СПЕЦІАЛЬНІ РОЗРОБКИ

УДК 343.983.7

Е.В. Азаренко, доктор ф.-м. наук, профессор,
Ю.Ю. Гончаренко, кандидат технических наук,
М.М. Дивизинюк, доктор ф.-м. наук, профессор

АКУСТИЧЕСКИЙ СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ОБНАРУЖЕНИЯ АНТРОПОГЕННЫХ ПРИМЕСЕЙ В ВОДНОЙ СРЕДЕ

Рассматриваются физические основы и структурная схема акустического обнаружителя антропогенных примесей в водной среде, который можно будет использовать в качестве индивидуального погружаемого прибора, измерительного зонда или автономного элемента системы мониторинга водной среды.

Ключевые слова: *антропогенные примеси, водная среда, экологическая безопасность.*

Розглядаються фізичні основи та структурна схема акустичного виявника антропогенних домішок у водному середовищі, який можна буде використовувати як індивідуальний занурюваний прилад, вимірювальний зонд або автоматичний елемент системи моніторингу водного середовища.

Ключові слова: *антропогенні домішки, водне середовище, екологічна безпека.*

Physical bases and block scheme of the acoustic detector of anthropogenic pollutants in water environment, which can be used as an individual immersed device, a measuring probe or an independent element of water environment monitoring system, are considered.

Keywords: *anthropogenic pollutants, water environment, ecological safety.*

Обнаружение антропогенных загрязнений в водной среде – одна из актуальнейших проблем экологической безопасности [1], которая в настоящее время стоит перед инженерами и учеными, занимающимися вопросами охраны окружающей природной среды, рационального водоиспользования и контроля за состоянием сточных вод. Особенность этой проблемы состоит в том, что определить химический состав проб воды и выявить имеющиеся в ней антропогенные примеси в лабораторных условиях несложно, но для этого необходимо достаточно большое количество времени (от нескольких часов до нескольких суток), пока проба будет доставлена в лабораторию и исследована [2].

Другой аспект этой проблемы состоит в том, что природоохранные организации берут пробы воды, как правило, с приповерхностного слоя. Взятие их с глубины и придонных слоев рек, озер, прибрежных морских вод требует наличия не только специальных ботометрических устройств, но и специальных плавсредств, с которых они могут использоваться [3]. Сложившаяся ситуация не позволяет оперативно осуществлять контроль за водными ресурсами, принимать меры по защите населения

при распространении опасных веществ, осуществлять превентивные мероприятия по недопущению экологических катастроф [4]. Решать эти вопросы, то есть обеспечить своевременное управление экологической безопасностью участка акватории, водоема, реки, может устройство, обнаруживающее антропогенные примеси in suty, то есть непосредственно в водной среде.

Целью данной работы является разработка акустического способа и устройства обнаружения антропогенных примесей в водной среде. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи. Во-первых, проанализировать физические основы акустического способа обнаружения антропогенных примесей в водной среде. Во-вторых, рассмотреть структурную схему акустического устройства для обнаружения загрязнений в водной среде. В-третьих, предложить различные варианты использования разработанного устройства в системах мониторинга водной среды.

Физические основы акустического способа обнаружения антропогенных примесей

Морская водная среда характеризуется рядом гидрологических параметров, одним из которых является скорость распространения звука (акустических волн) в водной среде. Существует два принципиально разных метода измерения скорости звука в водной среде: косвенный и прямой.

