

КОМП'ЮТЕРНІ ЗАСОБИ, МЕРЕЖІ ТА СИСТЕМИ

M. Pronenko, T. Samolyuk

THE INTEGRATED PROGRAM MEDIUM OF DATA PROCESSING OF HYDROACOUSTIC SYSTEMS

It is description off operating environment for processing data off sonar system designed for modeling and calculation of the main characteristics of the sound field in an aqueous medium.

Key words: radiation patterns, anomalies of sound, detection zones.

Наведено опис програмного середовища обробки даних гідроакустичних систем призначеного для моделювання та розрахунку основних характеристик звукового поля у водному середовищі.

Ключові слова: променеві картини, аномалії поширення звуку, зони виявлення.

Приведено описание программной среды обработки данных гидроакустических систем предназначенной для моделирования и расчета основных характеристик звукового поля в водной среде.

Ключевые слова: лучевые картины, аномалии распространения звука, зоны обнаружения.

© М.И. Проненко,
Т.А. Самолюк, 2013

УДК 519. 7004. 62

М.И. ПРОНЕНКО, Т.А. САМОЛЮК

ИНТЕГРИРОВАННАЯ ПРОГРАММНАЯ СРЕДА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ (ИПСОД) ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Введение. Постановка проблемы в общем виде, ее связь с научными и практическими задачами. Гидроакустика – раздел акустики, изучающий излучение, прием и распространение звуковых волн в реальной водной среде для целей подводной локации, связи и т. п. Главная особенность подводных звуков – их малое затухание, вследствие чего под водой звуки могут распространяться на большие расстояния, чем, например, в воздухе. Кроме затухания, обусловленного свойствами самой воды, на дальность распространения звуков под водой влияют рефракция звука, его рассеяние и поглощение различными неоднородностями среды.

Наиболее существенные применения гидроакустики: звукоподводная связь; морская навигация; решения военных задач; рыбопоисковая разведка; океанологические исследования; сферы деятельности по освоению богатств дна Мирового океана и т. д.

Для этих целей используют гидроакустические станции – совокупность схемных и конструктивно связанных акустических, электрических и электронных приборов и устройств с помощью которых производится прием или излучение, или прием и излучение акустических колебаний в воде.

Окончательная оценка значений акустических и физических характеристик гидроакустических станций требует проведения прямых измерительных экспериментов в разных районах водной среды (океаны, моря, озера, реки). Районы отличаются структурой дна, глубиной залегания под водой звукового канала, повторяемостью явлений при поверх-

ностного звукового канала, вероятностью существования отрицательной рефракции в поверхностном слое, вероятностью существования дальней зоны акустической освещенности, на различных глубинах, в разное время года, при различных температурах окружающей среды в широком диапазоне частот распространения звуковых волн. Учитывая данные проблемы возникает необходимость создания программных систем по обработке полученных измерений. Большинство программных продуктов, реализующих различные математические модели процесса гидроакустического обнаружения не учитывают неоднородность водной среды, параметров дна, морского волнения и соответственно не могут в полной мере обеспечить адекватность получаемых результатов реальной картины распространения гидроакустических сигналов. Разработанная ИПСОД обеспечивает возможность моделирования гидроакустического поля и расчета на его основе дальности обнаружения целей с учетом неоднородности среды по трассе распространения гидроакустического сигнала.

Анализ исследований и публикаций по рассматриваемой проблеме. ИПСОД гидроакустических систем предназначена для построения и визуализации:

- вертикального распределения градиентов скорости звука (ВРГСЗ);
- лучевых картин;
- картин аномалии распространения звука;
- зон обнаружения в режиме гидролокации [1 – 5].

ВРГСЗ представляет собой совокупность информационных слов в двоичном коде, несущих информацию о скорости звука (C) и глубине ее измерения (Z), находящихся в функциональной зависимости $C(Z)$. Рассматриваются и строятся измеренный ВРГСЗ, статистический ВРГСЗ, аппроксимированный ВРГСЗ, сопряженный ВРГСЗ.

Измеренный массив ВРГСЗ при его ручном вводе формируется путем последовательного набора информационных слов C_i, Z_i с последующим их запоминанием.

