

К.П. ЛЬВОВ, ведущий инженер-программист

ОАО «Концерн «Океанприбор», г. Санкт-Петербург (Россия)

ОЦЕНИВАНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ ЗВУКА ПО ГИДРОФИЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ WOA01

Рассмотрен косвенный метод оценивания с использованием известных формул (Вильсон, Лерой [1, 2]) и гидрофизических данных (глубина, температура и соленость) WORLD OCEAN ATLAS 2001 (WOA01). Приведены примеры оценивания для известных из литературы прямых измерений.

ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ЗВУКА (BPC3), ГИДРОСТАТИЧЕСКОЕ ДАВЛЕНИЕ, НАБОР ДАННЫХ WOA01, ФОРМУЛА ВИЛЬСОНА, MATLAB

В ряде гидроакустических приборов, станций и комплексов необходимо знание вертикального распределения скорости звука (BPC3). Один из косвенных методов определения – расчет по формулам, например, Вильсона [1, 2]:

$$C(S, T, P) = C_0 + \Delta C_T + \Delta C_S + \Delta C_P + \Delta C_{STP}, \quad (1)$$

где $C_0 = 1449.14$,

$$\begin{aligned} \Delta C_T &= 4.5721 \cdot T - 4.4532 \cdot 10^{-2} \cdot T^2 - 2.6045 \cdot 10^{-4} \cdot T^3 + 7.9851 \cdot 10^{-6} \cdot T^4, \\ \Delta C_S &= 1.39799 \cdot (S - 35) - 1.69202 \cdot 10^{-3} \cdot (S - 35)^2, \\ \Delta C_P &= 1.63432 \cdot P - 1.06768 \cdot 10^{-3} \cdot P^2 + 3.73403 \cdot 10^{-6} \cdot P^3 - 3.6332 \cdot 10^{-8} \cdot P^4, \\ \Delta C_{STP} &= (S - 35)(-1.1244 \cdot 10^{-2} \cdot T + 7.7711 \cdot 10^{-7} \cdot T^2 + 7.85344 \cdot 10^{-4} \cdot P - \\ &- 1.3458 \cdot 10^{-5} \cdot P^2 + 3.2203 \cdot 10^{-7} \cdot P \cdot T + 1.6101 \cdot 10^{-8} \cdot T^2 \cdot P) + \\ &+ P(-1.8974 \cdot 10^{-3} \cdot T + 7.6287 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 + 4.6176 \cdot 10^{-7} \cdot T^3) + \\ &+ P^2(-2.6301 \cdot 10^{-5} \cdot T + 1.9302 \cdot 10^{-7} \cdot T^2) - 2.0831 \cdot 10^{-7} \cdot T \cdot P^3, \end{aligned}$$

где $c(S, T, P)$ – скорость звука, м/с,

T – температура, °C,

S – соленость, промилле,

P – гидростатическое давление, МПа.

Гидростатическое давление в формуле Вильсона как функцию глубины и широты, можно определить как [6]:

$$P = ((1 - C_1) - \sqrt{(1 - C_1)^2 - 4C_2}) H / 200C_2, \quad (2)$$

где P – давление, МПа,

$$C_1 = 0.001(5.92 + 5.25 \sin^2 \varphi),$$

φ – широта, рад,

$$C_2 = 2.21 \cdot 10^{-6},$$

H – глубина, м.

Среднеквадратичная погрешность расчета скорости звука по формуле Вильсона при использовании датчиков гидрофизических данных относительно прямых измерений скорости составляет 0.3 м/с. По формуле были составлены и изданы Гидрографической службой ВМФ СССР «Таблицы для расчета скорости звука в морской воде». Приведенная и подобные формулы (Лероя, Дел Гроссо, ...) зависят от температуры, солености и гидростатического давления (глубины) [1-4].

В настоящее время имеются базы данных температуры и солености. Вертикальные профили температуры и солености приводятся, например, в общедоступном электронном атласе World Ocean Atlas (WOA01) на сайте Национального центра сбора океанографических данных (NODC) США [5]. Имеются данные на равномерной сетке с шагом по долготе и широте в $1/4^{\circ}$. Данные по температуре и солености по Мировому океану хранятся в 24 файлах, соответствующих каждому месяцу года, в 8 файлах, соответствующих времени года и 2 файлах годовых данных. Для сезонных и годовых наборов значения температуры и солености представлены на 33 стандартных горизонтах глубины (0, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 125, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1100, 1200, 1300, 1400, 1500, 1750, 2000, 2500, 3000, 3500, 4000, 4500, 5000, 5500, м). Месячные наборы данных представлены на 24 горизонтах глубины (0, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 125, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1100, 1200, 1300, 1400, 1500, м). На сайте наборы данных заархивированы (GZIP compressed format). Соответствующие файлы имеют расширение gz, длину 35...51 Мб, например, имя файла для данных по солености за апрель месяц s004_v2.gz, длина 35.892.359 байт. Длина распакованного набора месячных данных (температуры или солености) в формате плавающей запятой и двойной точности (8 байт) 204.042.240 байт.

