

АКУСТИЧЕСКИЙ СПОСОБ КОНТРОЛЯ ЗА СОСТОЯНИЕМ МОРСКИХ ЗАХОРОНЕНИЙ БОЕВЫХ ОТРАВЛЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

*Е.В. Азаренко, Ю.Ю. Гончаренко,
С.Ю. Загинайченко, М.А. Маслова*

Севастопольский национальный
университет ядерной энергии
и промышленности
г. Севастополь, ул. Курчатова, 7

Предлагается акустический способ контроля за состоянием морских захоронений боевых отравляющих веществ в Черном море, позволяющий своевременно обнаруживать просачивание иприта в морскую водную среду.

Введение. В тридцатые годы прошлого столетия, в период подготовки к будущей мировой войне страны производили различные виды вооружений, в том числе боевые отравляющие вещества. Гонка вооружений, в которой принимала участие боевая советская держава, привела к тому, что к сороковым годам в Крыму были складированы тонны боевого отравляющего вещества кожно-нарывного действия – иприт. Выбор этого вида боевого отравляющего вещества объяснялся его относительно простым и дешевым способом производства, универсальностью применения (в авиабомбах, снарядах, авиационных выливных средствах и др.), достаточно высокой боевой эффективностью по сравнению с другими, известными на тот период отравляющими веществами.

Ситуация, сложившаяся с началом Великой отечественной войны, стремительной оккупацией фашисткой Германией западных территорий Советского Союза, бомбардировки черноморских военно-морских баз создали угрозу, что складированный иприт будет распространяться вследствие огневого разрушения емкостей и наносить ущерб своим войскам. По этим причинам бочки с ипритом вывозились и сбрасывались в море. Считалось, что на глубинах более 60 метров температура морской воды не превышает 10 градусов, а при темпера-

турах ниже 14 градусов иприт находится в желеобразной фракции. Срок службы металлических бочек составляет 60-70 лет в береговых условиях, а при нахождении в агрессивной жидкости – морской воде – герметичность этих емкостей находится под большим вопросом. Исходя из этого, разработка акустического способа контроля над состоянием морских захоронений боевых отравляющих веществ является актуальной научной и практической задачей.

Постановка цели и задач научного исследования. Целью данной работы является разработка акустического способа контроля над состоянием морских захоронений боевых отравляющих веществ в Черном море.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие научные задачи. Во-первых, рассмотреть физические основы для обнаружения боевых отравляющих веществ в морской среде. Во-вторых, разработать структурную схему прибора, реализующего акустический способ контроля за состоянием морских захоронений боевых отравляющих веществ.

Физические основы обнаружения боевых отравляющих веществ в морской воде. Морская вода представляет собой многокомпонентную систему, состоящую из молекул воды, анионов и катионов солей и других примесей. Ряд параметров такой системы в большинстве случаев определяется парциальным составом элементов в ней. Если определенное количество вещества (жидкости), заключенного в единичный объем, который не является ни бесконечно большим, ни бесконечно малым, рассматривать как единичную систему, то состояние этой системы будет описываться такими свойствами, как плотность ρ , температура T , давление P , соленость S и др.

Вода является сжимаемой жидкостью, то есть ее плотность меняется. Зависимость удельной плотности от определяющих ее факторов в виде функции от параметров состояния будет определяться, как:

$$d\rho = \left(\frac{d\rho}{dT}\right)_{SP} dT + \left(\frac{d\rho}{dS}\right)_{TP} dS + \left(\frac{d\rho}{dP}\right)_{TS} dP. \quad (1)$$

Возникающие в воде акустические волны представляют собой колебания сжатия и разрежения, распространяющиеся с определенной скоростью. Области разрежения и сжатия сопровождаются изменением давления элемента объема среды, где они распространяются. Давление в единичном объеме водной среды будет складываться из первоначального статического давления P_0 и избыточного, динамического давления p – акустического звукового давления,

$$P = P_0 + p \quad (2)$$

В общем случае, согласно уравнению состояния (1) давление в жидкости является функцией плотности и температуры. Однако в акустической волне чередование сжатия и разрежения происходит настолько быстро, что передача тепла между этими областями за период колебаний не успевает происходить и процесс распространения звуковой волны является адиабатическим. В этом случае, давление P будет однозначной функцией плотности и для случая с малыми амплитудами запишется в виде

