

6. Пат. 94180 Україна UA, Кл. С 01В 33/00I.Є. Спосіб очищення кремнію технічної чистоти / І.Є. Марончук, Т.Ф. Кулюткіна, І.І. Марончук; заявник та патентоотримувач І.Є. Марончук, Т.Ф. Кулюткіна, І.І. Марончук. – №а201001617; заяв. 16.02.2010; опубл. 11.04.1, Бюл. № 7.

Надійшла до редакції 24.09.13 р.

УДК 628.3 : 534

## ГИДРОАКУСТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СТОЧНЫХ ВОД

**М.И. Ожиганова, к.т.н., Д.Г. Гончаренко, препод.**

*Севастопольский национальный университет ядерной энергии и промышленности*

Рассматривается скорость распространения звука в водной среде как вторичная гидрологическая характеристика. На основе анализа уравнений состояния водной среды показана ее (скорости звука) зависимость от температуры, гидростатического давления, скорости водного потока, наличия и концентрации антропогенной примеси. Предлагается гидроакустический способ контроля экологического состояния сточных вод.

### **Введение**

Проблема контроля сброса сточных вод в XIX веке в большинстве европейских стран решалась достаточно просто. Для промышленных предприятий водосброс устанавливался на несколько сотен метров выше по течению реки, чем водозабор [1]. Получалось, что собственнику было невыгодно сбрасывать неочищенные воды. Совершенно иначе обстояло дело со сбросом вод в моря и океаны. Достаточно долгое время считалось, что особенного вреда в этом нет, так как происходит самовосстановление (очищение) океанов и морей. Наконец, в конце 20 века человечество осознало, что движется к экологическому катаклизму, и главы почти всех государств мира подписали программу действий по защите окружающей природной среды [2]. На сегодняшний день существует большое количество международных и национальных норм, определяющих предельно допустимые концентрации веществ, находящихся в прибрежных морских водах, а также водах, сбрасываемых в море. Международными стандартами предписываются процедуры по обеспечению контроля состояния окружающей природной среды [3]. К сожалению, сегодня на городских и промышленных (принадлежащих предприятиям) очистных сооружениях применяются, главным образом, лабораторные методы контроля экологического состояния сточных вод [4]. Они предусматривают отбор проб и их транспортировку в сертифицированные лаборатории, где и выполняется их анализ. Время, затрачиваемое от взятия проб до получения результатов, может колебаться от нескольких часов до нескольких суток. Безусловно, это не позволяет своевременно реагировать на нарушение правил водосброса, устранение организационных и технических недостатков на коллекторных и очистных станциях.

В то же время в Украине разработаны способы и средства оперативного контроля состояния морской водной среды [5 - 10], в том числе путем гидроакустического обнаружения различных антропогенных примесей. Исходя из вышеизложенного, разработка принципиально новых методов экологического контроля сточных вод в Черном море является актуальной научно-технической проблемой, решение которой позволит следить за состоянием водосброса в реальном масштабе времени.

### **Постановка цели и задач научного исследования**

Целью данной работы является разработка нового гидроакустического способа оперативного (в реальном масштабе времени) контроля экологического состояния сточных вод.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи. Во-первых, проанализировать скорость распространения звука в водной среде как вторичную гидрологическую характеристику. Во-вторых, на основе уравнения состояния морской воды рассмотреть зависимость скорости звука от наличия и концентрации антропогенной примеси. В-третьих, предложить новый гидроакустический способ контроля экологического состояния сточных вод.

