

РЕЗУЛЬТАТЫ НАТУРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ МОРСКОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН

Е. В. АЗАРЕНКО, М. М. ДИВИЗИНЮК, И. П. ШУМЕЙКО

Севастопольский национальный университет ядерной энергии и промышленности

В данной работе рассматриваются результаты натуральных экспериментов по проверке разработанной математической модели, учитывающей влияние скорости движения водного потока на распространение гидроакустической энергии.

ВВЕДЕНИЕ

Распространение акустической энергии в водной среде описывается аналитическими зависимостями спада интенсивности акустического поля [1]. Они определяются мощностью излученных упругих колебаний, направленностью излучателя и приемника и расстоянием между ними. Этими зависимостями также учитывается затухание акустических волн (введением коэффициента объёмного затухания) вследствие релаксационных и других процессов, происходящих в морской среде [2]. Эта классическая аналитическая зависимость используется и в настоящее время для решения научно-исследовательских и прикладных задач [3].

Тем не менее не всегда возможно использование этой зависимости для оценки эмпирического материала [4]. При решении ряда прикладных задач в одних и тех же районах Черного моря, используя идентичные комплекты гидроакустической аппаратуры на одном и том же расстоянии от источника и приемника упругих колебаний, интенсивность звуковых волн одной и той же частоты отличалась больше чем на порядок (15-40 дБ). Анализ технических и гидроакустических факторов показал, что единственной причиной подобных расхождений является скорость приповерхностного течения, которая в этих ситуациях изменялась от 0,2 до 2 узлов [5]. Это в свою очередь показало, что классическая зависимость спада интенсивности акустического поля не учитывает мелко и мезомасштабных турбулентных процессов, вызванных движением водного потока.

В настоящее время теоретически разработана модель, которая учитывает затухание акустических волн, вызванных движением водного потока [6]. Это происходит посредством введения дополнительного коэффициента уменьшения интенсивности акустического поля, величина которого зависит от частоты упругих колебаний и скорости водного потока (течения).

ПОСТАНОВКА ЦЕЛИ И ЗАДАЧ НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью данной работы является проверка достоверности разработанной модели, учитывающей движение водного потока на распространение акустической энергии. Для достижения поставленной цели необходимо последовательно решить следующие задачи. Во-первых, выбрать адекватный критерий позволяющий производить оценку и расчёт интенсивности акустического поля. Во-вторых, на основе выбранного критерия произвести разработку методики проведения натуральных экспериментов. В-третьих, произвести анализ результатов полученных натуральных экспериментов.

ВЫБОР АДЕКВАТНОГО КРИТЕРИЯ ОЦЕНКИ И РАСЧЁТА АКУСТИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Производится замер интенсивности распространяющейся звуковой волны в водной среде (в открытом море) достаточно трудоёмкий процесс, требующий наличия сверхточной измерительной аппаратуры. С другой стороны обыкновенное приемное устройство гидролокатора позволяет очень точно зафиксировать минимальное (пороговое) значение интенсивности звуковой волны, которое свидетельствует о наличии или отсутствии подводной цели на предельной дистанции. Это предельное значение дистанции определяется решением трансцендентного уравнения гидролокации

$$I(D) = \frac{1}{2} P_э,$$

где левая часть - это закономерность спада акустического поля, а правая энергетический потенциал гидролокатора, определяемый его техническими параметрами.

В свою очередь

$$I(D) = -20 \lg D - \beta \cdot D_{км} - 10,99 + 10 \lg A \quad (1)$$

Эта закономерность спада акустического поля в однородной безграничной среде, которая уточняется фактором аномалии реальной водной среды ($10 \lg A$) [1], которая на сегодняшний день не имеет всеобъемлющих (учитывающих все факторы) методик расчёта.

Если нам необходимо исследовать влияние скорости водного потока на интенсивность распространения упругих колебаний, то мы можем поступить следующим образом.

В одном и том районе, при одних и тех же гидрологических условиях производить обнаружение одного и того же объекта. Предельная дальность его обнаружения позволит зафиксировать уровень интенсивности акустической волны, которая будет соответствовать половине энергетического потенциала, как показано на рис. 1.