Первый предусматривает одномоментное in suty (непосредственно в водной среде) измерение основных гидрологических параметров, а именно: температуры – T, солености – S и гидростатического давления – P, после чего в реальном масштабе времени производится расчет значений скорости распространения звука по одной из эмпирических формул (формулы Вуда, Вильсона, Дельгроссо, Берха и др.), каждая из которых наиболее приемлема в том или ином диапазоне значений гидрологических элементов. Необходимо сразу же заметить, что, строго говоря, in suty происходит замер электропроводности морской воды, по значениям которой и определяется соленость. Другими словами, в локальном единичном объеме, где происходит измерение скорости распространения звука косвенным методом, скорость будет являться функцией основных гидрологических элементов, то есть

$$C_к = f(T, S, P). \qquad (1)$$

Второй метод – метод прямого измерения скорости распространения звука, состоит в физическом определении (измерении) скорости как первой производной расстояния – пройденного пути звуковой волны L за определенный промежуток времени, то есть

$$C_п = \frac{dL}{dt}. \qquad (2)$$

В настоящее время существует достаточно большое количество прямых измерителей скорости звука в жидкостях, реализующих фазовые, импульсные, резонансные, смешанные методы измерения.

Если первый (косвенный метод) измерения скорости распространения звука не зависит от наличия антропогенных примесей, то второй (прямой метод) измерения очень чувствителен к растворимым и нерастворимым примесям. Растворимые примеси, например, соли тяжелых металлов, способствуют увеличению плотности единичного объема морской воды и, как следствие, росту показаний прямых измерителей скорости звука. В то же время наличие этой примеси в точке (единичном объеме) измерений не изменяет значений температуры, солености и

гидростатического давления. В случае присутствия в воде нерастворимых примесей в виде нефтяных фолликул или фолликул иприта (отравляющего вещества кожнонарывного действия) показания прямых измерений скорости звука уменьшаются на величину, пропорциональную их концентрации в точке измерений. Показания косвенных измерителей, выполняющих синхронные измерения скорости звука в этом же единичном объеме, останутся без изменений, не реагируя на наличие антропогенной примеси.

Следовательно, сопоставляя одновременно выполненные измерения скорости звука прямым и косвенным измерителями в одном и том же единичном объеме водной среды по их расхождениям, разницу между показаниями прямого и косвенного измерителей скорости звука, можно судить о наличии антропогенных веществ в воде и их концентрации.

Структурная схема устройства обнаружения антропогенных примесей в водной среде

Заметим, что значения скорости распространения звука в водах Азово-Черноморского бассейна изменяются от 1400 до 1530 м/с. Относительная точность современных прямых и косвенных измерений составляет $0{,}1-0{,}5\cdot10^{-1}$ м/с. Это позволяет при относительно малых расхождениях в показаниях прямого и косвенного измерителей скорости звука делать вывод о наличии антропогенного загрязнения. В реальных условиях в северо-западной части Черного моря расхождение в показаниях измерителей на 0,3–0,5 м/с позволяет сделать вывод о наличии объемного эмульгированного загрязнения на удалении 25–30 миль от аварийного судна. В непосредственной близости с ним, в зоне формирования нефтяной эмульсии, разница в показаниях прямого и косвенного измерений составляла от 4–5 до 10–15 м/с. Другими словами, основным физическим фактором выявления антропогенных примесей является разница в значениях одновременно выполненных измерений прямым и косвенным измерителями, то есть