Алгоритм расчета *лучевых картин* основан на кусочно-линейной аппроксимации вертикального распределения градиентов скорости звука, вычислении горизонтального расстояния (ΔR_i), проходимого акустическим лучом в слое с постоянным градиентом $G1$.

Для заданного вертикального распределения скорости звука по глубине волновода, заданного сектора углов в вертикальной плоскости и глубины расположения излучателя рассчитываются классы лучей.

I класс – водные лучи, распространяющиеся внутри волновода без отражения от границ, II класс – лучи, распространяющиеся без отражения от дна, но с отражением от поверхности, III класс – лучи, претерпевающие отражение от дна (без отражения от поверхности), IV класс – лучи, распространяющиеся в волноводе с отражением от поверхности и дна.

Для каждого класса лучей определяются минимальный и максимальный граничный лучи, в пределах которых сектор равномерно разбивается на лучевые

трубки таким образом, чтобы общее количество лучей равнялось заданному их количеству.

Расчет горизонтальных проекций (горизонтальных расстояний, проходимых лучом в слое) производится для каждого луча, начиная с луча, выходящего из излучателя под максимальным углом и заканчивая лучом, угол выхода которого равен $0,1^\circ$ относительно горизонтали. Для лучей, выходящих из излучателя вниз от горизонтали, траектория формируется с использованием горизонтальных проекций, рассчитанных для лучей с соответствующими углами выхода вверх относительно горизонтали.

Алгоритм расчета *аномалии распространения* звука основан на приближении лучевой акустики и справедлив для частот не ниже 200 Гц.

Величина аномалии распространения звука определяется функцией

$$A = \sum_{i=1}^k F(F_i, R(\theta_i), W_{\text{пов}i}, V_{\text{дн}i}, N_{\text{в}}, N_{\text{н}}), \quad (1)$$

где i – число лучей, приходящих в точку наблюдения, F_i – фактор фокусировки для i -го луча, $R(\theta_i)$ – значение характеристики направленности для угла выхода i -го луча из источника, $W_{\text{пов}i}$ – коэффициент отражения от поверхности, $V_{\text{дн}i}$ – коэффициент отражения от дна, $N_{\text{в}}$ – число отражений луча от поверхности, $N_{\text{н}}$ – число отражений луча от дна.

Согласно алгоритму, для заданных условий, вертикального распределения градиента скорости звука и глубины излучателя – определяются классы лучей, формирующих звуковое поле. В зависимости от соотношения скоростей звука на горизонтах излучателя, на поверхности и у дна, возможны следующие комбинации классов лучей: IY; II и IY; III и IY; I, II и IY; I, III и IY; I и IY. Для каждого класса лучей рассчитываются значения минимального и максимального углов. Предельный угол для мелкого моря ($Z_{\text{дн}} < 250$ м) равен 25° , для глубокого – 50° .

Начиная с максимального угла старшего класса формируются лучевые трубки по признаку $\theta_{12} = 0.9\theta_{11}$, где θ_{11} – первый угол трубки, первоначально равный значению максимального угла текущего класса, а затем – значению второго угла предыдущей трубки, θ_{12} – второй угол трубки.

Для каждой трубки рассчитываются горизонтальные проекции на горизонты излучателя и приемника, расстояние выхода трубки на горизонт приемника. Вся дистанция, начиная с $R_{\text{нач}}$ до $R_{\text{кон}}$ разбивается на ряд точек с постоянным шагом ΔR . Затем, анализируя значения расстояний выхода каждой трубки на горизонт приемника, определяют точки по дистанции, захватываемые текущей лучевой трубкой. Для точек, захваченных лучевой трубкой, вычисляется фактор фокусировки. Алгоритм расчета *зон обнаружения* в режиме гидролокации основан на использовании зависимости аномалии распространения звука от дистанции и помехи. Предусматриваются варианты расчета зон обнаружения: с учетом шумовой составляющей помехи; с учетом суммарной помехи (реверберационной и шумовой).