Изменив энергетический потенциал – уменьшив мощность излучения (например, в 2 раза) получим другую предельную дальность обнаружения подводного объекта, которая будет свидетельствовать о том, что на этой дальности интенсивность акустического поля равна половине нового значения энергетического потенциала. Выполнив эту операцию в третий раз, получим три расчётные точки акустического поля в реальной среде, где скорость водного потока соответствует вполне определенной величине v_1 .

Теперь в другом районе, где скорость водного потока v_2 (как минимум в 2-3 раза больше чем v_1) произведем обнаружение того же контрольного надводного объекта при номинальной мощности гидролокатора. Максимальное значение дальности сопровождения позволит зафиксировать значение интенсивности акустического потенциала гидролокатора. Изменяя мощность излучения – изменим энергетический потенциал гидролокатора. Предельная дальность обнаружения стандартного подводного объекта покажет, что на этой дальности интенсивность акустического поля будет определяться половинным значением энергетического потенциала.

Набор подобных данных позволит получить эмпирические зависимости спада интенсивностей акустического поля при различных скоростях водного потока (течения).

Таким образом, адекватным критерием оценки и расчёта интенсивности акустического поля является наибольшая дальность сопровождения определенного надводного объекта, так как при этом значении дистанции интенсивность акустического

поля численно равна половине энергетического потенциала используемого гидролокатора.

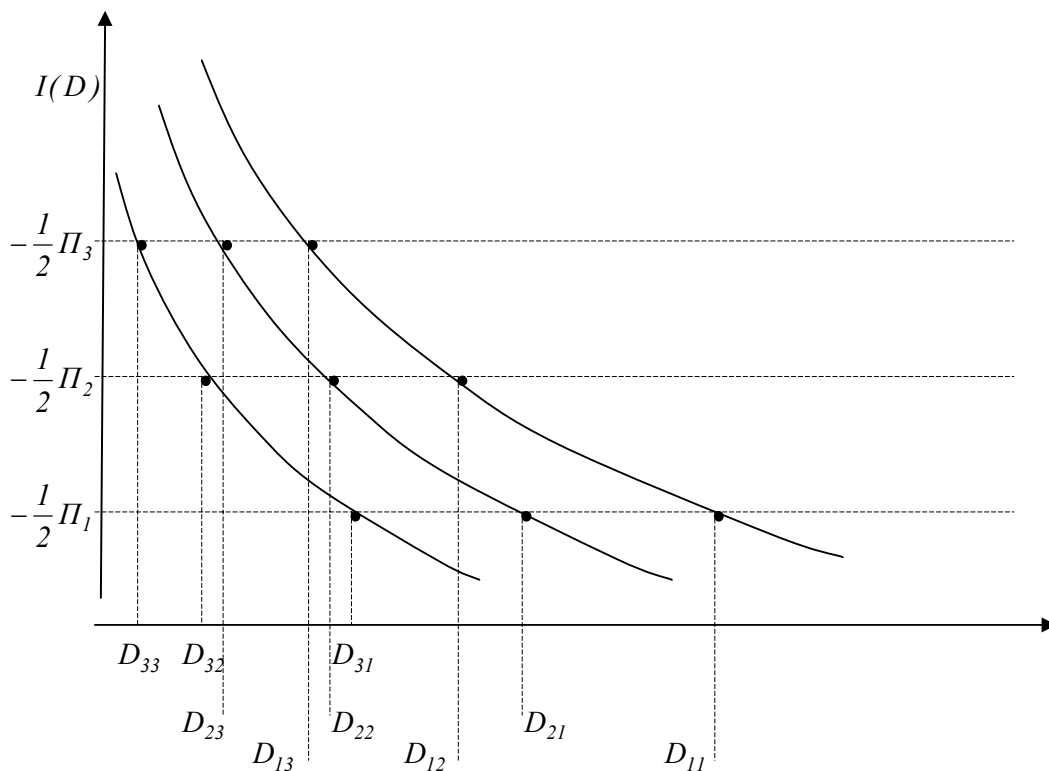


Рис. 1.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ НАТУРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА НА ОСНОВЕ ВЫБРАННОГО КРИТЕРИЯ

Математическая модель, учитывающая влияния скорости водного потока на распространения упругих колебаний представляет собой добавление в классическую зависимость спада акустического поля одного члена, то есть

$$I(D) = -20 \lg D - \beta \cdot D_{км} - 10,99 - 10 \lg \left(\frac{v}{2} \cdot f_{кГц} \cdot D_{км} \right), \quad (2)$$

где v - скорость водного потока (течения), м/с;

$f_{кГц}$ - частота звука в кГц;

D - дистанция в м.

