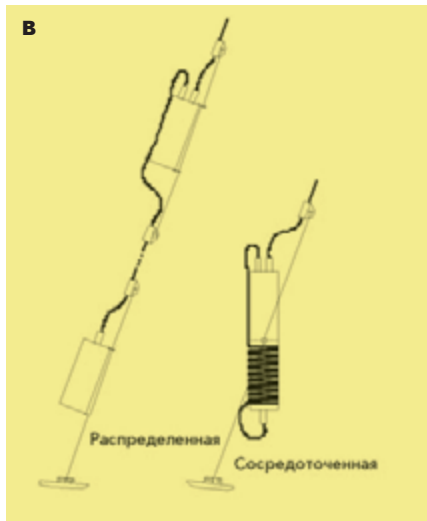


Рис. 7
а–общий вид, б–конструктивная схема, в–схема установки.
Излучатель тракта ТИ и схема установки излучателей. 1 – кабель-трос КГ7, 2 – кабельный разъем, 3 – коммутационная коробка, 4 – компенсатор давления, 5 – пьезокольцо

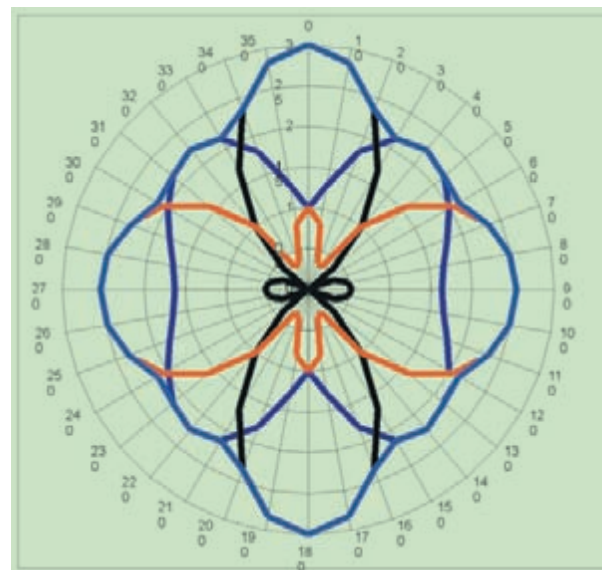


Рис. 8
Характеристика направленности для цилиндрической 3-элементной антенны с синфазно-противофазным включением секций 0 и 180° на рисунке соответствуют уровню излучения в горизонтальной плоскости

работ в районе промысла в декабре 2003 г.: $2h = 14$ м, $r = 18$ м. Поскольку хребтина поднималась с правого борта, то антенну можно было опускать только с левого, т. е. при ширине судна более 10 м и сносе антенны уровни звукового давления в зоне хребтины нигде не превышали 185 дБ.

Тракт излучения с мощным стержневым излучателем

Разработанный стержневой излучатель состоит из шести идентичных секций. При различных вариантах синфазного и противофазного включения секций излучателя в общую двухканальную цепь электрического возбуждения результаты измерений характеристик направленности приведены на рис. 9.

При последовательном переключении на резонансной частоте всех возможных режимов работы реализуется излучатель с характеристикой направленности, представленный огибающей на рис. 10. Про-

странственная оценка уровня излучения (в Паскалях), создаваемого фазированным трактом излучения ТИЗ, пересчитанная к расстоянию 1 м на частоте 7 кГц, изображена на рис. 10. В состав тракта входят стержневой излучатель и два усилителя мощности (10 кВт) при максимальном напряжении на излучателе 600 В. Максимальное значение давления составляет 112 кПа (221 дБ).

На рис. 11 показаны конфигурации зоны облучения с уровнем не менее 180 дБ (1000 Па) излучающих трактов ТИ и ТИЗ образца 2004 г. и тракта ТИ2 образца 2003 г. Два излучателя тракта ТИ разнесены по глубине на 40 м.

Поскольку размеры зон облучения с уровнем излучения 180 дБ, не гарантирующим уход морских хищников для трактов 2004 г. многократно превосходят зоны для трактов 2003 года, то мы резонно рассчитывали получить в ходе предстоящего натурального эксперимента более весомые результаты.

НАТУРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ 2004-2005 ГОДА

Натурный эксперимент проводился в районе промысла на борту промыслового судна-ярусолова зимой 2004-2005 гг. Ниже приведены выдержки из дневника экспериментов.

Запись 1

Оценка проводилась 28 января 2005 г. во время выборки яруса в присутствии касаток при волнении около 4 баллов. Глубина места составляла около 550 м.

Излучатель ТИЗ погружался с левого борта бака. Длина вытравленного троса составляла 70 м. Судно двигалось со скоростью около 1,5 узлов. Отклонение троса от вертикали составляло 25–30°.

Поскольку в непрерывном режиме работа невозможна из-за тепловой перегрузки усилителей, то применялся прерывистый режим излучения.

Использовалось два временных режима.

1. $t_{изл} = 4$ с и паузой $t_{стоп} = 6$ с.
2. $t_{изл} = 2$ с и паузой $t_{стоп} = 3$ с.

Коммутация возбуждителей для управления характеристикой направленности происходила в паузах. На вибраторы антенны подавался сигнал частотой 6950 Гц и амплитудой напряжения более $U_{ант} = 600$ В, что соответствует уровню акустического давления на расстоянии 1 м на максимумах характеристики направленности более $p_{ак} = 45,4$ кПа ~ 213,1 дБ в горизонтальном направлении и более $p_{ак} = 70,4$ кПа ~ 217 дБ в вертикальных направлениях.

Подаваемая на антенну мощность в синфазном режиме составляла $P_{эл} = 3780$ ВА.

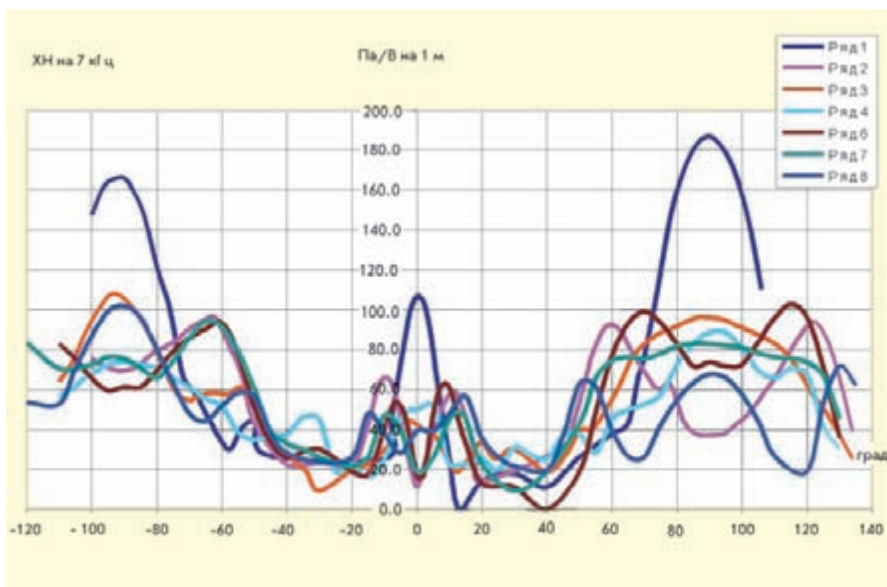


Рис. 9
Изменение конфигурации звукового поля стержневого излучателя при фазовом управлении возбуждения секций. «0» — соответствует горизонтальному излучению, «-90» - излучению вверх, «90»- излучению вниз