$$P = P_0 + \frac{dP}{d\rho} \delta\rho \quad (3)$$

Из (2) и (3) следует, что избыточное давление будет выражаться следующей формулой

$$P = \frac{dP}{d\rho} \delta\rho \quad (4)$$

Вода (пресная и морская) – это упругая среда. Тогда согласно закону Гука, при малых деформациях давления, вызывающее деформацию пропорционально его величине Δ_p и модуля объемной упругости χ ,

$$P = \chi \Delta_p \quad (5)$$

Модуль объемной упругости равен

$$\chi = \frac{dP}{d\rho} \rho_0 = c^2 \rho_0 \quad (6)$$

где, частная производная избыточного давления P по плотности жидкости ρ – является величиной постоянной для данного вида жидкости при постоянстве параметров, описывающих ее состояние и численно равна квадрату скорости распространения звуковых волн в этой жидкости c^2 . Другими словами скорость распространения звука в водной среде определяется ее плотностью ρ_0 , модулем объемной упругости χ или адиабатической сжимаемостью K_A , то есть

$$c = \sqrt{\frac{\chi}{\rho_0}} = \sqrt{\frac{1}{K_A \cdot \rho_0}} \quad (7)$$

На сегодняшний день существует два принципиальных метода суммарной скорости звука в водной среде, а именно прямой и косвенный. В первом случае происходит непосредственное измерение скорости звука как первой производной расстояния, проходимого акустическим сигналом, по времени, за которое это расстояние проходит акустический сигнал. Не зависимо от принципов, которые реализуют прямые измерители скорости звука (фазовые, импульсные, резонансные и т.п.) они реализуют скорость непосредственно в точке (объеме) измерения или *in situ*.

Косвенные измерители скорости звука осуществляют получение значения скорости распространения звука в два этапа. На первом этапе производится непосредственное измерение гидрологических параметров, а именно температуры, гидростатического давления и электропроводности, по значениям которой тут же осуществляется пересчет в значения солёности воды. На втором этапе по измеренным значениям температуры, солёности и гидростатического давления

производится расчет значения скорости звука. Существует множество эмпирических формул для расчета скорости звука по гидрологическим данным, это формулы Вуда, Дель-Гроссмо, Вильсона, Берха и др. В общем виде эти и последующие формулы для расчета скорости звука представляют полиномом вида

$$C = C_0 + \Delta C_T + \Delta C_S + \Delta C_P + \Delta C_{TSP} \quad (8)$$

где C_0 – опорное значение скорости звука; $\Delta C_T, \Delta C_S, \Delta C_P$ – поправки соответственно по температуре, солености, давлению; ΔC_{TSP} – дополнительная суммарная поправка, в зависимости от значений температуры, солености, давления.

В этом случае рассчитанное значение скорости звука полностью определяется гидрологическими элементами, то есть

$$C_K = f(T, S, P) \quad (9)$$

Наличие любых антропогенных примесей в водной среде, в единичном водном объеме никак не влияет на указанные выше гидрологические элементы. Другими словами, косвенные измерители скорости звука всегда будут показывать значение скорости звука, которое будет соответствовать чистой воде.

Иначе обстоит дело с прямыми измерителями скорости звука. Выражение (7) однозначно определяет скорости зву-

$$d\rho = \left(\frac{d\rho}{dT} \right)_{SP} dT + \left(\frac{d\rho}{dS} \right)_{TP} dS + \left(\frac{d\rho}{dP} \right)_{IS} dP + \left(\frac{d\rho}{d\Pi} \right)_{TSP} d\Pi \quad (13)$$

Из (12) следует, что если плотность примеси будет меньше плотности воды, то скорость звука в *insitu* в одиночном объеме будет меньше, чем в чистой воде, причем величина этого отклонения в меньшую сторону будет зависеть от концентрации примеси в единичном объеме. И наоборот, если плотность примеси будет больше плотности чистой воды (например, растворение соли тяжелых металлов, то скорость звука, измеренная прямым измерителем, будет больше чем в чистой воде, причем вели-