Эта модель позволяет произвести расчёты и построить аналитические зависимости спада интенсивности акустического поля для различных типов гидролокаторов (различных f) и скоростей водного потока.

Проведение натурального эксперимента должно было проводиться в условиях, когда действия фактора аномалии минимально.

В соответствии с оценкой классической гидроакустики наибольший вклад в составляющую фактора аномалии происходит вследствие различной траектории акустических лучей, когда формируются зоны, пронизываемые наибольшим количеством акустических лучей, и области, которые лучи не проходят. Первопричиной подобной

рефракції акустических лучей являється вертикальне розподілення шкорути звука по глубині. С целью ісключення подібних ефектів для експериментів було вибрано зимнєе время, когда от поверхности по горизонтам 100-150 м шкорути звука неизменна, а затем начинают плавно увеличиваться за счёт гидроакустической составляющей.

Второй аспект – это гидрометеорологические условия, которые проявляются главным образом в выпадении атмосферных осадков на водную поверхность и ветровом волнении. Другими словами, во время экспериментов не должно быть осадков и ветрового волнения.

Стандартным объектом, который должен был обнаруживаться в различных районах моря, определили судно типа река-море, подводная площадь отражения которого соответствовала эквивалентной сфере с радиусом 100 м. Положительным свойством этого объекта также состояло в том, что она (площадь отражающей поверхности) практически не изменялась на различных курсовых углах.

Судно следовало через различные районы, где шкорути водного потока (поверхностного течения) изменялась от 0,05 до 1,0 м·с⁻¹. В этих различных районах производилось его обнаружение и сопровождение до момента потери гидроакустического контакта, десятигерцевым гидролокатором установленным на специальном научно-исследовательском судне.

Таким образом, методика проведения натурального эксперимента состояла в последовательном обнаружении и сопровождении до потери гидроакустического контакта десятигерцевым гидролокатором одного и того же надводного судна, следующего через районы с одним и тем же вертикальным распределением шкорути звука, но различными шкорутиями поверхностного течения.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ НАТУРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

По вышеописанной методике было выполнено два эксперимента. Во всех экспериментах энергетический потенциал гидролокатора составлял 111,39 дБ.

В первом эксперименте при шкорути водного потока 0,05-0,15 узлов (среднее значение 0,1 узла или 0,05 м·с⁻¹), средняя дальность сопровождения составила – 12,4 км.

В соответствии с математической моделью значение интенсивности акустического поля в этой турбулентной среде на дистанции 12,4 км будет складываться из двух составляющих. Первая составляющая равна

$$-20\lg(12,4 \cdot 10^3) - 1,138 \cdot 12,4 - 10,99 = -106,98$$

и вторая –

$$-10\lg\left(\frac{0,05}{2} \cdot 10 \cdot 12,4\right) = -4,91.$$

Следовательно, значение интенсивности акустического поля в этой турбулентной среде на рассматриваемой дистанции составит -111,89 дБ.

Расхождение с энергетическим потенциалом гидролокатора равно – 0,5 дБ.

Во втором эксперименте при шкорути водного потока 0,3-0,5 узлов (среднее значение 0,4 узла или 0,2 м·с⁻¹) средняя дальность сопровождения составила - 9,8 км.

В соответствии с математической моделью значение интенсивности акустического поля в этой турбулентной среде на дистанции 9,8 км будет складываться из двух составляющих. Первая составляющая равна

$$-20\lg(9,8 \cdot 10^3) - 1,138 \cdot 9,8 - 10,99 = -101,96$$

и вторая –

$$-10\lg\left(\frac{0,2}{2} \cdot 10 \cdot 9,8\right) = -9,91.$$

Следовательно, значение интенсивности акустического поля в этой турбулентной среде на рассматриваемой дистанции составит -111,87 дБ.

Расхождение с энергетическим потенциалом гидролокатора равно - 0,48 дБ.

Графическая интерпретация результатов представлена на рис. 2.