Изложение основного материала исследования. Пакет программ реализован в виде графической ИПСОД с использованием объектно-ориентированных

технологий, именуемой как «HydroAc». Пакет предназначен для моделирования и расчета основных характеристик звукового поля, лучевых картин, аномалии распространения звука в водной среде, дальности действия гидроакустических систем в однородной среде (энергетическая дальность) и в среде с аномалией распространения звука. Все операции по обработке и отображению гидроакустической информации производятся в режиме не реального времени. Результаты расчетов представляются на экране дисплея или могут быть выведены на принтер.

Основное меню среды, содержащее модули пакета: *банк данных, прогнозирование, выход*.

Банк данных содержит файлы для работы пакета: файлы с градиентами скорости звука для различных районов водной среды, файлы с массивами коэффициентов отражения от различных типов дна, файлы аномалий, зон обнаружения.

В именах файлов ВРГСЗ содержится информация об условиях измерения. Это окончание имени файла в виде *_xx_x_xx_x_xxxx_xx*, где соответственно указывается район, сезон, тип дна, волнение, глубина дна, рабочая глубина. Модуль *банк данных* позволяет ввести и сохранить в файле характеристики дна и условия измерения ВРГСЗ (рис. 1). Выбор параметров *мелководный район* или *глубоководный район* позволяет вывести и внести изменения в файлы коэффициентов отражения от дна, просмотреть их графики. Задание режимов измерения или поиска файла с массивом ВРГСЗ происходит в правой части экрана, где вносятся следующие параметры: район, сезон, тип дна, волнение, глубина дна, рабочая глубина. Все параметры кроме сезона числовые.

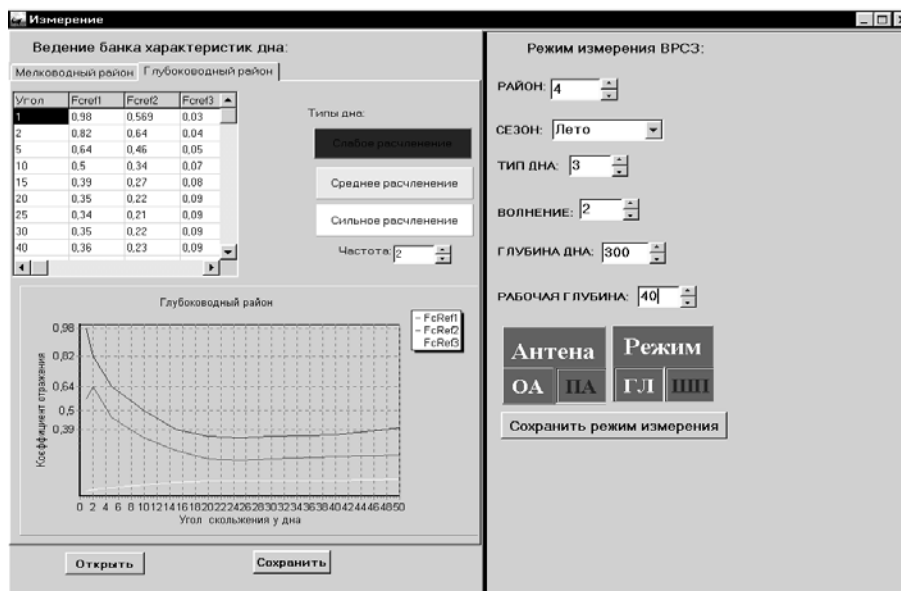


РИС. 1. Условия измерения

По необходимости условия измерения сохраняются. Задание некорректных параметров отмечается соответствующим сообщением.

Модуль *прогнозирование* решает четыре основные задачи: *ВРГСЗ; лучевые картины; аномалия распространения; зоны обнаружения.*

Решение этих задач позволяет получить расчетные ВРГСЗ, построить лучевые картины для интересующего вертикального распределения градиентов скорости звука, рассчитать аномалию распространения звука и зоны обнаружения в режиме гидролокации при оценке эффективности гидроакустической системы в конкретном районе водной среды. В каждой из задач имеется возможность выбрать из модуля *банк данных* уже имеющееся или внесенное пользователем ВРГСЗ, ввести в диалоговом режиме все необходимые исходные данные и провести расчеты. Результаты расчетов представляются на экране монитора или могут быть выведены на принтер. Для повышения информативности выводимых на экран монитора результатов расчетов используется цветовая кодировка уровней.