ка, как функции от плотности воды и ее модуля объемной упругости, который в свою очередь так же связан нелинейной зависимостью с плотностью воды вида

$$K_A = \frac{K_c(1+K)}{\rho_0^2} \quad (10)$$

где K_c и K – пропорциональные коэффициенты. Тогда из (7) и (10) получим

$$C = \sqrt{\frac{\rho_0}{K_c(1+K)}} \quad (11)$$

Откуда следует, что при изменении плотности воды в единичном объеме будет изменяться скорость звука *insitu*, причем при росте плотности в большую сторону, а при ее уменьшении в меньшую, то есть

$$C_H = f(\rho) \quad (12)$$

Как было отмечено ранее, уравнение состояния морской воды (1) справедливо будет только для случая чистой воды. При наличии в ней антропогенной примеси вида Π ее плотность изменится на определенную величину, которая будет определяться концентрацией примеси и ее плотностью. Теперь уравнение состояния морской воды будет выглядеть

чина этого отклонения в большую сторону будет тем больше, чем выше концентрация примеси в единичном объеме. Исходя из этих положений (12) можно переписать в виде

$$C_H = f(\rho, \Pi) \quad (14)$$

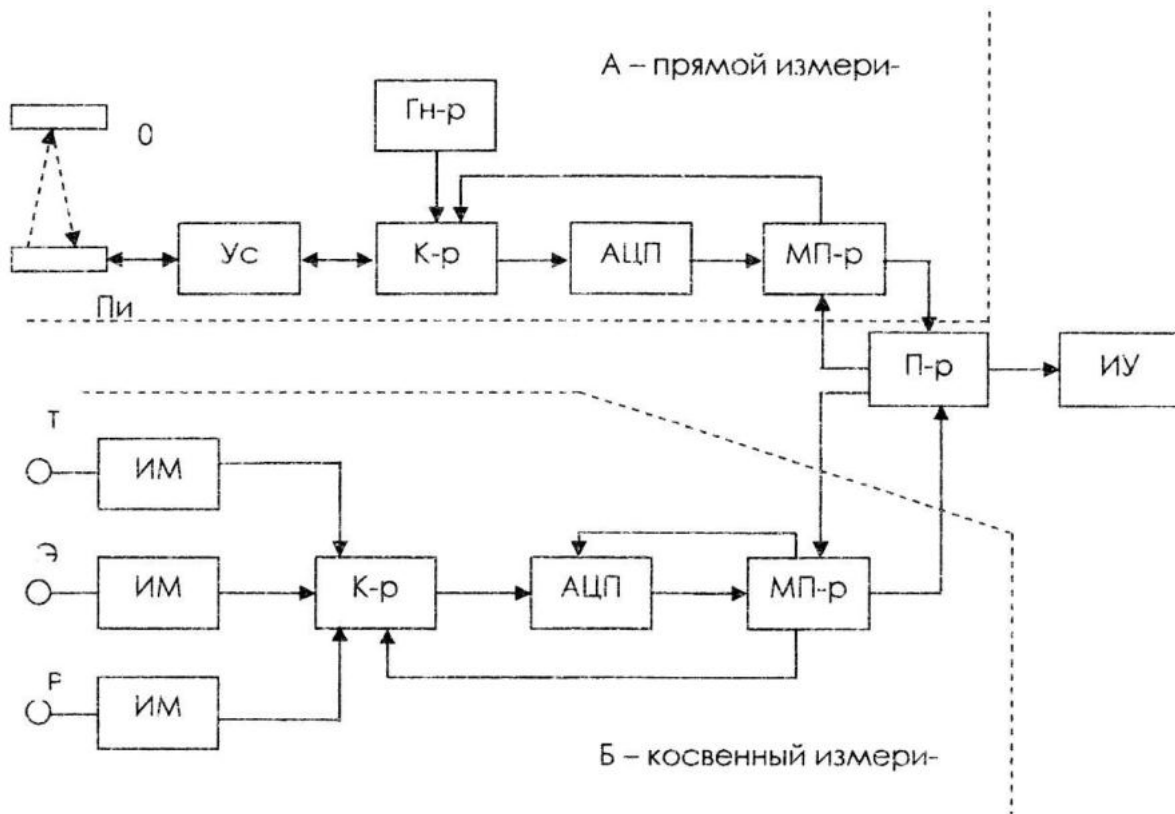
Следовательно, сопоставляя значения двух одновременно выполненных измерений скорости звука можно судить о наличии антропогенной примеси, ее плотности и ее концентрации.