### **Скорость звука как вторичная гидрологическая характеристика**

В воде как в упругой среде с распределенными параметрами можно возбудить колебания разрежения и сжатия, которые распространяются с определенной скоростью. Последовательная передача этих колебаний от одной части среды к другой является акустической (звуковой) волной. Эти волны являются продольными, то есть направление колебаний водной среды совпадает с направлением распространения волны. Возникновение областей разрежения и сжатия сопровождается изменением давления в этих областях. Это избыточное динамическое давление принято называть акустическим (звуковым) давлением. В общем случае давление в жидкости является функцией давления и температуры, но в акустической волне чередование областей разрежения и сжатия происходит настолько быстро, что за период колебаний передачи тепла не происходит (адиабатический процесс). Это, в свою очередь, позволяет считать избыточное давление  $P$  однозначной зависимостью от плотности  $\rho$ . В то же время водная среда как упругая среда с распределенными параметрами характеризуется модулем объемной упругости  $\chi$ , который равен

$$\chi = \frac{\partial P}{\partial \rho} \rho_0 = \tilde{n}^2 \rho_0. \quad (1)$$

Частная производная избыточного давления по плотности среды является постоянной величиной для данной водной среды и равна квадрату скорости распространения акустических волн  $c$ .

Таким образом, скорость распространения звука в водной среде как вторичная гидрологическая характеристика полностью определяется величиной плотности этой среды.

### **Зависимость скорости звука от наличия и концентрации антропогенной примеси**

В классической океанологии принято [1], что зависимость плотности морской воды от определяющих ее факторов выражается уравнением состояния. В качестве таких факторов принимаются первичные (наиболее просто измеряемые) гидрологические ха-

рактики, а именно:  $T$  – температура,  $P$  – давление,  $S$  – соленость. Тогда уравнение состояния морской воды примет вид

$$d\rho = \left(\frac{\partial\rho}{\partial T}\right)_{SP} dT + \left(\frac{\partial\rho}{\partial P}\right)_{TS} dP + \left(\frac{\partial\rho}{\partial S}\right)_{TP} dS. \quad (2)$$

Отсюда следует, что при изменении любой первичной гидрологической характеристики (температура, соленость или давление) будет изменяться плотность морской воды, а следовательно, и вторичная гидрологическая характеристика – скорость звука.

Будем считать, что для промышленных и бытовых целей используется только пресная вода. Тогда в уравнении состояния отпадает составляющая, определяемая соленостью. В то же время в уравнение состояния введем два новых члена, которые определяют водосток. Это антропогенный фактор  $A$ , определяемый наличием и концентрацией антропогенной примеси, и фактор  $V$  – скорость водного потока в канализационных трубах. С учетом этих факторов уравнение состояния примет вид

$$d\rho = \left(\frac{\partial\rho}{\partial T}\right)_{AVP} dT + \left(\frac{\partial\rho}{\partial P}\right)_{AVT} dP + \left(\frac{\partial\rho}{\partial A}\right)_{VPT} dA + \left(\frac{\partial\rho}{\partial V}\right)_{APT} dV \quad (3)$$

или в сжатой форме

$$\left. \begin{aligned} d\rho &= f(T, P, A, V); \\ dc &= f(T, P, A, V). \end{aligned} \right\}$$

Экспериментально установлены и получены эмпирические зависимости [1], что с ростом температуры воды и гидростатического давления в точке измерений скорость звука возрастает, и наоборот. Имеются также экспериментальные данные о том, что с появлением в водной среде мелкодисперсной нерастворимой примеси скорость звука убывает, причем степень этого убывания зависит от концентрации антропогенной примеси [5, 8]. Также экспериментально показано, что уменьшение скорости звука происходит при увеличении скорости протекания воды в трубах.

Другими словами, основываясь на уравнении состояния водной среды, с одной стороны, и на экспериментальных данных, с другой, получена качественная зависимость изменения скорости звука в водной среде от изменения температуры и гидрологического давления в точке измерения, а также от скорости водного потока и концентрации нерастворимой мелкодисперсной примеси.

### **Гидрологический способ контроля экологического состояния сточных вод**

В настоящее время существует огромное число типов прямых измерителей скорости звука, которые применяются в пищевой промышленности, например, для контроля процессов брожения винной продукции, молочных продуктов, качества изготовления теста и др. Диапазон их измерений 1200...1800 м/с, абсолютная точность измерений до 0,1...0,5 м/с, а относительная на порядок выше. Производство их налажено, и они могут сопрягаться как с микропроцессорами, так и с компьютерами.