Выбор закладки ВРГСЗ в модуле *прогнозирование* дает возможность рассчитать требуемый его вид. Просмотреть и изменить ВРГСЗ возможно в табличном и графическом виде. Страница разделена на две части. Справа предоставлен механизм задания, расчета, отображения ВРГСЗ в таблицах с данными по глубине и скорости, слева строится соответствующий график, цвет которого совпадает с цветом шрифта цифровых данных в таблице. Сначала нужно выбрать способ ввода исходного ВРГСЗ, выбрав соответствующий пункт из двух под меткой (выбрать ВРГСЗ с файла или ручной ввод). Происходит ввод данных из файла (ввод вручную) в таблицу и одновременное построение графика в левой части экрана. Массив глубин вводится в метрах, соответствующие значения скоростей звука – в м/с; пределы изменения глубин – 0–10000 м; пределы изменения скоростей – 1400–1550 м/с. Ввод вручную моделирует процесс измерения ВРГСЗ. Достройка ВРГСЗ до дна происходит по входному ВРГСЗ (измеренному, статистическому, аппроксимированному, сопряженному) и значению глубины дна.

При выборе второй закладки *лучевая картина поля* в модуле *прогнозирование* на экран дисплея выводится страница расчета и построения лучевых картин. Поле экрана разделено на две части: левая – графическая картина, правая – расчетные данные.

Для расчета лучевых картин необходим следующий набор исходных данных: рабочий ВРГСЗ; полный сектор углов в вертикальной плоскости в градусах с осью, ориентированной в направлении 0° ; количество лучей, для которых необходимо произвести расчет траекторий (не более 50); предельная дистанция для расчета (км). Массив ВРГСЗ выбирается (из файла, из предыдущих расчетов, расчет ВРГСЗ по-новому). Вводят значения переменных: *Zbot* – глубина места (м); *Zsr* – глубина излучателя (м); *Zpr* – глубина цели (м); *Cornmin* – минимальный угол выхода луча ($^\circ$); *Cornmax* – максимальный угол выхода луча ($^\circ$); *Countray* – количество лучей; *Fr* – частота (кГц); *Rlim* – предельная дистанция (км).

При нажатии кнопки *Расчет проекции координат и траекторий лучей* заполняется таблица с данными для построения лучевой картины поля.

В левой части экрана по нажатию кнопки *Элементы траектории луча и их типы* выводится траектория луча, описание которого предварительно выбирается в таблице справа переводом указателя мышки на определенную строку. После нажатия на кнопку *Лучевая картина поля* и выбора вида картины поля (*С донными лучами*, *Без донных лучей*) выводятся графики всех звуковых лучей для данной лучевой трубки (рис. 2).