На рис. 1-6 приведены, как примеры, оценки ВРСЗ для различных точек Мирового океана по формулам (1-2) и данным на равномерной сетке с шагом по долготе и широте в $1/4^{\circ}$ WOA01. Измерения проводились на НИС «Балхаш» с помощью аппаратуры «Алтын». ВРСЗ типичные для экваториальных областей глубоких районов Мирового океана [2, с. 15]. Выбраны примеры для известных из общедоступной литературы ВРСЗ. Расчеты выполнены в среде MATLAB (версия 8.0.0.783, август – 2012).

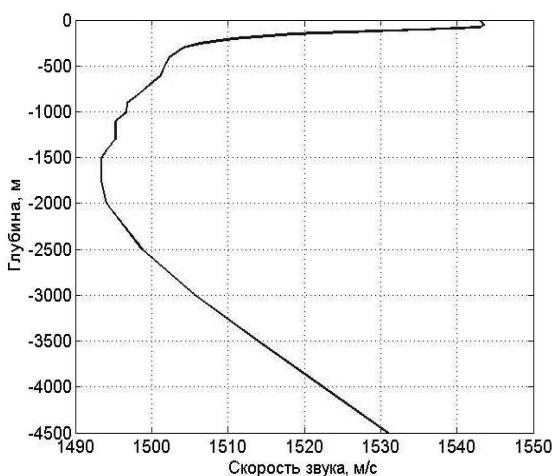


Рисунок 1 – Индийский океан, Аравийская котловина, широта 10° с.ш., долгота 70° в.д., август

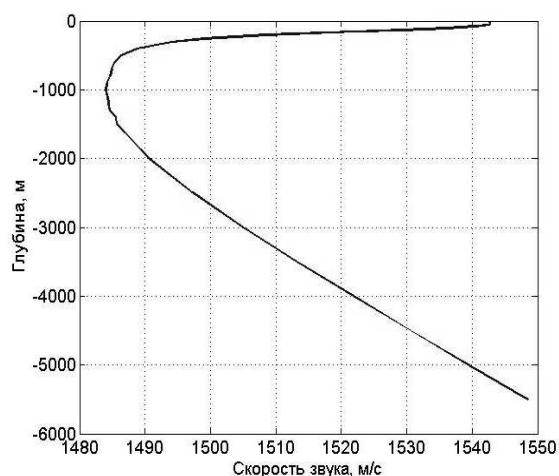


Рисунок 2 – Тихий океан, Филиппинское море, широта 10° с.ш., долгота 130° в.д., август

На рис. 3 и 4 скорость звука у поверхности моря составляет 1485 м/с и 1510 м/с соответственно, ось подводного звукового канала – на глубине 50 м, скорость звука в глубоководном изотермическом слое увеличивается до 1473-1475 м/с, что соответствует значениям, приведенным в [1, с. 332-335]. Измерения проводились на НИС «Адмирал Владимирский», аппаратура «Быстрая – 2».

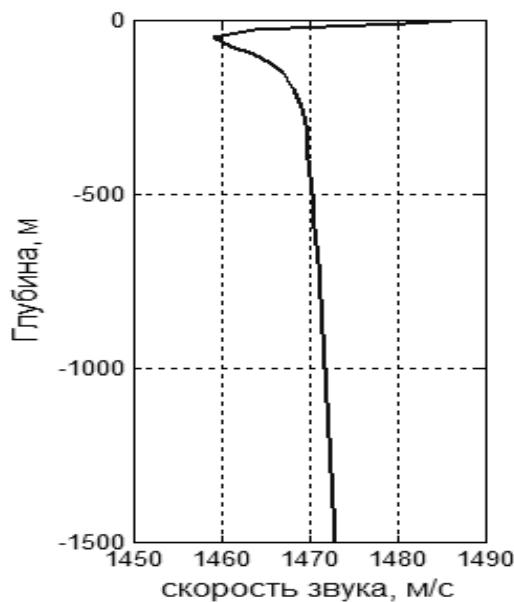


Рисунок 3 – Черное море, широта 44° с.ш., долгота 34° 30' в.д., май

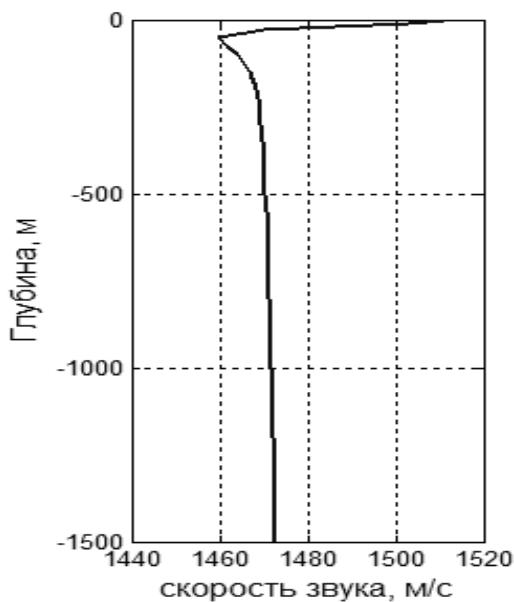


Рисунок 4 – Черное море, широта 44° с.ш., долгота 34° 30' в.д., август

Скорость звука у поверхности моря 1472 м/с и 1485 м/с соответственно, оси подводного звукового канала на глубине 25 м и 50 м, скорость звука в изотермическом слое уменьшается до 1435 м/с, что соответствует значениям, приведенным в [1, с. 332].