Необходимо отметить, что степень влияния различных факторов на скорость звука различна. При увеличении скорости водного потока с 1 до 2 м/с скорость звука уменьшается на 0,5...0,7 м/с, при возрастании давления на одну атмосферу возрастает

на 1,2...1,5 м/с. При увеличении температуры воды на 1°C скорость звука в среднем возрастает на 3,2...3,5 м/с, а при наличии мелкодисперсной примеси может уменьшаться на величину 0,5...15 м/с и более в зависимости от ее концентрации. Другими словами, основными факторами, изменяющими скорость звука в сточных водах, являются температура и мелкодисперсная примесь. Исходя из этого, схема установления экологического контроля (рис. 1) имеет следующий состав.

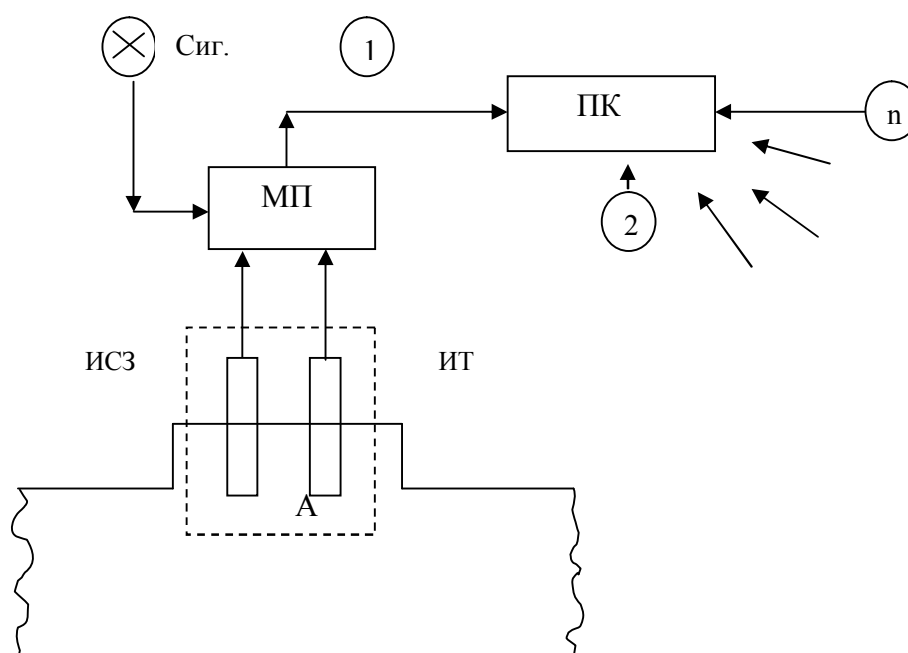


Рис. 1. Схема установки экологического контроля сточных вод

Основной измерительный датчик А, располагающийся непосредственно в контрольной трубе водосброса, бассейне и т.д., имеет два измерительных канала. Первый – прямой измеритель скорости звука ИСЗ, второй – измеритель температуры, выходы которых подключаются к микропроцессору МП со встроенными аналого-цифровыми преобразователями.

С выхода микропроцессора сигнал тревоги может поступать в систему сигнализации Сиг. или на персональный компьютер ПК. На него могут быть заведены также линии связи с других (второго, третьего и т.д.) участков контроля. Вариант рабочих характеристик измерительного датчика А представлен на рис. 2. Для каждого значения температуры построена экспериментально полученная зависимость уменьшения скорости звука от концентрации антропогенной примеси, специфической для каждого участка. При достижении примесью уровня регистрации  $A_{рег}$  значение скорости уменьшится на величину  $\Delta C_{рег}$  от показания  $C_0$  – характерного для чистой воды при данной температуре (здесь при  $T_ч$ ).

Уменьшение скорости звука на величину  $\Delta C_{кр.пор}$  от  $C_0$  будет показывать, что концентрация антропогенной примеси достигла критического порога  $A_{кр}$  и необходимо принимать меры. Уменьшение скорости звука на величину  $\Delta C_{пдк}$  означает, что концентрация антропогенного фактора достигла уровня предельно допустимой концентрации  $A_{пдк}$ , что, в свою очередь, вызовет включение сигнала тревоги и потребует от персонала принятия экстренных мер. Соответствующее программное обеспечение позволит вести наблюдение в реальном масштабе времени за водостоками всех  $n$  участков.