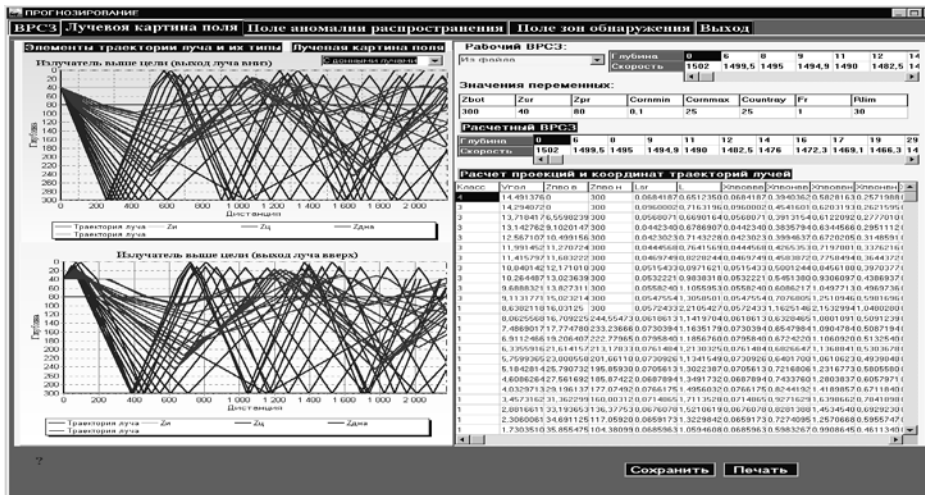


РИС. 2. Лучевая картина поля с донными лучами

Расчет *аномалии распространения* производится для данных: расчетного ВРГСЗ; массивов углов скольжения у дна (от 0° до 90°); коэффициентов отражения от дна по давлению (от 0 до 1кПа); *Zbot* – глубины дна (наибольшее значение с рабочего ВРГСЗ); *Zsrlim* – предельной глубины излучателя; *Zprlim* – предельной глубины цели; *Zsr* – глубины излучателя (м); *Zpr* – глубины цели (м); *CornMax* – максимального количества углов; *di* – угла наклона характеристики направленности в вертикальной плоскости (°); *Fr* – рабочей частоты звука (Гц); *hw* – среднеквадратической высоты волны (м); *Llim* – параметра волнового ограничения (м); *Rbeg* – начальной дистанции (км); *Rend* – конечной дистанции (км); *dR* – шага по дистанции (м) (рис. 3). По нажатию кнопки *Глубины излучателя и цели* заполняются следующие данные:

Zsrbeg – начальный горизонт излучателя (м); *dZsr* – шаг по глубине излучателя (м); *Zprbeg* – начальный горизонт цели (м); *dZpr* – шаг по глубине цели (м).

По умолчанию, т. е. при использовании в расчете исходных данных примера, в зависимости от глубины волновода, расчет проводится для следующих значений горизонтов цели: $Zpr[n] = \Delta Zpr * n$, где $Zpr[n]$ – *n*-ое погружение излучателя, ΔZpr – шаг по глубине, *n* – число градаций погружений излучателя.

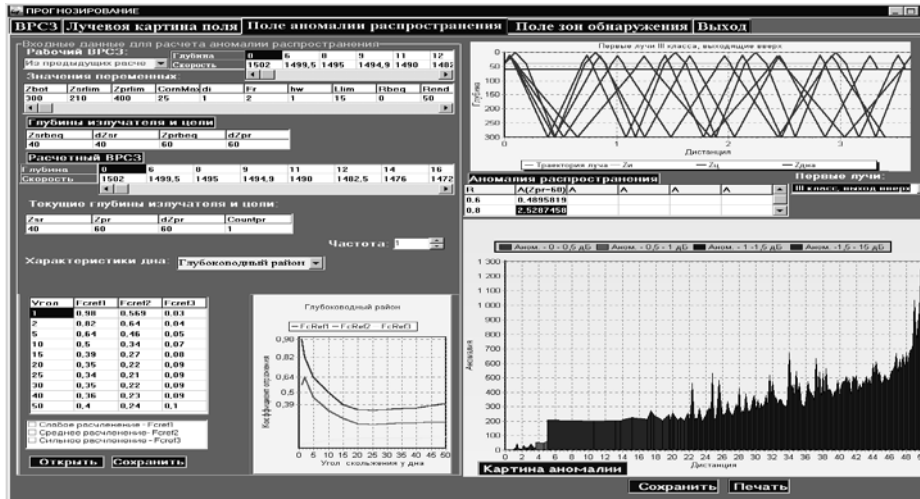


РИС. 3. Картина аномалии

Для расчета зон обнаружения в режиме гидролокации необходимы следующие исходные данные (наведены с именами в таблице): расчетный ВРГСЗ (Из файла, Из предыдущих расчетов, Расчет ВРГСЗ по-новому); Psr – давление излучения (кПа); (вводится с клавиатуры или рассчитывается), (для расчета необходимы величины акустической мощности (кВт) и коэффициента концентрации излучателя); Rpr – эквивалентный радиус цели (м); $Ancon$ – аномалия распространения звука – $A = const$ либо массив $A(r)$, рассчитанный или введенный с клавиатуры; размерность массива $A(r)$ – не более 300 точек; Fr – частота излучаемых сигналов (кГц), пределы изменения – от 0.2 кГц и выше; $Qpor$ – значение порогового отношения сигнал/помеха (в раз); BFr – значение полосы частот, в которой измерялось пороговое отношение, (Гц); kkf – коэффициент километрического затухания в среде (дБ/км); Zsr – глубина излучателя; Zpr – глубина цели; $Rbeg$ – начальное расстояние; $Rend$ – конечное расстояние; dR – шаг по дистанции; dQ – градация пороговых значений; информация о помехе (Шумовая изотропная, Шумовая изотропная и локальная, Огибающая реверберационная, Огибающая суммарная).