Другими словами, акустический обнаружитель загрязнений в водной среде должен реализовать три функции. Первая – прямое измерение скорости звука, вторая – косвенное измерение скорости звука в этом же единичном объеме, третья – сопоставление выполненных измерений, величина разности значений которых будет зависеть от вида антропогенного загрязнения и его концентрации.

$$\begin{aligned} C_H &= f(\rho, \Pi) \\ C_K &= f(T, S, P) \\ \Delta C &= C_H - C_K = f(\Pi) \end{aligned} \quad (15)$$

Таким образом, физической основой акустического обнаружения иприта, как антропогенного фактора, в водной среде является сопоставление результатов синхронно выполненных прямого и косвенного измерений скорости звука. Величина полученной разности будет определяться его концентрацией в воде.

Структурная схема акустического обнаружителя антропогенных загрязнений. Структурная схема акустического обнаружителя антропогенных загрязнений представлена на рис.1. она разделена на две части: А – прямой измеритель скорости звука и Б – косвенный.



Р и с. 1. Структурная схема акустического обнаружителя

Приемоизлучающий (ПИ) пьезоэлектрический элемент одновременно является излучающей акустической антенной, преобразующий импульсный электрический сигнал в акустический.

Излученный акустический сигнал проходит через водную среду, отражается от фиксированного отражателя (0) и снова принимается пьезоэлектрическим элементом. Частота излучения определяется генератором (Гн-р), а длительность импульса коммутатором (К-р). Усили-

тель (Ус) согласует принимаемый сигнал и через коммутатор транслирует его на аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) и далее в микропроцессор, где происходит вычисление значения скорости звука, полученного прямым измерителем. Микропроцессор так же управляет работой коммутатора, определяя последовательность излучающих акустических импульсов.

Косвенный измеритель скорости звука включает три самостоятельных кана-

ла: Т – температуры, ЭП – электропроводности, Р – давления сенсорные датчики которых встроены в измерительные мосты (ИМ), выходы которых подключаются к коммутатору (К-р). Работой коммутатора управляет микропроцессор (МП-р), последовательно подключая каналы температуры, электропроводности и гидростатического давления.

Одновременно с переключением коммутатора изменяется режим работы аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Аналоговые сигналы, преобразованные в двоичный код, последовательно поступают в микропроцессор, где происходит вычисление косвенного значения скорости звука.

Работу обоих измерителей синхронизирует основной микропроцессор (П-р), где происходит сравнение синхронно выполненных измерений скорости звука прямым и косвенным способом. Разница в значениях прямого и косвенного измерений транслируется в индикаторное устройство (ИУ), которое сигнализирует о наличии антропогенного загрязнения.

Таким образом, структурная схема прибора, реализующего акустический способ контроля, включает прямой и косвенный измерители скорости звука, работой которых управляет процессор, где происходит сравнение синхронно выполненных измерений и индикаторного устройства, сигнализирующего об обнаружении в воде иприта – боевого отравляющего вещества.

Заключение. Физической основой акустического обнаружения иприта, как антропогенного фактора, в водной среде является сопоставление результатов синхронно выполненных прямого и косвенного измерений скорости звука. Величина полученной разности будет определяться его концентрацией в воде.

Структурная схема прибора, реализующего акустический способ контроля, включает прямой и косвенный измерители скорости звука, работой которых управляет процессор, где происходит сравнение синхронно выполненных измерений и индикаторного устройства, сигнализирующего об обнаружении в воде иприта – боевого отравляющего вещества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Акимов В.А., Лесных В.В., Радоев Н.Н.* Основы анализа и управления риском в природной и техногенной сферах. – М.: Деловой экспресс, 2004. – 352 с.
2. *Азаренко Е.В.* Моделирование чрезвычайных ситуаций, вызванных нефтяным загрязнением на внутренних и внешних рейдах портов// *Зб.наук. / пр. СНУЯЕтаП.* – Севастополь: СНУЯЕтаП, 2009. – Вып 4 (32). – С. 192 – 196.
3. *Браславский Ю.В., Гончаренко Ю.Ю., Григорьева В.Н.* Структурно-логическая модель развития чрезвычайной ситуации, вызванной разливом нефти// *Сб.науч.р. СНУЯЭиП* – Севастополь: СНУЯЭиП, 2010. – Вып 4 (36). – С. 222 – 227.
4. *Литвак П.В.* Основы экологии. – Житомир, 1994. – 128 с.
5. *Исаенко В.М., Лисиченко Г.В., Дудар Т.Н.та in.* Моніторинг і методи вимірювання параметрів навколишнього середовища. – К.: НАУдрук, 2009. – 312 с.