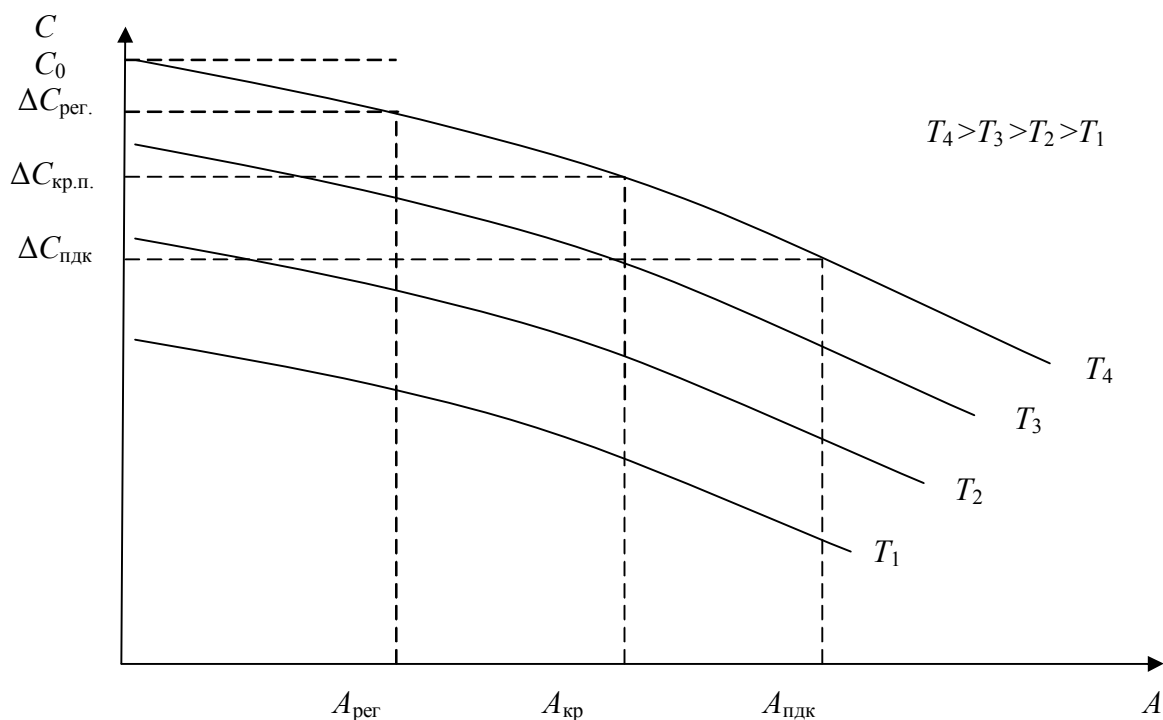


Рис. 2. Рабочие характеристики измерительного датчика

Таким образом, гидроакустический способ контроля экологического состояния сточных вод предусматривает установление в контрольных точках измерительного устройства, состоящего из прямого измерителя скорости звука и датчика температуры, соединенного с микропроцессором, который, в свою очередь, соединен с компьютером. Наличие антропогенной примеси будет вызывать уменьшение скорости звука, пропорциональное концентрации примеси. Процесс появления и контроля концентрации примеси в точках измерения отражается на мониторе компьютера. В случае превышения предельно допустимой концентрации хотя бы в одной из точек измерения дополнительно может объявляться сигнал тревоги.

### Выводы

Скорость распространения звука в водной среде как вторичная гидрологическая характеристика полностью определяется величиной плотности этой среды. Основываясь на уравнении состояния водной среды, с одной стороны, и на экспериментальных данных, с другой, получена качественная зависимость изменения скорости звука в водной среде от изменения температуры и гидрологического давления в точке измерения, а также от скорости водного потока и концентрации нерастворимой мелкодисперсной примеси.