Следующим шагом будет выбор аномалии распространения: (Аномалия из файла; Аномалия из предыдущих расчетов; Аномалия – константа; Аномалии и зоны обнаружения из файла).

Расчет аномалии и зон обнаружения получаем по нажатию кнопки Аномалии и зоны обнаружения. После этого рассчитываются зоны обнаружения для выбранного вида аномалии. Получить график зон обнаружения можно нажав кнопку G (рис. 4). Очистить график – кнопка C . Слева от панели вывода зон обнаружения выводится ВРГСЗ, справа выводятся условия измерения ВРГСЗ: район, сезон, тип дна, волнение, глубина дна, рабочая глубина.

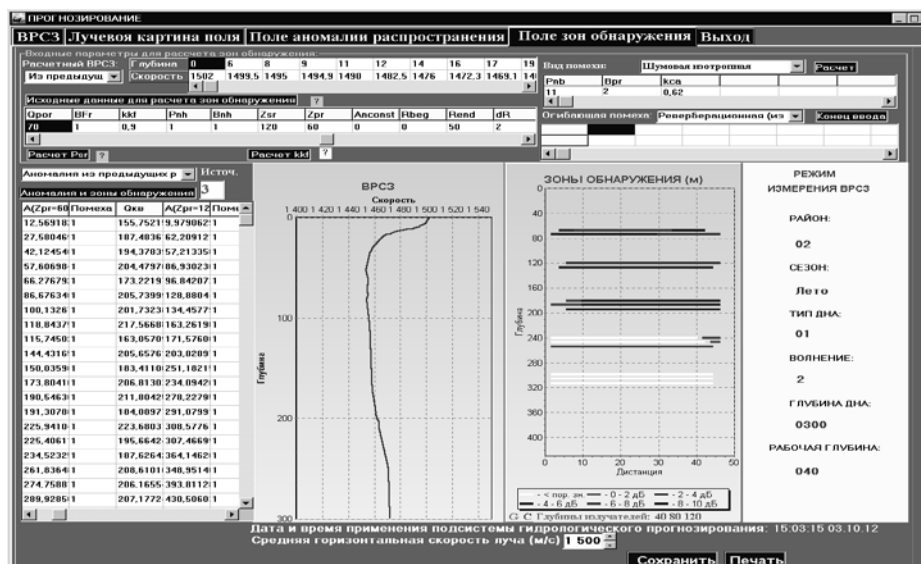


РИС. 4. Зоны обнаружения

Выводы. Разработанная интегрированная операционная программная среда обработки данных гидроакустических систем (ИПСОД) позволяет рассчитать и построить следующие характеристики гидроакустического поля: ВРГСЗ, лучевые картины поля, картины аномалии звука, зоны обнаружения с учетом большого количества параметров, обеспечивает адекватность получаемых результатов реальной картине распространения гидроакустических сигналов.

Дальнейшим развитием обработки данных гидроакустических систем было бы введение в описанную систему ИПСОД базы данных ВРГСЗ, конкретных измерений существующих гидроакустических систем в разных районах морского пространства Украины и получение на этой основе реальных характеристик гидроакустического поля определенных участков водной среды.

1. Урик Р.Дж. Основы гидроакустики. – Л.: Судостроение, 1978. – 448 с.
2. Акустика океана / Под ред. Л. М. Бреховских. – М.: Наука, 1974. – 693 с.
3. Гончар А.И. Проблемы, методы и свойства исследований мирового океана // Гидроакустичний журнал. – 2008. – № 5.
4. Большаков А.Н., Запелов А.С., Смолов В.Е. Отражение акустических волн от крупномасштабных неоднородностей морской поверхности // Акустичний вісник. Інститут гідромеханіки НАН України. – 2007. – Том 10, № 3. – С. 6 – 11.
5. Бабий В.И. О достоверности результатов измерения вертикального распределения скорости звука в море // Там же. – 2007. – Том 10, № 4. – С. 3 – 11.

Получено 05.09.2013