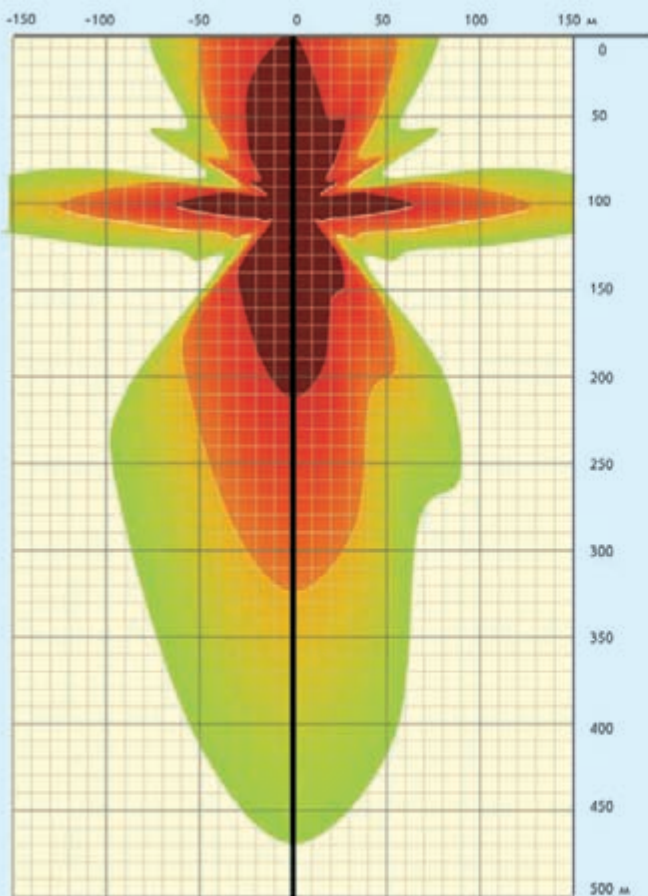


Рис. 10
Пространственная зона работы стержневого излучателя, размещенного на глубине 100 м

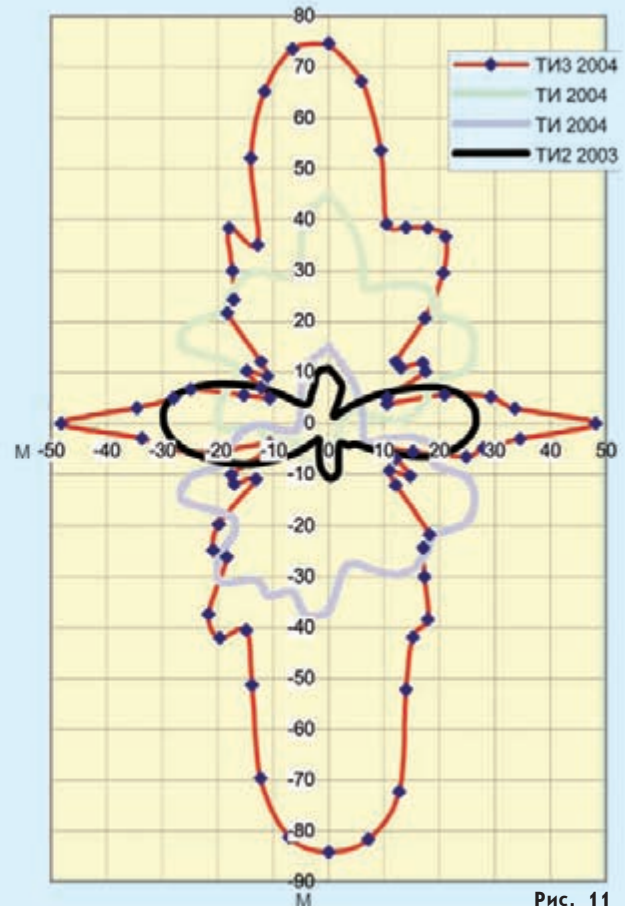


Рис. 11
Конфигурации зоны облучения с уровнем не менее 180 дБ (1000 Па) излучающих трактов ТИ и ТИ3 образца 2004 года и тракта ТИ2 образца 2003 года

Оценить подаваемую мощность при управлении направленностью непосредственными измерениями не было возможности, но она должна была быть значительно больше, чем в синфазном включении. В этом случае мощность отбирается от одного усилителя мощности, нагруженного на все 6 возбудителей, а при фазированных вариантах включения – с обоих усилителей, каждый из которых работает в облегченном режиме нагрузки на часть возбудителей. Косвенную оценку подаваемой мощности при фазированных вариантах дает измерение мощности, отбираемой от судовой сети, она составляет $P_{\text{потр}} = 9,33 \text{ кВА}$.