Гидроакустический способ контроля экологического состояния сточных вод предусматривает установление в контрольных точках измерительного устройства, состоящего из прямого измерителя скорости звука и датчика температуры, соединенного с микропроцессором и компьютером. Наличие антропогенной примеси будет вызывать уменьшение скорости звука, пропорциональное концентрации примеси. Процесс появления и контроля концентрации примеси в точках измерения отражается на мониторе компьютера. В случае превышения предельно допустимой концентрации хотя бы в одной из точек измерения дополнительно может объявляться сигнал тревоги.

## ГІДРОАКУСТИЧНИЙ КОНТРОЛЬ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ СТІЧНИХ ВОД

**М.І. Ожиганова, Д.Г. Гончаренко**

Розглядається швидкість поширення звуку у водному середовищі як вторинна гідрологічна характеристика. На основі аналізу рівнянь стану водного середовища показана його (швидкості звуку) залежність від температури, гідростатичного тиску, швидкості водного потоку, наявності і концентрації антропогенної домішки. Пропонується гідроакустичний спосіб контролю екологічного стану стічних вод.

## HYDROACOUSTIC CONTROL of ECOLOGICAL STATE of WASTE WATERS

**M. Ozhiganova, D. Goncharenko**

The sound propagation speed in water environment is considered as the second hydrological characteristic. On the basis of equations analysis of the water environment state its (sound speed) dependence on temperature, hydrostatical pressure, water flow velocity, presence and concentration of anthropogenic admixture were corroborated. The hydro acoustic method of the ecological state control of water wastes was suggested.

### Список использованных источников

1. Шулейкин В.В. Физика моря / В.В. Шулейкин. – М.: Наука, 1966. – 1089 с.
2. Программа действий. Повестка дня на 21 век и другие документы конференции в Рио-де-Жанейро в популярном изложении. – Центр «За наше общее будущее», 1993. – 82 с.
3. Ісаєнко В.М. Моніторинг та методи вимірювання параметрів навколишнього середовища / В.М. Ісаєнко [та інш.]. – К.: НАУ-друк, 2009. – 312 с.
4. ISO 14000. Международный стандарт. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.ekolog.eksp.ru>.
5. Азаренко Е.В. Обнаружение антропогенных загрязнений в водной среде / Е.В. Азаренко [и др.] // Строительство и техника безопасности. – Симферополь: НАПКС, 2007. – № 22. – С. 72 – 77.
6. Азаренко Е.В. Система мониторинга прибрежных морских вод / Е.В. Азаренко // Геохимия и экология: сб. науч. тр. – К.: Ин-т геохимии окружающей среды. – Вып. 14. – С. 145 – 149.
7. Азаренко Е.В. Методическое обоснование акустического способа обнаружения антропогенных загрязнений на водной поверхности / Е.В. Азаренко // Зб. наук. пр. СНУЯЕтаП. – Севастополь: СНУЯЭиП, 2006. – Вип. 1 (17). – С. 42 – 47.
8. Азаренко Е.В. Разработка системы мониторинга деятельного слоя вод / Е.В. Азаренко, М.М. Дивизинюк, В.А. Маньковский // Наук. вестник НГУ. – Дніпропетровськ: НГУ, 2006. – № 3. – С. 52 – 56.
9. Азаренко Е.В. Акустический способ и устройство обнаружения антропогенных примесей в водной среде / Е.В. Азаренко, Ю.Ю. Гончаренко, М.М. Дивизинюк // Сучасна спеціальна техніка: наук.-практ. журн. – К.: ДНДІ МВС України, 2011. – № 4 (27). – С. 87 – 92.
10. Азаренко Е.В. Проблема управления экологической безопасностью прибрежных вод и пути ее решения / Е.В. Азаренко, Ю.Ю. Гончаренко, М.М. Дивизинюк // Системы обработки информации: сб. науч. тр. – Харьков: ХУПС, 2012. – Вып. 2 (100). – С. 271 – 275.

Надійшла до редакції 18.10.13 р.