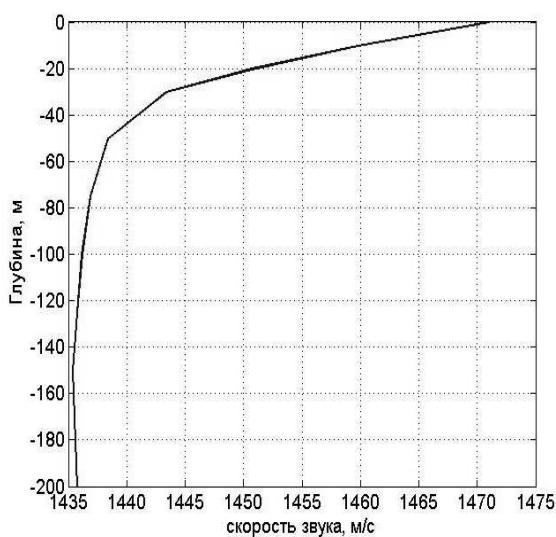


Рисунок 5 – Белое море, Кандалакшский залив, широта 66° 30' с.ш., долгота 34° в.д., июнь

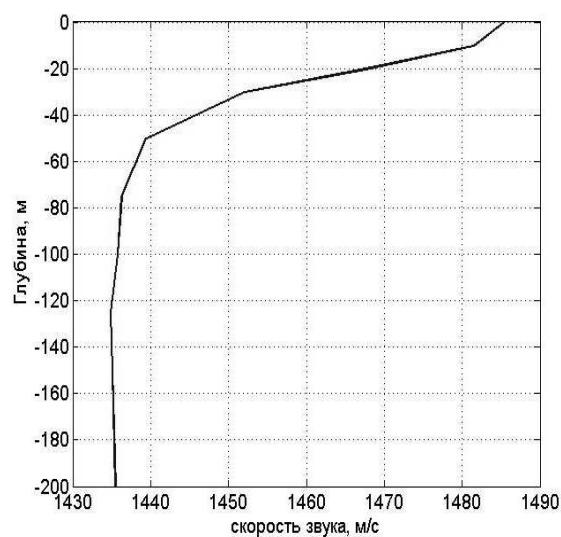


Рисунок 6 – Белое море, Кандалакшский залив, широта 66° 30' с.ш., долгота 34° в.д., август

Выводы

1. Рассмотренная методика позволяет оперативно в реальном масштабе времени оценивать ВРСЗ по заданной широте, долготе и месяцу для любой точки Мирового океана.
2. Сложность формул и организация доступа к данным WOA01 не могут быть препятствием, т.к. в состав гидроакустических приборов, станций, комплексов и общекорабельных информационно-измерительных систем входят высокопроизводительные сигнальные и универсальные процессоры с объемом оперативной памяти в 1 и более Гб и внешние запоминающие устройства в десятки Гб.

Литература

1. Комляков В.А. Корабельные средства измерения скорости звука и моделирования акустических полей в океане / В.А. Комляков. – СПб.: Наука, 2003. – 358 с.
2. Микулин И.И. Методы и средства измерения скорости звука в море / И.И. Микулин, Г.Н. Серавин. – СПб.: Судостроение, 2012. – с.
3. Бабий В.И. Проблемы и перспективы измерения скорости звука в океане / В.И. Бабий. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2009. – 142 с.
4. Фирсов Ю.Г. Основы гидроакустики и использования гидрографических сонаров / Ю.Г. Фирсов. – СПб.: «Нестор-История», 2010. – 350 с.
5. <http://www.nodc.noaa.gov/>
6. Peter M. Saunders Practical Conversion of Pressure to Depth / Peter M. Saunders // Journal of Physical Oceanography. – 1981. – volume 11, Issue 4. – pp. 573-574.

Стаття надійшла до редакції 17 грудня 2013 р. російською мовою

К.П. Львов

ОЦІНЮВАННЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ ШВИДКОСТІ ЗВУКУ ЗА ГІДРОФІЗИЧНИМИ ДАНИМИ WOA01

Розглянуто непрямий метод оцінювання з використанням відомих формул (Вільсон, Лерой [1, 2]) і гідрофізичних даних (глибина, температура і солоність) WORLD OCEAN ATLAS 2001 (WOA01). Наведено приклади оцінювання для відомих з літератури прямих вимірювань.

Konstantin P. Lwow

ESTIMATION VERTICAL VELOCITY PROFILE OF THE SOUND USING HYDROPHYSICAL DATA OF WOA01

In work is considered an indirect method of estimation using the formulas (Wilson, Leroy [1, 2]) and hydrophysical data (depth, temperature and salinity) WORLD OCEAN ATLAS 2001. Examples of estimation for known from the literature of direct measurements.