Одновременно эта оценка показывает, что во время излучения использовался практически весь ресурс от двух усилителей мощности.

Хронология

15:20 – включение излучения. Временной режим № 1.

15:32 до 15:52 – наблюдение за выборкой непосредственно у выборочного комплекса.

За 20 мин наблюдения – 0 палтуса, 8 челюстей палтуса.

16:00 – включение излучения. Временной режим № 2.

16:35 – выключение излучение.

До этого момента не было поднято ни одного палтуса, но наблюдалось много челюстей.

Наблюдения

Типичным при выборке по-

ложением хребтины является направление вертикально или слегка вперед по курсу судна, что не оптимально для облучения зоны хребтины из-за сноса излучателя в корму при ходе судна.

В течение всего времени оценки наблюдалась нетипичная, но зато более близкая к оптимальной ситуации, когда судно слегка обгоняло хребтину и угол ее выхода составлял около 20–25° в корму, т. е. на значительном протяжении расстояние между хребтиной и кабель-тросом было порядка ширины корпуса судна – около 10 м, а уровень излучения на хребтине – более 190 дБ.

На временной режим № 2 перешли, предположив, что в

режиме № 1 велика пауза в излучении.

Выводы. Несмотря на близкую к оптимальной конфигурацию взаиморасположения излучателя и хребтины, создание в зоне выборки яруса задаваемых уровней давления и использование практически всей мощности двух усилителей, каких-либо поведенческих реакций касаток не наблюдалось, что позволяет усомниться в достоверности исходной посылки при разработке трактов излучения: при уровнях 175–180 дБ касатка гарантированно покидают облучаемую зону.

Запись 2

Оценка проводилась 29 января 2005 года во время выборки яруса в присутствии касаток при волнении около 2 баллов. Глубина места составляла около 550 м. Излучатель ТИЗ (рис. 13) погружался с левого борта бака. Длина вытравленного троса составляла 30 м. Судно двигалось со скоростью около 1,5 узлов. Отклонение троса от вертикали составляло 35°.

Использовалось один временной режим:

$t_{изл} = 1$ с и паузой $t_{стоп} = 2$ с.

На вибраторах антенны подавался сигнал частотой 6950 Гц и напряжением $U_{ант} = 448$ В, что соответствует уровню акустического давления на расстоянии 1 м на максимумах характеристики направленности более $p_{ак} = 47,9$ кПа $\approx 213,6$ дБ в горизонтальном направлении; более $p_{ак} = 74,4$ кПа 217,4 дБ в вертикальных направлениях.

Хронология

19:40 – включение излучения. Схема фазировки № 2.

20:10 – переход на схему фазировки № 1.

20:20 – переход на схему фазировки № 2.