Таким образом, результаты двух натуральных экспериментов, выполненных в различных участках Черного моря при скоростях 0,05-0,15 и 0,3-0,5 узлов показывают хорошую сходимость с теоретическими. Это подтверждает, что с помощью разработанной математической модели можно учитывать влияние движения водного потока на интенсивность распространения акустической энергии.

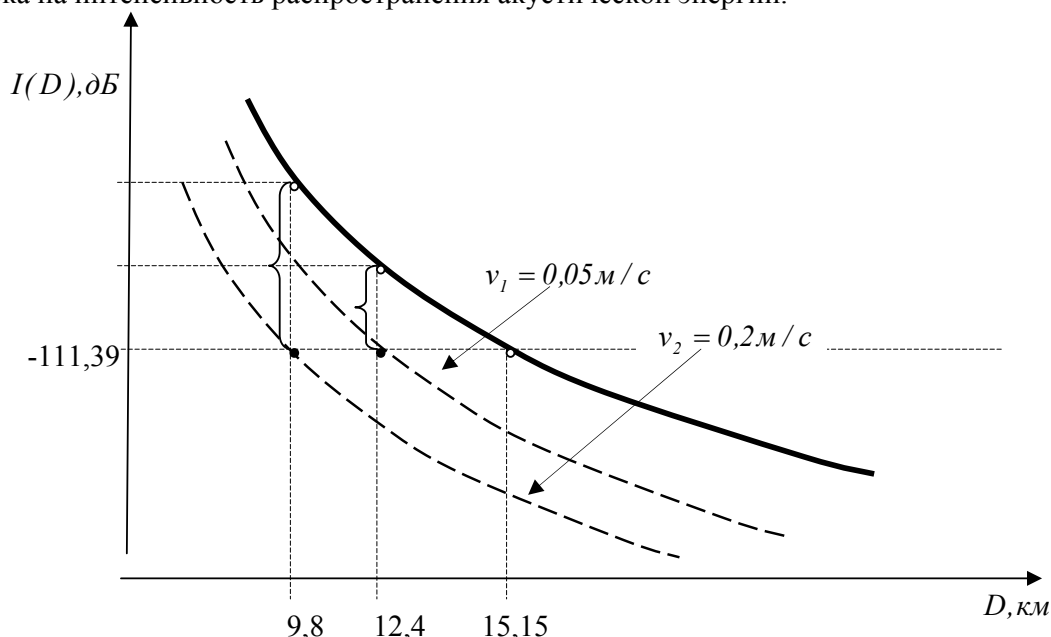


Рис. 2.

ВЫВОДЫ

1. Адекватным критерием оценки и расчёта интенсивности акустического поля является наибольшая дальность сопровождения определенного надводного объекта, так как при этом значении дистанции интенсивность акустического поля численно равна половине энергетического потенциала используемого гидролокатора.
2. Методика проведения натурального эксперимента состояла в последовательном обнаружении и сопровождении до потери гидроакустического контакта десятигерцевым гидролокатором одного и того же надводного судна, следующего через районы с одним и тем же вертикальным распределением скорости звука, но различными скоростями поверхностного течения.
3. Результаты двух натуральных экспериментов, выполненных в различных участках Черного моря при скоростях 0,05-0,15 и 0,3-0,5 узлов показывают хорошую

сходимость с теоретическими. Это подтверждает, что с помощью разработанной математической модели можно учитывать влияние движения водного потока на интенсивность распространения акустической энергии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акустика океана. / Под.ред. Бреховских Л.М. – М.: Наука, 1984. – 695
2. Евтютов А.П. и др. Инженерные расчёты в гидроакустике. – С. П-г: Ось, 2001. – 250 с.
3. Азаренко Е.В. Обнаружение подводных объектов. – Севастополь, Гос. Океанариум, 2005. – 96 с.
4. Дивизинюк М.М. Интенсивность акустических полей и их картографирование. – Севастополь: Гос. Океанариум, 1999. – 120 с.
5. Дивизинюк М.М. Ослабление интенсивности акустических полей водным потоком. – Севастополь: Гос. Океанариум, 1998. – 46 с.
6. Азаренко Е.В., Дивизинюк М.М., Шумейко И.П. Математическая модель влияния морской турбулентности на распространение упругих колебаний. // Сб. тр. СНУЯЭиП, № 1 – Севастополь, 2007. – С. 238-242.