$$F_{(\text{примеси})} = \Delta C = C_{\text{к}} - C_{\text{п}}. \qquad (3)$$

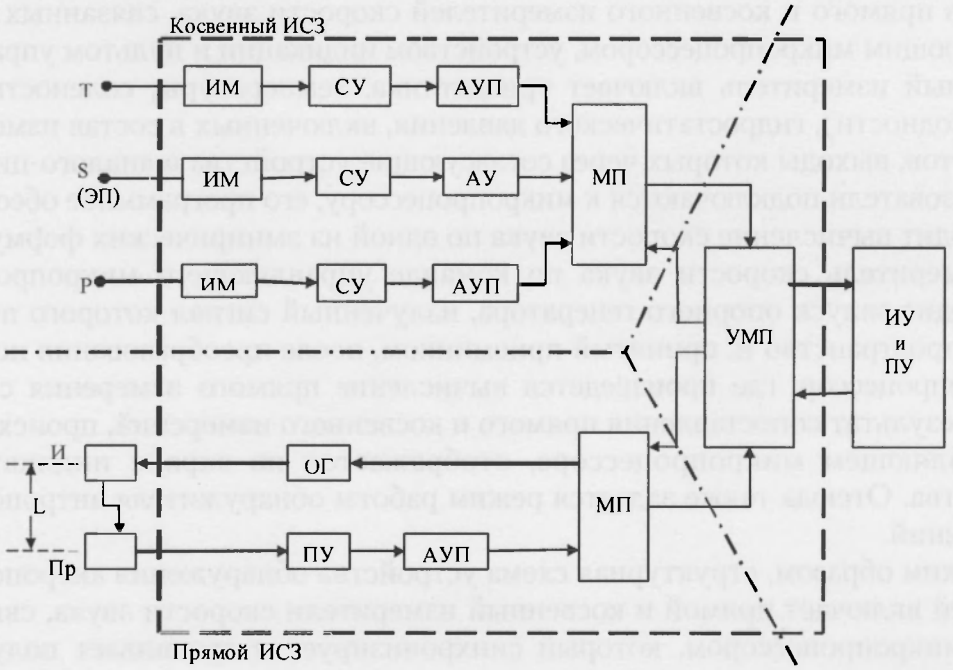

Рис. 1. Структурная схема устройства обнаружения антропогенных примесей

Она условно разделяется на три составные части, а именно: косвенный измеритель скорости звука (ИСЗ), прямой ИСЗ, управляющий микропроцессор (УМП) с индикаторным устройством и пультом управления (ИУ и ПУ). В состав косвенного ИСЗ входит три датчика: температуры – Т, солености (электропроводимости) – S (ЭП) и гидростатического давления, каждый из которых включен в одно из плеч своего измерительного моста. Результат рассогласования между плечами измерительного моста (ИМ) в виде аналогового сигнала через согласующее устройства (СУ) поступает на аналого-цифровой преобразователь (АЦП), а далее в микропроцессор, где происходит программная реализация одной из эмпирических формул. Полученное значение косвенного измерения скорости звука $С_к$ далее транслируется в управляющий микропроцессор (УМП). Прямой ИСЗ управляется с УМП. Синхронизирующий сигнал с него поступает на опорный генератор (ОГ), который генерирует управляющий импульс, поступающий на акустический излучатель (АИ). Излученный акустический сигнал проходит базовое расстояние L и принимается акустическим приемником ($П_р$), и через приемный усилитель (ПУ) и аналого-цифровой преобразователь поступает в микропроцессор, где происходит вычисление прямого измерения скорости звука $С_П$.

В управляющем микропроцессоре происходит сопоставление $С_к$ и $С_П$, и разница этих показаний появляется на индикаторном устройстве (ИУ и ПУ), которое одновременно является и пультом управления за счет интерактивного экрана индикатора.

Отметим, что элементы Т, S (ЭП), Р, И, $П_р$ соприкасаются с агрессивной водной средой. Остальные элементы устройства являются герметичными. Кроме этого, к управляющему микропроцессору может подключаться телекоммуникационный кабель при использовании нескольких устройств обнаружения в единой системе экологического мониторинга.

Структурная схема устройства обнаружения антропогенных примесей состоит из прямого и косвенного измерителей скорости звука, связанных единым управляющим микропроцессором, устройством индикации и пультом управления. Косвенный измеритель включает три датчика: температуры, солености (электропроводности), гидростатического давления, включенных в состав измерительных постов, выходы которых через согласующие устройства и аналого-цифровые преобразователи подключаются к микропроцессору, его программное обеспечение производит вычисление скорости звука по одной из эмпирических формул. Прямой измеритель скорости звука по команде управляющего микропроцессора производит запуск опорного генератора, излученный сигнал которого проходит водное пространство и, принятый приемником, после преобразования поступает в микропроцессор, где произведется вычисление прямого измерения скорости звука. Результат сопоставления прямого и косвенного измерений, происходящий в управляющем микропроцессоре, отображается на экране индикаторного устройства. Отсюда также задается режим работы обнаружителя антропогенных загрязнений.