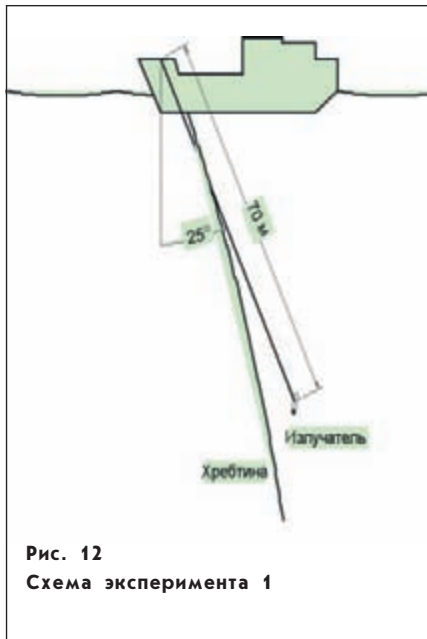


Рис. 12
Схема эксперимента 1

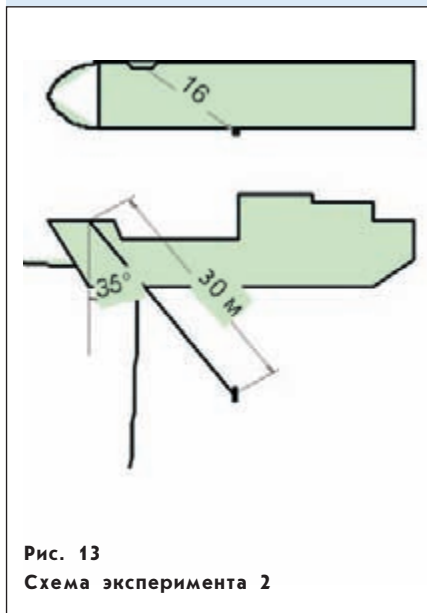


Рис. 13
Схема эксперимента 2

20:45 – выключение излучения. До этого момента не было поднято ни одного палтуса (рис. 13).

Наблюдения

Поскольку 28 января 2003 г. касатки регулярно наблюдались по правому борту в нескольких десятках метров, то для обеспечения большего уровня вблизи поверхности глубина погружения излучателя была уменьшена. При наблюдавшихся дистанциях

касатка способна подойти к хребтине и вернуться назад за несколько секунд, поэтому использовался временной режим:

$t_{изл} = 1$ с и паузой $t_{стоп} = 2$ с.

Во время работы дважды наблюдалась касатка на поверхности в 20–30 м по правому борту напротив выборочного комплекса, после чего она погружалась и подходила почти к хребтине, оставаясь на глубине видимости, и уходила в глубину. Все это время касатка находилась в зоне, где уровень излучения превышал 1 кПа (180 дБ) и при приближении к хребтине и погружении переходила в зону, где уровень излучения превышал 2 кПа (186 дБ).

Выводы. Представляется возможным одно из следующих объяснений:

- касатка способна находиться в зонах с уровнем более 180 дБ;

- животное может существенно уменьшать чувствительность своего слухового тракта в используемом нами частотном диапазоне, сохраняя ее в высокочастотной области для лоцирования хребтины и палтуса;

- касатка способна полностью блокировать свой слуховой тракт, используя для выхода к хребтине только зрение. Это возможно даже ночью, поскольку зона выборки ярко освещена.

Запись 3

Оценка проводилась 1 февраля 2005 г. во время выборки яруса в присутствии касаток при волнении около 3 баллов. Глубина места составляла около 550 м. Излучатель погружался с левого борта бака. Длина вытравленного троса составляла 20 м. Судно двигалось со скоростью около 1,5 узлов. Отклонение

троса от вертикали составляло 35° .

Использовалось два временных режима:

1. $t_{\text{изл}} = 5$ мс, пауза $t_{\text{стоп}} = 45$ мс;
2. $t_{\text{изл}} = 1$ с, пауза $t_{\text{стоп}} = 2$ с.

В первом временном режиме было применено синфазное излучение вибраторов. Во втором – управление характеристикой направленности излучателя.

Хронология:

20:30 – включение излучения. Режим № 1.

20:50 – наблюдение касатки на поверхности в 20–25 м по правому борту.

21:00 – переход на режим № 2.

21:30 – выключение излучения.

До этого момента не было поднято ни одного палтуса.

Наблюдения

Поскольку касатки регулярно встречались по правому борту в нескольких десятках метров, то для обеспечения большего уровня вблизи поверхности глубина погружения излучателя была уменьшена до 20 м. Наблюдавшаяся в 20:50 касатка находилась в зоне, где уровень излучения превышал 1 кПа (180 дБ).

Выводы. Результаты наблюдений подтверждают выводы, сделанные в записи 2.

Поскольку при использовании тракта ТИЗ поведенческие реакции касаток отсутствовали, то готовить к эксперименту очень трудоемкий в использовании и уступающий по размеру зоны облучения тракт ТИ было признано нецелесообразным.

Во время проведения натурального эксперимента 2005 г. какой-либо положительный результат отсутствовал полностью, несмотря на близкую к пред-

положительно оптимальной конфигурацию создаваемого звукового поля. Причины этого, скорее всего, лежат вне области применения средств аку-

стического воздействия на касаток. Ниже приведены выдержки из переписки при обсуждении причин отсутствия положительного результата.

.....Норвежская фирма MUSTAD предложила для опытной эксплуатации 9 приборов для борьбы с касатками на суда, задействованные в Охотоморской экспедиции зимой 2004–2005 гг. Приборы создавали помеху лоцированию касатками объектов промысла, и положительного результата они тоже не имели. Это говорит в пользу предположения, что при выходе на ярус касатки сейчас (после общения с норвежскими приборами, которые начали применяться на два месяца раньше нас) вообще перестали пользоваться локацией и выходят на него визуально даже ночью, поскольку зона выборки ярко освещена. Это объясняет и то, что в прошлом году мы имели с меньшими уровнями и худшей конфигурацией поля промежуточный успех, а в этом году – полный провал. В прошлом году касатки, несмотря на создаваемый нами уровень звука, пользовались для выхода на ярус локацией, т. е. слуховой тракт был открыт и они вынуждены были отдыхать на комфортной для слуха дистанции около 500 м и оттуда выходить на ярус. В этом году, когда из-за создаваемой норвежской аппаратурой помехой стало невозможно пользоваться локацией, они вообще от локации отказались, блокировав слух....

... Теперь о происхождении шкалы зависимости поведения касаток от создаваемых уровней звука, в частности 175–180 дБ - гарантированный уход касаток.

■ 1. В обычном режиме касатки наверняка держат слух полностью открытым, и, если в такой ситуации излучить мощный звук, то, без сомнения, должна наблюдаться бурная поведенческая реакция. Наверняка никто не пытался оценить ту же шкалу поведения касаток в зависимости от уровня звука не при шокирующем неожиданном ударе, а при регулярном априорном озвучивании акватории.

■ 2. Предлагавшаяся шкала поведения касаток скорее всего была определена для особей, которые в тот момент не были слишком заинтересованы в нахождении именно в этой зоне. В таком случае нет особого резона находиться в не-

комфортных условиях. А ради легкодоступной еды можно и потерпеть, а, может даже, и принять меры к заглушению слуха.

... Всё это предположения о возможном, а вот – известные факты.

Все касатки по пищевому признаку делятся на две группы: питающиеся морским зверем и питающиеся рыбой, но физиологически они пока еще практически одинаковы. Касатки, ориентированные на зверя, во время охоты научились не использовать звуки для переговоров и локации, поскольку объект их охоты тоже имеет слух. Есть фильм ВВС об эффективной и эффективной охоте касаток на тюленей или котиков в прибойной зоне. А в зоне прибойной огромный уровень шума даже на воздухе. И касатки со своим чувствительным слуховым аппаратом находятся в прибойной зоне и ни-

чуть его не повреждают. Значит, научились не только не воспроизводить звуки, но и защищать слух. Следовательно, и ориентированные на рыбу касатки – наши противники – тоже, в силу физиологической идентичности, имеют возможность блокировать слух. И уже научились ею пользоваться.

Все вышеизложенное позволяет предположить, что применение акустических методов защиты от нападений касаток на промысловые суда в рамках использования разумных уровней мощности и габаритов ап-

паратуры неэффективно. Следует, видимо, придумать что-нибудь более действенное в состязании с разумными морскими хищниками.

P.S. Когда статья была подготовлена к публикации, мы разослали ее текст нашим знакомым и не очень знакомым специалистам с просьбой высказаться по обсуждаемой проблеме. Среди вполне ожидаемых ответов был один неожиданный, который свидетельствует о том, что может быть еще рано ставить точку: «...максимальная слуховая чувствительность касатки приходится на диапазон 8–42 кГц,

с максимумом чувствительности на 20 кГц (36 дБ относительно 1 микроПа), а не на диапазон от 3 до 15 кГц, как пишете вы. В связи с этим непонятно, почему вы излучали такие низкочастотные сигналы. Порог чувствительности касатки на 7–8 кГц уже гораздо ниже – около 60 дБ. Информация взята из: Szymanski M.D., Bain D.E., Kiehl K., Pennington S., Wong S., Henry K.R. Killer whale (*Orcinus orca*) hearing: auditory brainstem response and behavioral audiograms // *J. Acoust. Soc. Am.* 1999. Aug; 106(2): p. 1134–1141.»