Таким образом, структурная схема устройства обнаружения антропогенных примесей включает прямой и косвенный измерители скорости звука, связанные одним микропроцессором, который синхронизирует и сравнивает полученные измерения и произведет их индикацию.

Варианты использования разработанного устройства

Первый и основной вариант использования разработанного устройства – в качестве носимого измерительного прибора, которым можно пользоваться для обнаружения антропогенных загрязнений, погрузив его в воду исследуемого водоема. В этом варианте он может использоваться не только инспекторами, находящимися у поверхности воды, но и водолазами и акванавтами при их погружении в деятельном слое морских вод.

Второй вариант использования устройства для обнаружения антропогенных примесей – в качестве измерительного зонда. Антенная (открытая) и измерительная (закрытая герметическая) часть устройства монтируются в легость – специальное приспособление в виде гири, которое с помощью кабель-троса погружается на глубину. Кабель-трос подключается, с одной стороны, к управляющему микропроцессору, с другой – к устройству индикации и пульту управления. Глубина погружения зонда определяется глубиной вытравливаемого кабель-троса. У существующих аналогов (прямых и косвенных измерителей скорости звука) она составляет от 100 до 200 м.

Третий вариант – это использование устройства в качестве автономного элемента системы мониторинга прибрежных вод. В этом случае к навигационному или другого назначения бую крепится гирлянда из обнаруживающих устройств, которые размещаются с интервалом 20–40 м по глубине. Управляющий процессор, блок питания гирлянды, система радиоприема и передачи телеметрической информации в данном случае располагаются в герметической части буя и на его подводной поверхности. При обнаружении антропогенного загрязнения информация о его концентрации и глубине обнаружения будет передаваться на береговой пост.

Таким образом, возможны, как минимум, три варианта использования разработанного устройства: в качестве носимого и погружаемого индивидуального измерительного прибора, в качестве погружаемого на двухсотметровую глубину измерительного зонда и в качестве автономного элемента комплексной системы экологического мониторинга водной среды.

Выводы

1. Сопоставляя одновременно выполненные измерения скорости звука прямым и косвенным измерителями в одном и том же единичном объеме водной среды по их расхождениям, разнице между показаниями прямого и косвенного измерителей скорости звука, можно судить о наличии антропогенных загрязнений в воде и их концентрации.

2. Структурная схема устройства обнаружения антропогенных примесей включает прямой и косвенный измерители скорости звука, связанные одним микропроцессором, который синхронизирует и сравнивает полученные измерения и производит их индикацию.

3. Возможны, как минимум, три варианта использования разработанного устройства: в качестве носимого и погружаемого индивидуального измерительного прибора, в качестве погружаемого на двухсотметровую глубину измерительного зонда и в качестве автономного элемента комплексной системы экологического мониторинга водной среды.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Одум Ю.* Экология : В 2-х томах / Ю. Одум ; перевод с английского. – Т. 1 – М. : Мир, 1986. – 328 с.

2. Моніторинг і методи вимірювання параметрів навколишнього середовища / В.М. Ісаєнко, Г.В. Лисиченко, Т.В. Дудар та інш. – К. : вид-во "НАУ-друк", 2009. – 312 с.

3. Охрана труда и экологическая безопасность в химической промышленности / А.С. Бобков., А.А. Блинов., И.А. Роздин., Е.И. Хабарова. – М. : Химия, 1998. – 400 с.

4. *Ветрова Н.М.* Экологическая безопасность рекреационного региона / Н.М. Ветрова. – Симферополь : РИО НАПКС, 2006. – 297 с.

Отримано 8.11.2011